



АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА



1
А-И

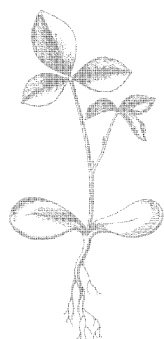


ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
« С О В Е Т С К А Я Э Н Ц И К Л О П Е Д И Я »

**ЭНЦИКЛОПЕДИИ
СЛОВАРИ
СПРАВОЧНИКИ**

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

А. П. АЛЕКСАНДРОВ, А. А. АРЗУМАНЯН, А. В. АРЦИХОВСКИЙ,
Н. В. БАРАНОВ, А. А. БЛАГОНРАВОВ, Н. Н. БОГОЛЮБОВ,
Б. А. ВВЕДЕНСКИЙ (председатель Научного Совета), Б. М. ВУЛ,
Г. Н. ГОЛИКОВ, И. Л. КНУНЯНЦ, Ф. В. КОНСТАНТИНОВ,
Б. В. КУКАРКИН, Ф. Н. ПЕТРОВ, В. М. ПОЛЕВОЙ, А. И. РЕВИН
(заместитель председателя Научного Совета), Н. М. СИСАКЯН,
А. А. СУРКОВ, Л. С. ШАУМЯН (заместитель председателя Научного
Совета)



Scan AAW

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Главные редакторы
А. И. БЕРГ и В. А. ТРАПЕЗНИКОВ

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ

О. И. АВЕН (отв. секретарь), Д. И. АГЕЙКИН, М. А. АЙЗЕРМАН,
Д. М. БЕРКОВИЧ (зам. главного редактора), В. А. ВЕНИКОВ,
А. А. ВОРОНОВ, М. А. ГАВРИЛОВ, Д. В. ЗЕРНОВ, В. А. ИЛЬИН,
А. И. КИТОВ, Б. Я. КОГАН, А. И. КОСТОУСОВ, Н. А. КРИНИЦКИЙ,
Г. А. ЛЕВИН, А. Я. ЛЕРНЕР (зам. главного редактора), М. Г. ЛО-
ЗИНСКИЙ, В. Л. ЛОССИЕВСКИЙ, Ю. Е. МАКСАРЕВ, А. А. МАС-
ЛОВ, В. Э. НИЗЭ (отв. секретарь), Б. Н. ПЕТРОВ, В. И. ПОП-
КОВ, М. Е. РАКОВСКИЙ, Л. Д. РОЗЕНБЕРГ, Б. С. СОТСКОВ,
П. В. ТИМОФЕЕВ, В. Б. УШАКОВ, А. А. ФЕЛЬДБАУМ, В. С. ФРО-
ЛОВ, А. А. ХАРКЕВИЧ, А. В. ХРАМОЙ, Я. З. ЦЫПКИН, А. Б. ЧЕ-
ЛЮСТКИН, Ю. А. ШРЕЙДЕР

1

А—И

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
«СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»

РЕДАКТОРЫ ОТДЕЛОВ

Теория автоматического регулирования — д. т. н., проф. Я. З. ЦЫПКИН. Автоматические регуляторы — д. т. н., проф. А. А. ВОРОНОВ. Элементы автоматизации — чл.-корр. АН СССР Б. С. СОТСКОВ. Автоматический контроль — к. т. н., доцент Д. И. АГЕЙКИН. Теория устройств релейного действия — д. т. н., проф. М. А. ГАВРИЛОВ. Системная автоматика — д. т. н., проф. В. А. ВЕНИКОВ. Автоматизированный электропривод — к. т. н. А. Б. ЧЕЛЮСТКИН. Гидропривод в автоматических устройствах — д. т. н., проф. В. Н. ПРОКОФЬЕВ. Телемеханика — д. т. н., проф. В. А. ИЛЬИН. Цифровые вычислительные машины — к. т. н. А. И. КИТОВ. Программирование — к. ф.-м. н. Н. А. КРИНИЦКИЙ. Аналоговые вычислительные машины — д. т. н. Б. Я. КОГАН, д. т. н. В. Б. УШАКОВ. Кибернетика — д. т. н., проф. А. Я. ЛЕРНЕР, д. т. н., проф. А. А. ФЕЛЬДБАУМ, к. ф.-м. н., доцент Ю. А. ШРЕЙДЕР. Теория информации — чл.-корр. АН СССР А. А. ХАРКЕВИЧ. Электронные и ионные приборы и преобразователи — чл.-корр. АН СССР Д. В. ЗЕРНОВ, чл.-корр. АН СССР П. В. ТИМОФЕЕВ. Полупроводниковые приборы — доцент А. А. МАСЛОВ. Электронные схемы — проф. Г. А. ЛЕВИН. Индукционный нагрев — д. т. н. М. Г. ЛОЗИНСКИЙ. Диэлектрический нагрев — д. т. н., проф. А. В. НЕТУШИЛ. Электронная технология — чл.-корр. АН СССР В. И. ПОПКОВ. Ультразвуковая техника — д. т. н., проф. Л. Д. РОЗЕНБЕРГ. Электроэрозионная обработка — к. т. н. А. Л. ЛИВШИЦ. Словарь иностранных терминов — к. т. н. А. В. ХРАМОЙ.

СОТРУДНИКИ РЕДАКЦИИ

Зав. редакцией — к. т. н. Д. М. БЕРКОВИЧ,
ст. научный редактор — к. т. н. М. Д. БОЧАРОВА,
научные редакторы — инж. Н. Н. ДЕЛОНЕ и В. И. БАРАНОВ,
мл. редактор — Е. П. ЗАБЕЛИНА.

Ст. литературный редактор — Л. С. КОВАЛЬСКАЯ.
Редактор-библиограф — В. Г. СОКОЛОВА.
Редакция словника — В. Л. КИСЛОВ.
Художественный редактор — Н. И. КУЛИКОВА.
Технический редактор — Т. И. ПАВЛОВА.
Корректорская — М. В. АКИМОВА,
Ю. А. ГОРЬКОВ, Л. И. СОКОЛОВА.

ОТ РЕДАКЦИИ

Издание Энциклопедии, посвященной проблемам автоматизации производства и промышленной электроники, предпринимается в нашей стране впервые. Еще несколько лет назад подобное издание не могло бы появиться на свет. И сейчас многие вопросы автоматического управления, технической кибернетики, вычислительной техники, математического программирования и т. д. находятся в периоде становления; терминология по этим вопросам не установилась, что, естественно, весьма затрудняет подготовку энциклопедических изданий. Но необычайно быстрое развитие науки и техники вовлекает в практическое решение задач автоматизации и промышленной электроники сотни тысяч людей, нуждающихся в соответствующей литературе. Поэтому представляется своевременным выпуск настоящей Энциклопедии. Она рассчитана на инженерно-технических и научных работников, преподавателей и студентов вузов, изобретателей, новаторов производства и других читателей, интересующихся вопросами автоматизации производства и промышленной электроники. Статьи Энциклопедии, как правило, носят межотраслевой характер и могут представить интерес для работников промышленности, энергетики, транспорта, связи, а также для работников народнохозяйственного управленческого аппарата.

Энциклопедия выпускается в четырех томах. Для описания схем автоматизации конкретных технологических процессов предполагается выпустить дополнительный, пятый том.

Изложение материала рассчитано в основном на читателя, имеющего известную математическую подготовку. Однако Главная редакция сочла необходимым осветить в Энциклопедии некоторые математические вопросы, без знакомства с которыми понимание ряда статей будет затруднено. Так, включены статьи «Алгебра логики», «Вероятность» и т. д.

Для облегчения пользования иностранной литературой по аналогичной тематике, а также для удобства зарубежных читателей основные термины даются в переводе на английский, французский и немецкий языки (в указанном порядке термины приводятся вслед за названием статьи). Здесь, к сожалению, также — и еще в большей мере — сказывается отсутствие установившейся терминологии.

Ссылки в тексте напечатаны *курсивом*. Цифры в квадратных скобках, приводимые в тексте, указывают на соответствующий номер в списке литературы, данном в конце статьи.

* * *

* Редакция обращается к читателям с просьбой прислать замечания по вышедшему тому, которые будут приняты с благодарностью и учтены при подготовке последующих томов.

СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

а — ампер	кал — калория (малая)	САР — система автоматического регулирования
Å — ангстрем	кв — киловольт	СВ — средние волны
абс. — абсолютный	КВ — короткие волны, коротковолновый	св-на — свойства
абс. ед. — абсолютная единица	квар — киловольт-ампер реактивный	СВЧ — сверхвысокие частоты, сверхвысокочастотный
ав — ампер-виток	кгм — килограмметр	сек — секунда
АВМ — аналоговая вычислительная машина	кз — короткое замыкание	синхр. — синхронный
АИМ — амплитудно-импульсная модуляция	к-л. — какой-либо	след. — следующий
АМ — амплитудная модуляция	к-н. — какой-нибудь	см. — смотри
амер. — американский	коэфф. — коэффициент	сов. — советский
англ. — английский	кпд — коэффициент полезного действия	совр. — современный
АПЧ — автоматическая подстройка частоты	к-рый — который	СП — стандартная подпрограмма
АРУ — автоматическая регулировка усиления	л — литр	спец. — специальный
АРЧ — автоматическая регулировка частоты	лат. — латинский	стр. — средний
а-сек — ампер-секунда	л. с. — лошадиная сила	стр. — страница
асинхр. — асинхронный	ЛУ — логическое устройство	с.-х. — сельскохозяйственный
ат — атмосфера техническая	м — метр	т — тонна
ати — атмосфера избыточная	макс. — максимальный	т. е. — то есть
атм — атмосфера физическая	матем. — математический	т. к. — так как
атм. — атмосферный	металлообр. — металлообрабатывающий	т. н. — так называемый
АУ — арифметическое устройство	мехом — ом механический	т. о. — таким образом
а-ч — ампер-час	мин — минута	табл. — таблица
б. ч. — большей частью, большая часть	мк, μ — микрон	ТАР — теория автоматического регулирования
в — вольт	млн. — миллион	тв. — твердость
в., вв. — век, века	млрд. — миллиард	тем-па, t° — температура
в., выш. — выпуск	мм — миллиметр	тех. — технический
в т. ч. — в том числе	мм вод. ст. — миллиметр водяного столба	ТИ — телеизмерение
ва — вольт-ампер	мм рт. ст. — миллиметр ртутного столба	ТК — телеконтроль
вкл. — включительно	мн. — многие	ТР — телерегулирование
внутр. — внутренний	мн-к — многоугольник	тр-р — трансформатор
возд. — воздушный	наз. — называется, называемый	ТС — телесигнализация
в-сек — вольт-секунда	назв. — название	ТУ — телеуправление
вт — ватт	напр. — например	ТЭЦ — теплоэлектроцентраль
вт-сек — ватт-секунда	наст. — настоящий	тяж. пром-сть — тяжелая промышленность
вт-ч — ватт-час	нек-рый — некоторый	уд. в. — удельный вес
ВЧ — высокая частота, высокочастотный	нем. — немецкий	УЗ — ультразвук, ультразвуковой
г. — год	неп — непер	УКВ — ультракороткие волны, ультракоротковолновый
г — грамм-масса, грамм-сила	неск. — несколько	ун-т — университет
гл. обр. — главным образом	н.-и. — научно-исследовательский	УПЧ — усилитель промежуточной частоты
гн — генри	ниж. — нижний	ур-ние — уравнение
гос. — государственный	нл — нормальный литр (отнесенный к °С и 760 мм рт. ст.)	УУ — управляющее устройство
град — градусы в размерностях	норм. — нормальный	УФ — ультрафиолетовый
°С — градус стоградусной шкалы	нсек — наносекунда (10 ⁻⁹ сек.)	φ — фарада
°К — градус абсолютной шкалы Кельвина	НЧ — низкая частота, низкочастотный	физ. — физический
ГРЭС — государственная районная электрическая станция	об — оборот	ф-ла — формула
гс — гаусс	обработ. — обрабатывающий	франц. — французский
гц — герц	ок. — около	ф-ция — функция
г-экв — грамм-эквивалент	ом. — ом	хар-ка — характеристика
ГЭС — гидроэлектростанция	осн. — основной	х-во — хозяйство
дб — децибел	пз — пьеза	хим. — химический
ДВ — длинные волны	пол. — половина	хоз. — хозяйственный
дж — джоуль	пост. — постоянный	хх — холостой ход
дин — дина	ПП — полупроводник, полупроводниковый	ЦВМ — цифровая вычислительная машина
дл. — длина	пр. — прочий	центр. — центральный
др. — другие	прибл. — приблизительно	ч — час
ехр — экспонента	произ-во — производство	ЧМ — частотная модуляция, частотномодулированный
ж. д. — железная дорога	пр-тие — предприятие	э — эрстед
ж.-д. — железнодорожный	пром. — промышленный	эв — электрон-вольт
з-д — завод	пром-сть — промышленность	ЭВМ — электронная вычислительная машина
ЗУ — запоминающее устройство	пф — пикофарада	э.с. — электродвижущая сила
ИК — инфракрасный	Re — Рейнольдса число	ЭЛТ — электроннолучевая трубка
ИМ — импульсная модуляция	рис. — рисунок	ЭЦМ — электронная цифровая машина
ин-т — институт	САК — система автоматического контроля	
к — кулон		

ПРИСТАВКИ, ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ ПРИ НАЗВАНИЯХ ОСНОВНЫХ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ

дк — дека (10 ¹)	М — мега (10 ⁶)	д — деци (10 ⁻¹)	мк — микро (10 ⁻⁶)
г — гекто (10 ²)	Г — гига (10 ⁹)	с — санти (10 ⁻²)	ммк — миллимикро (10 ⁻⁹)
к — кило (10 ³)	Т — тера (10 ¹²)	м — милли (10 ⁻³)	ммк — микромикро (10 ⁻¹²)

СОВЕТСКИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ

«АЖ» — Акустический журнал	«ЖВМ и МФ» — Журнал вычислительной математики и математической физики
«Авт» — Автоматика и телемеханика	«ЖПМ и ТФ» — Журнал прикладной механики и технической физики
«АТиС» — Автоматика, телемеханика и связь	«ЖПФ» — Журнал прикладной физики
«ВАН» — Вестник Академии наук СССР	«ЖЭТФ» — Журнал экспериментальной и теоретической физики
«Вестн. св.» — Вестник связи	
«ВЭ» — Вестник электропромышленности	
«ДАН СССР» — Доклады Академии наук СССР	

«ЗЛ» — Заводская лаборатория
«ЗР» — Зарубежная радиоэлектроника
«ИАН. ОГН» — Известия Академии наук СССР.
Отделение технических наук
«ИАН. Сер. матем.» — Известия Академии наук СССР. Серия математическая
«ИАН. Сер. физ.» — Известия Академии наук СССР. Серия физическая
«ИТ» — Измерительная техника
«ИЭНИН» — Известия энергетического ин-та
«К» — Кристаллография
«Матем. сб.» — Математический сборник
«МиАП» — Механизация и автоматизация производства
«ОиС» — Оптика и спектроскопия
«П» — Приборостроение

«ПиСА» — Приборы и средства автоматизации
«ПМиМ» — Прикладная математика и механика
«ПТЭ» — Приборы и техника эксперимента
«Р» — Радио
«РиЭ» — Радиотехника и электроника
«Р-ка» — Радиотехника
«Р.ф.» — Радиофизика
«С» — Светотехника
«СМЖ» — Сибирский математический журнал
«ТВиЕП» — Теория вероятности и ее применения
«УМН» — Успехи математических наук
«УФН» — Успехи физических наук
«Ф» — Физика
«Э» — Электросвязь
«Э-во» — Электричество
«ЭС» — Электрические станции

ИНОСТРАННЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ

Advances Phys.—Advances in Physics (Англия)
Amer. Math. Monthly — The American Mathematical Monthly (США)
Analyt. Chem.—Analytical Chemistry (США)
Ann. Physik — Annalen der Physik (ГДР)
Ann. télécommuns — Annales des télécommunications (Франция)
Appl. and Ind. — Applications and Industry (США)
Arch. Elektrotechnik — Archiv für Elektrotechnik (ФРГ)
Arch. techn. Messen — Archiv für technisches Messen (ФРГ)
Bell System Techn. J. — Bell System Technical Journal (США)
Brit. Commun. and Electronics — British Communications and Electronics (Англия)
Brit. J. Appl. Phys. — British Journal of Applied Physics (Англия)
Bull. Amer. Phys. Soc. — Bulletin of the American Physical Society (США)
Chem. Engng — Chemical Engineering (США)
Control Engng — Control Engineering (США)
Electr. Engng — Electrical Engineering (США)
Electr. Manufact. — Electrical Manufacturing (США)
Electronic Engng — Electronic Engineering (Англия)
Electronics and Commun. — Electronics and Communications (Канада)
Elektron. Rundschau — (ФРГ)
Elektrotechn. Z. — Elektrotechnische Zeitschrift (ФРГ)
G. E. C. Journal — General Electric Company's Journal (Англия)
IRE Trans. on Military Electronics — Institute of Radio Engineers. Transactions on Military Electronics (США)
Industr. and Engng Chem. — Industrial and Engineering Chemistry (США)
Instrum. and Control Systems — Instruments and Control Systems (США)
J. Acoust. Soc. America — The Journal of the Acoustical Society of America (США)
J. Appl. Phys. — Journal of Applied Physics (США)
J. Brit. Instn Radio Engrs — Journal of the British Institution of Radio Engineers (Англия)
J. Franklin Inst. — Journal of the Franklin Institute (США)
J. phys. et radium — Journal de physique et Le radium (Франция)

J. Phys. Soc. Japan — Journal of the Physical Society of Japan (Япония)
J. Scient. Instrum. — Journal of Scientific Instruments (Англия)
J. Symbolic Logic — The Journal of Symbolic Logic (США)
Math. Tables and Other Aids Comput. — Mathematical Tables and Other Aids to Computation (США)
Mech. Engng — Mechanical Engineering (США)
Philips Res. Repts — Philips Research Reports (Нидерланды)
Philos. Trans. Roy. Soc. London A — Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A (Англия)
Phys. Rev. — The Physical Review (США)
Physica — (Нидерланды)
Proc. Cambridge Philos. Soc. — Proceedings of the Cambridge Philosophical Society (Англия)
Proc. Internat. Conf. Inform. Processing—Proceedings of the International Conference on Information Processing (Франция)
Proc. I. R. E. — Proceedings of the I. R. E. (США)
Proc. Roy. Soc. A. — Proceedings of the Royal Society. Series A (Англия)
RCA Rev. — RCA Review (США)
Rev. gén. élect.—Revue générale de l'électricité (Франция)
Revs Modern Phys. — (США)
Rev. Scient. Instrum. — The Review of Scientific Instruments (США)
Tele-Tech—(США)
Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs. Part I — Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. Part I. Communication and Electronics (США)
Trans. ASME — Transactions of the ASME (США)
Trans. Electr. Computers I.R.E.—Transaction on Electronic Computers I.R.E. (США)
Trans. I. R. E. — Transactions of the I.R.E. (США)
Trans. Soc. Instrum. Technol. — Transactions of the Society of Instrument Technology (Англия)
Z. angew. Phys. — Zeitschrift für angewandte Physik (ФРГ)
Z. Metallkunde — Zeitschrift für Metallkunde (ФРГ)
Z. Naturforsch. — Zeitschrift für Naturforschung (ФРГ)
Z. Phys. — Zeitschrift für Physik (ФРГ)
Z. Vereines dtsh. Ingr.—Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure (ФРГ)

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В СХЕМАХ

Электровакuumные приборы Л (А-анод, К-катод, С ₁ , С ₂ , С ₃ ... — сетки)	ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ		ИОННЫЕ ПРИБОРЫ		Сопротивления R: { постоянное переменное	
Диод с катодом прямого накала	Диод, вентиль		Неоновая лампа		Катушка индуктивности L	
Триод с подогревным катодом	Выпрямитель		Тиратрон		Дроссель Др	
Пентод	Транзистор		Игнитрон		Трансформатор Тр	
Аккумулятор, гальванич. элемент Б	Антенна, А		Конденсаторы С: { пост. емкости перем емкости подстроечный электролитический		Контакты: { норм замкн норм разомкн	
	Заземление					

В течение двадцатилетия осуществится в массовом масштабе комплексная автоматизация производства со все большим переходом к цехам и предприятиям-автоматам, обеспечивающим высокую технико-экономическую эффективность. Ускорится внедрение высоко совершенных систем автоматического управления. Получат широкое применение кибернетика, электронные счетно-решающие и управляющие устройства в производственных процессах промышленности, строительной индустрии и транспорта, в научных исследованиях, в плановых и проектно-конструкторских расчетах, в сфере учета и управления“

(Из Программы Коммунистической партии Советского Союза)

А

АВОСТ, аварийный останов [alarm stop, emergency stop; arrêt d'alarme (d'avarie); Notschaltung, Notstillsetzung, Notabstellung, Notabschaltung, Notstoppen, Notstoppvorrichtung], — аварийный останов ЭВМ. А. происходит: 1) при невозможности выполнения операции над заданными *операндами* (напр., в случае деления на нуль, извлечения квадратного корня из отрицат. числа и т. д.); 2) при выходе результата операции за верхний предел допустимого для данной машины диапазона величин, т. е. при переполнении разрядной сетки машины; 3) при несоответствии выполняемой команды системе команд и адресов, принятой в машине; 4) при нарушении правильности вычислений.

Причинами А. являются сбои машины в процессе решения задачи, а также ошибки программирования и подготовки исходных данных. Когда в машине предусмотрен схемный контроль (см. *Контроль схемный*), А. происходит при несоответствии машинного слова нек-рому контрольному коду. В машинах, не содержащих спец. контрольных цепей, правильность вычислений контролируется либо методом контрольных сумм, либо логич. способами.

А. фиксируется на пульте управления с помощью сигнальных элементов. После устранения причины А. вычисления продолжают с того участка программы, в к-ром эти причины начали проявляться. *И. А. Данильченко.*

АВТОГЕНЕРАТОР (self excited oscillator; oscillateur à autoexcitation, oscillateur libre; selbsterregter Schwingungserzeuger, eigenerregter Schwingungserzeuger, eigenerregter Oszillator) — то же, что *генератор с самовозбуждением*.

АВТОДИСПЕТЧЕР, автоматический диспетчер [automatic supervisor, automation-dispatcher; dispatcheur (contrôleur, répartiteur) automatique; automatischer Dispatcher], — устройство, автоматически осуществляющее полностью или частично функции диспетчера. В задачу А. входят сбор и обработка информации о ходе управляемого процесса, включая логич. и вычислительные операции; выработка решений об оптимальном или рациональном ведении процесса или управлении произ-вом; выдача команд или управляющих воздействий для реализации этих решений. В простейшем случае А. осуществляет сбор и регистрацию информации, необходимой для оперативной работы диспетчера.

Для управления производств. процессом с большим числом контролируемых точек, из к-рых передается первичная информация (см. *Информация машинная*), применяются машины автоматич. обтекающего контроля, осуществляющие сбор и регистрацию информации, необходимой диспетчеру или оператору. Дальнейшим развитием устройств, частично выполняющих ф-ции диспетчера, являются машины-советчики, представляющие собой логич. машины или оптимизаторы, обрабатывающие полученную информацию и определяющие оптимальные параметры технологич. процесса: наиболее выгодную загрузку и взаимосвязь отдельных агрегатов, их режим — скорость работы, темп-ру, давление, количество и качество реагентов и т. д. Машины-советчики могут работать по заранее разработанному и заложенному в них алгоритму или вырабатывать его сами в процессе работы. В последнем случае необходимым условием является наличие обратной связи, по к-рой передается информация о правильности полученного от машины совета для ее обучения. Эта информация может вводиться в машину либо человеком (опытным диспетчером или технологом), либо средствами автоматизации, контролирующими качество исходного продукта, кпд процесса и др. параметры, определяющие оптимальность данного режима технологич. процесса. Переход от машин-советчиков к управляющим машинам позволяет осуществить А., полностью выполняющий ф-ции диспетчера. Вся необходимая информация о технологич. процессе в этом случае концентрируется и поступает в А., где обрабатывается и регистрируется. В результате обработки информации А. определяет необходимость вмешательства в работу отдельных звеньев производств. процесса и вырабатывает соответствующие сигналы управления. Благодаря возможностям логич. машин быстрее обрабатывать информацию, рассматривать значит. число возможных вариантов ведения процесса и выбирать из них оптимальный, оценивать результаты возмущающих воздействий по незначит. отклонениям, использовать большой объем памяти и др. — в сложных производств. комплексах А. более эффективен, чем диспетчер-человек.

А. Г. Мамиконов.

АВТОКОЛЕБАНИЯ (autooscillations; autooscillations, oscillations autoentretenues; Selbstschwingungen, selbststeuerende Schwingungen,

selbsterregte Schwingungen) — незатухающие колебания, к-рые устанавливаются и поддерживаются в системе за счет сил, зависящих от состояния системы, причем амплитуда этих колебаний определяется свойствами самой системы, а не нач. условиями. Системы, в которых возникают А., наз. автоколебательными. В автоколебат. системе потери энергии компенсируются собств. источником энергии. Т. о., под действием А. автоколебат. система периодически забирает от пост. источника порции энергии, благодаря чему поддерживается незатухающее установившееся движение.

В нелинейной системе с неустойчивым положением равновесия А. возникают самопроизвольно, вслед за подключением источника энергии — «мягкое самовозбуждение». В системе с устойчивым положением равновесия для возбуждения А. необходимо определенное нач. отклонение системы от положения равновесия — «жесткое самовозбуждение». Различают периодич. и почти-периодич. А. с постоянной составляющей и без нее. Периодич. А. могут быть простыми (с двумя, в течение периода, изменениями знака перем. составляющей) и сложными (в остальных случаях), почти-гармоническими (форма колебаний близка к синусоидальной) и релаксационными (форма процесса существенно отлична от синусоидальной). Внешнее периодич. воздействие с амплитудой и частотой, находящимися в определенных пределах, может захватывать А., поддерживая частоту их в целочисленном или вообще рациональном отношении с частотой воздействия. На этом свойстве основана *синхронизация* частоты генераторов периодич. колебаний.

А. при нормальной работе САР обычно недопустимы, однако в нек-рых случаях их вводят для улучшения динамич. свойств системы, а для отдельных систем, напр. вибрационных, автоколебат. режим является основным. См. также *Гармонические колебания*.

Лит.: Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; Теодорчик К. Ф., Автоколебательные системы, 3 изд., М.—Л., 1952; Харкевич А. А., Автоколебания, М., 1953; Попов Е. П., Пальтов И. П., Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем, М., 1960; Стрелков С. П., Введение в теорию колебаний, М.—Л., 1950. М. М. Симкин.

АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ЗВЕНО (autooscillation link; circuit d'autooscillations; Selbstschwingungsglied) — часть контура САР, нелинейная замкнутая система с отрицат. обратной связью, работающая в режиме автоколебаний. Нелинейный элемент А. з. чаще всего имеет разрывную или кусочно-линейную хар-ку. Под влиянием автоколебаний возникает эффект вибрационной линеаризации нелинейного элемента (см. *Линеаризация вибрационная*), к-рый в схеме А. з. может быть заменен эквивалентным линейным пропорц. элементом. Коэфф. усиления линеаризованного элемента определяется из зависимости между средним значением выходной величины нелинейного элемента и медленно изменяющейся составляющей его входного сигнала. Схема А. з. может быть представлена в виде параллельного соединения соответствующей линеаризованной системы и генератора гармоник, к-рые получаются при разложении в ряд Фурье автоколебаний на выходе звена.

Обычно А. з. играет роль усилителя мощности САР. Цепь остальных звеньев этой системы, обладая свойствами инерционного фильтра, подавляет гармоники автоколебаний. Вместе с тем она создает медленно меняющееся воздействие на А. з., к-рое по отношению к этому воздействию ведет себя как линейная система. По этой причине и вся САР в целом оказывается линейной и к ней применимы все методы линейной теории. Распространенные примеры А. з.— релейные усилители, охваченные обратной связью, и вибрац. регуляторы электрич. машин.

Лит.: Пылкин Я. З., Теория релейных систем автоматического регулирования, М., 1955; (Иоселов Г. С.), Некоторые вопросы теории релейных систем автоматического регулирования, в сб.: Основы автоматического регулирования. Теория. Под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Берштейн С. И., К теории вибрационных регуляторов электрических машин, «Авт.», 1951, т. 12, № 5. С. И. Берштейн.

АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ (autooscillation regime; régime d'autooscillations; Selbstschwingungszustand) — состояние нелинейной динамич. системы, характеризующееся установившимся колебат. движением, возникающим вследствие собственных динамич. свойств самой системы.

АВТОМАТ (automaton, automatic machine; automate, machine automatique; Automat)— агрегат, представляющий собой систему механизмов и устройств (электронных, электрич., пневматич., гидравлич.), в к-рой полностью механизированы, т. е. выполняются без непосредств. участия человека, процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материала и информации. Структура, конструкция, принцип действия А. в значит. мере определяются его функциональным назначением. Различают технологич., транспортные, вычислит., военные и др. А. В различных отраслях пром-сти широко внедряются целые комплексы А., предназначен. для выполнения сложных технологич. процессов (см. *Автоматическая линия*). Разрабатываются и строятся А., реализующие разнообразные логич. ф-ции (см. *Логическая машина*).

Процессы переработки информации, в зависимости от назначения А., составляют либо основу его рабочего цикла (напр., вычислит. А.), либо обеспечивают правильное протекание энергетич. процессов (напр., технологич. А.). Однако полная механизация процессов переработки информации является важнейшей чертой любого А., независимо от его назначения. Информац. признаки, характеризующие способы введения и использования информации, положенные в основу логич. схем А., могут служить базой для их классификации. Ниже приводятся элементы такой классификации на примерах технологич. А.

Рабочий цикл А. определяется программой, заданной аналоговым или цифровым способом. Проектирование механизмов и устройств, выбор законов изменения электрич. напряжений, сопротивлений, давлений жидкости, воздуха и т. д. составляют основной этап программирования, когда программа задается в аналоговой форме. При этом ввод информации осуществляется непрерывным изменением соответствующих физич. величин. Так, программа работы кинопроекторного аппарата определяется гл. обр. структурой и размерами лентопротяжного механизма,

а реализуется она в процессе непрерывного вращения ведущего звена, соединенного с источником мощности. Программа действия наручных часов определяется кинематич. и динамич. параметрами спускового механизма и маятника, получающих энергию от заводной пружины. В металлорежущем копировальном станке программа задается копиром, с к-рого информация «считывается» шупом. Аналоговый способ задания программы приводит к узкой специализации А. Такие А. обладают высокой производительностью, однако переход на обработку др. изделия связан с трудоемкой переналадкой, а подчас и вовсе невозможен. Точность работы А. при этом полностью определяется точностью физич. моделирования программ его механизмами и устройствами. При цифровом способе задания программа работы А. мало связана с его структурой и конструкцией, что обеспечивает универсальность таких А. Этот способ исключает необходимость физич. моделирования программы. Информация вводится в виде совокупности дискретных сигналов, форма и величина к-рых практически не влияют на точность работы А. Указанные преимущества цифрового способа задания программы в ряде случаев оказываются решающими при выборе метода автоматизации.

Широко применяются А., программа работы к-рых лишь частично задается в аналоговой форме, а основной объем информации, обеспечивающий выполнение той или иной программы, задается в цифровом виде с помощью перфокарт, перфолент, магнитных лент и барабанов. В качестве примеров таких А. наряду с вычислительными можно указать металлорежущие, ткацкие, полиграфич. Для обширного круга А. объем аналоговой информации, заложенной при их проектировании, в сумме с цифровой или аналоговой информацией, вводимой при их наладке и настройке, достаточен для реализации заданной программы. Логич. схема таких А. предельно проста, независимо от их структурной или конструктивной сложности. Поток информации через их механизмы и устройства движется как бы в одном направлении.

Блок-схема А. этого класса показана на рис. 1. Блок программы объединяет механизмы

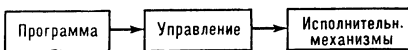


Рис. 1. Блок-схема разомкнутой системы управления.

и устройства А., с помощью к-рых вводится программа и считывается информация. Так, если программой служит кулачок или набор кулачков, то блок программы представляет собой кулачковый вал вместе с механизмами его привода и системой толкателей и рычагов, считывающих информацию. При цифровом задании блок программы образуют лентопротяжные устройства, приемники перфокарт, а также наборы магнитных головок, фотоэлементов, игл, шупов и др. устройств считывания. Для торгового А., отпускающего спички, напирсы, газированную воду, программой служит монета или жетон, а в блок программы входят все устройства, определяющие вес и размеры монеты или жетона.

Информацию, полученную в блоке программы, далеко не всегда удается использовать непосредственно. Предварительно приходится произвести ее передачу и перекодирование в форму, удобную для управления источниками энергии и исполнит. механизмами. С этой целью приходится преобразовывать дискретные сигналы в непрерывные величины, вращательные движения — в поступательные, осуществлять прямые и обратные преобразования электрич. импульсов, механич. перемещений, давлений жидкости, газа, электрич. напряжений. Механизмы и устройства А., выполняющие основные операции переработки информации, составляют блок управления А. Механизмы и устройства, обеспечивающие реализацию команд, поступающих из блока управления, составляют блок исполнит. механизмов.

Разомкнутая блок-схема, показанная на рис. 1, лежит в основе многих А. различных конструкций и функционального назначения. Как правило, программа их действия задается и реализуется механич. цепями, либо задается в цифровом виде и реализуется устройствами дискретного действия. В процессе работы перерабатывается и используется один поток информации, текущий от программы к исполнит. механизмам. Целесообразно по этому признаку объединить все А. подобного типа в один класс.

На рис. 2 представлена схема копировального станка с механич. управлением для шлифования кулачковых автомобильных двигателей. Носителем программы служит копир. Информация считывается и реализуется ме-

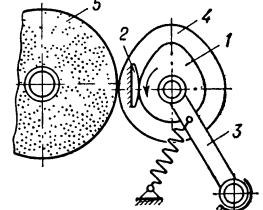


Рис. 2. Копировальный станок для шлифования кулачковых автомобильных двигателей. Копир 1 и обрабатываемое изделие 4 укрепляются на одной оси в начальной люльке 3 и приводятся во вращение. При этом копир, опираясь на упор 2, перемещает изделие относительно шлифовального круга 5.

ханич. передач, обеспечивающей заданное программой движение заготовки относительно

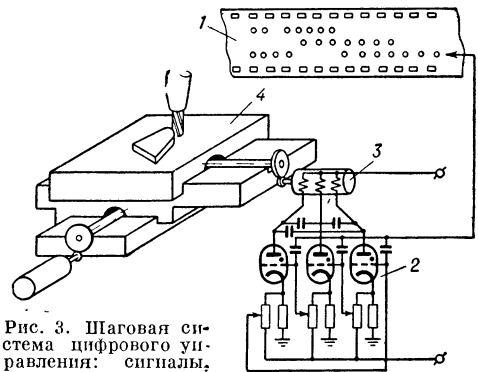


Рис. 3. Шаговая система цифрового управления: сигналы, считанные с программы 1, поступают в блок управления 2, к-рый переключает обмотки шагового двигателя 3, приводящего в движение стол 4 станка.

шлифовального круга. На рис. 3 представлена схема станка, оснащенного шаговой системой цифрового управления. Здесь програм-

ма работы, заданная в цифровом виде, реализуется электромеханич. устройством — шаговым двигателем — в виде совокупности дискретных шаговых перемещений, постоянных по величине и модулированных по частоте.

По простой разомкнутой схеме работают далеко не все А. Для многих А. информации, заложенной при проектировании и вводимой при наладке, недостаточно, чтобы реализовать заданную программу. Логич. схемы таких А. предусматривают автоматич. сбор дополнит. информации непосредственно в ходе выполнения рабочего процесса. Способы получения дополнит. информации связаны с измерениями размерных, кинематич., динамич., температурных, электрич. и др. параметров отдельных узлов А. и его звеньев, окружающей среды, обрабатываемых заготовок, обработанных участков изделий. Дополнит. информация может собираться, передаваться и использоваться как в аналоговой, так и в цифровой формах.

Наличие того или иного источника дополнит. информации неизбежно связано с возникновением дополнит. автономных потоков информации, с необходимостью механизировать процессы их передачи и переработки и, как следствие, с усложнением логич. схемы А. Поэтому в основу классификации А. должны быть положены информационные признаки, непосредственно связанные с логич. схемой, числом потоков информации, циркулирующих через его механизмы и устройства, с возможным их комбинированием и использованием в соответствии с назначением А.

В следующем, более высоком классе должны быть объединены А., построенные на использовании двух автономных потоков информации. В этот класс, в частности, входит А., действующий по замкнутой схеме (рис. 4),



Рис. 4. Блок-схема замкнутой системы управления.

при к-рой одним из источников информации служит исходная программа, вводимая в А. извне, а вторым источником — устройство, измеряющее те или иные параметры отдельных звеньев А. или обрабатываемого изделия. Это

устройство, совместно с устройствами, передающими информацию в блок управления, образует блок обратной связи.

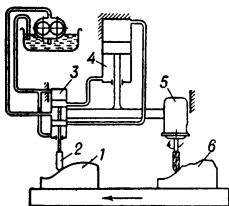


Рис. 5. Гидрокопировальный автомат: копир 1 упирается на столе станка. Перемещение шупа 2 с золотником 3 изменяет подачу масла в силовой цилиндр 4 привода фрезерной головки 5, заставляя ее двигаться на изделие 6 или от него. Движение фрезерной головки продолжается до тех пор, пока связанный с ней корпус золотника не перекроет доступ масла к силовому цилиндру.

Примеры А. этого класса показаны на рис. 5—9. На рис. 5 приведена схема гидрокопировального станка. Программой служит копир 1. Слежение фрезерной головки 5 за дви-

жением шупа 2 достигается благодаря наличию обратной связи между движением поршня силового цилиндра 4 и движением корпуса золотника 3.

На рис. 6 приведена замкнутая схема цифрового управления фрезерным станком. Здесь

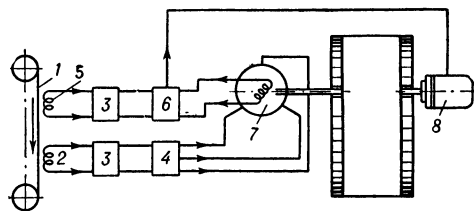


Рис. 6. Замкнутая система цифрового управления: сигнал опорной частоты, считанный с программы 1 магнитной головкой 2, после усилителя 3 и преобразователя 4 подается в обмотки статора сельсина 7. Сигнал управления, считанный магнитной головкой 5, после усиления подается на вход фазового индикатора 6; на другой его вход подается напряжение, генерируемое в роторе сельсина 7 обратной связи. Сигнал рассогласования, пропорциональный разности фаз напряжений, используется для управления двигателем 8 привода станка.

программа задается в цифровом виде. В блоке управления эта информация преобразуется в аналоговую форму и поступает по цепи обратной связи от датчика, измеряющего перемещение стола, несущего заготовку.

Не все А., работающие с использованием двух потоков информации, действуют по обычной замкнутой схеме. На рис. 7 представлена

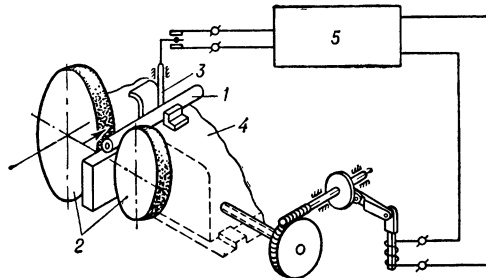


Рис. 7. Бесцентровошлифовальный автомат с подналадкой: размеры обрабатываемого изделия 1 измеряются шупом 3. Из блока управления 5 подается сигнал на подналадку, осуществляемую перемещением бабки 4, несущей шлифовальные круги 2.

схема шлифовального А. с подналадывающим устройством. Автоматизация рабочего цикла здесь осуществлена по разомкнутой схеме. При этом результаты измерения не используются непосредственно для выработки управляющего сигнала. Только когда размеры изделия выходят за пределы, оговоренные допуском, включается подналадочное устройство, устраняющее опасность возникновения брака.

Источником второго потока информации могут служить результаты измерений заготовки. Соответственно модифицируется логич. схема А. На рис. 8 представлена схема балансирующего А., состоящего из двух агрегатов — балансирующей машины и сверлильного станка. Программа работы сверлильного станка определяется информацией, полученной в результате динамич. измерений балансируемой детали. Для сверлильного станка

эта деталь является заготовкой, и по результатам ее измерений автоматически устанавливается расположение сверл и глубина сверления. Та же логич. схема положена в основу А. для сборки шарикоподшипников (рис. 9).

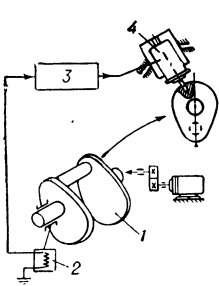


Рис. 8.

Рис. 8. Балансировочный автомат: в процессе вращения балансируемого изделия 1 специальным датчиком 2 измеряется дебаланс. Информация с датчика поступает в блок управления 3; в соответствии с генерируемой там программой работает сверлильный агрегат 4, устраняющий дебаланс.

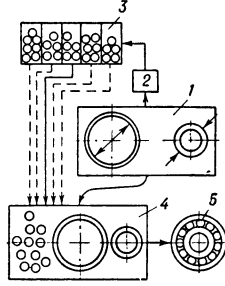


Рис. 9.

Рис. 9. Автомат для сборки шарикоподшипников: в блоке измерений 1 измеряются диаметры колец. Полученная информация поступает в блок управления 2. В соответствии с результатами измерений из бункера 3 вызываются шарiki определенного размера, поступающие в блок 4 исполнитель. механизмов, осуществляющих сборку подшипника 5.

Заготовками для него служат наружные и внутр. кольца. В соответствии с результатами измерения этих заготовок на сборку вызывается группа шариков определенного размера.

Как видим, использование второго потока информации значительно расширяет возможности А., позволяет выдерживать заданную программу при отсутствии в А. жестких передач (системы с обратной связью), обеспечивает устойчивое ведение заданного процесса (системы с подналадкой), сообщает А. свойство выбора оптимальной программы из заданной совокупности (системы с измерением заготовок).

Подавляющее большинство совр. А. относится либо к первому, либо ко второму классу. Однако можно указать ряд важных процессов, реализация к-рых требует применения А. более высокого класса. Оказывается необходимым, чтобы А. обладал свойством запоминать и обобщать опыт своей работы, целесообразно его использовать, вырабатывая некую оптимальную программу, к-рая непрерывно изменялась бы в соответствии с изменяющимися условиями работы А. Автоматы, обладающие такими свойствами, иногда называются самонастраивающимися (см. *Самонастраивающаяся система*), а соответствующие их блоки — блоками самонастройки и оперативной памяти (см. *Запоминающее устройство*) (рис. 10).

Для самонастраивающихся А. заданная извне расчетная программа определяет лишь конечную цель работы, в то время как фактич. программа действия А. поступает из блока оперативной памяти, к-рый становится автономным источником информации. Применительно к таким А. можно говорить о трех потоках информации, поступающих из блоков программы, измерений и оперативной памяти. Увеличение числа источников и, соответственно, числа потоков информации, перерабаты-

ваемой А., ведет к значит. расширению функциональных возможностей А., сообщает ему новые свойства, обеспечивающие стабильное выполнение оптимальной программы.

Самонастраивающиеся А. — лишь один из примеров использования трех источников и трех потоков информации. Несомненно, что

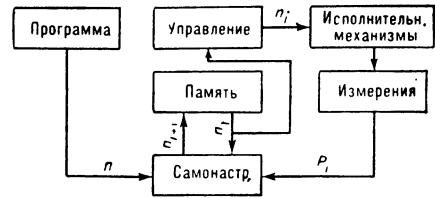


Рис. 10. Блок-схема самонастраивающейся системы управления: при обработке i -го изделия используется текущая программа n_i . Одновременно в блоке самонастройки вырабатывается усовершенствованная программа n_{i+1} для обработки $(i+1)$ -го изделия. При этом используется расчетная программа n и результаты P_i измерений i -го изделия. Программа n_{i+1} хранится в блоке памяти. Система работает с тремя потоками информации: n, n_i, P_i .

А. могут и будут оперировать с большим числом источников и потоков информации. Соответственно будет повышаться класс этих А.

Информационный подход может быть использован не только для построения классификации А., но также и для выработки качественных и количественных критериев, которые позволяют объективно оценивать степень совершенства и эффективности А.

А. Е. Кобринский.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РАБОТ (automatic data processing; automatisation de traitement d'information; automatisierung der datenverarbeitung) — см. *Научно-технической информации обработка, Информационная машина*.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ режимов энергосистем [automatic research (testing) of power system behaviour; automatisierung d'analyse des régimes dans les réseaux électriques; automatische Analyse der Betriebszustände in Energieversorgungsbetrieben] — применение специальных средств, эксперимента и вычислительной техники для изучения работы энергосистем. Чисто аналитическое (ручное) исследование работы сложной электрич. системы встречает практически непреодолимые трудности, разрешение к-рых идет по пути автоматизации, заменяющей вычислит. работу человека (полностью или частично) экспериментированием на спец. установках-моделях или проведением расчета на вычислит. машинах. При А. и. применяются *цифровые вычислительные машины*, математич. модели, расчетные модели (столы) перем. и пост. тока, а также моделирование физическое (электродинамическое). Построение моделей, равно как и программирование расчетов на вычислит. машинах и расчетных столах, облегчается логич. моделями, к к-рым относятся различные схемы замещения и наглядные аналоги, отображающие математически описанные явления, происходящие в элементах электрич. систем (схемы замещения генераторов, двигателей, тр-ров, линий передач и т. д.).

Анализ режимов и процессов в энергосистемах производится для решения задач, возникающих при: 1) создании и уточнении теории сложных автоматизированных электрич. систем; 2) проектировании систем и планировании их работы (экономич. исследование развития систем, распределение нагрузок, определение потерь в цепях, расчеты переходных процессов и устойчивости систем, исследование работы электрич. и механич. оборудования, определение параметров линий электропередач и влияния их на провода связи, определение радиопомех и т. д.); 3) текущих эксплуатационных расчетах; 4) частичном автоматич. регулировании и управлении; 5) полностью автоматич. управлении.

Средства исследований. Физические модели (ФМ) (о ФМ см. также *Моделирование*). ФМ могут быть полными или неполными. В полных ФМ подобие происходящих явлений обеспечивается как во времени, так и в пространстве. Пример полного физич. подобия — модель мощного генератора, построенная с уменьшением размеров, но при сохранении геометрии, подобия и при одновременном обеспечении подобия магнитных и электрич. полей в пространстве и при подобном протекании процессов во времени. В неполных ФМ подобие процессов выполняется или только во времени, или только в пространстве. Так, в модели полюсов электрич. машины протекание процесса во времени не воспроизводится, но создается подобное распределение магнитного поля.

Совр. ФМ электрич. или электроэнергетич. систем относятся к неполным моделям. Они дают подобное изменение токов, напряжений, мощности во всех элементах, к-рыми изображены соответствующие силовые и регулирующие элементы электрич. системы, но не дают подобного распределения электрич. и магнитных полей в каждом из этих элементов.

На ФМ электроэнергетич. систем генераторы мощных станций заменяются генераторами меньшей мощности, первичные двигатели (гидро- и турбоагрегаты) — либо аналогичными двигателями меньшей мощности, либо электрич. двигателями со специально подобранными хар-ками, отражающими действующую зависимость вращающего момента от скорости. Линии передачи, как правило, выполняются цепочками из индуктивностей и емкостей. Обычно часть регулирующих устройств моделируемой системы (генераторов, синхронных компенсаторов, первичных двигателей и т. д.) устанавливается натуральными, а часть — моделированными.

ФМ выполняются как на той же частоте, что и исследуемая система, так и на более высокой (100—500 *гц*). К достоинствам ФМ, кроме принципиально важной возможности — изучения физики процесса, относится также возможность непосредств. подключения к ним исследуемой аппаратуры (наладка, настройка и т. д.), причем изучение работы аппаратуры происходит в условиях, близких к производственным; недостатками ФМ являются трудность изменения параметров и сравнительно высокая стоимость.

Математические модели (ММ) (см. также *Моделирование*). Примером может служить модель маятника, в к-рой маятник представлен электрич. контуром емкости, индуктивности и активного сопротивле-

ния. Для количеств. анализа — расчетов электросистем — непрерывные модели-аналоги не применяются, они используются преимущественно как демонстрационные. Расчет электросистем ведется на структурных ММ, в элементах к-рых создаются процессы, равносильные математич. действиям дифференцирования, деления, сложения, интегрирования и т. д. После соединения в определен. последовательности этих решающих элементов структурная ММ на своем «выходе» (обычно экран осциллографа) дает решение дифференц. ур-ния, описывающего тот процесс, к-рый подлежал изучению. Структурные ММ могут быть чисто электрическими или смешанными, содержащими, кроме того, механич. и электромеханич. элементы, а также чисто механическими (напр., механич. интеграторы). В электрич. ММ обычно применяются стандартные *операционные усилители* пост. тока. Однако для расчетов режимов электрич. систем более удобны структурные ММ, работающие на перем. токе. Для этого создаются спец. усилители перем. тока или используются усилители пост. тока с расширенной зоной пропускания определ. диапазона частот перем. тока. Преимуществом последнего вида моделей является возможность непосредственного (без преобразователя) присоединения их к модели электрич. сети, выполненной в виде сосредоточенных полных сопротивлений или в виде цепочечных схем замещения.

Электрич. структурные ММ разделяются на модели общего применения (универсальные) и специализированные, предназначенные исключительно для исследования режимов систем. На специализиров. моделях генераторы электрич. систем воспроизводят не только с помощью операц. усилителей, но и схемами замещения.

К ММ специализиров. типа относятся широко распространенные статические расчетные модели (РМ) или расчетные столы пост. и перем. тока. РМ оформляются в виде стенда, позволяющего быстро собирать схемы, являющиеся аналогом электрич. сетей. При изображении на РМ, выполненной на активных сопротивлениях, электрич. сетей перем. тока сопротивления РМ могут являться аналогом реактивных сопротивлений действит. системы, активными сопротивлениями к-рой при этом пренебрегают. Расчеты в этом случае производятся только для чисто активных или только чисто реактивных составляющих токов или мощностей. Иногда расчет ведется при изображении активными сопротивлениями модели полных сопротивлений сети перем. тока. Искусственно, с помощью т. н. метода расщепления схемы, расчеты на такой модели позволяют получить распределение как активных мощностей или составляющих тока, так и реактивных.

Любые РМ, выполненные на активных сопротивлениях, не позволяют получить фазовые сдвиги между напряжениями и токами. Поэтому, независимо от рода питания (пост. или перем. ток), такие РМ наз. столами пост. тока. Действие регулирующих устройств в РМ пост. тока отражается изменением подведенного напряжения питания или изменением сопротивлений, изображающих генераторы, тр-ры или нагрузку.

РМ перем. тока выполняются на полных сопротивлениях с отдельно регулируемые у них реактивными и активными составляю-

щими. Источник напряжения в таких РМ регулируется как по величине, так и по фазе. Распределение полных токов, мощностей и напряжений или их активных и реактивных составляющих определяется одновременно с помощью спец. приборов, замеряющих величину и фазу соответствующего вектора. Источниками напряжения перем. величины и фазы, имитирующими генераторы, служат или потенциал-регуляторы и фазо-регуляторы, или т. н. трансформаторы фазы, позволяющие изменять подводимое напряжение по величине и фазе. Действие регулирующих устройств отражается или упрощенно — поддержанием во время расчета нек-рой заданной величины, или воспроизведением определ. хар-к регулятора, или, более точно, отражением действия регулятора в системе ур-ний, описывающих изучаемый процесс.

На РМ перем. тока производятся разнообразные расчеты режимов электрич. систем (как установившихся, так и переходных). Особенно широко РМ перем. тока применяются для исследования переходных процессов, расчета устойчивости, токов кз, динамич. перенапряжений, определения условий действия релейной защиты. При исследовании процессов, протекающих во времени, расчеты ведутся методом последоват. интервалов (числ. интегрирование, приспособленное к условиям РМ): все время, на протяжении к-рого изучается явление, разбивается на интервалы, настолько малые, чтобы в каждом из них высшую производную наиболее существенной исследуемой величины можно было принимать постоянной (напр., ускорение при расчетах динамич. устойчивости). Переход от интервала к интервалу осуществляется в обычных неавтоматизиров. расчетных столах вручную (после вычисления величин, характеризующих изменение режима).

Наряду с неавтоматизированными применяются и автоматизиров. РМ перем. тока. Автоматизация в простейшем случае заключается в воспроизведении нелинейных хар-к нагрузки, а в более сложном — в создании автоматически управляемых генераторных станций. Последние воспроизводят протекание переходного процесса без применения метода последоват. интервалов и корректировки человеком в каждом интервале режима электромагнитного и электромеханич. аналога (потенциал-регулятора, тр-ра фазы), изображающего на модели реальный агрегат, состоящий из генератора, первичного двигателя и регулирующих устройств.

Автоматизация РМ идет по пути: а) создания различных электромеханич. устройств, воспроизводящих операции, к-рые выполнял человек при управлении неавтоматизированной РМ; б) присоединения к РМ перем. тока электрич. схем замещения, автоматически воспроизводящих ур-ния генератора или нагрузки; в) присоединения к РМ операц. усилителей пост. тока, обрабатывающих решение соответствующих ур-ний и вводящих его через преобразователь в РМ электрич. сети, к-рая изображается полными сопротивлениями; г) присоединения к РМ перем. тока ЦВМ, решающей ур-ния автоматизиров. элемента.

ФМ имеет много общего с ММ. Так, в обоих случаях применяется теория подобия, к-рая, вскрывая зависимость качеств. стороны явления от его количеств. стороны, позволяет

закономерно изменять размеры объекта исследования и его природу. Различие между ними прежде всего в том, что ФМ имеют гл. целью нахождение или уточнение с помощью эксперимента законов явлений, происходящих в сложной регулируемой электрич. системе, проверку теории критерием практики. ММ имеют целью решение ур-ний, описывающих процесс. Оно производится на основе уже составленных дифференц. ур-ний; эксперимент играет в ММ обычно второстеп. роль — средства, заменяющего математич. операции.

Методы ФМ и ММ не могут быть резко разграничены и, тем более, не могут рассматриваться как противоречащие друг другу: эксперимент. изучение облегчается ФМ, помогающими довести исследования до вывода дифференц. ур-ний, описывающих явления. Трудности, возникающие при интегрировании этих ур-ний, облегчаются ММ. В отдельных случаях ФМ могут рассматриваться как средство решения ур-ний (однородные непрерывные интеграторы), а ММ — как средство проведения экспериментов (напр., при присоединении к ММ реальных регулирующих устройств для наблюдения за их функционированием, для их отладки и т. д.).

Быстродействующие ЦВМ получают широкое применение в энергетике: 1) для расчетов режимов и переходных процессов при научных и проектных исследованиях, при текущем (типовом) проектировании новых энергетич. систем и их оборудования; 2) при эксплуатац. расчетах режимов систем; 3) для экономического, перспективного и текущего анализа работы энергосистем и их элементов; 4) для регулирования и управления.

Необходимость подсчета большого количества различных вариантов при решении задач перспективного развития энергосистем делает ЦВМ осн. средством отыскания оптим. решений. Все шире применяются ЦВМ для расчетов экономич. распределения активной мощности между станциями и агрегатами, для расчета распределения реактивной мощности между ее источниками, для установления потоков мощности в элементах системы при различных ее режимах. Расчеты потерь активной и реактивной мощности в сложных сетях и их относит. приростов при отыскании оптимальных (в смысле минимума потерь) вариантов, видимо, окажется возможным проводить только на ЦВМ.

Применение ЦВМ для непрерывного управления режимами требует решения типичных задач кибернетики: получения, передачи и переработки по соответствующим закономерностям информации и создания на основе этой переработки системы управления, работающей в соответствии с командами, выдаваемыми ЦВМ. Внедрение ЦВМ для управления режимами энергосистем распадается на три этапа. 1) Косвенное введение машины в процесс управления в качестве расчетного средства, обеспечивающего быстрый технико-экономич. анализ режимов систем. Здесь машина выступает в роли советчика, повышающего оперативность работы персонала. 2) Непосредств. участие машины в процессе управления: получаемые в итоге проведен. анализа результаты передаются из машины на установки, воздействующие на силовые и регулирующие элементы системы. Это воздей-

ние происходит относительно медленно во время установившегося режима, непрерывно корректируемого так, чтобы была обеспечена его оптимальность. 3) На третьем этапе электронные управляющие машины должны будут непосредственно реагировать не только на параметры установившегося режима и корректировать его, но и на параметры переходного процесса, протекающего в системе с большой скоростью. ЦВМ сверхбыстрого действия, проводящие анализ переходных процессов в системе и предсказывающие по информации, получ. в нач. стадии процесса, дальнейшее его протекание, могут давать управляющие указания регулирующим устройствам для проведения оптим. аварийного и послеаварийного регулирования. В этом случае скорость действия машины должна быть такой, чтобы получаемая информация обрабатывалась за время, меньшее, чем время протекания переходного процесса в системе.

Одним из применений ЦВМ являются цифровые модели электр. систем. Они содержат ЦВМ, работающие по программе, являющейся логич. моделью изучаемого физич. процесса, а также устройства для введения в машины информации и для вывода ее в виде непрерывно изменяющихся величин. Такая комбинация устройств, получающих непрерывно сведения о том или ином явлении и непрерывно выдающих данные, характеризующие конкретный процесс, позволяет рассматривать этот процесс, заканчивающийся получением данных относительно физич. хар-ки, как нек-рую условную модель процесса. В этой модели могут быть отражены различные влияния внешней среды путем введения вероятностных факторов, и, таким образом, эта модель может учитывать большое количество различных исходных факторов. Однако считать моделью такую установку можно только условно.

Лит.: Веников В. А., Электромеханические переходные процессы в электрических системах, М.—Л., 1958; его же, Применение теории подобия и физического моделирования в электротехнике, М.—Л., 1949; Каган Б. М. и Тер-Миназян Т. М., Решение инженерных задач на автоматических цифровых вычислительных машинах, М.—Л., 1958; Тетельбаум И. М., Электрическое моделирование, М., 1959. В. А. Веников.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ (automatic programming; programmation automatique; traduction automatique du programme; Selbstprogrammierung, automatisiertes Programmieren) — разработка методов автомат. составления программ или решения задач на ЦВМ по информации, записанной в сокращенном виде на нек-ром формальном языке. Специфика ЦВМ состоит в том, что составление программ для них не может быть непосредств. переводом алгоритма решения задачи на язык (систему команд) этих машин. На машинном языке записываются расширенные алгоритмы (эсн. частью расширения являются операторы, обеспечивающие циклич. повторное применение нек-рых частей алгоритма к последовательностям аргументов). В связи с этим программирование распадается на два этапа: 1-й этап — составление расширенного алгоритма по заданному исходному (т. е. по схеме счета) и запись его на нек-ром языке (такая запись наз. схемой программы); 2-й этап — перевод расширенного алгоритма на язык машины, т. е. построение программы по данной ее схеме.

Автоматизировать можно как программирование в целом, так и любой из его этапов. Для всякой А. п. необходимо решение след. трех проблем: «а» — строгое определение формы, в к-рой задается исходная информация и выдается результат. Для 1-го этапа это означает, что должны быть разработаны формы записи схем счета и схем программ, для 2-го этапа достаточно формализации записи схем программ, т. к. форма записи программ определяется кодом команд ЦВМ, для к-рой составляется; «б» — разработка алгоритмов получения программы по схеме счета или схеме программы; «в» — программирование этих алгоритмов в коде ЦВМ, предназначенной для А. п. Обычно это бывает та же самая ЦВМ, на к-рой впоследствии будет выполняться получ. программа.

Методы А. п. различаются решением проблемы «а». Внутри каждого метода для различных систем А. п. возможно разное решение проблем «б» и «в». При решении проблемы «а» стараются выбрать максимально удобный язык (как правило, наиболее близкий к обычному математич. описанию) из всех, для к-рых можно решить проблему «б». Т. о., проблемы «а» и «б» обычно решаются совместно. Программирование разработанных алгоритмов принципиальных трудностей не содержит. А. п., имеющая целью составление программы, к-рая впоследствии будет выполняться ЦВМ, наз. компиляцией (см. *Компиляция метод*). А. п., имеющая целью непосредств. решение задачи на ЦВМ по информации, записанной на нек-ром входном языке, наз. интерпретацией (см. *Интерпретация метод*).

В случае интерпретации во время решения задачи в ЗУ ЦВМ наряду с исходной информацией находится и спец. программа (интерпретирующая система), к-рая каждый раз определяет, какое действие нужно выполнить в данный момент, и организует его выполнение. Интерпретация существенно проще компиляции, не требует расширения алгоритма. Поэтому она допускает значительно более удобные формы записи входной информации. Однако интерпретация в чистом виде употребляется крайне редко, т. к. она в десятки и сотни раз увеличивает время решения задачи на машине. Это время можно значительно сократить при применении комбинации метода, когда по отдельным, возможно более крупным, частям алгоритма компилируются программы, а интерпретирующая система работает только на стыке этих программ, т. е. достаточно редко.

Тот или иной метод А. п. оценивается по тому, насколько он удовлетворяет двум осн. требованиям: 1) достаточно широкий класс алгоритмов просто, удобно и коротко описывается в установленной этим методом форме; 2) для компилирующего метода — окончательно получаемая программа значительно отличается по числу команд и тактов (необходимых для ее выполнения) от программы, к-рую можно было бы получить при тщательном ручном программировании. Для метода интерпретации или комбинации метода — время, затрачиваемое на работу собственно интерпретирующей системы, мало по сравнению с общим временем решения задачи на ЦВМ. Кроме того, для компилирующих методов имеет значение время работы компилирующих алгоритмов. Оно должно быть, по возможно-

сти, меньшим, но не в ущерб упомянутым двум осн. требованиям (1 и 2).

Для автоматизации 2-го этапа программирования имеется много различных систем, ибо этот этап представляет собой переход от одной записи расширенного алгоритма (схемы программы) к др. записи того же самого алгоритма (программе) и, следовательно, он формализуется значительно проще, чем 1-й этап. Кроме того, 2-й этап содержит наиболее трудоемкую и непривычную для человека часть работы по программированию. Схема программы состоит из операторов программы, к-рые необходимо выполнять в определ. порядке. Формализовать запись схемы программы значит определить, какие операторы можно употреблять и как их нужно описывать. Два следующих метода получили наибольшее распространение: *библиотечных подпрограмм метод* и *программирующих программ метод*. Идея первого состоит в том, что один раз составленная группа команд (подпрограмма) используется многократно в различных программах. Для подпрограмм обычно создается библиотека, в которой они хранятся вместе с описаниями вычисляемых ими ф-ций и правилами пользования подпрограммами (см. *Библиотека подпрограмм*). Подпрограммы должны иметь стандартную организацию, в частности должны быть написаны так, чтобы их можно было подготовить к работе на любом месте ЗУ ЦВМ. Такая подготовка, как правило, предшествует применению любой подпрограммы (см. *Конкретизация стандартной программы*). Если хранить библиотеку в ЗУ машины и считать подпрограммы из библиотеки операторами, допустимыми в схеме программы, то нетрудно автоматизировать составление программ по данной схеме. Для этого составляются программы, к-рые находят в библиотеке нужные стандартные подпрограммы и затем их объединяют (компонуют) в готовую программу согласно схеме. Сама по себе система автоматич. компоновки стандартных подпрограмм несложна, и ее ценность незначительна по сравнению с библиотекой подпрограмм, тщательно составленной вручную и часто достигающей больших размеров. Наряду с компилирующими употребляются и интерпретирующие системы, которые находят стандартные подпрограммы, размещают и конкретизируют их по мере того, как они оказываются нужными для осн. программ. Применимость метода стандартных подпрограмм ограничивается библиотекой. Обычно программа наряду со своей стандартной частью, состоящей в вычислении часто встречающихся ф-ций, содержит нестандартную, индивидуальную часть; для реализации последней приходится составлять спец. подпрограммы, к-рые не были нужны раньше и не будут нужны в будущем. Т. о., в методе стандартных подпрограмм приходится либо описывать операторы при помощи команд ЦВМ, либо ссылаться на описания, сделанные раньше.

Можно использовать более короткие и удобные способы описания операторов и составить алгоритмы для переработки этих описаний в группы команд, т. е. для перевода их на «язык машины». В этом и состоит идея метода программирующих программ. Операторы схемы программы делятся на группы в зависимости от ф-ций, выполняемых ими в программе. Операторы одной группы реализуют счет по

различным ф-лам; в др. группу входят операторы, выбирающие дальнейший путь вычислений, в третью — операторы переадресации, и т. д. Для операторов, относящихся к одной группе (операторов одного типа), выбирается наиболее удобная форма описания, по к-рой можно построить соответствующие этим операторам группы команд. Для переработки описания операторов каждого типа составляются спец. алгоритмы. Набор таких алгоритмов определяет набор типов операторов, допускаемых в схемах программ при использовании метода программирующих программ. Операторы редко встречающихся типов, для к-рых не составлено спец. алгоритмов, можно описывать в виде групп команд ЦВМ. Такие операторы наз. нестандартными. Обычно программирующие программы допускают 5—10 различных типов операторов.

С точки зрения применения метод программирующих программ более универсален, чем метод стандартных подпрограмм. Существующие наборы типов операторов обеспечивают удобное описание гораздо более широкого класса задач, чем библиотеки стандартных подпрограмм. Каждая стандартная подпрограмма решает одну определ. задачу (может быть зависящую от неск. параметров). При помощи операторов определ. типа можно задавать программы для решения любой задачи из какого-то класса задач. Напр., можно написать стандартную подпрограмму для вычисления по нек-рой определенной ф-ле, но нельзя этого сделать для вычисления по любой ф-ле. Это объясняется тем, что в методе стандартных подпрограмм задаются сами работающие программы, в то время как в методе программирующих программ — способы их получения. В этом смысле метод стандартных подпрограмм — частный случай метода программирующих программ, когда способ получения задан как простое соответствие, т. е. по имеющейся исходной информации нужно только выбрать соответствующую ей стандартную программу. Однако в этом случае существенно сокращаются как сама исходная информация, так и работа по получению соответствующей программы. В связи с этим последние программирующие программы, как правило, допускают использование стандартных подпрограмм (обычно в качестве нестандартных операторов).

Э. З. Любимский.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН (automatic machine design; élaboration automatique des projets de machine; Automatisierung der Maschinenprojektierung) — см. *Синтез автоматический*.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭВМ (automatic design of electronic computers; automatisation d'élaboration de projet de calculatrice électronique; Automatisierung der Projektierung von elektronischen Rechnern) — использование существующих ЭВМ для выполнения трудоемких работ, связанных с разработкой новых вычислит. машин. Осн. области А. п. ЭВМ, получившие практич. применение: а) моделирование систем команд и структуры ЭВМ; б) моделирование логики ЭВМ; в) автоматизация расчета монтажных схем ЭВМ.

Моделирование систем команд и структуры ЭВМ проводится с целью определения рационал. системы команд, логич. структуры и основных мате-

матич. параметров проектируемой машины (разрядность, способы выполнения операций, емкости ЗУ, время обращения к различным устройствам и т. д.). Эти данные определяются применительно к тем задачам, для к-рых разрабатывается машина. Указанное моделирование позволяет также произвести проверку и отработку алгоритмов и отладку рабочих и тестовых программ до постройки и отладки самой машины и тем самым существенно сократить срок ввода в эксплуатацию новой машины. Кроме того, для специализиров. машин, имеющих для хранения программы пост. односторонние накопители, способ отладки программ методом моделирования на др. машине универс. назначения наиболее удобен и при наличии готовой машины. Спец. случай моделирования системы команд и структуры ЭВМ в реальном масштабе времени позволяет также оценить временные хар-ки работы проектируемой ЭВМ, что особенно важно для машин, предназначен. для автоматич. управления сложными динамич. системами.

Сущность моделирования системы команд и структуры ЭВМ состоит в том, что осн. структурные части моделируемой машины (оперативные ЗУ, накопители программ и констант, внешние накопители, регистры и сумматоры АУ, регистр команд, счетчик команд, индексные регистры и т. д.) представляются в моделирующей машине определ. областями или отдельными ячейками ее ЗУ, а процессы передачи информации и выполнения команд в моделируемой машине реализуются при помощи отдельных команд или спец. программ моделирующей машины.

Назовем моделирующую машину машиной А, а моделируемую — машиной В. Оперативное ЗУ машины А при решении задач моделирования делится, как правило, на три характерные области: а) область, в к-рой размещается моделирующая программа и относящиеся к ней константы; б) область, изображающая оперативную память моделируемой машины В. Сюда будет записываться (частично или полностью) программа машины В, информация, к-рая должна находиться в оперативной памяти машины В, и рабочие ячейки этой памяти; в) область, содержащая поля и отдельные ячейки, представляющие остальные структурные части моделируемой машины В. Т. к. объем оперативного ЗУ машины А, на к-рой проводится моделирование, как правило, не позволяет поместить в нее сразу все три указанные области полностью, то они переписываются в нее по частям из внешних накопителей, где эти области размещаются полностью. Процесс поиска и переписи нужных частей этих областей в процессе моделирования существенно усложняет моделирующую программу и увеличивает время моделирования. Поэтому моделирование сложных машин с большим объемом ЗУ на малых машинах может оказаться практически нецелесообразным.

Каждая команда машины В для своей реализации требует неск. команд и тактов работы машины А, что вместе с поисками и переписями зон памяти приводит к значит. увеличению времени моделирования по сравнению с непосредств. решением той же задачи на машине А. Соотношение этих времен может изменяться в достаточно широких пределах (от 10 до 100 раз). Напр., моделирование одной

команды программы специализиров. одноадресной машины на машине «Стрела» требует выполнения 50—80 команд и занимает 0,02 сек., а моделирование одной трехадресной команды машины «Стрела» на одноадресной машине «Урал-1» требует 2—3 сек.

Для моделирования на основе выбранных первоначально системы команд и структуры проектируемой ЭВМ составляются рабочая программа задачи и моделирующая программа. Обе программы с соответствующей информацией вводятся в машину А (на отведенные места ее ЗУ), и производится выполнение рабочей программы машины В по отдельным командам с помощью моделирующей программы. Моделирующая программа одновременно ведет учет осн. хар-к выполняемой рабочей программы (повторяемость отдельных команд и подпрограмм, частота обращений к различным ЗУ и др.) и выдает необходимые данные на печать. После выполнения рабочей программы анализируются результаты ее работы и вносятся изменения в систему команд и структуру

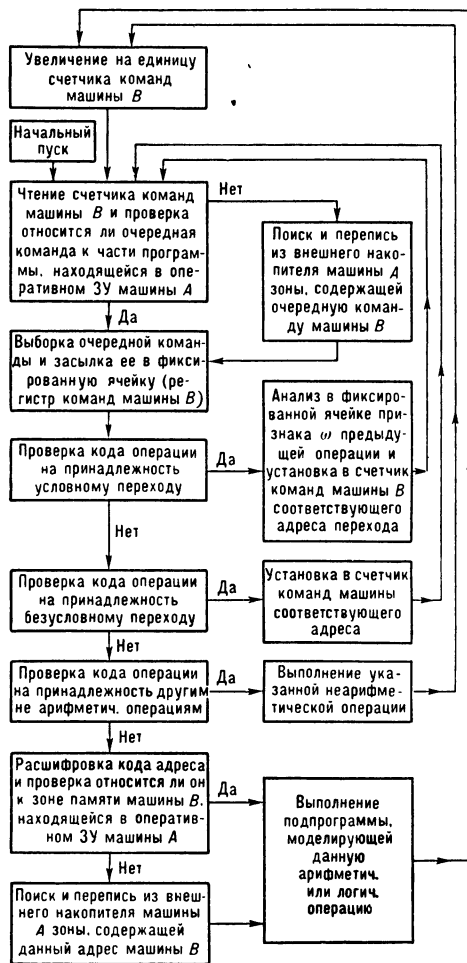


Рис. 1. Блок-схема моделирующей программы для моделирования одноадресной машины.

машины В, и процесс моделирования повторяется (частично или полностью). Моделирование заканчивается, в зависимости от поставл. цели, либо когда будут получены приемлемые

показатели системы команд и структуры машины, либо когда будут отработаны алгоритм и программа решения задачи. На рис. 1 приведена блок-схема моделирующей программы для случая моделирования одноадресной машины. На блок-схеме не показаны некоторые вспомогат. блоки (контроля переписи данных и программы, ввода, вывода и регистрации результатов моделирования и др.). Подсчет числа повторений различных команд осуществляется включением в состав подпрограмм, моделирующих эти команды, спец. счетчиков. При моделировании системы команд и структуры ЭВМ возможна различная степень детализации структуры моделируемой машины *B* с помощью программы машины *A*. Осн. критерием, определяющим степень детализации структуры машины *B* при ее программном моделировании, является требование адекватной реализации команд машины *B*, что необходимо для выполнения ее рабочей программы на машине *A*.

Моделирование логики проектируемой ЭВМ с помощью др. ЭВМ имеет целью детальную проверку всех логич. и функций. схем проектируемой машины, определение миним. состава элементов в схемах машины и выяснение осн. временных характеристик отдельных блоков и устройств и всей машины в целом.

При программном моделировании логики ЭВМ для всех элементов машины составляются характеристич. логич. ур-ния, показывающие зависимости между входными и выходными сигналами этих элементов. Кроме того, составляются логич. ур-ния связи, определяющие порядок передачи сигналов между различными элементами, блоками и устройствами машины. Совокупность таких ур-ний составляет полную систему ур-ний машины, однозначно определяющую процесс ее функционирования во времени. Напр., характеристич. ур-ния, описывающие работу статич. триггера, имеют вид:

$$H(t+1) = Y(t) \vee \overline{C}(t) \wedge H(t);$$

$$D(t+1) = \overline{H}(t+1),$$

$$O(t+1) = Y(t) \wedge C(t),$$

где *H* — нормальный (основной) выход, *D* — доп. выход, *Y* — установочный вход, *C* — вход сброса, *O* — ошибочное значение выхода. На рис. 2 показана блок-схема такого триггера, а в таблице даны зависимости

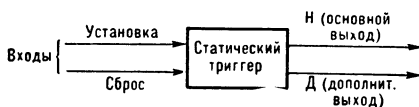


Рис. 2. Блок-схема статич. триггера.

между его входными и выходными сигналами, на основе к-рых составлены приведенные выше ур-ния.

Сигналы на входах в данный момент <i>t</i>		Сигналы на выходах в следующий момент <i>t + 1</i>	
<i>Y(t)</i>	<i>C(t)</i>	<i>H(t + 1)</i>	<i>D(t + 1)</i>
0	0	<i>H(t)</i>	<i>D(t)</i>
0	1	0	0
1	0	1	1
1	1	?	?

Логич. ур-ния связей имеют такой же вид, но являются значительно более сложными.

При моделировании логики ЭВМ принимается допущение, что состояния элементов и всей машины в целом могут изменяться только в заданные дискретные моменты времени, а в промежутках между этими моментами никаких изменений в машине не происходит. Процесс моделирования логики ЭВМ состоит в систематич. расчете для последоват. моментов времени состояний всех элементов и машины в целом. Для нач. момента моделирования задаются состояния всех элементов и значения всех внешних сигналов. Для последующих моментов времени значения внешних сигналов задаются таблицей, а внутр. сигналы получаются расчетом. Моделирование позволяет выявить ошибки в логич. и функцион. схемах, проверить выполнение всех операций и пересылку информации и сигналов.

Практич. решение полной системы характеристич. ур-ний элементов и логич. ур-ний машины, насчитывающей неск. тыс. ур-ний, представляет огромную работу и возможно только с помощью ЭВМ. Однако составление программ для моделирования логики само является весьма сложным и трудоемким делом. Для облегчения этого используются спец. программирующие программы, к-рые составляют рабочие программы моделирования логики конкретной ЭВМ на основе системы ее логич. ур-ний.

Имеются сообщения о попытках объединения моделирования системы команд и структуры машины с моделированием ее логики, что позволяет произвести полную проверку функционирования машины в комплексе и оценить временные характеристики ее работы. Однако такое объединенное моделирование чрезвычайно громоздко, требует большого машинного времени и при проектировании сложных систем пока что практически не применяется. Осн. достоинства метода программного моделирования логики: получение правильной логики проектируемой машины, соответствующей поставл. требованиям, что облегчает разработку, изготовление и наладку машины; облегчение процесса усовершенствования существующих машин за счет предварит. анализа тех или иных предполагаемых изменений логики машины; облегчение применения автоматизации для последующего составления монтажных схем и выполнения самого монтажа. В качестве примера укажем, что программа моделирования логики одноадресной самолетной машины RW-33 на машине ИБМ-704 содержала 8000 команд, а программа моделирования логики большой машины RW-400 на машине ИБМ-704 содержала 28000 команд. На моделирование логики требуется неск. десятков часов машинного времени. Подготовка и программирование (включая составление программирующей программы) занимает от неск. месяцев до года.

Автоматизация расчетов монтажных схем ЭВМ имеет целью, с одной стороны, сокращение огромного объема ручной работы по оформлению технич. документации, связанной с разработкой современных ЭВМ, и, с другой, — повышение качества монтажа за счет макс. сокращения длины монтажных проводов и уменьшения их взаимного влияния. Автоматизация расчетов мон-

тажных схем и последующая автоматизация монтажа применяются при модульном построении ЭВМ, когда стандартизованы элементы и блоки машины, расположение контактов и направления прокладки монтажных проводов или печатных схем. Расчет монтажной схемы, требующий месяца работы инженера, выполняется машиной за один час, при предварит. подготовке данных для ввода в течение 16 час.

А. И. Кумос.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА (automation, process control; automatisation industrielle, automatisation des processus industriels, automatisation des processus de fabrication, automatisation de production; industrielle Automatisierung, Automatisierung der Fertigungsvorgänge, Automatisierung der Produktionsgänge, Automatisierung der Produktionsabläufe) — этап машинного производства, характеризуемый освобождением человека от непосредств. выполнения функций управления производств. процессами и передачей этих функций автоматич. устройствам. При А. п. процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации выполняются автоматически.

В СССР «Автоматизация и комплексная механизация служат материальной основой для постепенного перерастания социалистического труда в труд коммунистический» (из Программы КПСС). В капиталистич. странах А. п. означает дальнейшее усиление эксплуатации трудящихся, рост безработицы и ухудшение положения рабочего класса.

Технич. прогресс характеризуется непрерывным расширением А. п. — от частичной автоматизации, т. е. автоматич. выполнения отдельных производств. операций, к комплексной автоматизации, от комплексной — к полной автоматизации со все большим переходом к цехам- и заводам-автоматам, обеспечивающим наивысшую технико-экономич. эффективность. Важнейшим критерием целесообразности проводимой автоматизации того или иного процесса является экономич. эффективность, поэтому осуществлению автоматизации в той или иной форме обязательно должно предшествовать экономич. исследование (см. *Экономическая эффективность автоматизации*). Обязательной предпосылкой А. п. является механизация всех основных и вспомогат. операций технологич. процесса.

Частичная автоматизация является отличит. особенностью всякого машинного произ-ва. К. Маркс указывал, что основным признаком машинного произ-ва является не то, что источником двигат. силы служит механич. двигатель, а то, что рабочая машина совершает своими инструментами те самые движения, к-рые раньше совершал рабочий. Передача машине ф-ций человека по перемещению инструментов устранила ограничения, накладываемые физич. возможностями человека на развитие произ-ва и вызвала резкий скачок его уровня и масштабов, известный как пром. переворот конца 18 в. — начала 19 в.

Для того чтобы придать предмету труда необходимые свойства, человек, говоря словами К. Маркса, должен осуществлять свою сознательную цель, к-рая как закон определяет способ и характер его действий. Способ и характер воздействий, осуществляемых человеком средствами труда на предмет труда, определяет собой понятие управления, яв-

ляющееся одним из основных моментов трудовой деятельности человека. В рамках конкретного технологич. процесса управление сводится к реализации воздействий средств труда на предмет труда в заданной последовательности. Знание этой последовательности и есть знание закона управления данным процессом. Для несложных процессов, к-рые происходят всегда при одних и тех же условиях, закон управления может быть представлен в виде совершенно определенной и неизменной программы движений орудий труда относительно обрабатываемого материала — предмета труда. К таким процессам относятся некоторые виды обработки материала резанием, что и определило первоочередное создание для этих процессов машин-автоматов циклического действия. Требуемая, циклично повторяемая программа перемещений рабочих органов такого автомата достигается при помощи кинематич. связей (кулачков, зубчатых передач и т. п.), совокупность к-рых представляет собой механич. программное управляющее устройство.

Со времени создания первых машин-автоматов А. п. непрерывно развивалась и качественно. Замена громоздкой паровой машины простым в эксплуатации и небольшим по габаритам электр. двигателем коренным образом изменила принципы действия и конструкции рабочих машин, изменила и принципы управления.

Индивидуальный привод отдельных рабочих органов машин и введение между ними электр. связей существенно упростили кинематику машин, сделали их менее громоздкими и более надежными. Будучи по сравнению с механич. связями более гибкими и удобными в эксплуатации, электр. связи позволили создать комбинированное электр. и механич. программное управление, обеспечившее автоматич. выполнение неизмеримо более сложных операций, чем на машинах-автоматах с механич. программным устройством.

В электр. системах *программного управления* требуемые положения рабочих органов машины задаются в виде совокупности значений к.-л. электр. величины (напряжения, тока, числа импульсов или их комбинаций, фазовых узлов сдвига и т. п.). Последовательность этих значений-заданий при помощи позиционеров или *следящих систем* преобразуется в последовательность соответствующих перемещений рабочих органов машины, к-рые, таким образом, «следят» за изменением задания. В простейшем виде электр. программное управление представляет собой автоматич. *блокировку электроприводов* отдельных машин, обеспечивающих их последоват. пуск и остановку, когда в процессе движения рабочие органы этих машин или обрабатываемый материал занимают определенные пространственные положения.

При электр. связях не только легко достигается требуемая последовательность движения рабочих органов, но эта последовательность и легко изменяется для перестройки рабочей машины на обработку нового изделия. Напр., металлообрабатывающий станок-автомат с электр. или электронным программным управлением может обрабатывать детали любой формы. Для перестройки такого станка необходимо лишь заменить магнитную ленту, на к-рой в виде электр. сигналов записана

программа движений рабочих органов. Электрич. программное управление может не только выполнить требуемый цикл движения рабочих органов без участия человека, но и обеспечить автоматич. начало такого цикла при выполнении определенных условий, напр. при освобождении машины от уже обработанного изделия, наличии новой порции материала и его правильном пространств. положении относительно рабочих органов. Для автоматич. выполнения такой операции машина должна быть оборудована чувствит. элементами — датчиками, контролирующими выполнение отдельных условий. Кроме того, сама система управления должна быть способна проверять совокупность выполнения этих условий, т. е. решать нек-рую логич. задачу (см. *Логическая операция*).

Программное устройство, к к-рому добавлено устройство, контролирующее состояние управляемого объекта или условия его работы, иногда наз. рефлекторным устройством, а сама машина-автомат — рефлекторным автоматом. Упомянутая программная система управления в виде автоматич. блокировки электрич. приводов также является рефлекторным автоматом. К рефлекторным автоматам относятся и разного рода автоматич. защитные устройства, служащие для защиты оборудования от аварийных режимов. Чувствит. элементы этих устройств проверяют условия нормальной работы оборудования и изменяют режим его работы, если эти условия не выполняются. Рефлекторные автоматич. устройства управления обладают избират. способностью — они избирают ту или иную последовательность в соответствии с результатами решения логич. задачи, задаваемой совокупностью начальных условий. Др. пример избирает. рефлекторного автомата — система автоматич. выбора программ обкатки металла на реверсивном стане, прокатывающем разнообразный сортамент материала. Все эти программы заранее известны и могут быть набраны в программном устройстве. Задача заключается в выборе из этого большого количества программ той, к-рая при данных размерах слитка и марки стали обеспечит достижение требуемой цели — получение слэба заданного размера. Логич. устройство программной системы управления выбирает из всей совокупности требуемую программу, по к-рой автоматически и осуществляется прокатка слитка. Различные примеры автоматич. машин и классификацию их см. в ст. *Автомат*.

Рефлекторные автоматич. устройства находят все более широкое применение для решения задач А. п., освобождая человека от ф-ций не только выполнения наперед заданных последовательностей управляющих воздействий, но и от выбора этих последовательностей в соответствии со сложившейся ситуацией.

Отличит. особенностью всех рассмотренных циклич. и рефлекторных устройств автоматич. управления является отсутствие в них связи с течением управляемого процесса. Такие устройства относятся к классу разомкнутых систем управления, т. е. систем, не получающих информации о действит. протекании управляемого процесса.

Разомкнутые системы могут широко применяться лишь для процессов, в к-рых хар-ки практически не изменяются и на к-рые не оказывают существенного действия к.-л. слу-

чайные возмущения. Для всех же остальных процессов необходимо применять замкнутые системы управления, важным классом к-рых являются системы автоматич. регулирования (см. *Регулирование автоматическое*). Основным назначением таких систем является стабилизация — поддержание на заданном уровне отдельных параметров процесса в условиях постоянно действующих возмущений, отклоняющих параметры процесса от требуемых. Автоматич. регулятор представляет собой рефлекторное устройство, активно реагирующее на отклонение стабилизируемой величины. В нем вырабатываются сигналы, изменяющие воздействие на управляемый объект так, чтобы препятствовать отклонению регулируемой величины от заданного уровня.

Выполняя свои ф-ции значительно быстрее и точнее, чем это может сделать человек, автоматич. регуляторы получили широкое распространение и обеспечили существенное улучшение технико-экономич. показателей многих производств. процессов. Они служат для поддержания постоянства напряжений генераторов, скорости двигателей, давления и темп-ры пара в котлах, толщины прокатываемой полосы в прокатных станах, темп-ры в мартеновских печах и т. д. Нет такой отрасли нар. х-ва, в к-рой не применялись бы автоматич. регуляторы — управляющие устройства систем автоматич. регулирования. В ряде случаев эти системы позволили создать новые процессы и агрегаты, к-рые не могли быть реализованы при ручном управлении (напр., атомные энергетич. установки).

Наибольшую эффективность А. п. дает именно на новых процессах, когда технологич. оборудование уже на стадии проектирования рассчитывается не на ручное, а на автоматич. управление. Примером такого процесса является непрерывная высокоскоростная прокатка, осуществление к-рой требует точного согласования скоростей отдельных клетей между собой. Исходя из физич. возможностей человека-оператора, старые станы непрерывной прокатки строились из расчета скорости прокатки порядка 4 м/сек. При этой скорости оператор стана успевал реагировать на различные возмущения, вызывавшие нарушения согласования работы отдельных клетей. Создание систем высокоточных и быстродействующих автоматич. регуляторов скорости позволило строить станы со скоростью прокатки, превышающей 30 м/сек, и тем самым обеспечить значит. экономич. эффект. Установка такой системы автоматич. регуляторов скорости на станах старой конструкции лишь облегчает работу оператора, но не дает ощутимого увеличения производительности.

Наибольший эффект от использования систем автоматич. управления достигается при комплексном охвате автоматизацией всех машин и технологич. агрегатов цеха или участка. Комплексная автоматизация значительно уменьшает влияние субъективных факторов человека (мастерство, утомляемость, строгота реагирования и т. п.) на технологич. процесс и позволяет достигнуть более ритмичной и высокопроизводит. работы.

При комплексной автоматизации весь автоматизируемый участок произ-ва должен рассматриваться как единая взаимосвязанная система, обеспечивающая выполнение требуемой последовательности отдельных опера-

ций или фаз технологич. процесса. При комплексной автоматизации отдельные автоматич. регуляторы и программные устройства должны быть связаны между собой и образовывать согласованно действующую единую систему управления, обеспечивающую требуемую совокупность воздействий. В зависимости от характера производственного процесса такая связь достигается созданием либо объединенной системы программного управления, либо комплексных систем регулирования. Примером объединенной системы программного управления служит автоматич. точная линия, в к-рой программные устройства отдельных станков-автоматов обеспечивают заданную последовательность движения своих рабочих органов, а вся совокупность этих станков, объединенных транспортными устройствами, — требуемую последовательность обработки материала на линии (см. *Автоматическая линия*).

Комплексной программной системой управления является также и современная система управления загрузкой материала в доменную печь. Программные устройства, к-рыми оборудован каждый механизм загрузки (большой и малый конусы, вращающийся распределитель, скиповая лебедка, зонды и др.), обеспечивают автоматическое выполнение заданного цикла движения каждого отдельного механизма. Очередность же работы всех механизмов задается общим программным устройством, определяющим порядок загрузки материала в печь.

Примером комплексной системы автоматич. регулирования является проходная печь для нагрева материала, оборудованная регуляторами темп-ры в рабочем пространстве и регуляторами расходов топлива и воздуха, подаваемых к горелкам печи. Нагрев материала, выходящего из печи, определяется темп-рой ее рабочего пространства, скоростью движения материала и рядом др. факторов. В свою очередь, темп-ра рабочего пространства определяется величиной расхода топлива и соотношением расходов топлива — воздуха, а также зависит от скорости движения нагреваемого материала. Задача поддержания темп-ры материала в рассматриваемом примере не может быть решена установкой отдельных, не связанных друг с другом регуляторов темп-ры и расходов. Необходимо, чтобы задание регулятору темп-ры в печи автоматически увеличивалось с увеличением скорости движения материала в печи, а задание регулятору расхода воздуха увеличивалось с увеличением расхода топлива.

Сложные задачи возникают также при создании систем управления процессами с многократным преобразованием энергии. Примером может служить доменная плавка. Здесь закон управления устанавливает совокупность требуемых значений отдельных параметров процесса (темп-ры, давления, расходов и т. п.), на каждый из к-рых действует множество возмущений, обусловленных внешними и внутренними для этого процесса факторами. Из-за чрезвычайной сложности учета этих факторов еще не создана система комплексного регулирования доменной плавки.

В этом и во многих других производств. процессах решение задач управления существенно задерживается из-за отсутствия необходимых данных для математич. описания

свойств и хар-к управляемых объектов и алгоритмов управления ими в нормальных и в аварийных режимах.

Значительно затрудняют построение систем регулирования также изменения хар-к управляемых объектов в процессе работы. Такие изменения происходят вследствие износа оборудования, варьирования свойств сырья, топлива и физич. параметров самого процесса во времени. Последнее обстоятельство особенно характерно для химич. процессов, в к-рых непрерывно изменяется энергетич. состояние материала и, напр., эндотермич. процессы чередуются с экзотермич., либо наоборот. Изменение хар-ки требует периодич. перестройки регуляторов, вплоть до изменения их структуры и закона регулирования.

Для циклич. процесса с резко меняющимися хар-ками может применяться программное изменение настройки регулятора, если заранее известно развитие процесса во времени (см. *Регулирование программное*). Однако для большинства процессов их развитие во времени не может быть определено достаточно точно. В связи с этим на человека возлагаются ф-ции анализа хода управляемого процесса, обнаружения изменения хар-к и непрерывной или периодич. подстройки систем регулирования, а также и более сложные функции — установления наиболее выгодных режимов работы оборудования, при к-рых в данных условиях, т. е. при совокупности действующих в данный момент возмущений, управляемый процесс идет оптимально. Для технологич. агрегата, оснащенного САР, режим задается как совокупность заданий отдельным регуляторам. Напр., режим работы к.-л. химич. реактора задается в виде значений темп-р, давлений и расходов, к-рые должны поддерживаться автоматич. регуляторами. Очевидно, что эти значения должны быть выбраны так, чтобы процесс протекал наилучшим образом. Однако, даже при правильном первоначальном выборе этих значений, из-за изменения хар-к агрегата, свойств сырья и др. причин, в изменившихся условиях они уже не будут отвечать требованиям наилучшего протекания процесса. Оказывается необходимым несколько изменить задания отдельным регуляторам или их настройки. Эти задачи могут быть решены с помощью самонастраивающихся систем (см. *Самонастраивающаяся система*, *Самообучающаяся система*, *Самоорганизующаяся система*).

В устройствах управления таких систем автоматически анализируется информация, получаемая от управляемого процесса и автоматически синтезируется закон управления. Простейшая самонастраивающаяся система — *экстремальная система* регулирования, при к-рой рабочая хар-ка объекта исследуется путем подачи на его вход возмущений и сравнения их с отклонениями на выходе. Определяемые так значение и величина производной выходного параметра по входному используются для автоматич. изменения воздействия на вход объекта до тех пор, пока величина этой производной не станет равной нулю. При этом рабочая точка хар-ки оказывается в области экстремума. Примером применения экстремальных регуляторов является регулирование процесса горения топлива в печи путем отыскания такой величины расхода воздуха, подаваемого для горения, при к-ром заданная темп-ра достигается при минималь-

ном расходе топлива. Экстремальный регулятор относится к широкому классу автоматич. оптимизаторов (см. *Оптимизатор автоматический*), способных устанавливать без непосредств. участия человека оптимальный режим работы агрегата, при к-ром удовлетворяется заданный критерий оптимальности. Для нахождения экстремума часто не требуется введения искусств. возмущений и вместо них могут быть использованы те флуктуации, к-рые обычно имеют место на входе и выходе объекта.

В случае программного управления к.-л. циклическим процессом самоучточение или самонастройка программы, как последовательности управляющих воздействий, осуществляется путем исследования свойств и хар-к процесса на его отдельных фазах за неск. циклов. Результаты этих исследований усредняются и запоминаются в виде уточненной программы, по к-рой в дальнейшем и идет процесс в технологич. агрегате. Чем быстрее закончится самонастройка, чем быстрее будет установлен оптимальный режим работы агрегата, тем выше его производств. показатели. Однако в сложных процессах самонастройка путем непосредств. исследования хар-к объекта может настолько затянуться, что к моменту ее завершения хар-ки и свойства объекта снова изменятся. Для оптимизации таких процессов необходимо заранее предвидеть, как смещается рабочая точка хар-ки объекта при действии тех или иных возмущений, и вырабатывать управляющие воздействия, не дожидаясь, когда возмущения, действующие на процесс, вызовут соответствующие отклонения на его выходе.

Человек, управляя процессом на основании своих знаний о его свойствах и особенностях, широко пользуется предвидением и благодаря этому способен значительно улучшить управление процессом. В узких рамках данного процесса знание есть модель процесса в мозгу человека. Перед тем, как выбрать то или иное управляющее воздействие, человек, пользуясь этой «моделью», умозрительно проверяет, каков будет результат воздействий на выходные параметры процесса. Лишь убедившись, что данное воздействие заставит процесс изменяться в желаемом направлении либо сохранит его течение неизменным, человек переносит это воздействие на реальный процесс, непрерывно сопоставляя его ход с результатами, полученными умозрительно, и уточняя модель.

Аналогично тому, как это делает человек, могут работать и автоматич. системы управления с прогнозированием. В такой системе должны быть модель процесса, устройства, обеспечивающие самонастройку параметров модели для ее согласования с реальным процессом, и устройство, автоматически отыскивающее на модели такие управляющие воздействия, к-рые обеспечивают наилучшие показатели процесса. Найденные воздействия автоматически должны переноситься на реальный процесс.

Наряду с системами автоматич. оптимизации широкое распространение получают логич. системы управления, обеспечивающие автоматич. выработку оптимальных программ для дискретных процессов, когда из-за многообразия возможных ситуаций эти программы не могут быть составлены заранее. Такие ситуации

возникают, напр., при необходимости скорейшей перегрузки к.-л. материалов на соответствующие участки склада с помощью неск. подъемных кранов. Очевидно, что места погрузки, места расположения грузов могут быть самыми различными, поэтому заранее невозможно иметь для данной ситуации наилучшую программу работы кранов, при к-рой они были бы использованы наиболее рационально. Человек из-за недостатка времени не может решить эту задачу наилучшим образом. Лишь логич. автомат (см. *Логическая машина*), в к-рый будут введены начальные условия, полностью характеризующие ситуацию, способен достаточно быстро выработать оптимальную программу работы кранов.

Можно представить себе логич. автомат, к-рый не только учитывает начальные условия, но и, получая информацию о реальном ходе процесса, непрерывно уточняет найденную программу (напр., путем поиска оптимальной программы каждый раз после выполнения отдельной или группы дискретных операций в соответствии с ранее выработанной программой).

Обладая высоким быстродействием, полным отсутствием утомляемости и невосприимчивостью к посторонним, не имеющим отношения к управляемому процессу возмущениям, управляющие системы смогут выполнять свои ф-ции, ограниченные узкими рамками данного процесса, эффективнее, чем это может делать человек. Однако возможности полностью автоматизированных агрегатов могут быть использованы лишь при обеспечении этих агрегатов сырьем и энергией и при согласовании их режимов работы между собой. Напр., в мартевовском цехе работа всех технологич. агрегатов должна быть согласована с работой подъемно-транспортных машин и механизмов шихтового отделения, подготовляющего материала, загружаемые в печи, и отделения разливки стали. Это согласование должно проводиться с учетом имеющихся запасов материала и топлива, заказами на металл и т. п.

В силу органич. связи отдельных участков произ-ва между собой их согласование — оперативное управление — должно быть централизованным и сосредоточенным в руках одного человека. Необходимость такой централизации обусловлена тем, что для принятия решения по выбору режимов отдельных технологич. агрегатов необходима полная картина всего производств. процесса, т. е. переработка всей информации, поступающей со всех участков процесса. Поэтому среди систем управления видное место занимают устройства, задача к-рых состоит в организации связи человека с машинами (см. *Система «человек — автомат»*), в том, чтобы облегчить человеку управление процессами, разгрузить его нервную систему, освободить мозг от напряженной и рутинной работы. К тому же человек часто оказывается не в состоянии без помощи дополнит. устройств перерабатывать большой поток информации о ходе процессов. Напр., в условиях централизованного управления разветвленными электроэнергетич. системами ф-ции диспетчера на центральном посту управления становятся все более сложными, а принятие решений, как правило, производится в условиях острого дефицита времени. Все это вызывает необходимость в быстром сборе разнообразной информации, в показе ее человеку

в виде легкообозримого результата, необходимого для принятия решений. Даже при полной автоматизации производств. процессов, когда будут созданы системы, принимающие решения в нормальных и в аварийных режимах без участия человека, задача представления информации человеку будет являться важнейшим элементом контроля (см. *Информации представление*).

В системе связи человека с машиной одной из главных проблем является передача информации как от разнообразных датчиков и измерит. приборов, размещаемых на разобленных агрегатах и установках, в центральные пункты управления, так и обратно из этих пунктов в виде команд на исполнит. устройства агрегатов и установок. В ряде производств. процессов расстояния между установками достигают сотен км. На пр-тиях общая протяженность коммуникаций, служащих для передачи информации, измеряется тысячами км. В связи с этим возникает самостоят. научная задача рационального построения аппаратуры и систем передачи и распределения информации. Эти вопросы рассматривает телемеханика. До недавнего времени телемеханика решала в основном лишь задачи аппаратурного построения систем передачи большого количества сигналов по одному каналу связи. Вследствие резкого увеличения потоков информации возникает более сложная задача — синтез структур оптимальных систем, включающих не только передачу, но и частичную переработку информации. С этим связана также задача рациональных кодов или применяемых в таких системах «языков» (см. *Телемеханизация*).

При централизованном управлении вся информация о состоянии производств. процесса сосредоточивается у сменных диспетчеров или операторов. Для передачи информации человеку служат многочисл. указывающие и регистрирующие приборы, располагаемые на щитах пункта управления перед оператором или диспетчером. Помимо приборов, в пункте управления имеются телефонная связь, а также телевизионные установки, позволяющие наблюдать за различными ответственными участками произ-ва (см. *Диспетчеризация*).

В целях сокращения времени считывания показаний приборов (в совр. сложных установках их число доходит до неск. сотен), а также для управления вниманием оператора или диспетчера широко применяют системы централизованного обегачего контроля (см. *Обегачего цифрового контроля машина*). В этих системах показания всех приборов в форме электрич. сигналов считываются в определенной последовательности обегачим устройством — коммутатором, и из аналоговой формы с помощью преобразователей перерабатываются в цифровую (как последовательность электрич. импульсов — код). Полученные цифровые значения измеряемых величин автоматически печатаются в легкообозримые таблицы. Но и при наличии систем обегачего контроля за оператором остаются ф-ции переработки потока информации, даваемой приборами, для выбора решений по согласованию отдельных участков процесса между собой. Для дальнейшего облегчения этой задачи системы централизованного контроля дополняются логич. и вычислит. машинами, производящими первичную обработку потока информации и представляющими ее

в форме, удобной для дальнейшей переработки оператором. Такой первичной обработкой является вычисление т. н. сводных показателей по всему процессу и по его участкам. Сводными показателями могут быть: текущая себестоимость продукции, кпд, удельный расход топлива и энергии, а также целый ряд физич. величин, не поддающихся непосредств. измерению приборами (коэфф. теплопередачи, величина тепловосприятия, тепловая нагрузка, % содержания различных компонентов в смеси и т. п.). На основании анализа сводных показателей оператору значительно легче обнаружить намечающиеся отклонения процесса от нормы, чем по показаниям отдельных приборов.

Когда известно математич. описание производств. процесса, вычислит. машина может быть использована как модель процесса, на к-рой оператор может просматривать различные режимы работы технологич. агрегатов и выбирать наилучшие для данных условий решения по их согласованию. Помимо этого, машина может хранить в памяти сведения о наличии и расходе материалов и рассчитывать их потребность, своевременно оповещать оператора о необходимости пополнения запасов. Системы автоматич. контроля с вычислит. машинами для сбора, предвдвирт. переработки и хранения информации о производств. процессе в ближайшие годы станут незаменимыми помощниками человека и будут способствовать дальнейшему росту масштабов и темпов произ-ва (см. *Вычислительная техника*).

Однако и при наличии таких систем человек будет продолжать играть главную роль в выборе тех или иных решений по согласованию работы отдельных участков произ-ва между собой. Это согласование включает в себя предвидение будущего хода процесса по участкам и определяет собой понятие оперативного управления произ-вом.

Одним из основных недостатков оперативного управления произ-вом является сменность работы персонала, осуществляющего управление, что приводит к недостаточности информации — в начале смены человек обладает значительно меньшими сведениями о состоянии процесса, чем к ее концу. Поэтому решения, выбираемые человеком в начале смены, обычно не являются оптимальными. Особенно большое влияние недостаточность информации из-за сменности работы оказывает на производств. процессы с циклическими агрегатами, обладающими большой длительностью цикла.

Для полного исключения влияния субъективных особенностей человека на показатели процесса требуется автоматизация оперативного управления. Создание систем автоматич. оперативного управления является завершающим звеном полной А. п. — создания цехов- и предприятий-автоматов. В этих системах *управляющая машина* будет перерабатывать всю информацию, необходимую для автоматич. выработки решений по согласованию работы отдельных участков производств. процесса. Управляющая машина может находить решения, напр., путем перебора различных вариантов с широким использованием методов теории *исследования операций*. Это согласование в конечном счете сводится к выработке тех критериев, к-рым должны удовлетворять ре-

жимы работы отдельных машин и агрегатов. Формирование отдельных критериев оптимальности производится на основании общих критериев, заранее выбранных человеком для всего производств. процесса в целом, и данных состояния каждой машины и агрегата (их хар-к, ограничений и возможностей — ресурсов). Построение автоматич. систем оперативного управления, заменяющих оператора или диспетчера (либо существенно облегчающих его работу), мыслимо, напр., путем использования модели всего процесса. Непосредственный поиск оптимальных критериев процесса методом проб из-за инерционности процесса не может быть эффективным.

Автоматизация оперативного управления сулит значит. экономич. выгоды, обеспечит ритмичную и высокопроизводит. работу цехов и пр-тий, резко снизит колебания количественных и качественных показателей. Точное согласование работы отдельных участков произ-ва между собой позволит на новых пр-тиях отказаться полностью либо частично от промежуточного складирования полуфабрикатов, а в дальнейшем отказаться и от деления пр-тий на отдельные цехи.

Задача создания автоматич. систем оперативного управления представляет значительные теоретич. и практич. трудности и пока (1962) делаются лишь первые шаги для ее решения.

Рассмотренные аспекты автоматич. оперативного управления, как согласование отдельных участков произ-ва, неразрывно связаны с общими задачами *автоматизации управленческих работ* в сфере подготовки произ-ва, изготовления и распределения продукции. От эффективности и качества выполнения управленч. работ в значит. мере зависят результаты деятельности пр-тий, занятых непосредственным выпуском материальных ценностей.

Создание систем автоматич. управления в сочетании с совершенствованием машин и технологич. агрегатов преследует цель перехода к высокоэффективным цехам- и заводам-автоматам. На заводе-автомате все ф-ции управления отдельными машинами и агрегатами и согласование их работы будут выполняться автоматически. Роль человека сведется к контролю за работой многочисл. управляющих устройств и за введением в эти устройства внешней информации (номенклатура заказов, сроки поставки материалов, экономич. конъюнктура и т. п.). В дальнейшем, после решения задач автоматизации планирования отраслей нар. х-ва, большая часть этой информации будет вводиться также без непосредств. участия человека.

Системы управления цехом- и заводом-автоматом будут, по-видимому, иметь многоступенчатую — иерархич. структуру. На первой ступени будут располагаться разного рода программные устройства и автоматич. регуляторы — рефлекторные устройства, обеспечивающие функционирование отдельных машин и технологич. агрегатов путем выработки управляющих воздействий, прикладываемых непосредственно к этим машинам и агрегатам. На второй ступени стоят устройства оптимизации, к-рые, изменяя задания автоматич. регуляторам и программным устройствам, обеспечивают такой режим работы отдельных машин и агрегатов, при к-ром удовлетворяются

заданные критерии оптимальности. На третьей, верхней, ступени будут находиться устройства, автоматически формирующие критерии оптимальности для отдельных машин и агрегатов в соответствии с заданными человеком критериями оценки всего производств. процесса.

Трехступенчатая иерархичность управления определяет собой функциональную структуру систем полной автоматизации. Аппаратурное разрешение этой системы может быть различным, система может строиться так, как это приведено выше, но может строиться и без четкого разделения ф-ций, выполняемых отдельными аппаратами. Как показывает опыт создания ЦВМ, одни и те же элементы могут использоваться многократно для выполнения различных ф-ций. Поэтому возможно построение систем полной автоматизации, в к-рых отдельные элементы и узлы объединяются в одну управляющую машину и будут поочередно использоваться и как программные устройства, и как автоматич. регуляторы, оптимизаторы и т. д.

В высокосовершенных системах автоматич. управления управляющие машины явятся основными технич. средствами установления оптимальных режимов работы технологич. агрегатов и установок, выработки программ их работы, а также согласования работы отдельных участков производств. процесса.

Создание таких систем управления требует первоочередного развития теоретич. исследований по *автоматике, телемеханике, кибернетике технич. системы*.

Развитие техники автоматич. управления невозможно без прогресса в аппаратуре и прежде всего в тех элементах, из которых строятся управляющие устройства. Важнейшая проблема в развитии аппаратуры и систем автоматич. управления — повышение их надежности. Усложнение задач управления приводит к увеличению количества и усложнению аппаратуры и, как следствие, к увеличению вероятности нарушения нормальной работы системы. Непрерывная интенсификация процессов и увеличение их масштабов, а следовательно, и нарастающая угроза аварий делают проблему надежности еще более важной в А. п. Поэтому разрабатываются все более надежные элементы и способы их соединения, а также ищутся методы построения надежных систем из недостаточно надежных элементов.

В решении этих задач наибольшую роль сыграет магнитная и ИП аппаратура. Но наряду с этим развитие пневматики привело к появлению унифицированных пневматич. блоков, из к-рых могут собираться любые системы управляющих устройств. На основе использования аэродинамич. эффектов при взаимодействии воздушных струй могут быть созданы простые и надежные приборы, не содержащие подвижных и упругих деталей.

Значит, увеличение числа элементов, из к-рых строятся сложные системы автоматич. управления, требует унификации этих элементов и сведения их числа до неск. типоразмеров. При небольшом количестве типов унифицированных элементов они могут быть достаточно хорошо отработаны, а технология их изготовления стандартизована, чем обеспечивается высокое качество изготовления и высокая надежность действия. Наиболее ши-

рокая унификация при резком сокращении числа типов элементов достигается в цифровой технике, к-рая обеспечивает более высокую точность выполнения операций, чем непрерывная. Эта чрезвычайно важная особенность цифровой техники предопределяет ее все более широкое распространение в системах автоматич. управления.

Весьма важной задачей, связанной с дальнейшим развитием цифровых систем управления, является разработка широкой номенклатуры датчиков различных измерит. устройств с цифровым (дискретным) выходом (частотные датчики, датчики с широтно-импульсной модуляцией и т. п.). Такие датчики позволяют сопрягать их с цифровыми управляющими устройствами без промежуточных преобразователей и существенно упрощать передачу показаний по каналам связи.

Лит.: Материалы XII съезда КПСС, М., 1961; Библиография советской библиографии по автоматике. 1950—1960 гг., М., 1961; Д а м а с к и н а Н. И., Автоматизация в машиностроении. Библиогр. справочник отечественной и иностр. лит-ры за 1950—1959 гг., М., 1961; Контроль и автоматизация в нефтяной промышленности. Библиогр. указатель, в. 2—4, М., 1958; Автоматизация, контроль и дистанционное управление в горной промышленности. Библиогр. указатель, М., 1954; Механизация и автоматизация внутризаводского транспорта. Аннотированный указатель отечественной и иностр. лит-ры за 1958—60 (1-е полугодие), ч. 1, М., 1961; Автоматизация и механизация чугуно- и сталелитейных цехов. Библиогр. указатель, Л., 1960; Автоматика, телемеханика, приборостроение. Аннотированный указатель лит-ры, в. 2—3, М., 1958—60; Библиографическая справка по кибернетике на рус. яз. за 1952—60 гг., М., 1960; Библиографический список литературы по вопросам надежности автоматических систем и электронной аппаратуры. 1951—1960 гг., М., 1960; Автоматизация технологических процессов с применением счетно-решающих машин. Библиогр. указатель № 10196, М., 1958; Самонастраивающиеся, самооптимизирующиеся, экстремальные автоматические системы. Библиогр. список иностр. журнальных ст. 1946—60 гг., М., 1960; Самообучающиеся системы. Библиогр. список иностр. журнальных ст. 1932—60 гг., М., 1960; Библиографическая справка по самонастраивающимся системам на рус. яз. за 1940—60 гг., М., 1960; Библиография по применению вычислительной техники для автоматического управления производственными процессами и движущимися объектами, М., 1959; Автоматизация производства. Сборник аннотаций и указателей научно-технич. лит-ры по отраслям промышленности, Алма-Ата, 1959; Человек, как звено в системе автоматического регулирования. Библиогр. список иностр. журнальных ст. 1948—60 гг., М., 1960. А. Б. Челюсткин.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РАБОТ (business data automatic processing; automatisierung de gestion et de calculation; Automatisierung von Büro- und Rechenarbeiten) — комплексная перестройка системы управления нар. х-вом на научных основах с широким применением автоматич. устройств на всех участках с целью достижения максимально эффективного управления.

Требования к системе управления нар. х-вом в период перехода к коммунизму чрезвычайно повышаются, что связано с быстрым технич. прогрессом и ростом на его основе производительности труда в сфере материального произ-ва. Огромное увеличение масштабов произ-ва и темп его развития порождают гигантские потоки экономич. информации (плановые и отчетные документы, оперативная документация пр-тий, органов снабжения и сбыта, системы Госбанка и т. п.), к-рая должна обрабатываться в сжатые сроки, диктуемые ходом произ-ва. Экстенсивное развитие системы управления вело к росту численности управленч. персонала в нар. х-ве. В гос. аппарате СССР только службой учета в 1962 занято ок. 3 млн. человек, а всего в админи-

стративно-управленч. органах работает ок. 10 млн. человек — экономистов, плановиков, бухгалтеров, счетоводов, проектировщиков, технологов, нормировщиков и др. Дальнейшее увеличение численности работников управления уже не может дать эффекта. Это связано не столько с удорожанием аппарата управления, сколько с тем, что экстенсивное развитие управления не обеспечивает своевременной обработки документации, достаточно обоснованного выбора решений. Подобно тому, как в автоматизированном произ-ве неавтоматизированный участок является тормозом всего процесса, старые методы управления могут стать препятствием в развитии произ-ва на новой материально-технич. базе. Только А. у. р. обеспечивает достаточно обоснованное многовариантное планирование произ-ва, оптимальное оперативное управление произ-вом и полную согласованность действий всех органов управления в достижении задач, стоящих перед партией и правительством перед нар. х-вом.

Содержание процесса управления в любом случае сводится к трем основным операциям: изучение управляемого объекта, выработка стратегии управления, реализация принятой стратегии. Из этих операций состоит процесс управления в автоматич. устройствах, в живых организмах, к ним же сводится управление процессом общественного произ-ва, представляющим разомкнутую систему, в к-рой обратные связи замыкаются через человека, через его сознательно направленное воздействие. В самом общем виде процесс управления общественным произ-вом представлен на рис. 1.

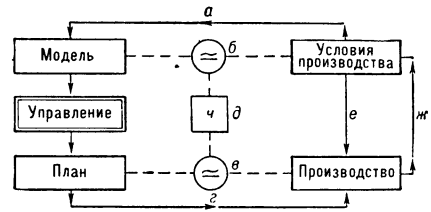


Рис. 1. Схема процесса управления производством.

Блок «условия производства» подразумевает производств. мощности, ресурсы всех видов, потребности в продукте данного произ-ва и т. д. Линия *а* предусматривает к.-л. аппарат учета и передачи информации об условиях произ-ва. Блок «модель» подразумевает тот комплекс данных, к-рым в конечном счете руководствуются при управлении. Пунктирная черта *б* с блоком \approx показывает, что представление об условиях произ-ва никогда не бывает полностью адекватно им самим, а представляет нек-рое приближение к действительности. На основе модели орган управления, отраженный в следующем блоке, выносит решение и вырабатывает стратегию, отраженную в блоке «план». На основе плана и осуществляется процесс произ-ва (нижний правый блок). Линия *г* подразумевает существование какого-то аппарата доведения плана до исполнителей (людей, механизмов, машин). Пунктир *в* означает неадекватность реального процесса произ-ва его описанию в плане. Пунктир *д* означает зависимость степени соответствия реального процесса произ-ва плану от соответствия модели условиям произ-ва, а блок *ж* есть коэфф. корреляции между ними.

Процесс произ-ва зависит от условий (линия *e*), а его результат оказывает обратное воздействие на них (линия *ж*), что вызывает новый цикл управления.

Процесс управления, к-рый должен осуществляться человеком, а в народнохозяйств. масштабах — большим коллективом специалистов, сводится к сознат. выбору цели и критериев, по к-рым вырабатывается оптимальный план, а также к разработке научных методов построения оптимального плана. Это — творческий труд человека, прочая же работа в системе управления — рутинная, регулярно повторяющаяся изо дня в день и из года в год — может с успехом выполняться и машинами, включая различные автоматич. устройства. Между тем именно эти работы и занимают подавляющую часть рабочего времени всего управленч. персонала. Их можно свести к выработке, хранению, переработке и передаче информации; эти простые акты поддаются механизации и автоматизации как каждый в отдельности, так и целыми комплексами. 1) Выработка информации сводится, в основном, к наблюдению за ходом произ-ва и преобразованию различных физич. хар-к технологич. процессов в числовую форму. Сюда же относится получение первичных данных учета материалов, полуфабрикатов и изделий, а также расходов энергетич., денежных и трудовых ресурсов. Основную роль в выработке информации играют первичные датчики и способы учета. 2) Хранение информации заключается в фиксации числовых данных в форме, обеспечивающей их быстрый поиск и использование. 3) Переработка информации состоит в проверке и анализе поступающих данных, их обобщении и классификации с целью использования в управлении. Эти операции сводятся к арифметич. или логич. операциям. 4) Передача информации независимо от вида, объема и расстояния может быть сведена к передаче последовательности цифр.

Основные классы управленч. работ, подлежащих автоматизации, определяются в соответствии со структурой органов экономич. управления СССР и разделением их ф-ций. В самом общем и упрощенном виде структура управленч. органов и их взаимосвязей в процессе планирования и управления нар. х-вом представлена в схеме на рис. 2.

Разделение ф-ций управления привело к большой специализации органов народнохозяйств. управления, к созданию чрезвычайно сложной и разветвленной системы экономич. информации. Каждый из органов управления нуждается в большом объеме данных, представленных в определенном разрезе, соответствующих ф-циям данного органа. При ручном, неавтоматизированном управленч. труде это весьма затрудняет работу всей системы управления.

Каждый из органов народнохозяйств. управления (система материально-технич. снабжения, система Госбанка и т. д.) создает собств. аппарат сбора, передачи и обработки информации, включающий тысячи людей, занятых по существу одними и теми же рутинными работами, что чрезвычайно дорого обходится нар. х-ву.

Специфич. нужды каждого органа управления в информации породили настолько различные методы ее обработки, что одна и та же

информация, прошедшая обработку в разных органах, становится, по существу, несопоставимой. Так, данные о товарообороте в Госбанке, как правило, отличаются от данных статистич. органов и еще более — от данных, используемых в органах управления торговлей. Данные о поставках пр-тия в органах материально-технич. снабжения (натуральные показатели) вообще несопоставимы с теми же данными в системе Госбанка (общая стоимость).

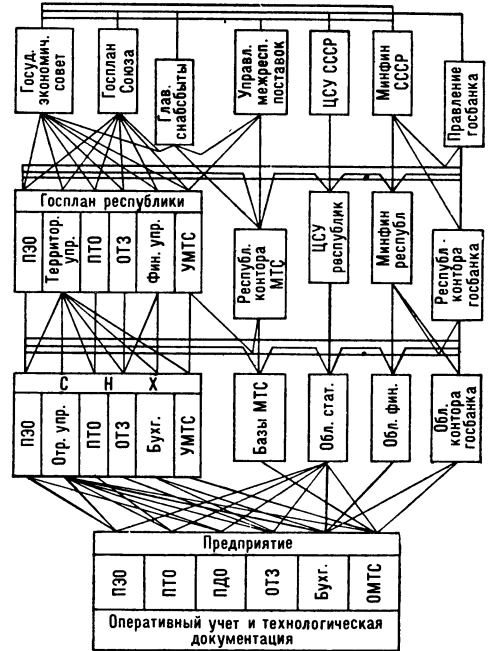


Рис. 2. Схема информ. связей органов управления нар. х-вом.

Даже в системе одних и тех же органов планирования план по валовой продукции часто расходится с планом по номенклатуре, по себестоимости, по труду и т. д.

Ручные методы обработки информации ведут к большому запаздыванию в поступлении управляющей информации. Различия ф-ций управления и методов обработки информации ведут к большому разнообразию в сроках движения ее. В связи с тем, что ручными методами невозможно обработать большие объемы информации, в каждом последующем звене управления теряется большое количество существенно необходимой для управления информации. Уже в бухгалтерской и особенно статистич. отчетности пр-тия теряется большинство данных оперативного учета.

При А. у. р. эти недостатки устраняются. Наибольший эффект может дать внедрение А. у. р. во всем комплексе управления нар. х-вом, поэтому нельзя говорить об установлении очередности работ по А. у. р., исходя из степени важности того или иного участка. Однако такая очередность может быть определена, исходя из степени подготовленности той или иной системы народнохозяйств. управления к А. у. р. Поэтому, определяя области А. у. р., можно расположить их в следующей последовательности: система Госбанка СССР; планирование произ-ва; планирование перевозок; планирование и управление материаль-

но-технич. снабжением; система оперативного и бухгалтерского учета и отчетности; планирование строительства и капиталовложений; система статистич. отчетности; система финансовых органов; прочие органы управления материальным произ-вом.

Научная основа А. у. р.— это экономич. кибернетика, к-рая изучает специфич. особенности процессов управления нар. х-вом, методы синтезирования оптимальной системы управления, соответствующей основным экономич. целям нашего общества, методы разработки конкретных оптимальных планов и принципы создания средств обеспечения их выполнения.

Важнейшей проблемой экономич. кибернетики является решение принципиальных методологич. и конкретных вопросов использования вычислит. техники, в особенности ЭВМ (см. *Электронная вычислительная машина*), в управлении и взаимодействии человека и кибернетич. машин в рамках единой системы автоматизир. управления (см. *Система «человек — автомат»*). Машина, освобождая человека от огромного объема рутинной, механич. работы по сбору и переработке информации и выработке стандартных актов управления, повышает его творческую роль, давая весь необходимый материал для более глубокого анализа, разработки новых еще более совершенных методов управления.

Одной из характерных черт экономич. кибернетики является подход ко всем явлениям процесса обществ. произ-ва и его управления с точки зрения выработки, передачи, хранения и переработки информации. Методы экономич. кибернетики позволяют определить необходимый и достаточный объем экономич. информации для каждого звена управления. Практич. исследования показали, что, как правило, достаточным для полноценного выполнения ф-ций управления является объем данных, во много раз меньший, чем имеется ныне. Так, нек-рые СНХ требуют от своих пр-тий представления техпромфинпланов, включающих 13 тыс. показателей. Между тем все нужды управления пр-тием со стороны СНХ обеспечиваются двумя-тремя сотнями показателей, содержащими, однако, больше информации, чем первоначальные 13 тыс. Сокращение объема информации имеет большое самостоят. значение. Однако еще более важной задачей является определение именно того уровня информации, к-рый необходим для оптимального планирования и управления, и разработка самих методов оптимального планирования.

Оптимальным наз. наилучший вариант плана при данных условиях произ-ва и четко сформулированных критериях оптимальности (минимум затрат, макс. выпуск и т. д.) и ограничениях (ограниченные мощности, дефицитные ресурсы и т. п.). Задачи оптимального планирования решаются на основе экономико-математич. методов: линейного и динамич. программирования, графоаналитич. методов, методов математич. статистики (см. *Линейное программирование*, *Динамическое программирование*, *Транспортная задача*, *Венгерский метод*). Методы оптимального планирования

используются во всех звеньях управления. В СССР с их помощью решаются в ряде районов, в частности, след. задачи: в масштабе пр-тия — рациональный расход пром. материалов, наилучшее распределение заданий по станкам, оптимальный размер партий, запускаемых в произ-во, и т. д.; в масштабах района, республики — оптимальное распределение плановых заданий между пр-тиями, выбор наилучших маршрутов перевозок однородных грузов, оптимальный план перевозок различными видами транспорта, наилучшее распределение техники и рабочей силы по различным стройкам и т. д.

На основе обобщенных методов оптимальных плановых расчетов, а также обобщенных правил рутинной обработки информации разрабатываются *алгоритмы* плановых расчетов — формализованные правила обработки информации и плановых расчетов, к-рые могут в принципе реализовываться людьми и высоко эффективными вычислит. автоматич. машинами (см. *Вычислительная техника*).

Важнейшим инструментом экономич. кибернетики является метод *моделирования математического*. Выделяются наиболее существенные показатели, характеризующие экономич. систему (экономику пр-тия, отрасль, район и т. д.), к-рые образуют выход системы (валовой и товарный выпуск, выплаченная заработная плата и т. п.). С помощью математических ур-ний и неравенств описывается их связь со входными параметрами системы (затраты труда, материалов, энергии, использование мощностей и т. д.). Система коэффициентов модели раскрывает внутренние взаимосвязи в данной системе в процессе произ-ва (движение материалов между цехами и производств. участками в процессе произ-ва на пр-тии, межотраслевые взаимные поставки в экономике района, страны и т. п.). Содержание модели четко определяет весь предельный объем информации, необходимой для данного вида плановых расчетов. Наиболее универсальной формой экономич. модели, широко используемой в экономико-математич. исследованиях в СССР, является линейная матрич-

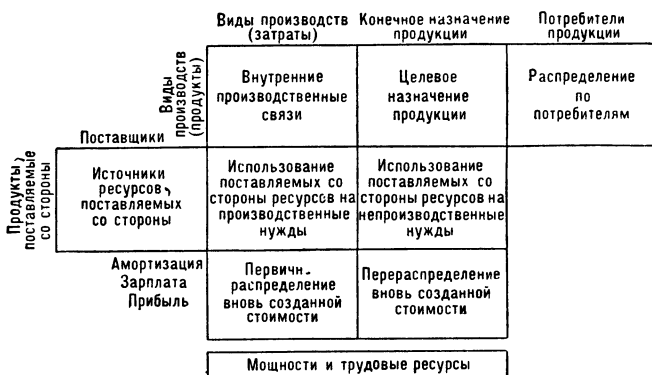


Рис. 3. Принципиальная схема матричной модели.

ная модель, принципиальная схема к-рой представлена на рис. 3. Модель может отражать плановую или отчетную экономику пр-тия, отрасли, района, республики или нар. х-ва страны (отчетный и плановый межотраслевые балансы СССР).

Когда с целью внедрения А. у. р. изучается сложная экономич. система, причем требуется большая степень детализации информации, используется указанный метод моделирования. По каждому компоненту экономич. системы (напр., предприятию) и группам компонентов (напр., по отраслевому управлению СНХ) строятся свои модели, отражающие индивидуальные свойства каждого объекта. Взаимосвязи между ними выражаются с помощью определенных алгоритмов и образуют модель экономики всей системы (напр., экономики района или республики). Модели образуют иерархию, так что модели низших порядков являются составными элементами высших моделей. В схеме на рис. 4 отражена в укрупненном и упрощенном виде система матричных моделей, внедряемая в практику производств. планирования в ряде экономич. районов и республик СССР.

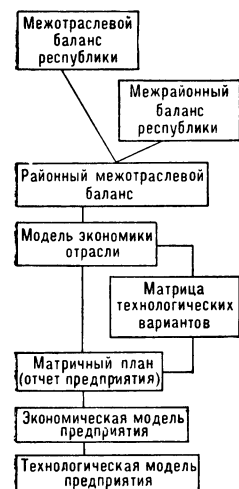


Рис. 4. Принципиальная схема системы матричных моделей.

Единая комплексная система обработки данных является методологич. основой и конечной целью А. у. р. Создание такой комплексной системы, как правило, связано с использованием крупных ЭВМ, и разработка системы обязательно предшествует их внедрению. Однако никакие капиталовложения в ЭВМ не могут улучшить систему управления при нерациональной ее организации. Поэтому А. у. р. сопровождается перестройкой сложившихся процессов управления. Так, напр., нельзя считать рациональной формой планирования материально-технич. снабжения практику «заявочных кампаний», к-рые ежеквартально отвлекают от произ-ва десятки тысяч работников. Комплексная система предполагает, что план материального снабжения составляется ежегодно, ежеквартально и ежемесячно в качестве одной из составных частей плана произ-ва непосредственно в органах планирования при минимальном отвлечении работников пр-тий.

Комплексная, или интегрированная, система обработки данных должна быть эффективной организацией полностью скоординированного и непрерывного потока (от непосредств. контроля за процессом произ-ва и до высшего уровня руководства) информации, необходимой для перспективного планирования и текущего руководства — технич., экономич., бухгалтерской, финансовой и др. информации. Интеграция означает принцип единства всех этих видов информации, поскольку единств. источник информации в нар. х-ве — оперативный контроль за процессом произ-ва. Функцион. орган управления должен иметь информацию, наиболее адекватную процессу произ-ва и не отличающуюся от информации др. органов управления. Интеграция предполагает унификацию методов обработки данных на всех этапах и во всех функцион. органах.

Интеграция предельно «выпрямляет» потоки информации, упрощает и унифицирует всю систему управления. Так, вся информация оперативного учета и конструкторско-технологич. документации поступает только в один орган — машиносчетную станцию (МСС) пр-тия, где перерабатывается по определенным алгоритмам и передается во все функциональные отделы заводоуправления, а из вышестоящих органов — только в одном направлении — в вычислит. центр (ВЦ) СНХ или района. Переработанная там по единым алгоритмам информация распределяется по всем функциональным органам управления СНХ и района, а в высшие инстанции передается только в одном направлении — в ВЦ республики и т. д. Передача командной информации в обратном направлении осуществляется точно по тем же каналам. Основой создания такой интегрированной системы служит, в частности, система матричных моделей. Принципи-

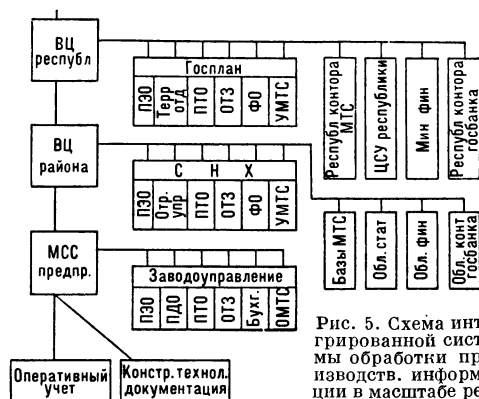


Рис. 5. Схема интегрированной системы обработки информации в масштабе республики.

альная схема интегрированной системы обработки данных представлена на рис. 5; для сравнения с существующей системой сбора информации следует сопоставить его со схемой 2.

За рубежом интегрированные системы обработки данных широко внедряются в отдельных фирмах. Выборочное обследование 100 крупных фирм в США, внедривших такую систему, показало, что денежная экономия составила у 25% фирм от 25 до 45%, а у остальных — от 10 до 25%.

Интегрированная обработка данных предполагает широкое использование всех технич. средств А. у. р. на всех участках управления.

Единый язык плано-экономич. документации является необходимой предпосылкой А. у. р. и интегрированной системы. Первоначальная информация шифруется сразу на перфокарту, перфоленту или магнитную ленту, и организуется непрерывный поток информации снизу доверху, исключаящий к-л. прорыв в смысле ручной обработки информации. В качестве такого языка обычно используется шестипозиционный двоичный код (см. *Двоичнокодированная система счисления*), позволяющий представлять 64 различных символа и фиксировать их на различных носителях (перфокарты, перфолента), передавать по каналам связи и непосредственно вводить в машины все буквы, цифры и нек-рые спец. знаки. Взаимодействие машины с человеком в данном случае требует перевода на «человеческий»

язык, что осуществляется выдачей данных из машины на печать в виде текстов и наглядным представлением информации в виде графиков, диаграмм, цифровых формуляров и различных знаков на экранах спец. электронно-лучевых трубок типа *характрон*.

Ведутся исследовательские работы в области создания единого человека-машинного языка. Представленные на этом языке данные, включающие не только цифровой материал, но и любые понятия, должны свободно читаться человеком и в то же время непосредственно вводиться в машины и передаваться по любым каналам связи. Ряд таких языков, разработанных специально для нужд экономич. управления, имеет определенные преимущества в нек-рых областях управления, однако еще не может считаться оптимальным. Создание такого языка позволит заменить неисчислимое количество существующих ныне документов неск. десятками или сотнями стандартных документов, охватывающих всю информацию, необходимую для народнохозяйств. управления, и полностью исключить ручной труд по составлению и переписке документов.

Технич. средства А. у. р., помимо ЭВМ, включают многие десятки различных типов специализир. оборудования. Все эти многообразные машины можно разбить на следующие основные группы.

1) Машины, фиксирующие информацию: различные перфораторы; пишущие машинки, выдающие текст также на перфоленду; регистраторы наличия, автоматич. счетчики количества или качества продукции, аппаратура «Авторпорт» для выдачи информации о ходе управляемых процессов, а также магнитофоны, диктофоны, стенографич. машинки, аппаратура для копирования и размножения документов и пр.

2) Оборудование связи: телетайпы, телеграфная, телефонная аппаратура, радиоаппаратура, оборудование радиорелейных линий, а также разнообразные средства внутренней связи и сигнализации — директорские и диспетчерские телефонные коммутаторы, внутренние АТС, селекторы, видеофоны, средства передачи документов (электрич., механич., пневматич.), средства поиска лиц на территории пр-тия, а также всевозможные средства сигнализации.

3) Машины для обработки данных, включающие, помимо АВМ и ЦВМ, след. специализир. машины: настольные счетно-клавишные и фактурные суммировки, табуляторы и др. счетно-аналитические машины. Отечественной пром-стью выпускаются алфавитно-цифровые табуляторы и агрегатированные счетно-перфо-рац. машины, обладающие емкостью памяти в тысячи чисел и быстродействием 50—100 операций в секунду; вычислит. приставки к табуляторам, выполняющие действия умножения и деления и обладающие памятью в 32 двенадцатиразрядных числа; перфораторы ПЭВР-80 с программным управлением (память на магнитном барабане — 512 двенадцатиразрядных чисел, скорость сложения — 200 операций в секунду, подача перфокарт — 120 в минуту) и др.

4) Оборудование, преобразующее информацию: различного типа конверторы; фотомеханические и иные читающие, кодирующие и декодирующие устройства; устройства для переписи с перфокарт на перфоленду и обратно;

аппаратура микрофильмирования и чтения микрокарт и т. п.

5) Оборудование для вывода информации: автоматич. перфорационные машины в блоке с декодирующими устройствами, автоматич. печатающие машины и др.

6) Оборудование поиска и хранения информации: картотечные сортировки, машины для поисков документов и др. Разрабатываются спец. электронные информац. машины, обладающие большими объемами внешних накопителей (сотни миллионов чисел), емкими долговременными ЗУ (млн. чисел) и оперативными ЗУ. Такие машины имеют большое количество параллельно действующих вводных и выводных устройств и обладают разветвленной логич. схемой, позволяющей производить выдачу данных не только по адресам, но и по совокупности признаков.

ЭВМ являются основным средством А. у. р. Электронные аналоги (см. *Аналоговая вычислительная машина*) обычно узко специализированы и используются гл. обр. для оптимального регулирования технологич. процессов. Однако использование преобразователей непрерывных импульсов в дискретные позволяет применять их в блоке с электронными управляющими машинами и регулировать процесс не только в оптимальном технологич., но и оптимальном экономич. режиме. По-видимому, в ближайшее время найдут широкое применение в экономич. управлении аналоговые машины нового типа — *оптимизаторы автоматические*.

ЦВМ (см. *Цифровая вычислительная машина*) нашли самое широкое применение в А. у. р. Они служат для автоматизации широкого круга управленч. работ, используются комплексно и в сочетании с др. средствами А. у. р. ЦВМ используются для организации централизованных и интегрированных систем обработки данных, для планирования, учета, статистики, расчетов заработной платы, учета запасов, составления накладных, отчетов, графиков загрузки оборудования и использования рабочей силы. Всего насчитывается более 300 областей применения ЦВМ в А. у. р. Чрезвычайно широко используются ЦВМ для А. у. р. всех типов за рубежом, особенно в США, где ок. 90% всех выпускаемых ЦВМ служат для экономич. расчетов и управления произ-вом. Зарубежный опыт показывает, что расходы, связанные с внедрением ЭВМ, окупаются в течение 1,5—2 лет их эксплуатации.

Отечественная пром-сть выпускает целый ряд ЭВМ различных классов, пригодных для А. у. р. Примером машины для обработки больших объемов информации и комплексной А. у. р. является «Урал-4», эффективно используется также «Урал-2». Машина «Эра» предназначена специально для А. у. р. в масштабах крупного пр-тия. Это машина с программным управлением, значительным объемом внешних накопителей (ок. 1 млн. 12-разрядных десятичных чисел, размещаемых на 5 блоках магнитной ленты) и разветвленной системой вводных и выводных устройств. Машина выполняет операции со скоростью до 5 тыс. одноадресных команд в секунду. Успешно использовались для сложных экономич. расчетов также машины БЭСМ-2, «Минск-1» и др. В СССР разрабатывается ряд специализир. ЭВМ для А. у. р.

Система мероприятий по А. у. р. включает создание рациональных и интегрированных систем обработки информации и внедрение кибернетич. техники как в целом во всей системе управления нар. х-вом, так и в каждом ее отдельном звене. На более подготовленных участках широко развернулась А. у. р., к-рая уже дает значительный народнохозяйственный эффект.

На пр-тиях ЭВМ используются для оптимального управления технологич. процессом (напр., ЭВМ в г. Киеве, связанная прямыми проводными каналами связи с датчиками и регулируемыми приборами мартена завода «Запорожсталь», управляла процессом плавки), для расчетов заработной платы и др. экономич. расчетов (заводы МЗМА, «Ростсельмаш»). На Горьковском автозаводе разработаны и внедряются методы расчета на ЭВМ оптимальной технологии обработки деталей и ряд экономич. расчетов при непосредств. чтении рабочих чертежей деталей машиной. На ряде др. пр-тий страны проведены комплексные работы по А. у. р. с использованием средств «малой механизации» и комплектов счетно-аналитич. машин. Ведутся работы в направлении автоматизации планирования участков, цехов и пр-тий в целом; оперативного учета материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на складах с составлением соответствующих отчетов; расчетов потребности в материалах с составлением заявок; ежедневного непрерывного учета себестоимости; расчета оптимальных планов загрузки оборудования; составления производств. и транспортных графиков и т. д.

В масштабах отраслевых управлений и СНХ, а также отдельных ведомств (напр., в системе Госбанка СССР) в ряде случаев внедрена комплексная механизация с помощью комплектов счетно-аналитич. машин. В течение ряда лет МСС Совнархоза Туркмении осуществляет значит. часть плановых расчетов СНХ, для ряда отраслей введен ежедневный учет. В Министерстве связи СССР разработана система мероприятий по комплексной механизации расчетов материально-технич. снабжения всех пром. пр-тий министерства с помощью алфавитных счетно-аналитич. машин. Ведутся широкие работы по комплексному использованию ЭВМ в планово-экономич. расчетах СНХ — создание единой системы информации в х-ве СНХ, методы составления оптимального плана СНХ, разверстки плановых заданий между пр-тиями СНХ, организация наиболее рациональной специализации и системы транспортных связей и т. д.

В масштабах союзных республик и всего Союза ведутся большие работы по использованию ЭВМ для оптимальных плановых расчетов. В Белоруссии на ЭВМ был рассчитан и внедрен оптимальный план перевозки лесных и иных грузов всеми видами транспорта, на Украине — комплексный план перевозок всеми видами транспорта в районе бассейна Днепра, оптимальная последовательность строительно-монтажных работ в строительстве комплекса теплоэлектростанций и др. С помощью ЭВМ в Ленинграде рассчитаны оптимальные планы речных и морских перевозок по основным речным и морским бассейнам. В ВЦ Госэкономсовета СССР ведутся планово-экономич. расчеты на ЭВМ по отчетному и плановому межотраслевому балансам СССР, на

ЭВМ проведены опытные расчеты оптимального плана закрепления поставщиков за потребителями по широкому сортаменту листового проката в масштабах Союза. Ведутся большие научно-исследоват. работы во всех основных направлениях комплексного использования ЭВМ для всех видов планово-экономич. расчетов.

Организация А. у. р. в общегосударственном масштабе обеспечивает наиболее эффективное внедрение всех современных научных методов планирования и управления и наиболее рациональное использование ЭВМ. Создание такой системы возможно только в социалистич. стране с плановой организацией х-ва, причем эффект от ее создания во много раз превысит эффект от автоматизации процессов управления отдельных фирм в передовых капиталистич. странах.

Как показывает опыт применения ЭВМ в области научных и технич. расчетов, эффективное использование этих машин обеспечивается только в условиях достаточно крупных ВЦ, обладающих необходимыми кадрами специалистов и контрольно-наладочной аппаратурой. В последние годы определилась тенденция создания мощных ВЦ многоцелевого назначения, непосредственно связанных каналами связи (обычно с использованием телефонной сети) с большим числом абонентов. Примерами подобных комплексов с быстройдействием свыше 1 млн. операций в сек. являются системы «Стретч», «Атлас», Л-3060 и др. В таких комплексах существенно меняются характер и структура работы ВЦ, к-рые из пр-тий с ручным приемом и выдачей информации превращаются в сложные автоматич. и даже самоорганизующиеся системы обработки информации, одинаково хорошо приспособленные как для сложных вычислений, так и для обработки больших объемов информации и управления отдельными пр-тиями и целыми пром. комплексами (см. *Вычислительный центр*).

Система управления фирмы «Сильвания электрик продактс» (США), напр., обеспечивает централизованное управление из единого центра 70 предприятиями фирмы в 51 городе и 19 различных штатах. Центр управления, в к-ром установлена ЭВМ «ЮНИВАК», связан с предприятиями линиями связи общей протяженностью неск. десятков тыс. км, причем ввод, вывод и процесс передачи информации полностью автоматизированы. В управляющем центре осуществляется весь комплекс экономич., технологич. и конструкторских расчетов.

Крупные вычислит. комплексы обладают способностью одновременно решать ряд различных задач, автоматически выбирать оптимальный порядок выполнения заданного объема вычислит. работ, осуществлять подготовку и автоматич. программирование задач, распределение времени решения, а также автоматически контролировать свою работу и устранять неисправности.

Поэтому для эффективной А. у. р. в нар. х-ве необходимо создание крупных районных информационно-вычислит. центров (ИВЦ) для комплексного обслуживания пр-тий и органов экономич. управления района — включая органы планирования и управления произ-вом, снабжения, банковские и финансовые, статистические, торговые и др. Отдельные крупные пр-тия и органы управления могут иметь свои

МСС или средние и малые ЭВМ, связанные прямыми каналами связи с комплексом машин ИВЦ. На первом этапе доставка материалов в ИВЦ может осуществляться в основном вручную. В дальнейшем машины ИВЦ должны быть связаны с помощью спец. линий связи или с помощью существующей телефонной и телеграфной сети с вводными и выводными устройствами, а также другим оборудованием обработки информации, установленным непосредственно на пр-тиях и в учреждениях. Тогда громоздкий документооборот и переписку заменит непосредств. обмен телеграфными или телефонными передачами с автоматич. записью и обработкой поступающих сведений и хранением их в ЗУ.

При создании такой развитой сети кибернетич. машин представится возможность перейти от управления по полной информации к управлению по возмущениям (отклонениям от заданного режима), что во много раз сократит объем необходимой экономич. информации и на много удешевит и упростит управление. Использование свойств кибернетич. машин к накоплению опыта и самообучению будет содействовать разработке методов оптимального управления процессом обществ. произ-ва по минимуму информации. Все это обеспечит создание непрерывного встречного народно-хозяйств. планирования в самом полном смысле оптимальной системы.

Комплексная А. у. р., к-рая быстрыми темпами развертывается в СССР, в полной мере выявляет и реализует все гигантские преимущества социалистич. планового х-ва.

Лит.: Кибернетику на службу коммунизму. Сб. статей под ред. А. И. Берга, М.—Л., 1961; Л е в и н с о н Н. Г., Механизация управленческого труда (оргатехника), т. 1, М., 1958; Б р о у н Р., Автоматизация учета, пер. с англ., Л., 1960.

А. И. Китов, Ю. И. Черняк.

АВТОМАТИКА (automation, automatics; automatisme, automatique; Automatik, Automation) — отрасль науки и техники, охватывающая теорию и принципы построения систем управления техническими процессами, действующих без непосредственного участия человека.

Любой производств. процесс может быть охарактеризован нек-рой совокупностью предписаний, обеспечивающих правильное его выполнение, называемых алгоритмом функционирования. Если рассматриваемая технич. система при наличии возмущающих воздействий, поступающих от внешней среды, может самостоятельно выполнять требуемый алгоритм функционирования, то никакого управления системой не требуется. В противоположном случае необходимо оказывать на эту систему специально организованные воздействия извне, к-рые в совокупности с собств. действиями системы приводили бы к выполнению алгоритма функционирования. Совокупность предписаний, определяющих характер этих воздействий, наз. алгоритмом управления. В автоматич. системах воздействия, соответствующие алгоритму управления, подаваемые на управляемый объект, вырабатываются автоматическим управляющим устройством, к-рое совместно с управляемым объектом и составляет автоматич. систему. Содержанием А. как науки, т. о., является: исследование условий функционирования и алгоритмов управления для различных технич. процессов и изучение общих закономерностей

в них; разработка методов синтеза и анализа автоматич. систем, т. е. методов выбора наиболее рациональных структур автоматич. систем, обеспечивающих выполнение заданных алгоритмов функционирования (синтез) и методов определения по заданной структуре алгоритма функционирования данной автоматич. системы (анализ); разработка принципов построения автоматич. управляющих устройств.

Теоретич. проблемы А. тесно связаны с задачами *кибернетики технической*, в к-рой рассматриваются общие вопросы управления технич. системами, в том числе и такими, в к-рых необходимо участие человека, в то время как А. охватывает только такие системы, в к-рых не требуется непосредств. участия человека. С др. стороны, существенным разделом А. являются вопросы реализации автоматич. систем, рассмотрение необходимых для этого технич. средств, а технич. кибернетика рассматривает лишь общие теоретич. положения, независимо от формы их технич. реализации. Задачи и проблемы А. и технич. кибернетики в связи с этим в значительной мере совпадают, и точного разграничения между ними провести нельзя.

Автоматич. устройства были известны в глубокой древности (андроиды, автоматич. игрушки и т. п.). Однако ни в древние времена, ни в средние века они не играли роли в произ-ве и т. о. этот период относится к предистории А.

Отдельные элементы и автоматич. устройства начинают применяться для совершенствования производств. процессов тогда, когда средство труда приобретает такую материальную форму существования, к-рая обуславливает замену человеч. силы силами природы и эмпирич. рутинных приемов — сознательным применением естествознания. Поэтому подлинная история А. начинается с последней четверти 18 в.

Нужды развивавшейся в то время техники уже с самого начала применения А. для пром. целей привели к необходимости развития двух основных принципов действия автоматич. управляющих устройств, лежащих в основе всех автоматич. систем и ныне: автоматич. систем с разомкнутой цепью воздействий и автоматич. систем с замкнутой цепью воздействий. На первом принципе было основано изобретение копирульных станков в середине 18 в. Второй принцип был положен в основу изобретения И. И. Ползуновым автоматич. регулятора питания котла (1765) и Дж. Уаттом автоматич. регулятора скорости паровой машины (1784) (см. *Регулятор автоматический*).

Первый период развития А. характеризуется применением принципов механич. регулирования. Помимо автоматич. регуляторов типа Уатта, действовавших по принципу отклонения, появляются регуляторы, основанные на непосредств. учете изменения нагрузки (1830) (принцип Понселе регулирования по возмущениям), а также на принципе управления по производным, названном А. Стодолой инерционным принципом (1845) (принцип Сименса) (см. *Регулирование автоматическое*).

В первых автоматич. регуляторах для перемещения исполнит. органа использовалось усилие, развиваемое чувствит. элементом. С увеличением мощности паровых машин эти усилия оказались недостаточными. В 70-х гг. 19 в. был изобретен усилитель — *сервомотор*,

к-рый уменьшил ограничения в величине перестановочного усилия. Усложнение систем автоматич. регулирования и необходимость точного выбора их параметров привели к развитию теории автоматич. регулирования. В работах Д. К. Максвелла (1868) и И. А. Вышнеградского (1872—78), рассматривавших задачи, возникающие при автоматич. регулировании паровых машин, были заложены основы теории линейных автоматич. систем. Стодола, на основе работ Вышнеградского, рассмотрел соотношения, имеющиеся в сложной системе регулирования турбин, включающей распределенное звено в виде трубопровода. По его просьбе А. Гурвиц в 1893 решил задачу об устойчивости систем автоматич. регулирования, сформулировав условия, к-рым для этого должны удовлетворять коэфф. многочлена n -й степени.

В 1899 Стодола разработал теорию инерционных регуляторов, осуществляющих управление не только в зависимости от изменения регулируемой величины, но также и по производным этого изменения (применительно к автоматич. регуляторам паровых машин — по угловой скорости и угловому ускорению).

Перечисленные работы заложили основы классич. теории автоматич. регулирования, рассматривавшей линейные задачи. Одновременно были выполнены первые работы также и в области нелинейных задач автоматич. регулирования, начало к-рым было положено в работах Вышнеградского (1878). Значит. вклад в развитие этой теории был внесен в 80—90-х гг. 19 в. работами А. Леоте, а также выдающейся работой А. М. Ляпунова (1892). Значение этой работы было оценено позже, когда в центре внимания теории автоматич. управления оказались сложные нелинейные системы. Ляпунов дал первое в истории науки об автоматич. управлении строгое определение понятия устойчивости движения и разработал общие методы исследования этой задачи.

Существенное значение для усовершенствования методов автоматич. управления имело развитие электротехники, что позволило использовать новые технич. средства и расширило пределы действия устройств автоматич. управления. Первые электрич. регуляторы были изобретены В. Н. Чиколевым и П. Н. Яблочковым в 70-х гг. 19 в. в связи с появлением электрич. дугочной освещения и возникшей при этом задачи регулирования подачи и смены углей в дуговых лампах. Изобретение электрич. реле П. Л. Шиллингом (1832) положило начало развитию релейных методов автоматич. управления и появлению сложных систем автоматич. управления. К первой такой системе относится автоматич. система стрельбы А. П. Давыдова, к-рая применялась на боевых кораблях русского флота в 70—80-х гг. 19 в. Существенными этапами развития релейных методов автоматич. управления явились: изобретение в США системы автоматич. блокировки на ж.-д. транспорте (В. Робинзон, 1872); разработка в России в 90-х гг. 19 в. автоматической телефонной станции; пуск в США автоматической тяговой подстанции (1914); автоматической ГЭС (1917), автоматизированного завода автомобильных рам (1920), представившего собой первую систему машин, охваченную электрической автоматизацией; создание в СССР первой автоматич. поточной линии (1939).

К этому же периоду относится появление первых систем телемеханики как средства автоматич. управления на расстоянии. Они впервые были применены в 1921 в США для централизации управления тяговыми подстанциями, а в дальнейшем получили широкое распространение для централизации управления энергосистемы, диспетчерского управления на ж.-д. транспорте и т. д.

А. как самостоят. область техники впервые получила признание на 2-й международной энергетич. конференции в 1930. На этой конференции была создана секция по вопросам автоматич. и телемеханич. управления и защиты. Сам термин «А.» появился позже в СССР.

30-е гг. 20 в. ознаменовались началом бурного развития радиоэлектроники. Электронные лампы как новое технич. средство, обеспечивающее быстрое действие, высокую чувствительность, точность и надежность, быстро начинают находить применение в технике автоматич. управления. Создаются электронные автоматич. регуляторы, устройства релейного управления, использующие электронные лампы, и т. д. В 1944 появились электронные вычислит. машины, давшие начало новому направлению — автоматизации в области вычислений, и значительно ускорившие процессы научных исследований, проектирования и т. д. Применение вычислит. машин сыграло важную роль при решении вопросов произ-ва и использования атомной энергии, освоения космоса и т. п. (см. *Вычислительная техника*).

Сильно расширился круг объектов автоматич. регулирования и управления. Теория регулирования механич. и тепловых процессов стала распространяться на электрич. процессы. Стала кристаллизоваться общая теория автоматич. систем. Работы Г. Найквиста (1932) и А. В. Михайлова (1938) способствовали внедрению в теорию автоматич. устройств нового мощного оружия — *частотных методов* анализа и синтеза автоматич. регулирующих систем.

А. А. Андронов и его ученики обогатили теоретич. основы А. методами *фазового пространства* и точечного преобразования поверхностей, что дало возможность точного решения задач автоматич. регулирования, поставленных еще Вышнеградским, но оставшихся нерешенными в течение 70 лет. Были сделаны важные шаги в развитии теории инвариантных автоматич. систем. Серьезное развитие получила теория *импульсных систем* автоматич. регулирования.

Интенсивное развитие релейных автоматич. управляющих устройств потребовало разработки синтеза и анализа, теории их. Попытки создания такой теории предпринимались еще в 1928 сов. учеными Д. Кутти и М. Цимбалом. Основы совр. теории релейных устройств были заложены, однако, только в 30-х гг. на базе использования аппарата математич. логики.

Совр. состояние А. характеризуется широким, хотя и неравномерным для отдельных отраслей нар. х-ва применением автоматич. управляющих устройств, с переходом к более сложным автоматич. системам, а в пром-сти — переходом от автоматизации отдельных агрегатов к комплексной автоматизации цехов и заводов (см. *Автоматизация производства*). Существенной чертой является распростра-

нение А. на территориально разделенные объекты с образованием автоматич. систем, простирающихся на большие расстояния. При этом для связи между отдельными автоматич. управляющими устройствами применяются средства телемеханики, к-рые совместно с этими устройствами и управляемыми объектами образуют т. н. *телеавтоматические системы* (см. *Телемеханика*). Характерно также быстрое развитие теории А. На предыдущем этапе была создана обобщенная теория автоматич. регулирования (см. *Регулирование автоматического действия*), а современный этап развития А. характеризуется началом создания обобщенной теории автоматич. управления, объединяющей все теоретич. аспекты А. (см. *Управление автоматического действия*). Наиболее важными направлениями ее являются теории *оптимальной стратегии* и *оптимальных систем*, систем с автоматич. приспособлением и теория сложных систем.

Теория оптимальных систем занимается вопросами построения автоматич. систем, обеспечивающих оптимальные, т. е. наилучшие в определенном смысле, результаты. В ее арсенале находятся мощные общие математич. методы решения вариационных задач, в частности в виде *максимума принципа* и *динамического программирования*. Она находится еще на первом этапе развития, однако уже дает в руки инженера методы, позволяющие ему при разработке оптимальных систем заменить интуитивный подход научно обоснованной методикой.

Процесс автоматич. приспособления заключается в изменении параметров, хар-к либо структуры автоматич. системы или ее отдельных частей, производимом либо в разомкнутой, либо в замкнутой цепи при автоматич. регулировании, либо путем автоматич. поиска. Сюда относятся быстро развивающиеся теории самоадаптирующихся, самообучающихся и самоорганизующихся автоматич. систем.

Для современного состояния теории автоматич. управления характерно развитие работ, связанных со статистич. подходом к решению возникающих теоретич. задач. Следует также отметить быстрое развитие теории реальных устройств, теории *конечных автоматов* и логич. сетей, отражающих характерный для совр. этапа развития теории общий подход к вопросам автоматич. управления.

Усложнение автоматич. устройств и увеличение требований к бесперебойности их действия вызвали интенсивное развитие теории надежности автоматич. аппаратуры. Важные работы в области теории надежности передачи информации, структурной надежности и т. п. существенно продвинули решение проблемы синтеза автоматич. управляющих устройств, удовлетворяющих заданным требованиям к надежности их действия (см. *Синтез автоматического управления*).

Многие задачи теории автоматич. управления столь сложны, что одно лишь аналитич. исследование их не дает положительных результатов. Поэтому аналитич. исследования сочетаются с экспериментальными, проводимыми на разнообразных моделях, на универсальных и специализированных вычислит. машинах и т. д., а также на реальных системах (см. *Моделирование*).

Состояние А. характеризуется, далее, быстрым развитием ее технич. средств. В авто-

матич. управляющих устройствах широко применяется электромеханич. и электронная аппаратура. Значит. распространение начинает получать ПП аппаратура, магнитная бесконтактная аппаратура, пленочные, криогенные и параметронные элементы и т. п., позволяющие резко увеличить быстродействие и надежность автоматич. устройств и уменьшить их габариты.

Существенное развитие получила пневматич. аппаратура. Построение принципиально новых пневматич. элементов струйного типа, обладающих большой надежностью действия, позволило выполнять сложные автоматич. управляющие устройства, вплоть до вычислит. машин дискретного действия.

Аппаратура автоматич. управляющих устройств непрерывного действия, в принципе более дешевая и быстродействующая, широко применяется в виде усилителей, интеграторов, блоков гибких обратных связей, моделей управляемых объектов и т. п. Начинает, однако, проявляться явная тенденция к значительному увеличению удельного веса аппаратуры дискретного действия. Последняя обладает рядом принципиальных преимуществ, среди к-рых основными являются: высокая точность, помехоустойчивость, а также широчайший диапазон возможных к реализации алгоритмов управления. Получает распространение комбинированная аппаратура, в к-рой логич. операции осуществляются аппаратурой дискретного действия, а отдельные вычислит. процессы — аппаратурой непрерывного действия (см. *Цифровая вычислительная машина*, *Аналоговая вычислительная машина*). Для дальнейшего развития А. существенное значение имеет развитие появившихся в последнее время принципов действия автоматич. устройств и технич. средств.

В области оптимальных систем управления существенное значение будет иметь разработка оптимальных стратегий управления при наличии неполной информации об объекте, с накоплением этой информации различными способами. Получат все возрастающее применение самообучающиеся и самоприспосабливающиеся системы, к-рые на основе автоматич. анализа получаемой от объекта информации или осуществления автоматич. путем его испытаний и накопления опыта будут вырабатывать наилучшие алгоритмы управления или улучшать ранее заданные. Алгоритмы со сравнительно низким уровнем приспособления к хар-кам управляемого объекта будут заменяться в этих машинах алгоритмами с более высоким уровнем приспособления (см. *Алгоритм*, *Алгоритмизация процессов*, *Алгоритмов конструирования*).

Получат практич. применение различные самоорганизующиеся системы с переходом от первоначального стохастич. алгоритма ко все более определенному, по мере накопления автоматич. устройством опыта управления объектом. Все шире будут применяться автоматич. устройства для решения сложных задач, формирования концепций, распознавания образов и объектов, стохастич. самоадаптирующиеся модели и т. п.

В области технич. средств первоочередное значение будет иметь развитие новых элементов автоматич. устройств. Направление развития элементов А. характеризуется увеличением их быстродействия и надежности, а также

значит, уменьшением веса, габаритов и потребления энергии. Получат широкое применение новые типы элементов на магнитных и ПП пленках, туннельные диоды и триоды, разнотипные виды криогенной аппаратуры, микромодульные блоки и т. п. Современные успехи в области микроблоков делают реальным достижение в близком будущем плотностей порядка 20 тысяч элементов в 1 см^2 , что в знач. мере снимет существующие ограничения в числе используемых элементов и позволит создавать структуры управляющих устройств, приближающиеся по своим плотностям к биологическим.

М. А. Гагарилов, А. Я. Лернер,
А. А. Фельдбаум, А. В. Храмов.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ (transfer machine; chaîne de fabrication automatique, chaîne de production automatique; automatisches Fließband, Transferanlage, Automatische Fließstraße, Fließreihe, Transfermaschinenstraße) — система машин, комплекс основного, вспомогательного и подъемно-транспортного оборудования и механизмов, с помощью к-рых в определенной технологич. последовательности и с определенным ритмом изготавливается продукция. В ф-ции обслуживающего персонала входит: управление, наблюдение за работой агрегатов А. л., наладка и восстановление ее работоспособности. Полуавтоматическими наз. линии, в к-рых на отдельных операциях требуется непрерывное участие человека (пуск и остановка агрегатов, перемещение или закрепление продукта переработки).

Исходный материал на А. л. может подаваться в виде штучных заготовок, порциями или непрерывно; конечным продуктом могут быть штучные и «непрерывные» изделия (цепи, текстильные изделия, проволока, кабель, карамель и т. д.).

А. л. применяются преимущественно при изготовлении деталей или штучных изделий для многооперационных, гл. обр. дискретных, процессов в пищевой, электротехнической, радиотехнической, химич. отраслях пром-сти. Наибольшее распространение А. л. получили в машиностроении.

На А. л. может осуществляться весь процесс обработки или переработки продукта или часть его. А. л., в к-рых объединены разнохарактерные производств. процессы, наз. комплексными. На совр. А. л. предусматриваются и средства механизации и автоматизации вспомогат. операций (напр., уборки стружки), учета выработки продукции, контроля качества продукции. В дальнейшем на А. л. должно быть осуществлено автоматич. регулирование технологич. процессов — режимы обработки, перемещений рабочих органов, инструментальной наладки и переналадки.

А. л., предназначенные для обработки строго определенных по формам и размерам изделий, наз. специальными (напр., А. л. из агрегатных станков с жестко закрепленными шпинделями); при изменении объекта производства специальные А. л. требуют замены или коренной переделки. Более широкими эксплуатационными возможностями обладают специализированные А. л. На этих линиях, предназначен. для обработки однотипных деталей в определенном диапазоне размеров, при изменении объекта произ-ва требуется, как правило, лишь изменение инструментальной наладки и конечных перемещений; основное

технологич. оборудование в большинстве случаев может быть использовано для изготовления новых однотипных конструкций деталей. Специальные и специализированные А. л. находят применение гл. обр. в массовом произ-ве, где время рабочего цикла равно или больше темпа выпуска изделий.

В серийном произ-ве А. л. должны обладать необходимой универсальностью и возможностью быстрой переналадки для обработки однотипных деталей. Такие А. л. называют универсальными быстропереналаживаемыми, или групповыми. Несколько меньшая часовая производительность универсальных А. л. по сравнению со специальными компенсируется возможностью их быстрой переналадки. При изменении конструкции или объекта произ-ва универсальные А. л. позволяют без значит. затрат времени и средств осуществить перестройку на изготовление новых видов изделий.

В зависимости от масштабов произ-ва и характера технологич. процесса А. л. могут иметь след. структурные компоновки (рис. 1):

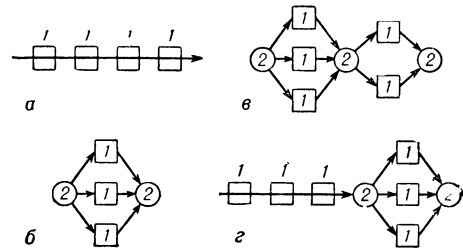


Рис. 1. Структурные компоновки автоматич. линий: а — однопоточная последовательного действия; б — однопоточная параллельного действия; в — многопоточная; г — смешанная (с ветвящимся потоком); 1 — рабочие агрегаты, 2 — распределит. устройства.

параллельного и последовательного действия однопоточные, многопоточные, смешанные (с ветвящимся потоком). А. л. параллельного действия применяются для выполнения одной операции, когда продолжительность ее значительно превышает необходимый темп выпуска. Заготовки в таких А. л. автоматически распределяются (из магазина или бункера) по агрегатам линии и после их обработки автоматич. приемными устройствами собираются и направляются на последующие операции или склад готовой продукции. Многопоточные А. л. представляют собой систему, А. л. параллельного действия, предназначен. для выполнения неск. технологич. операций, каждая из к-рых по продолжительности больше заданного темпа выпуска. В единую автоматич. систему могут быть объединены несколько А. л. последовательного или параллельного действия. Такие системы А. л. наз. автоматич. участками или цехами. Сочетание А. л. параллельного и последовательного действия применяется при наличии разных по продолжительности технологич. операций.

Транспортирование обрабатываемых деталей на А. л. может осуществляться жесткой или гибкой системами транспорта. Жесткая система может проходить сквозь рабочее пространство агрегатов А. л. или параллельно им с перпендикулярно расположенными устройствами для установки заготовок и снятия деталей с рабочих позиций. После окончания процесса обработки все детали раскрепляются

и передвигаются на след. рабочие позиции: при этом на первой позиции устанавливается новая заготовка, а на последней — снимается обработанная деталь. Жесткая система транспорта А. л. осуществляется шаговыми транспортерами. Рабочие позиции каждого из

изделий на А. л. параллельного действия, а также на многопоточных и смешанных А. л. Обычно гибкая система транспорта сочетается с магазинами или бункерами-накопителями у каждой рабочей позиции А. л. Магазины или бункеры-накопители применяются также

и на А. л. с жестким транспортом; в этом случае они органически встраиваются в общую транспортную систему, обеспечивая возможность независимой работы отдельных участков. Основное назначение межоперационных магазинов и бункеров-накопителей — обеспечение работы А. л. при остановках отдельных агрегатов, а также облегчение обслуживания линий. Количество и емкость накопителей определяются сложностью и протяженностью А. л., степенью надежности и безотказностью работы агрегатов.

Для отдельных видов массового произ-ва применяются автоматич. роторные линии, где рабочие агрегаты и транспортные устройства совершают в процессе работы непрерывное вращ. движение с заданным постоянным для всей линии темпом выпуска. Обеспечение одинаковой производительности рабочих роторных агрегатов при различной продолжительности отдельных технологич. операций достигается варьированием количества позиций на агрегатах.

В зависимости от технологич. процесса изделие при обработке может быть неподвижным или осуществлять прямолинейное, круговое или вращ. движение. Неподвижные или вра-

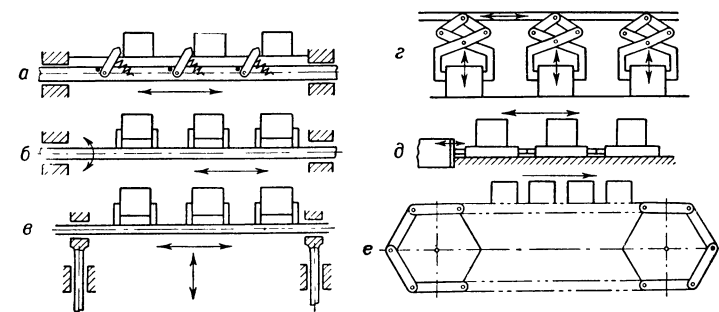


Рис. 2. Схемы шаговых транспортеров автоматич. линий: а — с собачками; б — с фланжками; в — грейферный; г — рейнерный; д — толкающий; е — цепной.

агрегатов А. л. при жесткой системе транспорта должны находиться на одинаковом расстоянии друг от друга. В зависимости от конструкции, размеров и форм деталей применяются шаговые транспортеры штангового типа, грейферные устройства, пластинчатые или цепные транспортеры (рис. 2). Примером А. л. с жестким транспортером могут служить линии из агрегатных станков, линии для механич. обработки поршней и др. Жесткие системы транспортных устройств преимущественно применяются на однопоточных линиях последовательного действия при изготовлении крупных штучных изделий (рис. 3).

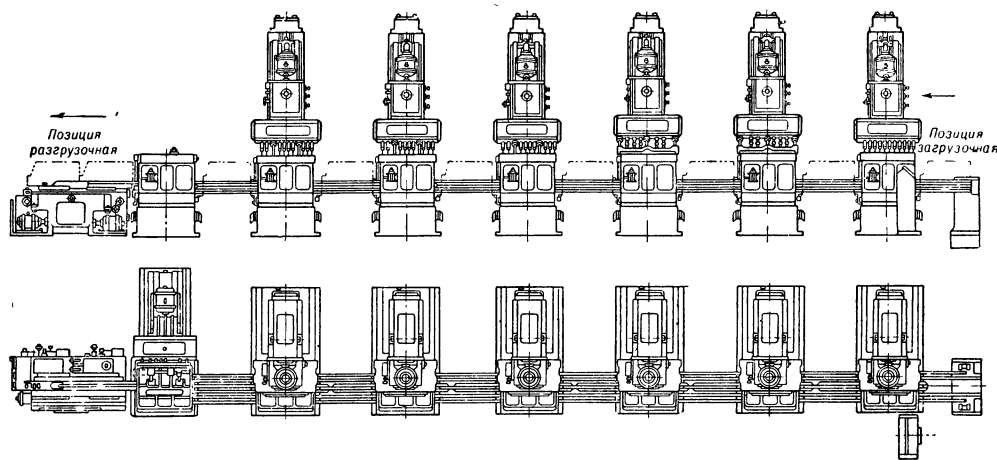


Рис. 3. Участок автоматич. линии из агрегатных станков для обработки блока цилиндров двигателя автомобиля.

При гибкой системе транспорта установка заготовок и снятие обрабатываемых деталей могут производиться независимо на каждом из агрегатов А. л.; передача изделий может быть совмещена с рабочим процессом. Транспорт обрабатываемых деталей между агрегатами при такой системе осуществляется при помощи наклонных или вибрац. лотков, цепных, ленточных или желобчатых конвейеров и т. п. Применение гибкой системы транспорта наиболее эффективно при обработке мелких

изделия фиксируются в требуемом положении непосредственно на рабочей позиции или в приспособлении-спутнике. Прямолинейное или круговое перемещение изделия в процессе обработки обычно осуществляется при помощи транспортных средств. Примером прямолинейного движения могут служить А. л. из бесцентрово-шлифовальных станков, кругового движения — роторные автоматич. линии.

При обработке деталей базовыми поверхностями служат или заранее обработанные по-

верхности детали или искусственные базы, напр. специально обработанные отверстия. При базировании деталей с помощью приспособлений-спутников возврат их в исходное положение осуществляется холостой ветвью транспортера или кольцевым транспортером, расположенным в вертикальной, наклонной или горизонтальной плоскостях. Наиболее рациональным с точки зрения использования рабочих площадей является расположение транспортера для приспособлений-спутников под или над рабочим транспортером.

На агрегатах А. л. преимущественно применяется индивидуальный или многодвигательный привод от асинхронных короткозамкнутых электродвигателей и, реже, регулируемой электрич., гидравлич. или механич. привод.

А. л. включает в себя следующие системы: управления и чередования фаз работы основных и вспомогат. агрегатов линии; блокирования работы оборудования, обеспечивающие безаварийность и безопасность работы; регулирования и контроля параметров технологич. процесса; наладочного управления и учета работы линии. Системы управления подразделяются на внутренние, обеспечивающие необходимую последовательность работы механизмов агрегатов линии, и внешние, обеспечивающие согласов. работу отдельных агрегатов и участков линии. В зависимости от конкретных условий системы управления А. л. строятся на электрич., механич., гидравлич., пневматич. или комбинированных связях. Для автоматич. регулирования технологич. процесса и переналадки оборудования в А. л. (преимущественно групповых) получают применение системы электронного *программного управления*.

Степень стабильности процесса на А. л. характеризуется временем, в течение к-рого необходимые параметры процесса выдерживаются в требуемых пределах. Обеспечение стабильности качества продукции и устранение влияния погрешностей в процессе обработки на А. л. достигается применением систематич. контроля заданных параметров и активным воздействием на технологич. процесс.

Основным экономич. критерием для оценки качества, установления области применения А. л. является фактор экономии затрат общественного труда на изготовление продукции заданного качества, снижение себестоимости продукции. Непосредственная эффективность применения А. л. заключается, в частности, в уменьшении числа обслуживающих рабочих. Наиболее полно эффективность А. л. проявляется при комплексном применении совершенных технологич. процессов, в полной мере использующих возможности автоматизир. производства. В условиях социалистич. произ-ва применение А. л. для тяжелых и вредных процессов может быть оправдано и в тех случаях, когда обеспечивается значительное облегчение и оздоровление условий труда рабочих. Однако, как правило, А. л. должны не только улучшать условия работы, но и обеспечивать необходимую экономич. эффективность.

Повышение экономической эффективности и расширение области применения А. л. тесно связаны с увеличением масштабов выпуска продукции, специализацией, нормализацией, стандартизацией объектов производства, внед-

рением рациональных размерных рядов и типажа (см. *Экономическая эффективность автоматизации*). Стоимость продукции, изготовляемой на А. л., определяется гл. обр. стоимостью исходных материалов и полуфабрикатов, производительностью А. л. и их стоимостью. Стоимость исходных материалов и полуфабрикатов составляет основную долю в себестоимости продукции. Так, в массовых отраслях машиностроения стоимость материалов составляет 50—70% от общей стоимости продукции, а заработная плата рабочих — 15%.

Технич. уровень процесса, выполняемого на А. л., с точки зрения использования исходных материалов, выражается следующим показателем:

$$K_m = \frac{Q_n}{Q_m},$$

где K_m — коэффициент использования материала, Q_n — вес готового изделия (детали), Q_m — вес исходных материалов (заготовки). Улучшение использования металла достигается за счет получения заготовок, максимально приближающихся по своим формам и размерам к формам и размерам готовых деталей.

Стоимость А. л. определяется количеством технологич. операций, их сложностью, масштабами выпуска, сложностью оборудования, серийностью его произ-ва. При прочих равных условиях решающий фактор, определяющий стоимость А. л., это серийность производства оборудования. Стоимость А. л. может быть снижена применением изготавливаемых в централизованном порядке нормализованных узлов, механизмов и инструментов (напр., А. л. из агрегатных станков), серийного оборудования, пригодного для встройки в А. л. (напр., А. л. для обработки ступенчатых валов, зубчатых колес) (рис. 4), организацией централизованного изготовления транспортных систем и систем управления, сокращением длительности монтажа и палатки.

Осуществление этих мер позволяет значительно сократить затраты времени и средств на проектирование А. л. и уменьшить сроки их изготовления и внедрения. Снижение стоимости А. л. имеет значение для расширения экономически целесообразной области их применения, организации произ-ва А. л. в количествах, необходимых для технич. перевооружения пром-сти.

Работоспособность А. л. определяется отношением

$$K_{\text{раб}} = \frac{T_{\text{раб}}}{T_0},$$

где $T_{\text{раб}}$ — общее время работы А. л., а T_0 — общий фонд рабочего времени. А. л. тем совершеннее, чем ближе $K_{\text{раб}}$ к единице. В наст. время $K_{\text{раб}}$ А. л. составляет при непрерывных процессах 0,85—0,95, а при дискретных 0,65—0,8.

Производительность А. л. зависит от времени, затрачиваемого на непосредственное осуществление рабочего процесса (определяющегося обычно по лимитирующей операции), времени на выполнение вспомогат. перемещений (несовмещенные транспортные операции, закрепление и открепление обрабатываемого изделия, отвод и подвод рабочих органов), времени на подналадку и наладку и восста-

повление работоспособности линии. Затраты времени на выполнение рабочего процесса определяются методами обработки. Уменьшение затрат времени на вспомогат. перемещения достигается сокращением числа последовательных холостых перемещений, повыше-

В 1947—50 впервые в мировой практике в СССР было создано комплексно-автоматизированное произ-во алюминиевых поршней, где автоматизированы все процессы, включая загрузку сырья, плавление металла, дозировку расплавленного металла, отливку заготовок,

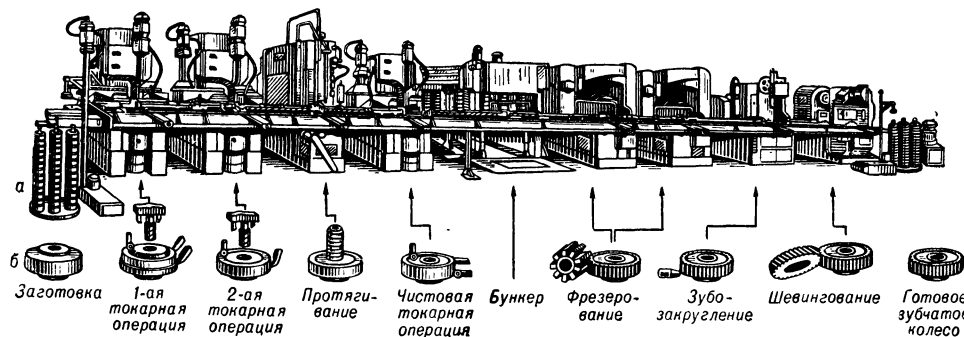


Рис. 4. Типовая автоматич. линия для обработки цилиндрич. зубчатых колес: а — общий вид линии; б — технологич. процесс, осуществляемый на линии.

нием их скорости, совмещением во времени холостых перемещений с рабочим процессом. Показатель цикловой непрерывности работы А. л. определяется отношением

$$K_{\text{ц}} = \frac{T_{\text{раб}}}{T_{\text{о}}},$$

где $T_{\text{раб}}$ — время на выполнение рабочего процесса, а $T_{\text{о}}$ — общее время цикла. Для непрерывных процессов $K_{\text{ц}}$ равно 1, для дискретных колеблется от 0,95 до 0,4. Линия считается тем совершеннее, чем ближе $K_{\text{ц}}$ к единице.

Время на подналадку уменьшается повышением стабильности рабочих инструментов, автоматич. регулировкой, заменой износившихся инструментов. Сокращение времени на наладку и переналадку оборудования А. л. достигается применением систем (в том числе и автоматич.) предварит. настройки режимов работы, конечных перемещений и инструментальной наладки. Время на ремонт сокращается повышением степени надежности элементов А. л., обеспечением удобной регулировки, быстрой (желательно плановой) заменой быстроизнашивающихся частей линии, автоматич. сигнализацией о характере и месте неисправности.

А. л. представляют собой важный этап в развитии автоматизации производств. процессов — переход от отдельных автоматич. машин к автоматич. системам машин. Дальнейшим этапом является комплексная автоматизация производств. участков, цехов, предприятий (см. *Автоматизация производства*).

Первые комплексные А. л. в СССР были созданы в 1939 рабочим рационализатором Волгоградского тракторного завода И. П. Иночкиным. В эти же годы на 1-м Гос. подшипниковом заводе в Москве были созданы А. л. для токарной и шлифовальной обработки деталей подшипников. Экспериментальным научно-исследовательским ин-том металлорежущих станков в 1936 были разработаны проекты А. л. из агрегатных станков. Такие линии для оборонной техники строились в годы войны. Завод «Станкоконструкция» в 1945—46 изготовил ряд А. л. из агрегатных станков для обработки корпусных деталей тракторов и автомобилей.

термическую, механическую, химическую, антикоррозийную обработку, контроль качества, упаковку готовой продукции. В 1953—55 создан комплексно-автоматизированный цех по изготовлению шариковых и роликовых подшипников на 1-м Гос. подшипниковом заводе. Комплекс А. л. в этом цехе осуществляет обработку, контроль и сборку подшипников.

Дальнейшим этапом в развитии А. л. явилось создание типовых быстроперенастраиваемых многономенклатурных А. л. для обработки ступенчатых и шлицевых валов, одно-вентровых и двухвентровых цилиндров, зубчатых колес. На этих линиях при незначит. затратах времени на переналадку возможна обработка неск. однотипных видов деталей в сравнительно широком диапазоне размеров; каждый из станков линии может работать также и самостоятельно. Созданием этих линий практически решена задача внедрения А. л. в серийное произ-во. Использование в типовых А. л. станков широкого назначения создало необходимые условия для серийного изготовления А. л.

А. л. для литейных, кузнечно-прессовых и сборочных цехов созданы коллективами Центрального бюро кузнечно-прессового машиностроения, Научно-исследовательского института технологии автомоб. пром-сти, Научно-исследовательского ин-та технологии тракторного и с.-х. машиностроения. Многие А. л. на основе использования действующего оборудования построены силами пр-тий.

Опыт создания и эксплуатации А. л. показал их высокую экономическую эффективность; производительность труда на А. л. повышается в 4—6 и более раз, себестоимость продукции снижается на 20—40%. Внедрение А. л. способствует повышению квалификации обслуживающего персонала. В 1962 в пром-сти СССР находится в эксплуатации неск. тысяч А. л.

Нек-рые примеры конструктивной компоновки А. л. показаны на отдельном листе.

Лит.: Владиславский А. П., Автоматические линии в машиностроении, кн. 1, М., 1958; Шаумян Г. А., Автоматы и автоматические линии, 3 изд., М., 1961; Прокопович А. Е., Автоматизация технологических процессов механической обработки, «АИТ», 1952, т. 13, № 3.

А. Е. Прокопович.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОДСТРОЙКА РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ (automatic frequency control of emitters; commande automatique de fréquence des émetteurs; automatische Nachreglung von Funksendern) — см. *Радиопередатчиков автоматическая подстройка.*

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОДСТРОЙКА ЧАСТОТЫ, АПЧ [frequency control; commande automatique de fréquence (CAF); selbsttätige Scharfabstimmung, automatische Scharfabstimmung], — автоматич. управление частотой автогенераторов посредством спец. схем и устройств. Основное назначение — АПЧ гетеродина в супергетеродинных радиоприемниках, а также АПЧ систем стабилизации и регулирования частоты др. электронных устройств. В первом случае АПЧ служит для обеспечения устойчивого приема сигналов при колебаниях частоты передатчика или уходах частоты гетеродина. Неточность настройки (расстройка) гетеродина приводит к частотным и амплитудным искажениям принимаемых сигналов и к уменьшению их уровня. Стабильность частоты автогенераторов зависит



Рис. 1. Функциональная схема автоматич. подстройки частоты: 1 — схема сравнения; 2 — усилитель сигналов расстройки; 3 — управляющая схема; 4 — исполнитель. элемент.

от темп-ры и влажности окружающей среды, стабильности режимов электропитания и электрич. нагрузки, а также от времени разогрева и механич. сотрясений. АПЧ является синхронно-следящей системой и состоит

(рис. 1) из схемы сравнения и выделения сигналов, пропорцион. расстройке приемного устройства (ПУ), усилителя этих сигналов, управляющей схемы и исполнитель. элемента. В схеме сравнения промежуточная частота $f_{пр}$, получаемая как

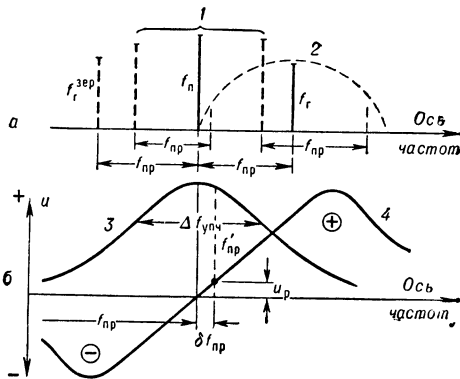


Рис. 2. Частотные хар-ки автоматич. подстройки частоты: 1 — возможные значения частоты передатчика; 2 — область генерации гетеродина; частотные хар-ки усилителя ПЧ (3) и дискриминатора (4); $f_{п}$ — частота передатчика; $f_{г}$ — частота гетеродина; $f_{г}^{зер}$ — зеркальная частота гетеродина; $f_{пр}$ — промежуточная частота; $\Delta f_{упч}$ — полоса пропускания усилителя ПЧ; $\delta f_{пр}$ — ошибка автоматич. подстройки частоты; $f'_{пр}$ — мгновенное значение ПЧ; u_r — сигнал расстройки.

нала $f_{п}$ и гетеродина $f_{г}$ в данный момент времени (рис. 2), сравнивается с частотой настройки схемы $f_{пр}$, к-рая равна промежуточ-

ной частоте (ПЧ) приемного устройства. Устранение настройки гетеродина на зеркальный канал $f_{г}^{зер}$ достигается правильным выбором величины ПЧ и ограничением области генерации гетеродина.

Схема сравнения может быть *детектором частотным* (ЧД) или дискриминатором. При наличии расстройки $f_{пр} \neq f_{пр}$ на выходе ЧД получаются сигналы u_r , амплитуда к-рых пропорциональна величине расстройки, а знак определяет знак расстройки, т. е. больше или меньше частота $f_{пр}$ промежуточной частоты ПУ $f'_{пр} < > f_{пр}$. За ЧД во всех схемах АПЧ следует усилитель сигналов расстройки, к-рый необходим для поднятия уровня сигналов расстройки до уровня срабатывания управляющей схемы. Исполнит. элемент преобразовывает сигналы управляющей схемы в изменения частоты гетеродина. В качестве управляющей схемы и исполнитель. элемента в приемных устройствах на КВ и УКВ применяется *реактивная лампа*, изменяющая частоту гетеродина в необходимых пределах. В ПУ сантиметрового и дециметрового диапазонов волн изменение частоты гетеродина может осуществляться различными способами. 1) При термич. АПЧ гетеродин ПУ помещается в термокамеру, темп-ра к-рой, а следовательно, и частота гетеродина определяются величиной напряжения, выдаваемого управляющей схемой. 2) При электромеханич. способе АПЧ исполнитель. элементом являются перем. индуктивность или емкость, входящие в колебат. контур гетеродина. Индуктивность или емкость изменяют реверсивным электродвигателем (управляющая схема). Основной недостаток этих способов — их инерционность и увеличение габаритов ПУ. Находят ограниченное применение. 3) Электронный способ АПЧ свободен от недостатков АПЧ, указанных выше, и широко применяется в ПУ всех типов. В этом способе используется свойство клистронов или др. электровакуумных приборов изменять частоту генерации при изменении напряжения на отражат. электроде. Электронные АПЧ импульсных радиолокац. станций подразделяются на АПЧ с совмещенным каналом приема сигналов и на АПЧ с отдельным каналом. В первых используются сигналы передатчика, просачивающиеся на смеситель ПУ через антенный переключатель радиолокац. станции. Образующиеся сигналы ПЧ после усиления в усилителе ПЧ основного канала ПУ подаются на ЧД и после дальнейшего усиления — на управляющую схему. АПЧ (рис. 3) с отдельным каналом находит более широкое применение.

По характеру работы управляющей схемы АПЧ подразделяются на *следящие* и на АПЧ с *поиском*. Следящие АПЧ применяются для радиолокац. станций, у к-рых скорость ухода частоты передатчика меньше скорости действия АПЧ. Такое устройство состоит из ЧД и усилителя пост. тока и обеспечивает автоподстройку частоты клистрона, но пределы АПЧ и скорость ее весьма ограничены. АПЧ с поиском, хотя и сложнее по своему устройству, но более надежна в работе. Она требует меньшей точности ручной настройки ПУ и может обеспечивать подстройку гетеродина во всем рабочем диапазоне частот. В качестве управляющих элементов в АПЧ

с поиском применяются схема на тиратронах или диодно-фантастронные схемы поиска и слежения. Преимущества последней: быстрдействие, подстройка по каждому импульсу передатчика, значительно меньшая паразитная модуляция частоты гетеродина.

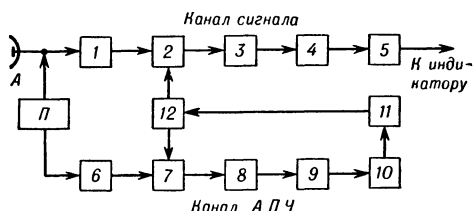


Рис. 3. Скелетная схема приемного устройства импульсной радиолокац. станции с отдельным каналом автоматич. подстройки частоты: А — антенна; П — передатчик; 1 — антенный переключатель; 2 — смеситель; 3 — усилитель ПЧ; 4 — детектор; 5 — усилитель НЧ; 6 — делитель мощности; 7 — смеситель автоматич. подстройки частоты; 8, 10 — усилители; 9 — дискриминатор; 11 — управляющая схема; 12 — гетеродин.

В диодно-фантастронной управляющей схеме АПЧ (рис. 4) поисковое пилообразное напряжение снимается с анода лампы L_1 и подается на управляющий электрод клистрона.

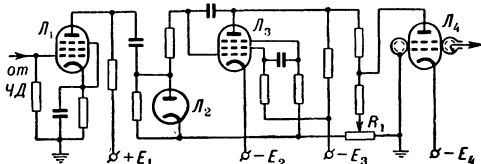


Рис. 4. Диодно-фантастронная управляющая схема автоматич. подстройки частоты: L_1 — усилитель; L_2 — диод; L_3 — генератор пилообразных колебаний; L_4 — клистрон; R_1 — потенциометр начальной установки частоты.

Поиск прекращается, как только на диодный детектор L_2 приходит положит. импульсы от усилителя L_1 , свидетельствующие о наличии сигналов ПЧ. В момент, когда напряжения на аноде диода и на управляющей сетке L_3 станут равными, пилообразные колебания прекратятся. Величина напряжения на выходе усилителя L_1 устанавливается автоматически. Т. о. поддерживается необходимое значение частоты гетеродина. Исходное напряжение на управляющем электроде клистрона устанавливается потенциометром R_1 . Кроме систем АПЧ, поддерживающих постоянно разностной (промежуточной) частоты, в радиолокац. технике применяются также системы, поддерживающие постоянно частоты гетеродина. Такие системы работают при отсутствии сигналов передатчика, а гетеродин подстраивается под эталонную частоту, создаваемую др. гетеродином с кварцевой стабилизацией, или под частоту настройки объемного резонатора с высокой добротностью. Частота настройки такого эталонного генератора или добротного резонатора отличается от частоты передатчика на величину $f_{пр}$. В качестве дискриминаторов в этих системах используются схемы совпадения сигналов НЧ, к-рой модулируется гетеродин. После интегрирования и усиления эти сигналы подаются на отражающий клистрон для изменения его частоты. Т. о., абс. системы АПЧ являются следящими и не имеют системы поиска.

Полосой АПЧ наз. область частот, в пределах к-рой осуществляется перестройка гетеродина при поиске, захват частоты передатчика или эталона и слежение за их разностью. Ошибкой АПЧ наз. остаточное отклонение разностной частоты гетеродина и передатчика от номинального значения $f_{пр}$ после срабатывания АПЧ (см. рис. 2, 6). Ошибки АПЧ зависят: от крутизны хар-ки ЧД, крутизны хар-ки клистрона по отражат. электроду, коэфф. усиления АПЧ и полосы пропускания усилителя ПЧ. Системы АПЧ рассчитываются т. о., чтобы величина ошибки была значительно меньше полосы пропускания ПУ и не влияла на его работу ($\delta f_{пр} < \Delta f_{упч}$).

Лит.: Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, 5 изд., М., 1954; Сиверс А. П., Радиолокационные приемники, М., 1952; Капланов М. Р., Левин В. А., Автоматическая подстройка частоты, 2 изд., М.—Л., 1956; Приемники радиолокационных станций, под ред. А. П. Сиверса, пер. с англ., т. 1, М., 1949. В. И. Шебанов.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ, АРУ [automatic gain control; contrôle automatique de gain, commande automatique de gain (CAG), antifading; automatische Verstärkungsregelung], — поддержание в заданных пределах величины сигнала на выходе усилителя при изменениях величины входного сигнала посредством автоматич. регулировки коэфф. усиления. Устройства АРУ делятся на системы без обратной связи, с обратной связью и смешанные и состоят из усилителя с регулируемым коэфф. усиления; устройства для измерения сигнала; фильтра, предотвращающего прохождение частот модуляции сигнала по цепи регулирования и обеспечивающего устойчивость систем АРУ с обратной связью, и управляющего устройства. Нек-рые из составных элементов АРУ могут отсутствовать, напр. фильтр или измерит. устройство. В последнем случае величина выходного сигнала изменяется в гораздо больших пределах, чем в АРУ с измерит. устройством.

В системе АРУ без обратной связи (рис. 1) входной сигнал проходит через усилитель,

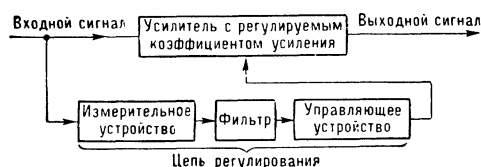


Рис. 1. Система автоматич. регулировки усиления без обратной связи.

а также поступает в цепь регулирования, к-рая вырабатывает регулирующее воздействие, изменяющее коэфф. усиления усилителя. Для хорошей работы такой системы необходимо, чтобы регулировочная характеристика усилителя и коэфф. передачи цепи регулирования были подобраны определ. образом и оставались неизменными во время эксплуатации. Зависимость величины выходного уровня сигнала от параметров системы АРУ является основным недостатком, препятствующим распространению этой системы АРУ.

В системе АРУ с обратной связью (рис. 2) сигнал, поступающий на вход усилителя, усиливается им и поступает на измерит. устройство, где сравнивается с нек-рым заданным уровнем, определяющим величину сигнала

на выходе усилителя. Величина выходного сигнала, превышающая заданный уровень (разность между выходным сигналом и опорным), поступает на управляющее устройство, которое автоматически изменяет коэффициент усиления регулируемого усилителя т. о., что величина

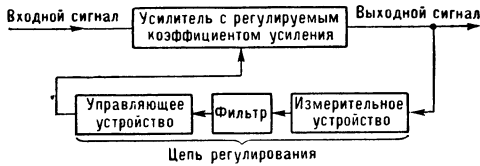


Рис. 2. Система автоматич. регулировки усиления с обратной связью.

выходного сигнала при изменениях сигнала на входе остается близкой к величине заданного уровня. Точность поддержания величины выходного уровня сигнала определяется способом построения петли регулирования этих систем. По виду построения петли регулирования АРУ с обратной связью разделяются на системы астатич. и статич. регулирования. В астатич. системах петля регулирования строится так, что регулирующее воздействие, управляющее коэфф. усиления усилителя, запоминается. Поэтому при воздействии постоянного сигнала на АРУ петля регулирования устанавливает такую величину коэфф. усиления регулируемого усилителя, что выходной сигнал АРУ будет равен заданному уровню. В системах статич. регулирования петля регулирования не запоминает регулирующего воздействия. Даже при воздействии сигнала постоянной величины на АРУ для получения регулирующего воздействия, обеспечивающего необходимый коэфф. усиления, требуется, чтобы на вход петли регулирования воздействовал выходной сигнал. Это значит, что выходной сигнал АРУ должен быть больше заданного уровня. Превышение выходного сигнала над уровнем, по которому АРУ регулирует выходной сигнал, называется статич. ошибкой регулирования (в астатич. системах при постоянном сигнале на входе ошибка может быть равна нулю). Свойства систем АРУ описываются, как и свойства систем автоматич. регулирования, их частотными и временными хар-ками. Системы АРУ с обратной связью относятся к классу систем автоматич. регулирования с перем. параметрами, управляемыми входным воздействием (входным сигналом), благодаря чему их частотные и временные хар-ки, в отличие от обычных систем автоматич. регулирования, зависят от величины входного сигнала.

Лит.: Цыпкин Я. З., Теория импульсных систем, М., 1958; Споров В. И., Радиоприемники сверхвысоких частот, М., 1955; Тартаковский Г. П., Динамика систем автоматической регулировки усиления, М.—Л., 1957.

И. М. Мошкурин.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЗАВОД (automatic plant; usine-automate, usine automatique; automatische Fabrik) — см. *Завод-автомат*.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВА, АВР [automatic reserve (equipment) switching; enclenchement automatique de reserve; automatische Reserveeinschaltung], — введение автоматич. устройств резервного оборудования вместо повредившегося основного. В вычислит. комплексах АВР позволяет повысить надежность. В энерго-

системах АВР в осн. используется в цепях электр. питания (тр-ры и шины понизит. подстанций, установки питания собств. расхода электростанций и подстанций, кольцевые сети, работающие в разомкнутом режиме, ответственные насосы и т. д.), где автоматич. включением резервного источника питания обеспечивается бесперебойность снабжения потребителей при аварийном исчезновении питания от рабочего источника.

Устройства АВР обычно реагируют на два признака исчезновения питания от рабочего источника: а) отключение по любой причине выключателя осн. питания, б) устойчивое снижение ниже допустимой величины параметра, характеризующего осн. питание (электрич. напряжение, давление в напорных магистралях и т. д.). По первому признаку АВР немедленно включает цепь источника резервного питания или привода резервного механизма. На второй признак реагирует спец. пусковой орган (ПО) устройства АВР, отключающий источник рабочего питания, после чего немедленно автоматически замыкается цепь резервного источника. При использовании АВР для резервирования источников питания электрич. энергией ПО должен содержать реле или устройство: а) реагирующее на исчезновение напряжения у потребителя, б) контролирующее наличие напряжения на резервном источнике, в) фиксирующее выдержку времени.

При исчезновении напряжения рабочего питания реле или спец. устройство запускает элемент выдержки времени, действующий на отключение источника рабочего питания в том случае, если контролирующее реле или устройство указывает на наличие напряжения на резервном источнике.

Уставка ПО по напряжению рабочего источника обычно берется порядка $0,25 U_{ном.}$, что обеспечивает отстройку устройства АВР от внешних кз за реакторами и тр-рами, а также от затяжных понижений напряжения вследствие самозапуска электродвигателей после отключения внешних кз. Выдержка времени ПО берется на ступень селективности больше времени отключения тех внешних кз, к-рые вызывают посадку напряжения до величины, меньшей $0,25 U_{ном.}$

Уставка устройства, контролирующего наличие напряжения на резервном источнике, берется равной тому миним. напряжению, при котором еще будет обеспечен самозапуск электродвигателей после АВР. Эффективность АВР тем выше, чем меньше перерыв питания потребителей, поэтому выдержку времени ПО следует брать минимально допустимой. В случае резервирования неэлектрич. питания параметры, контролируемые ПО, выбираются по конкретным условиям, однако принцип построения устройств АВР сохраняется.

Непрерывное требование к устройствам АВР — однократность их действия. При включении резервного источника питания устройством АВР на неустранившееся повреждение и последующем отключении этого источника защитой повторное действие устройства АВР не допускается. Это условие обеспечивается соответствующим выполнением схемы АВР. В. Л. Розис, Е. Л. Сиротинский.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ, АПВ [automatic reclosing (reclosure); réenclenchement automatique; automatische

Wiedereinschaltung], — включение с помощью автоматических устройств аварийно отключившегося выключателя элемента электрич. цепи с целью восстановления питания потребителей. Успешное АПВ возможно при восстановлении воздушной изоляции в месте кз после снятия напряжения с поврежд. участка цепи. Поэтому АПВ применяются для воздушных линий, открытых токопроводов, шин и кабельных линий с шинными сборками на подстанциях. После неуспешного АПВ на несомоустранившееся кз выключатель должен быть вновь быстро отключен.

Эффективность АПВ тем выше, чем быстрее следует оно за аварийным отключением выключателя, т. е. чем меньше время перерыва питания потребителей. Это время зависит от длительности цикла АПВ и количества этих циклов. Цикл АПВ — время от момента подачи сигнала на отключение выключателя до замыкания цепи гл. контактами выключателя, складывается из: $t_{0.в.}$ — времени отключения выключателя; $t_{ср.у.}$ — выдержки времени срабатывания устройства АПВ, $t_{в.в.}$ — времени включения выключателя. Сумма $t_{ср.у.} + t_{в.в.}$ наз. бестоковой паузой. Время $t_{ср.у.}$ — уставка устройства АПВ — выбирается такой, чтобы а) за время бестоковой паузы удалось произойти восстановление изоляции (деионизация) воздушной среды в месте кз; б) привод выключателя после выполнения им операции «отключить» был бы готов к операции «включить»; в) выключатель к моменту замыкания его главных контактов восстановил способность к отключению поврежд. цепи в случае неуспешного АПВ.

Время деионизации (десятые и сотые доли сек.) зависит от напряжения установки и тем больше, чем выше это напряжение. Время восстановления отключающей способности выключателя определяется его конструкцией и количеством циклов АПВ, непосредственно предшествовавших данному циклу и предусмотр. в устройстве АПВ данного выключателя. В электрич. системах используются устройства АПВ: однократное — с одним циклом, двухкратное, когда при неуспешном первом цикле следует второй, и трехкратное — с тремя последоват. циклами.

В устройствах однократного АПВ $t_{ср.у.}$ определяется только условиями «а» и «б», т. к. первый цикл АПВ соответствует нормальному испытат. циклу совр. выключателей, и условие «в» в данном случае выполняется. В устройствах двух- и трехкратного АПВ $t_{ср.у.}$ первого цикла выбирается такое же, как и в устройстве однократного АПВ. Для второго и третьего циклов уставка $t_{ср.у.}$ определяется условием «в» и составляет для двухкратного АПВ 10—15 сек., для трехкратного — 60—120 сек.

Наиболее распространено однократное АПВ, обеспечивающее на воздушных линиях 70—90% успешных включений. Двухкратное АПВ при неуспешном первом цикле дает во втором цикле 10—15% успешных включений. Третий цикл увеличивает число успешных включений всего на 2—3% (в СССР практически не используется).

Двухкратное АПВ применяется на необслуживаемых подстанциях, на линиях с отпайками к тр-рам подстанций без выключателей на стороне питания, на линиях с пониж. гро-

зоупорностью и на одиночных линиях тупиковых подстанций. На линиях электропередачи с двусторонним питанием применяется однократное АПВ в нескольких модификациях, по-разному решающих проблему соединения на параллельную работу двух источников питания, потерявших синхронизм в результате аварийного отключения рассматриваемой линии.

Выбор модификации определяется расчетом уравнит. токов и электромагнитных воздействий на генераторы источников питания, а также длительности асинхронных режимов указанных источников после АПВ. На выбор модификации АПВ влияют также параметры оборудования линии. Существуют две осн. модификации АПВ на линиях с двусторонним питанием — несинхронное в двух выполнениях: быстродействующее АПВ (БАПВ) и собственно несинхронное АПВ, и АПВ с улавливанием синхронизма. При БАПВ продолжительность цикла не более 0,5 сек. Оба выключателя линии, отключенные защитой при повреждении на ней, включаются практически одновременно. Эта модификация может применяться, если расчеты показывают, что за время кз и бестоковой паузы последующего цикла АПВ расхождение фаз напряжений по концам линии невелико, и после АПВ не возникнут недопустимые воздействия токов на генераторы. БАПВ требует быстродействующих как выключателей, так и устройств релейной защиты.

Несинхронное АПВ применяется при отсутствии быстродействующих защиты и выключателей на линии, если расчеты показывают, что в самом наихудшем случае (при расхождении фаз напряжений по концам линии на $125—135^\circ$) не возникают опасные воздействия на генераторы источников питания или длительный их асинхронный режим. После двустороннего отключения линии автоматически включается один выключатель. Если это АПВ было успешным и напряжение на линии восстановилось, устройство АПВ др. выключателя производит несинхронное соединение двух источников питания. В случае неуспешного АПВ первого выключателя устройство АПВ второго выключателя не действует.

АПВ с улавливанием синхронизма применяется в тех случаях, если два ранее рассмотр. способа не применимы. После двустороннего отключения линии автоматически включается один из выключателей. Если АПВ этого выключателя было успешным и напряжение на линии восстановилось, устройство АПВ др. выключателя улавливает момент приближения синхронизма двух источников питания и производит включение второго выключателя линии с небольшим углом расхождения фаз, чем сгранициваются величины толчков токов и электромагнитных моментов в генераторах. Перечисл. способы АПВ предусматривают отключение и обратное включение всех трех фаз выключателя.

На дальних линиях электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения в сетях с большим током замыкания на землю применяется однофазное АПВ (ОАПВ). В этом случае выключатели должны иметь отдельные приводы на каждой фазе, а релейная защита — избират. органы, обнаруживающие поврежд. фазу. При замыкании одной фазы на землю отключается и повторно включается только

эта фаза. При междуфазовых повреждениях происходит отключение трех фаз. ОАПВ, как правило, выполняется однократным и, если оно оказалось неуспешным, то вновь отключаются уже все три фазы. Эффективность ОАПВ определяется тем, что: 1) большинство повреждений вызывается однофазными замыканиями на землю; 2) после отключения поврежденной фазы сохраняется синхронная связь по неповрежденным фазам линии, что облегчает восстановление норм. работы системы после АПВ.

Значит, усложнение устройств релейной защиты при ОАПВ (наличие избират. органов и необходимости обеспечения селективности действия при кз и в цикле АПВ) заставляет использовать последнее лишь в особо ответственных случаях, когда трехфазное АПВ неприемлемо.

Стоимость устройств АПВ несоизмеримо мала в сравнении с экономич. эффектом, получаемым от резкого снижения недоотпуска электроэнергии и от уменьшения капитальных затрат (напр., за счет отказа от защитных троп по всей длине линии, от устройства подстанций без выключателей на стороне питания и т. п.). Применение АПВ позволяет повысить быстродействие простейших токовых защит путем ускорения действия защиты после АПВ (выдержка времени защиты данного выключателя после срабатывания устройства АПВ выводится, и в случае неуспешного АПВ он отключается без выдержки времени) или до АПВ. Последнее может осуществляться на радиальных линиях с несколькими последовательно включ. участками. Устройство АПВ устанавливается на выключателе головного участка, его защита делается быстродействующей и неселективной, способной отключать повреждения на всех участках линии.

При кз на любом участке отключается без выдержки времени и повторно включается головной участок. Поэтому в случае успешного АПВ питание всех подстанций восстанавливается с миним. временем перерыва. При неуспешном АПВ селективность защиты восстанавливается, и поврежденный участок отключается с выдержкой времени своей защиты.

Устройства АПВ для выключателей, имеющих приводы с дистанц. управлением, выполняются на электр. принципе и должны удовлетворять следующим условиям: 1) производить АПВ при всех аварийных отключениях линии; 2) не производить АПВ при преднамеренном дистанц. отключении выключателя и при дистанц. его включении на поврежд. линию; 3) не производить многократного включения выключателя при практически возможных неисправностях самого устройства; 4) иметь автоматич. возврат в состояние готовности к новому действию, спустя небольшой интервал времени после успешного АПВ.

В. Л. Козис, Е. Л. Сиротинский.

АВТОМАТОВ ТЕОРИЯ (theory of automata, automata studies; théorie des automates; Automaten-theorie) — раздел *кибернетики*, возникший под влиянием запросов техники цифровых вычислит. и управляющих машин. Дискретные автоматы, изучаемые в А. т., являются абстрактными моделями реальных систем (как технич., так и биологич.), к-рые перерабатывают дискретную (цифровую) информацию дискретными временными тактами. В основе

А. т. лежат точные математич. понятия, формализующие интуитивные представления о функционировании (поведении) автомата и о его структуре (внутр. устройстве). При этом под преобразованием информации всегда понимается операция, преобразующая *последовательности входные*, составл. из букв *входного алфавита*, в *последовательности выходные*, составл. из букв *выходного алфавита*. В А. т. широко применяется аппарат математич. логики, алгебры, теории вероятностей, комбинаторики и теории графов.

Проблематика А. т. в нек-рой своей части (структурная А. т.) выросла из *релейно-контактных схем теории*, к-рая начала складываться в конце 1930-х гг. с привлечением методов *алгебры логики*. В структурной А. т. исследуются различного рода схемы, предназначенные для описания того, как сложный автомат создается из более простых компонент (элементов), надлежащим образом соединенных в единую систему. Др. направление, называемое иногда абстрактной А. т. (более удачно было бы функциональная А. т.), изучает поведение автоматов (т. е. характер осуществляемого ими преобразования информации) при отвлечении от специфики их внутр. устройства и возникло в 1950-х гг.

В рамках абстрактной А. т. содержание понятий «автомат» и «машина» исчерпывается, по существу, стандартным описанием того преобразования информации, к-рое осуществляется автоматом. Такое преобразование может быть детерминированным (см. *Детерминированная машина*), но может иметь и вероятностную природу (см. *Вероятностная машина*). Наиболее изученными являются детерминированные машины (автоматы), к-рым относятся *конечные автоматы* — гл. объект изучения в А. т.

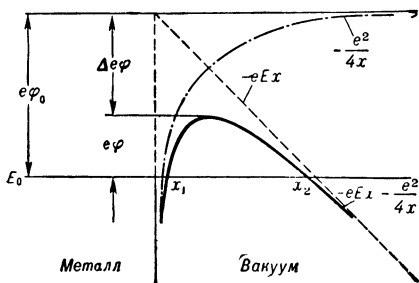
Конечный автомат характеризуется конечностью объема памяти (числа внутр. состояний) и задается посредством функции перехода. При некоторой целесообразной идеализации все совр. математич. машины и даже мозг, с точки зрения их функционирования, можно рассматривать как конечные автоматы. Отметим, что термины «последовательностная машина», «автомат Мили», «автомат Мура» употребляются в лит-ре (причем не одинаково всеми авторами) как синонимы термина «конечный автомат» либо для подчеркивания тех или иных особенностей в ф-циях перехода конечного автомата.

К автоматам с неогранич. памятью относится *Тьюринга машина*, способная осуществлять (потенциально) любое эффективное преобразование информации. Понятие «машина Тьюринга» возникло раньше понятия «конечный автомат» и изучается преимущественно в теории алгоритмов.

Абстрактная А. т. тесно связана с известными алгебраич. теориями, напр. с теорией полугрупп [2]. С прикладной точки зрения представляют интерес результаты, к-рые характеризуют преобразование информации в автомате в терминах его объема памяти. Так, напр., обстоит дело в задачах с экспериментами над автоматами (работы Э. Ф. Мура и др.), в к-рых по результатам экспериментов получаются те или иные сведения о ф-циях перехода автомата или об его объеме памяти. Др. задача заключается в оценке периодов выходных последовательностей, исходя из имеющихся све-

АВТОТРАНСФОРМАТОРНАЯ СВЯЗЬ (auto-inductive coupling; couplage autoinductif, couplage par autotransformateur; Übertragerkopplung, autoinductive Kopplung, Spartransformatorkopplung) — см. Трансформаторная связь.

АВТОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ (field emission; emission de champ, autoémission, émission électronique par champ électrique; Feldemission, Feldelektronenemission) — испускание электронов холодными твердыми телами при создании на их поверхности достаточно сильного электрического поля. При этом потенциальный порог на границе тело — вакуум превращается в узкий и низкий потенциальный барьер (рис.). Согласно кван-



Энергетич. диаграмма потенциального барьера на границе металл-вакуум при наличии внешнего электрич. поля E , согласно зоммерфельдовской модели металла. Пунктирной линией показана форма идеализированного барьера без учета «силы зеркального изображения», введенной Шоттки.

товомеханич. представлениям, А. э. обусловлена туннельным «просачиванием» электронов металла или ПП сквозь этот барьер. С увеличением электрич. поля уменьшаются ширина барьера $x_1 - x_2$ и его высота $e\phi$. При нагревании эмиттера и наложении поля наблюдается «облегченная» эмиссия, наз. термоавтоэлектронной, являющаяся результатом дополнит. теплового возбуждения электронов. Плотность тока А. э. металлов j (a/cm^2) определяется приближенно ф-лой

$$j = 1,55 \cdot 10^{-6} \varphi^{-1} E^2 \exp \times \left[-6,85 \cdot 10^7 \frac{\varphi^{3/2}}{E} \theta \left(3,62 \cdot 10^{-4} \frac{V\bar{E}}{\varphi} \right) \right],$$

где φ — работа выхода ($e\phi$), E — напряженность поля (a/cm), θ — ф-ция Нордгейма (имеются табл.). А. э. экспериментально исследована для ряда тугоплавких металлов (W, Mo, Re, Ta, Pt, Ni, Ag, Zr, Ti и др.) и нек-рых металлоподобных соединений со структурой внедрения из групп карбидов и боридов, напр. LaB_6 и ZrC . Из ПП материалов исследованы CsSb, CdS, CdSe, Fe_2O_3 , Al_2O_3 и SiO_2 с примесью C, Si, ZnS, нек-рые карбиды W и др. Экспериментальные зависимости j от E , φ , темп-ры T эмиттера, а также данные по распределению автоэлектронов по скоростям согласуются с теорией. Для получения достаточно большого тока А. э. необходимы большие электрич. поля ($E = 10^6 - 10^7 \text{ a}/\text{cm}$). Обычно автоэмиттеры изготавливаются в виде тонких острий методом электролитич. травления (рабочей поверхностью эмиттера является закругленный кончик острия, а поле определяется радиусом его закругления, равным примерно 1 мк , и приложенным напряжением). Для А. э. характерна возможность отбора весьма высоких плотностей тока (до

$10^8 \text{ a}/\text{cm}^2$ и $10^4 \text{ a}/\text{cm}^2$ для металлов и ПП соответственно). В металлах при $j > 10^6 \text{ a}/\text{cm}^2$ влияние пространства заряда приводит к отклонению от экспоненциальной зависимости j от E (в сторону меньших плотностей тока). При $j = j_{\text{крит}} \approx 10^7 - 10^8 \text{ a}/\text{cm}^2$ стационарная во времени стабильная А. э. переходит в «вакуумную» дугу — лавинообразный процесс нарастания тока при пост. напряжении, заканчивающийся расплавлением автоэмиттера и значит. увеличением его размеров. Величина $j_{\text{крит}}$ существенно зависит от условий теплового баланса на кончике эмиттера, т. е. определяется материалом и углом α заострения эмиттера. Так, при $\alpha \approx 10^\circ j_{\text{крит}} \approx 4 - 6 \cdot 10^7 \text{ a}/\text{cm}^2$, а при $\alpha \approx 50^\circ j_{\text{крит}} \approx 2 - 4 \cdot 10^8 \text{ a}/\text{cm}^2$. Ряд особенностей выделяет А. э. среди других видов эмиссии и представляет принципиальный интерес для практич. использования, а именно: а) экспоненциальная форма вольт-амперной характеристики с очень высокой крутизной; б) при очень высоких отбираемых плотностях тока абс. токи могут достигать неск. тысяч а; в) автоэмиттеры не требуют затрат мощности для их разогрева (т. к. автокатод может работать холодным) и мгновенно готовы к действию; экспериментально наблюдалась безынерционность А. э. вплоть до частот 36 Мгц ; г) острия А. э. катодов представляют собой миниатюрные «точечные» источники электронов с очень высокой электронной яркостью.

Наиболее перспективно применение А. э. катодов в мощных импульсных и СВЧ электронных приборах, рентгеновских трубках, СВЧ системах для получения электронных пакетов с высокой полнотой заряда, а также — благодаря малым размерам катода и резко сниженным абберациям — в таких электроннолучевых приборах, где требуется высокая разрешающая способность и яркость пятна (диаметр пятна $\approx 1 \text{ мк}$). Выпускаемые в нек-рых зарубежных странах рентгеновские трубки с А. э. катодом, имеющие миниатюрные размеры, дают в импульсе мощность до 300 ватт . Интересна разработка опытного прибора СВЧ (т. н. фемитрона), к-рый (в разных вариантах) может использоваться как мощный усилитель, смеситель или умножитель частоты. На помещенный в резонатор А. э. катод действуют пост. напряжение и электрич. поле СВЧ, создающие в пространстве катод-коллектор глубоко продублированный электронный поток. Среди существующих микроскопов автоэмиссионные микроскопы (электронные проекторы) обладают наибольшим увеличением (10^6) и очень высокой разрешающей способностью ($10 - 30 \text{ А}$). Они позволяют наблюдать явления эмиссии различных видов, адсорбцию, поверхностную миграцию, фазовые превращения, хим. реакции и пр. Широкому применению А. э. пока препятствует ряд трудностей, связанных с получением стабильного во времени тока, для к-рого, как видно из ф-лы, характерна резкая, экспоненциальная зависимость от фактора $\varphi^{3/2}/E$. Поэтому незначит. изменение φ , обусловленное адсорбционным или хим. явлениями на поверхности, или изменение E , связанное, напр., с ионной бомбардировкой эмиттера, а следовательно с изменением его геометрии, приводит к существенным изменениям величины j . К нежелат. флуктуациям тока А. э. приводят также поверхностная миграция, диффузия примесей

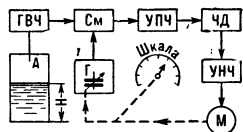
и образование агрегатов адсорбированных молекул. Резкое повышение стабильности А. э. было достигнуто в связи с последними успехами вакуумной техники. Имеются данные, что при вакууме 10^{-10} — 10^{-12} мм рт. ст. автоэммитеры из W или Re стабильно работают в статич. режиме в течение неск. тыс. часов.

Эмиттеры из новых устойчивых материалов, напр. W, Re, LaB₆, ZrC, Al₂O₃ и SiO₂ с примесью С и нек-рых др., обнаруживают высокие стабильные свойства при работе в импульсном и в статич. режимах. В ряде случаев адсорбц. эффекты могут быть в значит. мере снижены подбором состава среды остаточных газов в приборе, а также подкачиванием автоэммитера до темп-р 800—1000° (такой режим работы условий эмиссии не изменяет). Основную причину нестабильности А. э. — ионную бомбардировку и связанное с ней катодное распыление, приводящее к нерегулярности работы поверхности автоэммитера, а в большинстве случаев и к «вакуумной» дуге, можно в значит. степени ослабить с помощью нек-рых мер электронно-оптич. характера. Интенсивность катодного распыления значительно снижается при использовании импульсных и, как показывает анализ, СВЧ режимов работы автоэммитера.

Лит.: Елинсон М. И., Васильев Г. Ф., Автоэлектронная эмиссия, М., 1958; Елинсон М. И. и др., «РиЭ», 1960, т. 5, вып. 8, с. 1318; G o m e r R., Field emission and field ionization, Camb., 1961; D y k e W. P., «IRE Trans. on Military Electronics», 1960, v. 4, № 1, p. 38.

В. А. Горьков.

АВТУР, автоматический уровеньнемер (automatic level controller; régulateur automatique de niveau; selbsttätiger Flüssigkeitsstandanzeiger), — бесконтактный прибор со следящей системой, измеряющий уровень жидкости эндометрическим методом.



Блок-схема автура: ГВЧ — генератор высокой частоты; См — смеситель; УПЧ — усилитель промежуточной частоты; ЧД — частотный дискриминатор; УНЧ — усилитель низкой частоты; Г — гетеродин; М — двухфазный асинхр. двигатель; А — штыревая антенна.

Частотный датчик А. (рис.) представляет собой генератор ВЧ колебаний, в электрич. схему к-рого в качестве задающего контура входит контролируемый бакс жидкостью. Датчик устанавливается непосредственно на баке; генераторная лампа связана с полостью бака штырем или витком проволоки. Частота генерируемого напря-

жения зависит от настройки контура, т. е. от размеров резонатора объемного — бака, уровня жидкости в нем и от электрических свойств жидкости. ВЧ напряжение по кабелю поступает на вход индикатора — супергетеродинного приемника с частотным дискриминатором и системой автослежения. Индикатор имеет дополнит. устройства для первонач. поиска уровня и механизм подстройки, меняющий параметры гетеродинного контура для компенсации погрешностей, возникающих при отклонении электрич. свойств жидкости от номин. значений. А. снабжен сменными шкальными головками. Головка типа «а» предназначена для регулирующих и показывающих приборов, типа «б» — для измерит. приборов с высокой разрешающей способностью и повыш. точностью. Входные цепи

и гетеродин А. необходимо настраивать согласно хар-ке частотного датчика и тарировать отдельно для каждого сосуда. А. может быть применен для измерения уровня сред, обладающих стабильными и ярко выраж. свойствами диэлектриков или проводников, напр. нефти и большинства ее производных, сжиженных газов, расплав. металлов и др. При измерении уровня жидких диэлектриков в металлич. сосудах А. может быть использован для нестационарных объектов, т. к. в определенных пределах (зависящих от формы сосуда) волнение на поверхности, наклоны бака, а также кипение жидкости не влияют на точность измерений. Технич. хар-ки А.: погрешность при 15—25° С — 0,2% (автур-1, автур-26), 1% (автур-2а, показывающий и регулирующий); вес — 21 кг (автур-1), 12 кг (автур-2); дистанционная передача возможна до 250 м; питание от сети 50 гц, 110, 127, 220 в.

Л. Г. Палевич.

АГРЕГАТНАЯ УНИФИЦИРОВАННАЯ СИСТЕМА, АУС (modular system automatic control; Einheitssystem der automatischen Regeleinrichtungen), — система средств автоматич. контроля и регулирования, состоящая из унифицированных блоков, соединяемых в агрегаты для создания приборов, аппаратов и целых комплексов контроля и регулирования. Основная задача при разработке АУС — разрешение противоречия между требованиями однотипности изделий массового производства и многообразием устройств автоматики.

Агрегатный принцип построения систем, широко применяющийся в пром-сти, характеризуется след. особенностями: конструкция (станка, прибора) представляет собой агрегат, состоящий из неск. независимых блоков, выполняющих каждый определенную ф-цию; виды сопряжений блоков выбираются так, что можно объединять в агрегат разнотипные блоки; сочетанием блоков достигается разнообразие устройств в соответствии с назначением; модификационность отдельных блоков агрегатной системы достигается по методу базовой конструкции, т. е. снятием или заменой отдельных узлов блока. Изучение различных приборов автоматич. контроля и регулирования показывает, что, несмотря на внешнее разнообразие, многие их элементы выполняют, по существу, весьма сходные ф-ции. Это позволяет разбить устройства автоматич. контроля и регулирования на неск. конструктивно независимых элементов, выполняющих однотипные ф-ции. Каждый элемент может иметь неск. разновидностей. При этом разновидность должна обладать входными и выходными данными, позволяющими соединять элементы в общую систему. В зависимости от особенностей выбранных элементов и схем их соединений образованная ими система приобретает те или иные свойства. Т. о., сравнительно небольшое число разновидностей элементов системы дает возможность получить многие тысячи модификаций устройств, построенных по агрегатному принципу. Идея построения по агрегатному принципу устройств автоматического контроля и регулирования была впервые сформулирована советскими учеными в 1950 [1]. Впоследствии этот принцип стал широко применяться и в ряде других стран.

По этому принципу можно строить системы устройств, использующие различные виды

энергии для передачи сигналов и их реализации. Созданы и разрабатываются электрич., пневматич. и гидравлич. АУС, а также комбинированные системы, в к-рых одни блоки используют один вид энергии, а другие — другой. Для обеспечения совместной работы блоков система устройств должна содержать преобразователи одного вида энергии в другой, напр. пневмо-электрич., электро-гидравлич. и др.

Наиболее распространена в СССР пневматич. АУС, содержащая след. блоки: измерительные, регулирующие, предварения, суммирующие, регулирования соотношений, задатчики, функциональные преобразователи, усилители, блоки для выполнения логич. операций, для экстремального регулирования, сигнальные устройства, приборы контроля (показывающие и самопишущие), исполнит. механизмы и регулирующие органы. В качестве унифицированных входных и выходных параметров принято давление сжатого воздуха 0,2—1,0 атм и давление сжатого воздуха питания 1,4 атм.

В виде примера приводится (рис. 1, 2) регулирующий блок, состоящий из набора металлич. шайб, разделенных гибкими мембранами из прорезиненной ткани. Основные элементы блока: пневматич. усилитель (по мощности; камеры А, В, В и Г), элемент

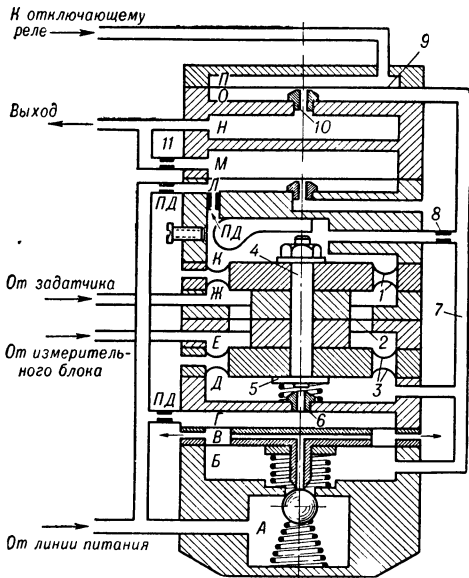


Рис. 1. Схема регулирующего блока 4РБ-32А.

сравнения Е, Ж, элемент обратной связи Д и К, издром Л, М и отключающее реле Н, О и П. Сжатый воздух из линии питания поступает в камеру А и через постоянные дроссели ПД в камеры Г и Л. Сжатый воздух, давление к-рого пропорционально заданной величине регулируемого параметра и его текущему значению, поступает соответственно от задатчика и измерит. блока (датчика) к камерам Ж и Е. Разность между величинами этих давлений воздуха вызывает нарушение баланса сил, действующих на мембраны 1, 2, 3, и приводит (в зависимости от знака разности) к перемещению (вверх или вниз) штока 4 вместе с заслонкой 5 относительно

сопла 6, в результате чего изменяется давление воздуха в камере Г, к-рое усиливается (по мощности) пневматич. усилителем; затем воздух поступает в выходную линию блока и канал 7. Отрицат. обратная связь достигается подачей сжатого воздуха в камеру Д. Коэфф. усиления обратной связи (диапазон дросселирования) настраивается дросселем 8, регулирующим перепуск воздуха из канала 7 в камеру К положит. обратной связи.

Отключающее реле служит для отключения регулирующего блока при переходе на ручное управление. Для этого в камеру П подается сжатый воздух, давление к-рого равно давлению питающего воздуха, и мембрана 9 перекрывает сопло 10, отсоединяя канал 7 от выходной линии регулятора. Время издрома настраивается дросселем 11, регулирующим время заполнения камеры М. Пределы настройки диапазона дросселирования блока равны 10—50%, времени издрома — от 3 сек. до 100 мин.

Программный задатчик ПД-36А вырабатывает пневматич. сигнал, изменяющийся по заданной программе в зависимости от к.-л. параметра. Он может также служить функциональным преобразователем.

Контрольные приборы АУС (показывающие и самопишущие) имеют несколько модификаций и представляют собой сильфонные манометры с пределами измерений 0,2—1 кг/см². Все узлы приборов смонтированы на выдвижном шасси и присоединяются к подводимым линиям штеккерными разъемами. Приборы пневматич. АУС применяются при комплексной автоматизации производств в различных отраслях пром-сти (химич., нефтеперерабатывающей, нефтедобывающей, металлургич., теплоэнергетич. и др.). Электрич. АУС строятся в 2 модификациях: на перем. токе с модуляцией по напряжению (бесконтактные системы регулирования типа БРУ) и на пост. токе с модуляцией по току. Эти системы устройств пока еще недостаточно развиты и не содержат всей номенклатуры унифицированных блоков, необходимых для решения разнообразных задач автоматизации пром. процессов, однако они быстро развиваются и уже используются в ряде отраслей пром-сти. Внешний вид центрального блока электрич. бесконтактной системы регулирования типа БРУ показан на рис. 3.

Большой народнохозяйственный эффект от внедрения агрегатных устройств автоматич. контроля и регулирования обусловлен широкими возможностями модифицирования конструкций приборов и регуляторов для удовлетворения разнообразных требований пром. автоматизации с помощью сравнительно небольшого числа исходных элементов и массового произ-ва этих исходных элементов. При этом трудоемкость приборов снижается в 2—

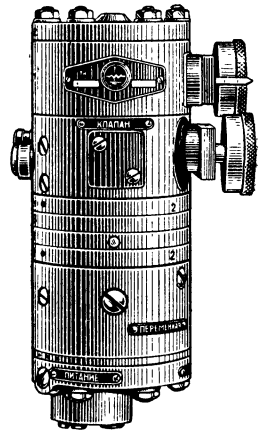


Рис. 2. Общий вид регулирующего блока 4РБ-32А

3 раза по сравнению с существующей в наст. время, а выпуск приборов и регуляторов с единицы площади возрастает в 5—6 раз. Применение соврем. методов измерения,

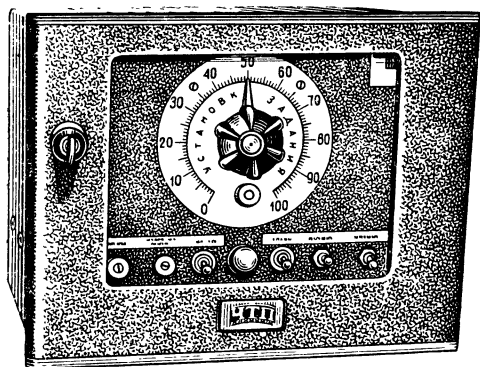


Рис. 3. Управляющее устройство бесконтактного регулятора типа БРУ.

преобразования, усиления и автоматич. регулирования наряду с высоким качеством деталей позволяет создавать устройства большой надежности, точности и быстродействия с однотипными элементами. Последнее уменьшает номенклатуру и количество запасных частей, облегчает эксплуатацию и ремонт аппаратуры и приборов и сокращает габариты комплектных устройств (в 2—3 раза), сроки изготовления и стоимость аппаратуры и приборов.

Лит.: 1) Трапезников В. А., Лернер А. Я., Об агрегатном принципе в промышленном приборостроении, «АиТ», 1950, т. 11, № 4; 2) Березовский Г. Т., Малый А. Л., Наджафов Э. М., Приборы пневматической агрегатной унифицированной системы и их использование для автоматизации производственных процессов, М., 1960.

А. Я. Лернер.

АДМИТАНЦ (ИМПЕДАНЦ) ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ (equivalent admittance, describing function; admittance équivalente; äquivalente Admittanz), эквивалентный комплексный коэффициент усиления нелинейного элемента $y=f(x)$, — отношение первой гармоники выходной величины y , разложенной в ряд Фурье, к входной величине x при $x=A \sin \omega t$, записанное в комплексной форме

$$J(A) = \frac{A_1 e^{j(\omega t + \varphi)}}{A e^{j\omega t}} = B(A) e^{j\varphi(A)} = a(A) + jb(A).$$

$$\begin{aligned} \tau(A) &= \frac{\omega}{\pi A} \int_0^{2\pi} f(A \sin \omega t) \sin \omega t dt = \\ &= \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} f(A \sin \psi) \sin \psi d\psi; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b(A) &= \frac{\omega}{\pi A} \int_0^{2\pi} f(A \sin \omega t) \cos \omega t dt = \\ &= \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} f(A \sin \psi) \cos \psi d\psi, \end{aligned}$$

где $f(x)$ — ф-ция, симметричная относительно начала координат. Модуль A (и.) э. $B(A)$ пока-

зывает, во сколько раз первая гармоника на выходе нелинейного элемента больше или меньше амплитуды A входного сигнала. Аргумент $\varphi(A)$ определяет разность фаз между первой гармоникой на выходе и синусоидальным входным сигналом. Для однозначных нелинейностей A (и.) э. — действит. число, т. е.

$$b(A) \equiv 0.$$

Если нелинейная ф-ция y зависит не только от координаты x , но и от ее производной, т. е.

$y=f(x, \dot{x})$, то коэфф. a и b зависят от A и ω :

$$J(A, \omega) = a(A, \omega) + jb(A, \omega),$$

где

$$a(A, \omega) = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} f(A \sin \psi, A \omega \cos \psi) \sin \psi d\psi,$$

$$b(A, \omega) = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} f(A \sin \psi, A \omega \cos \psi) \cos \psi d\psi.$$

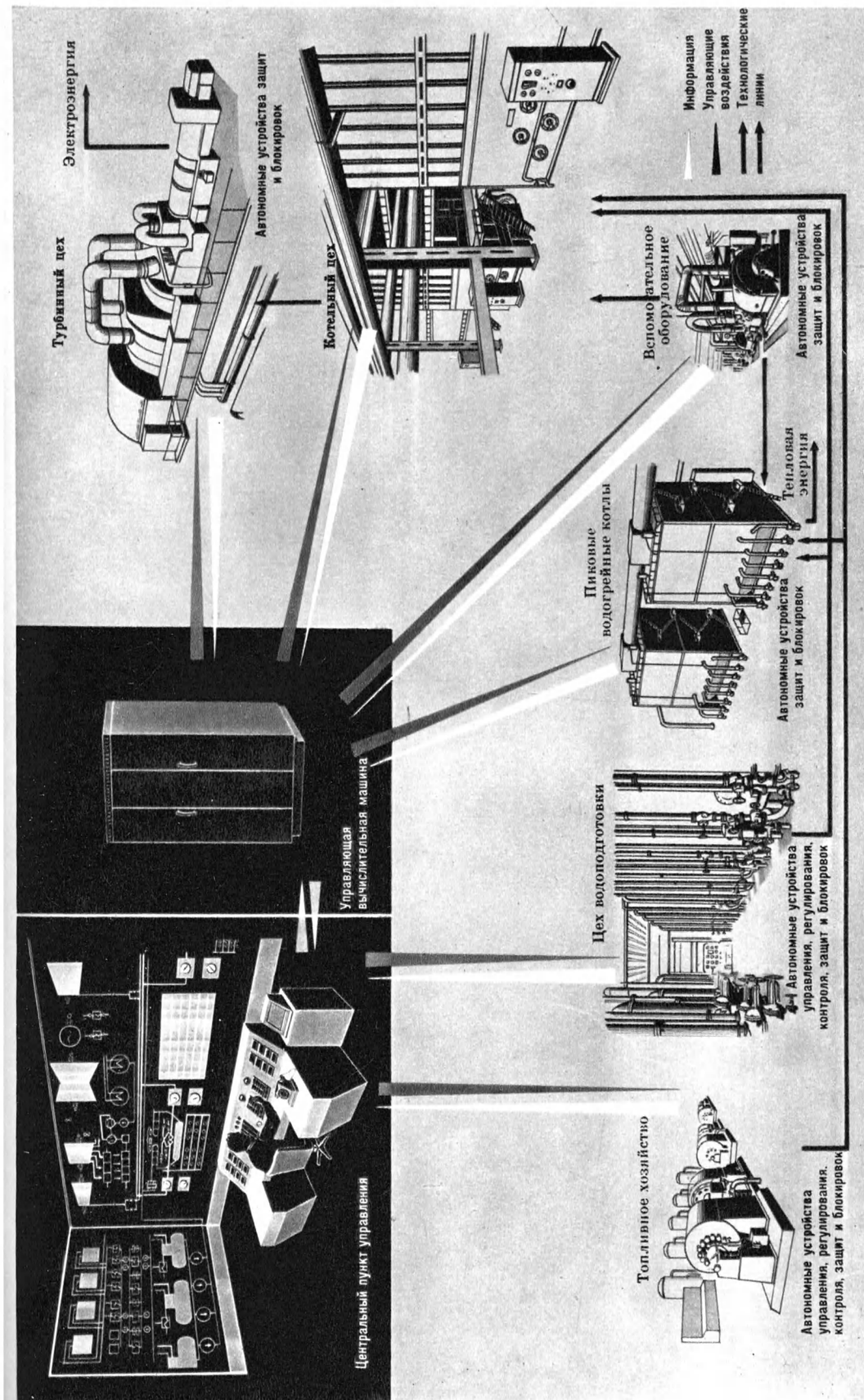
Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория. Под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Попов Е. П. и Пальтов И. П., Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем, М., 1960.

В. Ю. Рутковский.

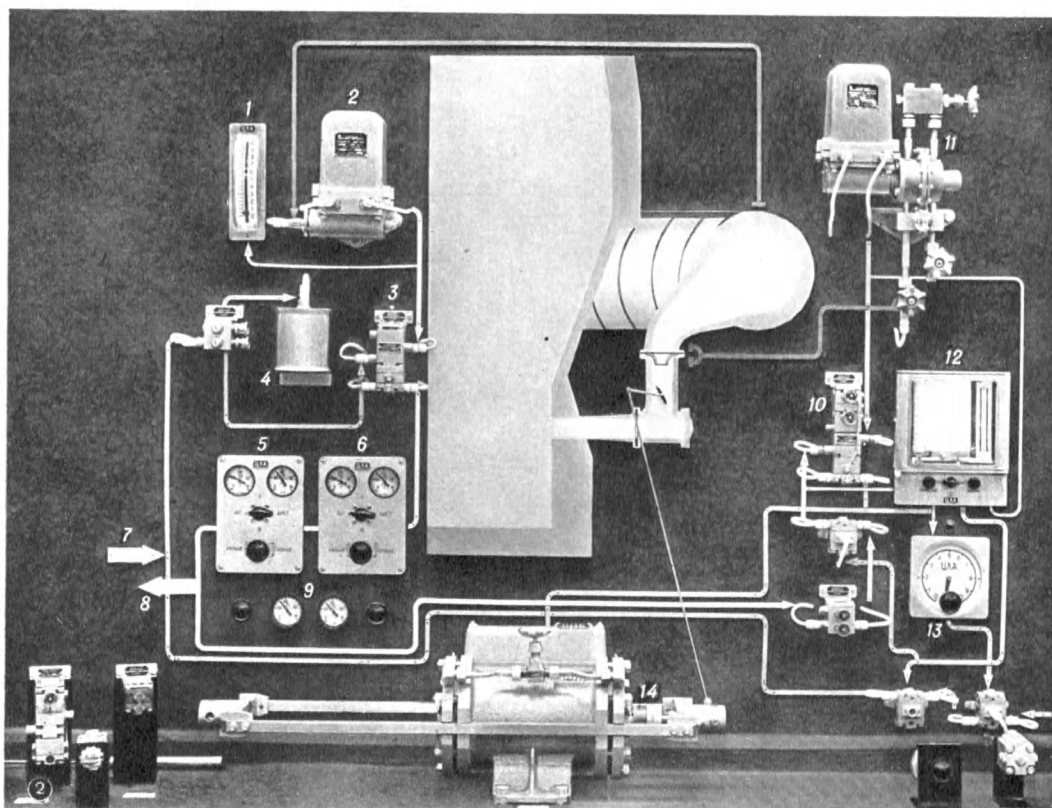
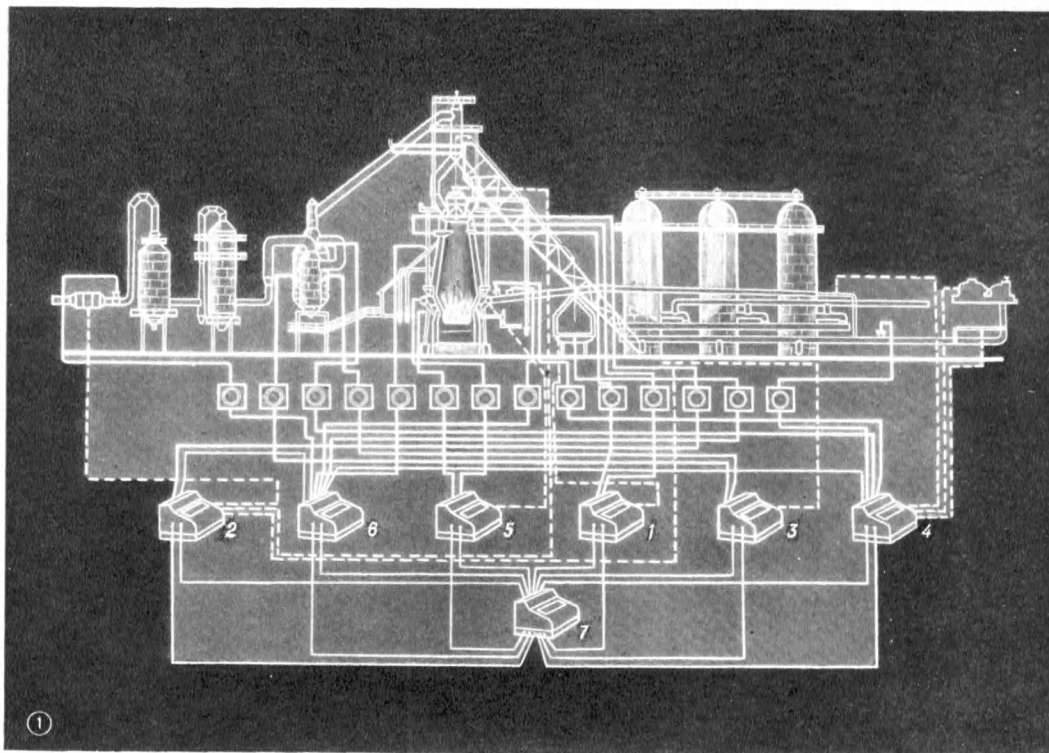
АДРЕС (address; adresse; Adresse)— величина, определяющая местоположение информации в ЭВМ. Чаще всего A определяет номер ячейки ЗУ, в которой хранится одно машинное слово. Действительным A наз. конкретный численный код, соответствующий определенной ячейке (блоку, устройству). Символич. A определяет взаимную связь данного A с остальными. Напр., символич. A . 4007 и 5023 означают, что ячейки, определяемые этими A , следуют соответственно за ячейками 4006 и 5022 независимо от тех конкретных мест в ЗУ, к-рым эти A будут отвечать при решении задачи. Благодаря символич. A вставка отдельных команд или их исключение не требует массовых изменений в остальных командах. Символич. A переводится в действительный либо вручную после составления и проверки всей программы, либо автоматически в машине по спец. подпрограммам. Одной из разновидностей символич. A является *адрес плавающий*.

В зависимости от типа информации, к к-рой относятся A ., различают A . *операндов*, результатов операций и команд. A . операндов и A . результатов входят в состав команд, из к-рых они извлекаются для выборки или размещения соответствующей информации. A . команд в машинах с естеств. порядком выполнения команд формируются спец. счетчиком путем увеличения его содержимого на единицу в каждом такте работы. Изменение естеств. порядка выработки A . команд в данном случае требует отдельной команды. В машинах с принудит. порядком выполнения команд A . каждой команды содержится в предшествующей команде.

В машине A . преобразовываются дешифратором в систему управляющих сигналов, обеспечивающих обращение к соответствующим данному A . ячейке, блоку, устройству. При этом A ., поступающий на дешифратор, наз. исполнительным. В общем случае A ., расположенный в команде, выбираемой из ЗУ, не равен исполнительному A ., поскольку большинство машин обладают возможностью схемного преобразования A . в процессе выполнения команды. Это существенно облег-



Комплексная автоматизация тепловой электростанции.



1. Комплексная автоматизация доменного процесса. Узлы регулирования: 1 — распределения материалов и потока газа по периферии печи, 2 — распределения материалов и потока газа по радиусу печи, 3 — теплового состояния в области умеренных температур, 4 — теплового состояния в области высоких температур, 5 — теплового состояния горна и фурменной зоны, 6 — схода шихтовых материалов; 7 — управление ходом печи. 2. Автоматическое распределение дутья по фурмам: 1 — вторичный прибор показывающий; 2 — датчик давления; 3 — унифицированное реле; 4 — демпфирующее устройство; 5—6 — панели дистанционного управления; 7 — от остальных фурм; 8 — к остальным фурмам; 9 — питание; 10 — гидромный регулятор; 11 — датчик расхода; 12 — вторичный прибор записывающий; 13 — сигнализатор давления; 14 — исполнительный механизм.

чает составление программы и сокращает ее объем, т. к. исключает необходимость программного осуществления такого преобразования (см. *Групповая операция и Команд модификация*). А., извлекаемый в составе команды из ЗУ, в отличие от исполнит. А., наз. исходным или, чаще всего, просто А.

И. А. Данильченко.

АДРЕС ПЛАВАЮЩИЙ (floating address, symbolic address; adresse flottante, adresse symbolique; symbolische Adresse) — 1) Символич. адрес, однозначно указывающий число или команду, независимо от факт. места, занимаемого ими в программе. Поскольку А. п. определяет не место, на к-ром размещен тот или иной код, а сам код, то изменение местоположения кода в программе или в массиве данных не изменяет А. п. Использование А. п. при программировании предоставляет программисту свободу в перестановке команд программы, во введении и исключении команд, а также в исправлении ошибок программы. Программирование в системе А. п. исключает необходимость нумерации каждой команды программы. Достаточно присваивать А. п. лишь тем командам, на к-рые имеются ссылки в др. командах программы. Система А. п. удобна при объединении осн. программы и различных подпрограмм, для чего необходимо лишь присвоить А. п. первым командам осн. программы и каждой подпрограммы. Преобразование А. п. в действительный осуществляется, как правило, автоматически вычислит. машиной после окончания составления программы.

2) Численный код, размещающийся в адресной части команды и определяющий номер ячейки ЗУ относительно адреса самой команды. Напр., А. п. α в трехадресной команде $\alpha\beta\gamma\xi$, расположенной в ячейке b , означает, что первый операнд при выполнении данной команды должен быть выбран из ячейки $b+\alpha$. Наличие в команде А. п. определяется спец. признаком; в рассмотренной команде таким признаком, относящимся к первому адресу, является ξ . В машинах, допускающих использование А. п. (напр., в амер. машинах СЕАК и ДИСЕАК), формирование из А. п. исполнит. адреса, т. е. получение суммы $b+\alpha$, осуществляется в процессе выполнения команды на спец. счетчиках. Для вычислит. машин, работающих в режиме А. п., программы в окончат. виде можно составлять независимо от участка в ЗУ, в к-ром эта программа будет размещаться. В этом случае преобразование программы после ввода ее в машину не требуется.

Лит.: Уилкс М. В., Автоматические цифровые вычислительные машины, пер. с англ., Л., 1960; Вычислительные машины (СЕАК и ДИСЕАК), [Сб. ст.], пер. с англ., М., 1958. И. А. Данильченко.

АДРЕСНОСТЬ вычислительной машины (number of addresses, address computation; nombre d'adresses; Ein- oder Mehr-Adressbefehlssystem) — количество адресов в команде вычислит. машины. В одноадресных машинах адрес служит для извлечения из ЗУ операндов и для отсылки результата операции. Команда выбирает операнд; он либо поступает в спец. регистр АУ, либо принимает участие в произ-ве операции совместно с др. операндом, уже находящимся в регистре АУ. Для отсылки в ЗУ результата операции требуется отдельная команда. В одноадресной машине может быть только естеств. порядок

выполнения команд. Пример одноадресных машин — сов. машина «Урал» и амер. машина ИБМ-709.

Из многоадресных машин наиболее распространены двух- и трехадресные. Двухадресной является сов. машина М-3, в к-рой адреса команды используются для выборки операндов и записи результатов операции. В амер. двухадресной машине ИБМ-650 один адрес относится к операнду или результату операции, а другой предназначается для указания адреса следующей команды.

В трехадресных командах часто 1-й и 2-й адреса используются для выборки операндов, а 3-й — для засылки результата операции. Однако иногда 3-й адрес указывает номер ячейки, из к-рой необходимо выбрать следующую команду. Среди трехадресных машин можно назвать сов. машины БЭСМ, «Стрела» и американскую — НОРК.

В четырехадресных машинах 2 адреса каждой команды относятся к операндам, 3-й — к результату операции, а 4-й — к следующей команде. Четырехадресная система команд используется, напр., в амер. машине ЭДВАК. Машины с большей А. встречаются редко. В Чехословакии, напр., построена машина САПО с пятиадресной системой команд.

Различают постоянную А. машин и переменную. При постоянной А. количество адресов в коде команд, с к-рыми оперирует машина, остается неизменным. Все указанные выше машины обладают постоянной А. Машиной с перем. А. является амер. машина СЕАК. В ней предусмотрена возможность переключения с четырехадресной системы команд на трехадресную.

Увеличение А. уменьшает, как правило, количество команд в программе, поскольку при этом увеличивается число ф-ций, выполняемых каждой командой. Зависимость времени решения задачи от А. в значит. степени определяется спецификой решаемой задачи. Так, при выполнении связанных операций, при к-рых результат предыдущей операции используется в качестве операнда последующей операции, одноадресная система обеспечивает не меньшую скорость вычислений, чем трехадресная. Выполнение независимых операций с помощью многоадресных команд производится быстрее, чем с помощью одноадресных. Напр., операция, выполняемая одной трехадресной командой с четырьмя обращениями к ЗУ (выбор команды, выбор двух операндов и запись результата), потребует трех одноадресных команд с шестью обращениями к ЗУ (по два обращения для выполнения каждой команды). В связи с этим при выборе А. машины необходимо учитывать специфику задач, для решения к-рых проектируется данная вычислит. машина.

Перспективной является одноадресная структура команд с разветвл. системой дополнит. признаков и индексов, расширяющих возможности машины. Такая сложная одноадресная система принята, напр., в машине СТРЕТЧ (США).

Лит.: Липский В. С., О выборе рационального количества адресов цифровой вычислительной машины, в кн.: Вопросы теории математических машин, сб. 1, М., 1958; Бухгольц У., Выбор языка команд, в кн.: Кибернетический сборник 2. Сб. переводов, М., 1961. И. А. Данильченко.

АДРЕСНЫЙ ЯЗЫК (address language; code d'adresses; Adress-Sprache) — формаль-

ный язык для описания вычислит. процессов в ЦВМ. Наряду с множеством исходных данных *А. я.* рассматривает множество *адресов*. В частном случае множество адресов может быть множеством номеров ячеек ЗУ, в к-рых располагаются эти исходные данные. Формально же множеством адресов может быть любое числовое множество. Необходимо только, чтобы каждому его элементу (адресу) однозначно соответствовал элемент множества исходных данных (содержимое). Это соответствие задается ф-цией «'» (штрих). Запись $'a=b$ означает, что *a* есть адрес *b* или, что то же самое, *b* есть содержимое *a*. Если *b* также принадлежит множеству адресов, то имеет смысл выражение $'b=c$. Т. о., к адресу *a* дважды применима операция штрих, что записывается так: $''a=('a)=b=c$. В этом случае говорят, что *a* есть адрес второго ранга для *c* или адрес адреса *c*. Если адреса — номера ячеек ЗУ, это означает, что *a* есть номер ячейки, в к-рой содержится номер ячейки, содержащей *c*. Аналогично вводится понятие адресов и более высокого ранга. Выражение, составленное из математич. символов и знака «», наз. адресной ф-цией. Напр., $'a:311+514; '(10+a \times \sin'a) - \sqrt{'(a+b)}$ и т.д. Любая ф-ция без знака «'» является частным случаем адресной. Для изменения соответствия между адресами и содержимыми в *А. я.* применяется операция засылки. Запись $b=>a$ означает, что число *b* засылается по адресу *a*. Естественно, что после выполнения такой операции $'a=b$.

Вычисление новых значений и засылка их по определенным адресам задается адресной ф-цией, соединенными символом засылки (\Rightarrow). Выполнить адресную ф-лу — значит вычислить обе эти ф-ции, и число, полученное слева, заслать по адресу, полученному справа. Нередко в описании вычислит. процесса предусматривается выполнение одного из неск. действий в зависимости от выполнения нек-рых логич. условий. Для записи таких процессов в *А. я.* предусмотрены предикатные ф-лы, записываемые в виде $P\{L\}a, \beta$, где *P* — символ предикатной ф-лы, *L* — высказывание, *a* и *β* — ф-лы. Смысл предикатной ф-лы состоит в том, что она воспринимается как ф-ла *α*, если высказывание *L* истинно, и как *β*, если *L* — ложно. Напр., запись

$$P\{x>y\}a+'b\Rightarrow'c, 'a+10\Rightarrow c+1$$

означает, что, если $x>y$, то к числу *a* необходимо прибавить содержимое ячейки *b* и результат заслать в ячейку, адрес к-рой находится в ячейке *c*. Если же $x\leq y$, то содержимое ячейки *a*, увеличенное на 10, необходимо заслать в ячейку с номером $c+1$.

Запись вычислит. процесса на *А. я.* (адресный алгоритм) представляет собой группу строк, написанных друг под другом. Внутри строки порядок выполнения ф-л может быть любым, т. е. считается, что они выполняются одновременно. Для того чтобы иметь возможность отклониться от прямой последовательности выполнения строк, в *А. я.* введено понятие метки. Меткой может быть буква, цифра, слово из букв и цифр, а также значение адресной ф-ции. Метка может составлять и отдельную строку алгоритма. В этом случае она наз. ф-лой безусловного перехода и означает, что нужно перейти к выполнению строки, снабженной такой же меткой. Метками могут

быть также одна или обе ф-лы, входящие в предикатную ф-лу. Такая предикатная ф-ла обязательно пишется одна в строке и представляет собой условный переход. Напр., строка $P\{x=y\}'a=>b, K21$ означает, что нужно содержимое ячейки *a* переслать по адресу *b*, если $x=y$. А если $x\neq y$, то нужно перейти к выполнению строки, снабженной меткой *K21*. Для удобства описания вычислит. процессов в *А. я.* включаются подпрограммы, ф-лы вхождения, позволяющие обращаться к подпрограммам, ф-лы обмена содержимого двух адресов и др. Наиболее важна ф-ла циклирования, к-рая позволяет циклически применять заданные группы строк к последовательности аргументов. При этом может быть задан как закон изменения самих аргументов, так и закон изменения их адресов, адресов их адресов и т. д.

А. я. создан как входной язык для программирующих программ. Для каждой конкретной программирующей программы он уточняется. В частности, определяется набор математич. операций, допустимых в ф-лах, могут быть разрешены только спец. типы меток, способы переходов и т. п. Такое уточнение наз. выбором стиля *А. я.* В наст. время в Вычислит. центре АН УССР, где и был разработан *А. я.*, имеется программирующая программа для машины «Урал», входной язык к-рой является одним из стилей *А. я.*

Лит.: Гнеденко Б. В., Корольков В. С., Ющенко Е. Л., Элементы программирования, М., 1961. Э. З. Любимский.

АКСЕЛЕРОМЕТР (accelerometer; accéléromètre; Beschleunigungsmesser) — прибор для измерения ускорений. А. применяются: для исследования вибрации машин и сооружений; для исследования ускорений звеньев машин; в автоматических устройствах, управляющих действием машин; в инерциальной навигации; в сейсмологии. Действие А. основано на измерении величины инерц. усилия, действующего на массу при ускорениях. А. (рис. 1) состоит из корпуса 1, укрепленного на конструкции, ускорение к-рой измеряется, инерц. массы 2, упругого элемента (пружины) 3 и преобразователя 4 относительного перемещения массы в выходной сигнал. Перемещение *y* массы относительно корпуса связано с ускорением *W* следующим соотношением:

$$y = W \frac{1}{f_0^2 \sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 \varepsilon^2}},$$

f — частота изменения измеряемого ускорения, $f_0 = \sqrt{\frac{C}{M}}$ — собств. частота подвижной системы А., *C* — жесткость упругого элемента, *M* — масса инерц. элемента, $\varepsilon = \theta/\theta_{кр}$ — относит. коэфф. демпфирования системы, $\theta_{кр}$ — критич. декремент затухания системы. Для измерения перем. ускорений следует выбирать $f \gg 3f$ и соответств. величину коэфф. ε из рис. 2, где ω — угловая частота измеряемого ускорения, ω_0 — собств. угловая частота подвижной системы. При обратном соотношении $f \ll 3f$ масса остается практически неподвижной, и перемещение корпуса относительно нее равно

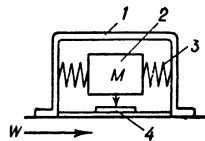


Рис. 1.

входному перемещению. Такая система может быть также использована для измерения ускорений при добавлении двух дифференцирующих звеньев.

А. классифицируются: по виду движения — на линейные и угловые; по принципу построе-

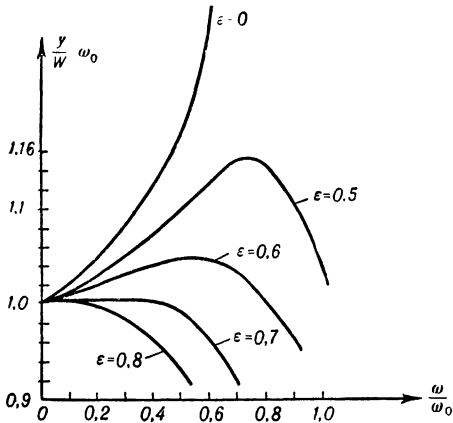


Рис. 2.

ния выходного преобразователя — на механич., электрич., пневматич. и др.; по назначению — на постоянно действующие (измеряющие ускорение в каждый момент времени или пути) и максимальные (измеряющие макс. значение ускорения). Наибольшее применение находят электрич. А. след. типов: 1) А. с проволочными тензодатчиками, наклеенными на упругий элемент (плоскую пружину). Такие А. могут иметь собств. частоту до 4—5 кгц и применяются для измерения процессов, ускорение к-рых нарастает за неск. десяти-тысячных сек. 2) Пьезоэлектрич. А. (см. Датчик пьезоэлектрический) используются для измерения быстро возрастающих ускорений. Собств. частота их может превышать 25 кгц.

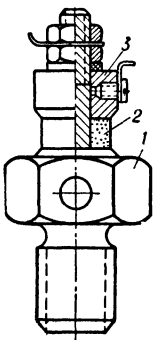


Рис. 3.

Эти датчики имеют малые размеры (вес неск. г) и широкий рабочий частотный диапазон (от 5—10 гц до десятков кгц). Чувствительность пьезоэлектрич. А. от 2—3 мв/г до десятков мв/г. Они состоят (рис. 3) из корпуса 1, пьезоэлемента 2 и груза 3. Недостатки пьезоэлектрич. А.: чувствительность к ускорениям, направленным под углом к измеряемому (до 20%), необходимость тарировки на вибрац. столах или на баллистич. маятнике. 3) Индукционные А., в к-рых инерционной массой служит пост. магнит, при перемещении к-рого в неподвижной обмотке наводится эдс, пропорциональная скорости движения. Эта система требует включения в выходную цепь интегрирующего звена при $f_0 \geq 3f$ и дифференцирующего звена при $f_0 \leq 3f$. 4) Потенциометрич. А., у к-рых изменение ускорения преобразуется в изменение омич. сопротивления датчика *ростатного*.

Для определения макс. усилия при ударах (напр., буферов ж.-д. вагонов, рабочих органов при штамповке, ковке, забивании свай и др.) применяются А. релейного типа (максимальные), измеряющие силу инерции по обрыву стержня из хрупкого материала, по смятию восковой призмы, по вдавливанию шарика или призмы в свинцовую или иную прокладку, по обрыву электрич. контакта при деформации пружины. Макс. А. обеспечивают точность до 20%. Тарирование низкочастотных А. выполняется поворотом А. на 90° из горизонт. положения в вертик., при этом величина отклонения указателя соответствует ускорению, равному 1 g. Более высокочастотные А. тарируются на вибрац. столах или синусных и кривошипных механизмах.

Лит.: Захаров В. П., Ускоренимер с проволочными тензодатчиками для измерений усилий в машинах, в кн.: Измерение напряжений и усилий в деталях машин. (Сб. работ), М., 1955; Юриш Ю. И., Измерение вибрации, М., 1956; Колесник Н. В., Пределный акселерометр, «Вестн. машиностроения», 1955, №11; Раевский Н. П., Датчики механических параметров машин, [2 изд.], М., 1959; Раевский Н. П. и Субботин М. И., Измерение линейных ускорений, М., 1961; Ненюков В. П., Жмур А. С. и Ляпин Г. Л., Применение баллистического маятника для градуировки датчиков ускорений, «ИТ», 1959, № 2.

АКЦЕПТОР (acceptor; accepteur; Akzeptor) — дефект кристалла, к-рый в нейтральном состоянии обладает незанятым локальным уровнем. Переход электронов из валентной зоны на акцепторные уровни приводит к появлению дырок. Для создания в ПП областей с дырочной проводимостью в структурах с р-п-переходами в качестве А. вводят примеси. Для Ge и Si — элементов IV группы, А. служат элементы III группы: B, Al, Ga, In. Химич. связь между Ge или Si и элементами III группы не насыщена. У Ge и Si 4 электрона во внешней оболочке, у B, Al, Ga, In — по 3. Насыщенную электронную оболочку в этом случае образуют 8 электронов, поэтому возникает незаполненный энергетич. уровень. Положение энергетич. уровней, создаваемых указанными А., в Ge составляет 0,01 эв над краем валентной зоны, в Si — в интервале 0,04 — 0,16 эв. В связи с близостью к валентной зоне А. полностью ионизированы уже при низких темп-рах.

Н. М. Полин.

АЛГЕБРА ЛОГИКИ (Boolean algebra; algèbre de Boole, algèbre de logique; Algebra der Logik, Schaltungsalgebra, Boolesche Algebra) — одна из осн. частей математики. логики, основанная на применении алгебраич. методов к логике. Широко используется в теории релейных схем, в теории ЭВМ и дискретных автоматов.

А. л. представляет собой прежде всего алгебру высказываний. Под высказыванием в А. л. понимают всякое предложение, к-рое либо истинно, либо ложно, и притом только одно из двух (напр., «Москва — столица СССР», «снег — черен», «9 — нечетное число»). Отдельные высказывания в А. л. обозначаются буквами к.-л. алфавита, напр.: А, В, С,.... Истинность или ложность высказываний наз. их значениями истинности. В А. л. принято отождествлять истинности высказывания с числом 1, а ложности высказываний — с числом 0. Запись $A=1$ и $C=0$ означает, что А истинно и что С ложно. Каждое конкретное высказывание имеет вполне определ. значение истинности: это постоянная, равная 0 или 1. От конкретных (постоянных) высказываний следует отличать т. н. перем. высказывания. Перем. высказывание не есть высказывание в подлинном смысле, т. к. вопрос о его истинности или ложности не имеет смысла; это

переменная для высказываний (т. н. пропозициональная переменная), т. е. символ, на место k -рого можно подставлять пост. высказывания (или их имена) и k -рый может принимать лишь два значения: «истинно» и «ложно», или соответственно 1 и 0 (двоичная переменная). Перем. высказывания (т. е. пропозициональные переменные) обозначаются буквами, отличными от тех букв, k -рыми обозначаются пост. высказывания. Применение перем. высказываний в А. л. служит для выражения всеобщности; оно позволяет формулировать законы А. л. для любых высказываний.

Предметом изучения в А. л. являются двоичные (или двухзначные) ф-ции, т. е. ф-ции, k -рые принимают лишь два значения («истинно», «ложно»; 0 или 1) и k -рые зависят от одной или неск. двоичных переменных. Это т. н. ф-ции А. л.

Из одного или неск. высказываний, принимаемых за простые, можно составлять сложные высказывания, k -рые будут являться двоичными ф-циями простых высказываний. Объединение простых высказываний в сложные в А. л. производится без учета внутр. содержания (смысла) этих высказываний. Используются определенные логич. операции (или логич. связи), позволяющие объединять нек-рые данные высказывания (постоянные или переменные) в более сложные (постоянные или переменные) высказывания. К числу осн. логич. операций относятся операции отрицания, конъюнкции, дизъюнкции, эквивалентности и импликации. Логич. операции задаются таблично как ф-ции простых высказываний.

Отрицание высказывания A — это высказывание, k -рое истинно, когда A ложно, и ложно, когда A истинно; обозначается через \bar{A} и читается «не A ». Операция отрицания задается таблицей 1.

Конъюнкция двух высказываний — сложное высказывание, которое истинно в случае истинности обоих высказываний, его образующих, и ложно в остальных случаях; обозначается через $A \wedge B$ и читается « A и B »; знак логич. операции « \wedge » имеет смысл союза «и» и наз. знаком конъюнкции (др. обозначение — $\&$, др. название — логич. умножение). Операция конъюнкции задается таблицей 2.

Таблица 1

A	\bar{A}
1	0
0	1

Таблица 2

A	B	$A \wedge B$
1	1	1
0	1	0
1	0	0
0	0	0

Дизъюнкция двух высказываний — сложное высказывание, которое ложно в случае ложности обоих составляющих его высказываний и истинно в остальных случаях; обозначается $A \vee B$ и читается: « A или B » (др. обозначение — $A + B$; др. название — логич. сложение). Знак логич. связи « \vee » имеет смысл союза «или» и наз. знаком дизъюнкции. Союз «или» вообще может употребляться в нескольких различных смыслах. Знак \vee имеет смысл «или», употреблен-

ного, напр., во фразе: «При звоне будильника Петр или Иван проснется» (здесь «или» не исключает возможности того, что проснутся оба), т. е. смысл так называемого неразделительного «или». Существует еще исключяющее «или» (пример: «Выбирай: оп или я»), k -рое тоже может быть принято за один из видов логических операций, но его не следует смешивать с дизъюнкцией. Дизъюнкция задается таблицей 3.

Эквивалентность двух высказываний — сложное высказывание, истинное тогда, когда значения истинности составляющих высказываний одинаковы, и ложное — в противном случае; обозначается $A \sim B$ и читается: « A эквивалентно B ». Задается таблицей 4.

Таблица 3

A	B	$A \vee B$
1	1	1
0	1	1
1	0	1
0	0	0

Таблица 4

A	B	$A \sim B$
1	1	1
0	1	0
1	0	0
0	0	1

Для эквивалентности справедливо, что $A \sim 1 = A$ и $A \sim 0 = \bar{A}$. Применив операцию отрицания k высказыванию, представляющему собой эквивалентность двух высказываний, получаем новое сложное высказывание $\overline{A \sim B}$, наз. отрицанием эквивалентности. Используя спец. знак \approx для выражения отрицания эквивалентности, можно записать его в виде $A \approx B$ (читается: « A неэквивалентно B »). Нетрудно видеть, что знак \approx имеет смысл исключяющего «или». Операция отрицания эквивалентности задается таблицей 5. Эта операция имеет важное значение в теории ЭВМ, т. к. она представляет собой сложение двоичных чисел по модулю два.

Импликация двух высказываний (обозначается $A \rightarrow B$ и читается: «если A , то B ») — такое сложное высказывание, k -рое ложно в том и только том случае, когда A истинно, а B ложно. Задается таблицей 6.

Таблица 5

A	B	$A \approx B$
1	1	0
0	1	1
1	0	1
0	0	0

Таблица 6

A	B	$A \rightarrow B$
1	1	1
0	1	1
1	0	0
0	0	1

Импликация не предполагает обязательно связь по смыслу между условием A и следствием B (хотя и не исключает такую связь). Смысл импликации $A \rightarrow B$ можно передать словами: « A ложно или B истинно» (здесь «или» — неисключяющее).

Любое сложное выражение, получ. из простых высказываний посредством указанных выше логич. операций, наз. ф-лой А. л. Две ф-лы А. л., образованные из n простых высказываний A_1, A_2, \dots, A_n , наз. равносильными в том случае, если для каждой комбинации значений истинности высказываний A_1, A_2, \dots, A_n обе ф-лы А. л. будут иметь одинаковые

значения истинности. Т. к. существует в точности 2^n разл. комбинаций значений истинности n простых высказываний и для каждой из этих 2^n комбинаций сложное выражение может быть либо истинным, либо ложным, то может быть 2^{2^n} различных ф-ций А. л., к-рые могут быть построены из n данных простых высказываний. В частном случае при двух двоичных переменных A, B (т. е. для двух перем. высказываний) можно построить $2^{2^2}=16$ различных ф-ций А. л., т. е. составить 16 неравносильных друг другу сложных логических выражений. Среди этих выражений содержатся все описанные выше логич. связи (исключая отрицание, являющееся ф-цией одной переменной).

Важнейшую роль в А. л. играют следующие равносильные ф-лы, выражающие собой осн. законы А. л.:

- 1) $\bar{\bar{A}}=A$; 2) $A \wedge B = B \wedge A$; 3) $(A \wedge B) \wedge C = A \wedge (B \wedge C)$; 4) $A \vee B = B \vee A$; 5) $(A \vee B) \vee C = A \vee (B \vee C)$; 6) $A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$; 7) $A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$; 8) $(\bar{A} \vee \bar{B}) = \overline{A \wedge B}$; 9) $(A \wedge \bar{B}) = \overline{A \vee \bar{B}}$; 10) $A \vee A = A$; 11) $A \wedge A = A$; 12) $A \wedge 1 = A$; 13) $A \vee 0 = A$.

Проверка справедливости указ. соотношений может быть произведена на основании определений и таблиц логич. операций — конъюнкции, дизъюнкции и отрицания. Соотношения 1—13 используются для преобразования сложных логич. выражений к более удобному или простому виду. Соотношения 2, 3, 4, 5 показывают, что для операций конъюнкции и дизъюнкции справедливы переместит. и сочетат. законы, в силу чего многочисл. конъюнкции и дизъюнкции можно писать без скобок. Напр., вместо $[(A \wedge B) \wedge C] \wedge D$ можно просто писать $A \wedge B \wedge C \wedge D$. Для дальнейшего уменьшения количества скобок в логич. ф-лах соглашаются считать связь с помощью знака \wedge более тесной, чем с помощью знака \vee , а последнюю более тесной, чем связь с помощью знаков \sim , \approx и \rightarrow . Выражения вида $A \wedge B \wedge C \dots$ часто наз. произведением, а члены его — множителями. Выражения вида $A \vee B \vee C \dots$ наз. суммой, а члены его — слагаемыми. Соотношение 6 показывает, что в А. л. справедлив закон распределительности конъюнкции относительно дизъюнкции. Запись его в виде $A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$ (где точка означает логич. умножение, а плюс — логич. сложение) наглядно показывает аналогию между этим законом и законом распределительности умножения относительно сложения в обычной арифметике. Но в отличие от арифметики в А. л. имеет место еще закон распределительности дизъюнкции относительно конъюнкции, выражаемый соотношением 7. Оба распределит. закона позволяют производить над формулами А. л. преобразования раскрытия скобок и вынесения общих множителей подобно тому, как это делается в обычной алгебре (а также вынесение общих слагаемых).

Соотношения 8 и 9, наз. законами де Моргана, вместе с соотношением 1 позволяют преобразовывать логич. выражения к такому виду, что знаки отрицания будут относиться только к простым высказываниям.

Помимо соотношений 1—13, весьма полезными для преобразования логич. выражений являются следующие равносильные ф-лы: 14) $A \vee A \wedge B = A \vee B$; 15) $A (\bar{A} \vee B) = A \wedge B$; 16) $A \vee A \wedge B = A$; 17) $A \wedge B \vee \bar{A} \wedge C = A \wedge B \vee \bar{A} \wedge C \vee B \wedge C$; 18) $A \wedge (A \vee B) = A$; 19) $(A \vee B) \wedge (\bar{A} \vee \bar{B}) = (A \vee B) \wedge (\bar{A} \vee \bar{B}) \wedge (B \vee C)$; 20) $\bar{A} \vee A \wedge B = \bar{A} \vee B$; 21) $\bar{A} \wedge (A \vee B) = \bar{A} \wedge B$; 22) $A \rightarrow \bar{B} = \bar{A} \vee \bar{B}$; 23) $A \sim B = A \wedge B \vee \bar{A} \wedge \bar{B}$.

Использование последних двух соотношений позволяет любые выражения, содержащие знаки \rightarrow и \sim , приводить к выражениям, содержащим только знаки \wedge , \vee , $\bar{}$.

Если под переменными A, B, C и т. д. понимать не только высказывания, а вообще любую систему элементов, для к-рой определены действия сложения, умножения и отрицания и к-рая удовлетворяет соотношениям 1—13, то получим абстрактную алгебру, наз. алгеброй Буля. В частности, высказывания и осн. логич. операции \wedge , \vee , $\bar{}$ представляют собой частный случай (или, как говорят, интерпретацию) алгебры Буля. Др. примером алгебры Буля является алгебра классов, к-рая дает наглядное геометрич. истолкование для осн. логич. операций.

Рассмотрим высказывание A , в к-ром идет речь о принадлежности нек-рого свойства α предметам какой-то области. Представим себе, что предметы нашей области изображаются точками части плоскости, огранич. нек-рым квадратом (рис. 1—6), к-рую мы обозначим через Q . Ясно, что точки плоскости Q раз-

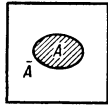


Рис. 1.

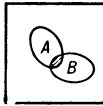


Рис. 2.

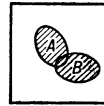


Рис. 3.

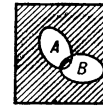


Рис. 4.

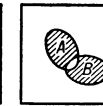


Рис. 5.

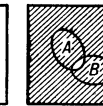


Рис. 6.

бываются на 2 класса (множества): на класс точек, имеющих свойство α , т. е. таких, для к-рых $A=1$, и на класс точек, не имеющих этого свойства, т. е. таких, для к-рых $A=0$, причем каждая точка плоскости Q обязательно принадлежит одному (и только одному) из этих классов. Первый класс можно считать геометрич. изображением высказывания A и для удобства называть множеством A . При этом может получиться, напр., картина, приведен. на рис. 1: высказывание A изображено в виде нек-рой области, огранич. замкнутым контуром и покрытой штриховкой. Очевидно, что высказывание \bar{A} («не A ») будет тогда изображаться множеством всех остальных точек квадрата Q . При такой интерпретации конъюнкция двух высказываний будет представляться пересечением двух множеств (рис. 2). Действительно, $A \wedge B = 1$ только тогда, когда $A=1$ и $B=1$, а это имеет место лишь для точек, одновр. принадлежащих множеству A и множеству B (их пересечению). Дизъюнкция $A \vee B$ будет изображаться множеством, к-рое получается путем объединения множеств A и B (рис. 3). Высказывание $A \sim B$ изображится так, как показано на рис. 4, ибо истинность $A \sim B$ равна 1 либо при $A=1, B=1$, либо при $A=0, B=0$. Высказывание $A \approx B$ показано на рис. 5. Его изображение без труда получается, если учесть, что $A \approx B$ равно $A \sim B$. Подобные диаграммы, наз. диаграммами Вен-

на, могут быть использованы для наглядного представления логич. ф-л с целью их анализа и упрощения.

Рассмотренные логич. операции \wedge , \vee , \neg , \rightarrow , \sim , \approx не являются независимыми, а могут быть выражены друг через друга. В частности, из них можно выделить системы логич. операций и с их помощью представить вообще все ф-ции А. л. Такие системы логич. операций (иногда вместе с константами 1 или 0) наз. функционально полными (напр., системы операций: \neg , \wedge , \vee , или \neg , \wedge , или \neg , \vee). Кроме того, существует операция отрицание конъюнкции $\overline{A \wedge B}$, через к-рую (одну) может быть выражена любая функция А. л. Эта операция, утверждающая несовместимость двух высказываний, обозначается через $A|B$ и наз. операцией Шеффера или штрихом Шеффера. Через операцию Шеффера отрицание, конъюнкция и дизъюнкция выражаются так: $\overline{A} = A|A$, $A \wedge B = (A|B)|(A|B)$, $A \vee B = (A|A)|(B|B)$. Эта операция играет важную роль в теории ЭВМ и в теории логич. схем, поскольку электронная схема, реализующая операцию Шеффера, является универсальным функцион. элементом, при помощи к-рого в принципе могут быть построены любые функцион. схемы автоматов. График. изображение высказывания $A|B$ приведено на рис. 6.

Операции конъюнкции и дизъюнкции наз. двойственными и ф-лы А. л., получаемые одна из другой заменой \wedge на \vee и \vee на \wedge , также наз. двойственными. Для двойств. ф-л F и F^* справедлива равносильность: $F(A_1, A_2, \dots, A_n) = F^*(\overline{A_1}, \overline{A_2}, \dots, \overline{A_n})$. В А. л. устанавливается следующий принцип двойственности: если ф-лы F и F^* равносильны, то и двойственные им ф-лы F^* и F также равносильны. Наиболее наглядно структура ф-л А. л. видна тогда, когда они приведены к одной из двух т. н. нормальных форм. Первая из них — конъюнктивная нормальная форма (КНФ) — представляет собой нек-рую конъюнкцию дизъюнкций, причем в каждой дизъюнкции отдельные члены представляют собой либо простые высказывания (т. е. высказывания, к-рые не включают в себя др. высказывания), либо отрицания простых высказываний. Вторая нормальная форма — дизъюнктивная (ДНФ); она представляет собой нек-рую дизъюнкцию конъюнкций; в каждой конъюнкции отдельные члены являются либо простыми высказываниями, либо их отрицаниями. Преобразование логич. ф-л к той или иной нормальной форме осуществляется по следующим осн. правилам: 1) со знаками \wedge и \vee можно оперировать так же, как в алгебре оперируют со знаками \times (умножение) и $+$ (сложение), пользуясь переместит., сочетат. и распределит. законами; 2) выражение с двойным (и вообще четным) количеством отрицаний можно заменить исходным выра-

жением: $A = \overline{\overline{A}} = \overline{\overline{\overline{A}}} = \dots$; 3) отрицание конъюнкции двух высказываний можно заменить дизъюнкцией отрицаний этих высказываний, а отрицание дизъюнкции — конъюнкцией отрицаний: $\overline{A \wedge B} = \overline{A} \vee \overline{B}$, $\overline{A \vee B} = \overline{A} \wedge \overline{B}$; 4) выражение $A \rightarrow B$ можно заменить через $\overline{A} \vee B$, а выражение $A \sim B$ — через $(\overline{A} \vee B) \wedge (A \vee \overline{B})$.

Порядок пользования этими правилами следующий: сначала, применяя правило 4, уstra-

няются имеющиеся в ф-ле импликация и эквивалентности. Затем (по правилу 3) ф-ла приводится к такому виду, когда знаки отрицания относятся к отдельным дизъюнктивным или конъюнктивным членам; наконец (применяя правила 1 и 2), производится раскрытие скобок и устранение двухкратных знаков отрицания.

Нормальные формы удобны для выделения двух важных классов ф-л: класса постоянно-истинных (т. е. совпадающих с константой 1) ф-л и класса постоянно-ложных (т. е. совпадающих с константой 0) ф-л А. л., играющих существен. роль при упрощении логич. выражений. При упрощении сложных ф-л равносильности $A \wedge 1 = A$ и $A \vee 0 = A$ позволяют отбрасывать постоянно-истинные и постоянно-ложные высказывания, а равносильности $A \wedge 0 = 0$ и $A \vee 1 = 1$ позволяют отбрасывать высказывания, конъюнктивно присоединенные к постоянно-ложному высказыванию и дизъюнктивно присоединенные к постоянно-истинному высказыванию.

Суждение о пост. истинности сложной ф-лы может быть получено на основе применения правил: 1) ф-ла $A \vee \overline{A}$ постоянно-истинна; 2) если A истинно, а B — произвольное высказывание, то ф-ла $A \vee B$ истинна; 3) если A и B истинны, то и ф-ла $A \wedge B$ тоже истинна. Применение этих правил позволяет вывести следующий критерий пост. истинности сложной ф-лы. Постоянно-истинными являются такие ф-лы, в КНФ к-рых в каждую дизъюнкцию входит одно (по меньшей мере) осн. высказывание вместе со своим отрицанием. Действительно, в каждой дизъюнкции в этом случае будет по меньшей мере один истинный член, а значит, будут истинны и все дизъюнкции, являющиеся членами КНФ, т. е. будет истинна вся КНФ, представляющая данную ф-лу А. л.

Аналогичным образом посредством приведения к ДНФ можно определить, является ли данная ф-ла А. л. постоянно-ложной или нет. Именно, ф-ла постоянно-ложна, если в каждой из конъюнкций, дизъюнктивно соединенных в ДНФ этой ф-лы, имеется по крайней мере одно высказывание вместе со своим отрицанием. Ф-лы А. л., являющиеся истинными при нек-рых значениях входящих в них переменных, наз. выполнимыми. Выполнимой будет любая ф-ла, не являющаяся постоянно-ложной. Существует универс. способ представления любой ф-ции А. л. $F(A_1, A_2, \dots, A_n)$ как дизъюнкции всех конъюнкций вида:

$$F(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \wedge A'_1 \wedge A'_2 \wedge \dots \wedge A'_n, \quad (a)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ — набор из значений 0 и 1, а $A'_i = A_i$ при $\alpha_i = 1$ и $A'_i = \overline{A_i}$ при $\alpha_i = 0$. Действительно, для любого набора $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ найдется одна и только одна конъюнкция вида (a), в к-рой пост. множитель $F(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ будет иметь то же значение истинности, что и данная ф-ция при данном наборе, а остальные множители A'_1, A'_2, \dots, A'_n будут равны 1. В этой конъюнкции распределение знаков отрицаний над переменными A_i будет совпадать с распределением нулей в наборе $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$. Оставляя в дизъюнкции только те конъюнкции, у к-рых пост. множители равны единице (и удаляя их из конъюнкций по правилу $A \wedge 1 = A$), получим ф-лу, выражаю-

щую данную ф-цию в форме дизъюнкции конъюнкций вида: $A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_n$. Эта форма наз. дизъюнктивной совершенной нормальной формой (ДСНФ). Она обладает след. свойствами: а) не имеет одинаковых слагаемых; б) каждое слагаемое ДСНФ содержит в качестве множителей либо осн. переменные, либо их отрицания; в) ни в одном слагаемом ДСНФ нет двух одинаковых множителей и не содержится переменная вместе с ее отрицанием. Подобным же образом определяется конъюнктивная совершенная норм. форма (КСНФ), представляющая собой конъюнкцию дизъюнкций, удовлетворяющих аналогичным условиям.

Совершенные норм. формы могут использоваться при решении вопросов о равносильности сложных ф-л А. л., именно: две ф-лы А. л. являются равносильными, если они приводятся к одинаковому совершенному норм. формам. Однако практическое применение этих форм затрудняется их громоздкостью и поэтому часто используются для этих целей так называемыми минимальными нормальными формами.

Миним. дизъюнктивная нормальная форма (МДНФ) представляет собой дизъюнкцию конъюнкций, в к-рой: а) нет повторяющихся множителей ни в одном слагаемом, б) нет таких пар слагаемых, в к-рых были бы одинаковые множители, и в) для всяких двух слагаемых, в к-рых имеется одна общая переменная, входящая в одно слагаемое в прямом виде, а в др. — в виде отрицания, имеется третье слагаемое, представляющее собой конъюнкцию остальных множителей первых двух слагаемых.

Любая дизъюнктивная норм. форма (не обязательно совершенная) может быть приведена к МДНФ путем следующих преобразований:

а) для каждой пары слагаемых вида $R_k \wedge A_i$ и $R_l \wedge \bar{A}_i$ (где R_k и R_l — произведения остальных множителей) добавляют дополнит. слагаемые вида $R_k \wedge R_l$ (при этом получаются ф-лы, равносильные исходной в силу соотношения $R_k \wedge A_i \vee R_l \wedge \bar{A}_i = R_k \wedge A_i \vee R_l \wedge \bar{A}_i \vee R_k \wedge R_l$);

б) применяя законы поглощения и склеивания ($A \wedge B \vee A = A$; $A \wedge B \vee A \wedge \bar{B} = A$), соотношение $A \wedge 1 = A$, переместит. и сочетат. законы, устраняют повторяющиеся множители и слагаемые.

Пример преобразования к МДНФ:
 $A \wedge B \wedge C \vee A \wedge \bar{B} \wedge C \vee A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C} \vee \bar{B} \wedge \bar{C} \vee A \wedge C =$
 $= A \wedge C \wedge (B \vee \bar{B}) \vee \bar{B} \wedge \bar{C} \wedge (A \vee 1) \vee \bar{B} \wedge \bar{C} =$
 $= A \wedge C \vee \bar{B} \wedge \bar{C} \vee A \wedge C = C \wedge (A \vee \bar{A}) \vee \bar{B} \wedge \bar{C} =$
 $= C \wedge 1 \vee \bar{B} \wedge \bar{C} = C \wedge 1 \vee \bar{B} \wedge \bar{C} \vee \bar{B} \wedge 1 = C \vee \bar{B} \wedge$
 $\wedge (\bar{C} \vee 1) = C \vee \bar{B}.$

Существуют также и др. методы получения МДНФ. Практич. применение нашел т. н. метод минимизирующих карт, позволяющий получать МДНФ для любой функции А. л., заданной в виде совершен. дизъюнктивной норм. формы. Минимизирующая карта для функций, зависящих от трех переменных, представлена на таблице 7 (точки означают знак конъюнкции).

Эта таблица содержит всевозможные конъюнкции заданных простых переменных и имеет всегда 2^n строки $2^n - 1$ столбцов (сами простые переменные также могут рассматриваться как конъюнкции в силу соотношения $A \wedge 1 = A$). Порядок пользования минимизирующей картой следующий (табл. 8): а)

Таблица 7

A	B	C	A.B	A.C	C.B	A.B.C
A	B	C	A.B	A.C	C.B	A.B.C
A	B	\bar{C}	A.B	A.C	C.B	A.B.C
A	\bar{B}	C	A.B	A.C	C.B	A.B.C
A	\bar{B}	\bar{C}	A.B	A.C	C.B	A.B.C
\bar{A}	B	C	A.B	A.C	C.B	A.B.C
\bar{A}	B	\bar{C}	A.B	A.C	C.B	A.B.C
\bar{A}	\bar{B}	C	A.B	A.C	C.B	A.B.C
\bar{A}	\bar{B}	\bar{C}	A.B	A.C	C.B	A.B.C

Таблица 8

A	B	C	A.B	A.C	C.B	A.B.C
A	B	C	A.B	A.C	C.B	A.B.C
A	B	\bar{C}	A.B	A.C	C.B	A.B.C
A	\bar{B}	C	A.B	A.C	C.B	A.B.C
A	\bar{B}	\bar{C}	A.B	A.C	C.B	A.B.C
\bar{A}	B	C	A.B	A.C	C.B	A.B.C
\bar{A}	B	\bar{C}	A.B	A.C	C.B	A.B.C
\bar{A}	\bar{B}	C	A.B	A.C	C.B	A.B.C
\bar{A}	\bar{B}	\bar{C}	A.B	A.C	C.B	A.B.C

вычеркиваются все строки таблицы, соответствующие тем конъюнкциям правого столбца, к-рые отсутствуют в данной ДСНФ; б) в оставшихся строках в каждом столбце зачеркиваются элементы, одинаковые с теми, к-рые уже зачеркнуты в этом столбце; в) из каждой незачеркнутой строки выбирается по одной конъюнкции, содержащей миним. число множителей, и эти конъюнкции соединяются знаками дизъюнкции. После исключения повторяющихся множителей и слагаемых получают МДНФ. Напр., для ф-ции

$$F(A, B, C) = A \wedge B \wedge C \vee A \wedge \bar{B} \wedge C \vee A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C} \vee \bar{A} \wedge B \wedge C \vee \bar{A} \wedge \bar{B} \wedge C \vee \bar{A} \wedge \bar{B} \wedge \bar{C}$$

МДНФ согласно таблице 8 будет иметь вид $C \vee \bar{B}$.

Путем приведения к МДНФ можно установить равносильность различных сложных ф-л А. л.; равносильные ф-лы имеют одинаковые МДНФ. МДНФ используются при решении задач синтеза параллельно-последовательных переключат. схем, обладающих миним. числом элементов.

Использование аппарата А. л. в теории устройств дискретного действия (теории релейных схем, ЦВМ и т. п.) основано на том, что элементы этих устройств являются двухпозиц. приборами, т. е. приборами, к-рые по условиям работы могут находиться лишь в одном из двух различных устойчивых состояний. Так, электрич. контакт может быть замкнутым или разомкнутым, электронная лампа заперта или отперта и т. д. Одному из состояний двухпозиц. элемента можно поставить в соответствие 1, а другому — 0, и рассматривать 1 и 0 как значения истинности высказываний вида: «контакт а замкнут», «лампа Л отперта», и т. п. Конъюнкция такого рода высказываний будет тогда средством выражения последовательного соединения элементов, а дизъюнкция — их параллельного соединения. Это открывает возможность применить средства А. л. к задачам анализа и синтеза переключат. схем.

Задача анализа схем состоит в следующем. Требуется, имея к.-л. готовую схему, описать ее работу логич. выражением, задающим некоторую функцию А. л.; затем путем алгебрологич. преобразований этого выражения исследовать вопрос об экономичности схемы, т. е. выяснить, нельзя ли получить более

простую схему, содержащую меньшее количество элементов, к-рая тоже реализовала бы данную функцию А. л.

Задача синтеза схемы состоит в том, чтобы, имея логич. выражение, описывающее некоторую логич. функцию, определить, из каких элементарных схем и каким образом должна быть построена сложная схема, реализующая данную ф-цию. Для этого необходимо исходное логическое выражение рациональным образом преобразовать и расчленить на отдельные члены так, чтобы каждый из членов мог быть представлен элементарной схемой, а общее число элементов было минимальным.

Помимо задач анализа и синтеза схем дискретного действия, методы А. л. находят применение в теории ЦВМ при составлении логич. схем программ работы этих машин и для описания процессов переработки информации. С помощью ф-л А. л. описываются также различные математич. действия, выполняемые этими машинами, что связано с использованием в машинах для представления величин различных двоично-кодированных систем счисления, применяющих только две цифры 0 и 1 (напр., двоичной, двоично-десятичной и т. д.).

Лит.: Гильберт Д., Аккерман В., Основы теоретической логики, пер. с нем., М., 1947; Новиков П. С., Элементы математической логики, М., 1959; Ричардс Р. К., Арифметические операции на цифровых вычислительных машинах, пер. с англ., М., 1957; Китов А. И., Криничкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, М., 1959; Черч А., Введение в математическую логику, пер. с англ., т. 1, М., 1960; Кузнецов А., Алгебра логики, в кн.: Философская энциклопедия, т. 1, М., 1960, с. 33—38. А. И. Кумов.

АЛГОЛ (algol; algol; Algol) — формальный язык для описания вычислит. алгоритмов. Создан в 1958—60 как международный язык программирования с целью существенного облегчения обмена информацией об алгоритмах и объединения усилий специалистов, работающих в области цифровых вычислительных машин. Окончательная версия языка, принятая международной конференцией в Париже в январе 1960, получила наименование «А.-60», в отличие от первоначальной версии «А.-58».

Различают три уровня языка: эталонный, язык публикаций и различные конкретные представления. Определяющим является эталонный язык, к-рый служит образцом для всех конкретных представлений и основой для перевода с языка публикаций на любое конкретное представление. Язык публикаций допускает изменения эталонного языка, связанные с удобством печати или написания, и используется для взаимного обмена информацией. При этом допускается употребление в различных странах разных знаков языка с соблюдением однозначного соответствия с эталонным языком. Каждое конкретное представление, являясь сокращением эталонного языка, вызванным ограниченным числом символов в оборудовании ввода, служит входным языком программирующей программы для данной машины и должно сопровождаться правилами для перевода с языка публикаций или эталонного языка. Алфавит языка составляют «базисные символы»: строчные и прописные буквы латинского алфавита, десятичные цифры, два значения логич. переменных — «истина» и «ложь», а также набор огра-

нителей. Последний состоит, во-первых, из символов арифметич. и логич. операций, операций отношения и операций следования, во-вторых, из набора разделителей (знаков препинания), 4 типов скобок и специальных символов (описателей и спецификаторов). Буквы вместе с цифрами служат для формирования элементарных синтаксич. единиц языка — идентификаторов. Последние являются основой построения более сложных единиц и непосредственно используются для обозначений величин, среди к-рых различают простые переменные, массивы, метки, переключатели и процедуры. Идентификатору массива соответствует упорядоченная совокупность переменных с индексами. Нек-рым из синтаксич. единиц языка можно присваивать текущие значения, к-рые, вообще говоря, изменяются в процессе выполнения описанного алгоритма.

В языке введены весьма широкие понятия арифметич., логич. и именуемых выражений, включающих в себя символы ф-ций и т. н. условия, содержащие логич. выражения, значения к-рых определяют способ вычисления данного выражения. Значением арифметич. выражения является целое или действительное число, логич. выражения — истина или ложь, именуемого выражения — метка. Метки служат для различения единиц действия в языке, т. н. операторов. Основными операторами являются оператор присваивания, оператор перехода, оператор процедуры и пустой оператор. Действие, определяемое оператором присваивания, заключается в вычислении значения арифметич. или логич. выражения, составляющего правую часть оператора, и в присвоении этого значения в качестве текущего переменным, указанным в списке левой части. Оператор перехода состоит из символа операции следования **go to** («перейти») и именуемого выражения. Значение последнего определяет метку оператора, к выполнению к-рого следует перейти. За исключением случаев действия операций следования операторы выполняются друг за другом в порядке их написания. Действие оператора процедуры заключается в выполнении нек-рого алгоритма, заданного в т. н. описании процедуры. Описание процедуры задает алгоритм в форме операций над т. н. формальными параметрами, каждый из к-рых при исполнении процедуры либо принимает значение фактического параметра (подстановка значений), либо заменяется фактическим параметром (подстановка наименований). Подстановка наименований при исполнении процедуры существенно расширяет возможность компактного задания целого класса алгоритмов в форме описания одной процедуры. Пустой оператор не определяет никакого действия и может служить лишь для помещения метки. Существенное значение в языке имеет оператор цикла, состоящий из заголовка цикла и безусловного оператора. Заголовок цикла определяет режим, вообще говоря, многократного выполнения следующего за заголовком оператора при различных исходных данных. Использование оператора цикла позволяет компактно описать часто встречающиеся длинные процессы вычислений, заключающиеся в многократном выполнении одной и той же цепочки действий над последовательностями величин. Помимо ос-

новых операторов и оператора цикла, к т. н. безусловным операторам принадлежат составные операторы и блоки. Составной оператор есть просто заключенная в операторные скобки **begin** (открывающая скобка) и **end** (закрывающая скобка) произвольная последовательность операторов. Блок отличается от составного оператора наличием между **begin** и первым из операторов последовательности т. н. описаний, определяющих и локализуемых те или иные идентификаторы в данном блоке. Последнее означает, что описанный в блоке идентификатор имеет данный смысл лишь внутри блока. Метки всегда локализируются в блоке. Вхождение в блок означает переход к новому уровню обозначений. Некоторые из операторов, входящих в данный блок, могут быть в свою очередь блоками, и данный блок может входить в состав большего блока и т. д. Кроме безусловных операторов, в языке допускаются условные операторы вида **if B then A else C**, где **B** — логич. выражение, **A** — безусловный оператор, **C** — оператор, а **if, then, else** — символы операций следования. Действие выписанного условного оператора состоит, во-первых, в вычислении выражения **B**. Далее, если последнее имеет значение истины, то выполняется оператор **A**, если же значение **B** — ложь, то выполняется оператор **C**. Допускается форма **if B then A**, если **C** — пустой оператор без метки. В языке **A** даны формальные правила, дающие возможность включения произвольного текста между символами программы.

Такой текст и выбор в качестве символов операций следования, операторных скобок, описателей, спецификаторов и некоторых разделителей слов, обычный смысл к-рых соответствует их формальному значению в **A**., существенно облегчают чтение формального текста человеком и упрощают процесс обучения языку. Англ. слова-символы эталонного языка можно с успехом заменить соответствующими словами-символами любого др. языка в той или иной стране.

Лит.: Preliminary report-International algebraic language, «Comm. Assoc. Comput. Mach.», 1958, v. 1, № 12, p. 8; Report on the algorithmic language ALGOL by the ACM Committee on programming languages and the GAMM Committee on programming, ed. by A. J. Perlis and K. Samelson, «Numerische Mathematik», 1959, Bd 1, H. 1, S. 41—60; Report on the algorithmic language ALGOL 60, там же, 1960, Bd 2, № 2; (рус. пер. в «ЖВМ и МФ», 1961, т. 1, № 2).

М. Р. Шура-Бура.

АЛГОРИТМ, а л г о р и ф м (algorithm; algorithme; Algorithmus), — предписание, определяющее содержание и последовательность операций, переводящих исходные данные в искомым результат. **A**. обладает свойствами: а) определенности, б) массовости и в) результативности. При этом под определенностью **A**. понимают его общепонятность и точность, не оставляющие места для произвола; под массовостью — возможность применять **A**. к различным вариантам исходных данных, т. е. возможность решать любую задачу нек-рого класса; под результативностью — существование таких вариантов исходных данных, для к-рых после конечного числа элементарных актов выполнение **A**. заканчивается и дает искомым результат, и отсутствие таких вариантов, для к-рых процесс выполнения **A**. приводит к неправильному результату. При этом допускается существование вариантов исходных данных, для к-рых не получается

никакого результата либо потому, что процесс выполнения **A**. безрезультатно обрывается в силу того, что к полученному промежуточному результату дальнейшее применение **A**. не имеет смысла, либо потому, что этот процесс никогда не заканчивается. Существенными чертами **A**. являются также дискретность определяемого им процесса (его расчлененность на отдельные последовательные акты) и простота операций, выполняемых на каждом шагу. Примером **A**. является общеизвестный алгоритм Эвклида, с помощью к-рого для любой пары целых неотрицат. чисел получают наибольший общий делитель этих чисел.

А л г о р и т м Э в к л и д а. 1) Проверить, больше ли первое число, чем второе. Если нет, перейти к след. пункту, если да — к пункту 4. 2) Проверить, больше ли второе число, чем первое. Если нет, перейти к след. пункту, если да — к пункту 5. 3) Принять первое число за общий наибольший делитель. Прекратить процесс. 4) Разделить первое число на второе, и остаток деления принимать впродь за первое число. Перейти к пункту 1. 5) Разделить второе число на первое. Остаток деления принимать впродь за второе число. Перейти к пункту 1.

Описанное выше содержательное понимание **A**. благодаря своей расплывчатости не может служить основой точного математич. исследования свойств **A**. По той же причине оно является недостаточным и для нужд теории программно-управляемых машин и теории *программирования*. Наиболее неясным является свойство определенности **A**. (его общепонятность). Действительно, если заранее ничего не известно об **A**., то нельзя сказать, на каком языке он составлен и в каком смысле нужно понимать употребляемые в нем термины и символы. Включить же в **A**. соответствующие пояснения невозможно, ибо эти пояснения сами требуют таких же пояснений. Неясность содержательного описания послужила причиной ряда попыток уточнения понятия **A**. Объекты, являющиеся исходными данными или искомыми результатами для **A**., даже из числа используемых в математике, весьма разнообразны. Однако с помощью различных приемов такие объекты можно изображать в виде *слов* в одном из *алфавитов*. Принимается, что исходными данными и искомыми результатами (а также промежуточными результатами) для **A**. являются слова. Одно из таких уточнений состоит в том, что понятие **A**. связывают со строго формализованным описанием т. н. машины Тьюринга (см. *Тьюринга машина*).

Др. уточнением понятия **A**. является понятие *нормального алгоритма Маркова*. Записью нормального **A**. является столбец ф-л, определяющих преобразования, выполняемые над словом. Структура ф-л строго определена, а способ применения столбца ф-л к слову задан в виде нек-рого **A**., единого для всех нормальных **A**., описанного словесно и предполагаемого понятным для исполнителя. Оба описанных уточнения понятия **A**. заключаются по существу в том, что дается строгое определение нек-рого класса **A**., для к-рого точно формулируется смысл термина «определенность». В первом случае определенность обеспечивается общим описанием машины Тьюринга, а во втором — содержательным зада-

нием нек-рого A ., единого для всего класса, к-рый можно назвать A . выполнения. Ясно, что не всякое предписание (признаваемое A .) есть A . в смысле Тьюринга или A . в смысле Маркова. Для того чтобы в рамках сделанного уточнения понятия A . можно было судить о свойствах любых A ., делается предположение (наз. основным тезисом) о том, что для всякого A . можно построить равносильную машину Тьюринга или составить равносильный нормальный A . (см. *Равносильность алгоритмов*). Эти предположения оправданы тем, что до сих пор неизвестно ни одного A ., к-рый бы их опровергал, и носят характер естественно-научной гипотезы, подобной, напр., известному в физике закону сохранения энергии. Пользуясь уточненным понятием A . и опираясь на основной тезис, в нек-рых случаях удается делать вывод о несуществовании A . для решения к.-л. класса задач (см. *Алгоритмическая неразрешимость*), что представляет не только теоретический, но и практич. интерес. Оба описанных уточнения понятия A . успешно применяются в теоретич. исследованиях в математике, но неудобны в области теории программирования и теории программно-управляемых машин. Действительно, с точки зрения содержательного описания A ., программа есть A . Но большинство программ содержат не только команды, определяющие процесс переработки исходных данных, но и команды для изменения команд. Следовательно, программа есть A ., определяющий также процесс изменения самого себя. Подобным свойством не обладают ни машины Тьюринга, ни нормальные A . Поскольку объектами, перерабатываемыми в процессе выполнения A ., являются слова, то и сам такой A . должен быть словом.

Анализируя и сопоставляя процессы выполнения A . человеком и программы машиной, можно получить удобное для практики уточнение понятия A . В ряде машин программа и исходные данные располагаются в оперативном ЗУ совместно, как бы объединяются по свойственным данной программе правилам в одно слово. Как процесс выполнения A . человеком, так и процесс выполнения программ машиной состоит из актов двух видов: из выполнений над упомянутым объединенным словом операций, указанных в пунктах A . (в командах программы), и из переходов к очередным пунктам (командам). В машине переход к следующей команде производится путем переноса ее в ячейку, наз. регистром команд (т. е. на определенное «место»). Человек фиксирует на очередном пункте внимание, т. е. переносит его в свою память (на определенное «место»). Если рассматривать совокупность слова, полученного объединением A . с исходным данным и вынесенного на определенное место пункта (команды), как одно слово, то процесс перехода сводится к преобразованию этого слова. Искомый результат входит заранее известным образом в слово, к-рое получается к моменту окончания выполнения A . Таким образом, понятие A . связано с понятиями объединения слов, вхождения одного слова в другое и выполнения операций над словами.

Объединением или *композицией слов* наз. новое слово, составленное по нек-рому правилу (т. н. закону композиции) из букв, принадлежащих исходным словам. Пусть при

наборе элементарных предписаний заданы нек-рая хар-ка вхождения σ^* и такой закон Z композиции произвольного элементарного предписания с др. словами, что упомянутое элементарное предписание входит в получающуюся композицию с характеристикой σ^* . Обозначим через W_0^* произвольное слово. При введении формализованного понятия A . необходимо следующее (или ему эквивалентное) предписание: 1) Считать, что $i=1$. Перейти к пункту 2. 2) Найти вхождение q с хар-кой σ^* в слово W_i . Если q не является элементарным предписанием, процесс невозможен. В противном случае перейти к пункту 3. 3) Положить $W_{i+1} = \omega(W_i)$, где ω — операция, отвечающая элементарному предписанию q . Если эта операция не определена для W_i , то процесс невозможен. В противном случае перейти к пункту 4. 4) Если $W_{i+1} = W_i$, то процесс окончен. В противном случае перейти к пункту 5. 5) Увеличить значение i на 1. Перейти к пункту 2.

Приведенное предписание, по отношению к вводимому определению A ., наз. алгоритмом выполнения A . наз. слово R , для к-рого указаны хар-ка σ_1 вхождения в него нек-рого элементарного предписания, закон Z композиции этого слова с др. словами и нек-рая хар-ка вхождения σ_2 . Пусть P — слово, являющееся исходным данным, и пусть q^* — элементарное предписание, входящее в R с хар-кой σ_1 . Образум по закону Z композицию V из слов R и P . Затем по закону Z образум композицию W_0 из слов q^* и V . Применим к W_0 описанный выше A . выполнения. Процесс, определяемый при этом, называется выполнением алгоритма R . Если этот процесс окончится после конечного числа шагов, то из последнего полученного слова W_n определим слово Q , входящее в него с характеристикой σ_2 . Слово Q является искомым результатом.

На алгоритм R не наложено никаких ограничений, кроме требования, чтобы в него входило с заранее заданной характеристикой нек-рое элементарное предписание. Однако в частном случае, наиболее распространенном в практике, A . бывает просто объединением нек-рого числа элементарных предписаний (напр., программа является последовательностью команд, а A ., составленный для выполнения человеком, — последовательностью пунктов).

Совокупность всех A ., имеющих общий A . выполнения, наз. семейством родственных A . Реальную программно-управляемую машину можно рассматривать как прибор, функционирование к-рого подчинено нек-рому A . выполнения, именно A . выполнения программ. Программы такой машины образуют семейство родственных A .; A . выполнения, к-рому подчинены действия машины, можно считать описанием этой машины. На этом основано описание машины в виде *логической схемы ЦВМ*. Некоторое семейство родственных A . образуют также *логические схемы программ*, применяемые в программировании в качестве промежуточного этапа при переходе от математических формулировок A . к программам.

Особое значение приобрели работы по описанию процессов управления в виде A . Получаемые при этом A . перерабатывают в программы для ЦВМ, с помощью к-рых и осуще-

ствляется управление автоматизированными объектами. Получаемые при описании процессов управления A . не всегда пригодны для непосредственного использования. Поэтому большое значение приобрела проблема равносильных преобразований A . с целью их «улучшения». Работы в последнем направлении лишь начаты (см. *Равносильные преобразования логических схем*).

Лит.: Марков А. А., Теория алгорифмов, «Тр. Матем. ин-та. АН СССР», 1954, т. 42, гл. 2; Трахтенброт Б. А., Алгоритмы и машинное решение задач, М., 1957; Успенский В. А., Лекции о вычислимых функциях, М., 1960; Колмогоров А. Н., Успенский В. А., К определению алгоритма, «УМН», 1958, т. 13, вып. 4 (82).

Н. А. Криницкий.

АЛГОРИТМ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ (universal algorithm; algorithm universel; universaler Algorithmus) — алгоритм, принадлежащий нек-рому семейству родственных алгоритмов и эквивалентный алгоритму выполнения этого семейства при определенном (соответствующем данному A . у.) кодировании. Это значит, что если любой алгоритм R указанного семейства закодировать способом, требуемым для A . у., и образовать композицию из полученного слова (см. *Композиция слов*) и исходных для R данных P , то получится слово Q , являющееся исходным данным для A . у. Это слово A . у. перерабатывает в тот же искомый результат, в к-рый R перерабатывает слово P . При этом, если процесс применения R к P безрезультатен, то и процесс применения A . у. к Q тоже безрезультатен. В семействе родственных алгоритмов, соответствующем машинам Тьюринга, существует A . у., к-рому отвечает т. н. универсальная машина Тьюринга (см. *Тьюринга машина*). В семействе *нормальных алгоритмов Маркова* существует нормальный A . у. Наличие A . у. в нек-ром семействе родственных алгоритмов означает возможность «моделирования» (и описания) внутренними средствами семейства алгоритма выполнения этого семейства. Применительно к семейству программ нек-рой ЭЦМ существование A . у. означает возможность программного моделирования этой ЭЦМ на ней же самой (с учетом, конечно, последствий, вытекающих из ограниченности объема ЗУ ЭЦМ). Такое моделирование иногда применяют при контроле ЭЦМ для поиска неисправности в ней.

Н. А. Криницкий.

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА (process algorithmisation; algorithmisation du procédé; algorithmische Darstellung) — построение алгоритма, выполнение к-рого реализует данный процесс. A . п. необходима при моделировании процесса, для разработки системы управления процессом. Напр., при A . п. холодной прокатки жести выясняется, что толщина листа на выходе стана связана системой дифференц. ур-ний с параметрами приводов валков и намагнителя. Анализ этой системы показывает, что она реализуется на электромодели, на основе к-рой можно создать систему автоматич. управления прокатным станом.

A . п. начинается обычно с содержат. описания алгоритма, изоморфного исходному процессу. Затем алгоритм формализуется — описывается с помощью формального языка, и, наконец, записывается в виде программы, предназначен. для данного кибернетич. устройства, т. е. программируется. Важным кругом проблем является оценка качества получ.

алгоритма, т. е. эквивалентности алгоритма исходному процессу, его экономичности, эффективности и т. д. — и нахождение в том или ином смысле оптим. алгоритмов.

Лит. см. при ст. *Алгоритм*.

Л. Б. Левитин.

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ НЕРАЗРЕШИМОСТЬ (algorithm insolubility; insolubilité algorithmique; algorithmische Unlösbarkeit) — несуществование единого алгоритма решения задач нек-рого класса. A . н. класса задач не означает невозможности решения отдельных задач этого класса. Она означает лишь невозможность единого общего конструктивного метода, применимого к решению любой задачи. Если под единичной проблемой понимать проблему решения отдельной задачи, то вопрос отыскания единого алгоритма решения любой задачи нек-рого класса можно назвать массовой проблемой. В математике установлено наличие алгоритмически неразрешимых массовых проблем. Встречаясь с массовой проблемой, упорно не поддающейся решению, необходимо считаться с возможностью A . н. Исследование такой массовой проблемы необходимо вести в двух направлениях: поиска ее решения и поиска доказательства ее A . н. Программы, составленные для ЭЦМ, являющиеся алгоритмами. Возможность A . н. классов задач означает, что существуют такие классы задач, для решения любой задачи к-рых нельзя составить единые программы (даже отвлекаясь от ограниченности быстродействия ЭЦМ и объема ее ЗУ). Примеры A . н.: проблема тождества в теории групп; проблема равенства конструктивных действительных чисел в конструктивном математическом анализе и др.

Лит.: Марков А. А., Теория алгорифмов, «Тр. Матем. ин-та. АН СССР», 1954, т. 42; Трахтенброт Б. А., Алгоритмы и машинное решение задач, М., 1957; Новиков П. С., Об алгоритмической неразрешимости проблемы тождества слов в теории групп, «Тр. Матем. ин-та. АН СССР», 1955, т. 44.

Н. А. Криницкий.

АЛГОРИТМОВ КОНСТРУИРОВАНИЕ (algorithm's elaboration; elaboration des algorithmes; Algorithmenkonstruktion) — построение по нек. заданным алгоритмам, входящим в семейство родственных алгоритмов, новых алгоритмов этого же семейства. Пусть A (P) результат применения алгоритма A к исходному данному P . Два алгоритма, A и B , наз. эквивалентными (или равносильными), если для любого P , коль скоро существует один из результатов $A(P)$, $B(P)$, то существует и др. из них, причем эти результаты тождественны между собой. Тождественность результатов, как и эквивалентность алгоритмов, обозначают знаком равенства. При A . к. применяют след. основные приемы: объединение, получение произведения, повторение, построение разветвления, построение цикла, продолжение ветви и включение. О б ъ е д и н е н и е м алгоритмов A и B наз. алгоритм C такой, что $C(P)$ является композицией (см. *Композиция слов*) по заданному закону результатов $A(P)$ и $B(P)$. При этом пишут $C = (A, B)$. Объединение применяют в тех случаях, когда необходимо иметь результаты работы двух алгоритмов над одними и теми же исходными данными (напр., для дальнейшего совместного использования). Объединение объединения двух алгоритмов с третьим дает объединение трех алгоритмов и т. д. Произведением алгоритмов A и B наз. алгоритм C , удовлетворяющий условию $C(P) = B(A(P))$, и пишут

$C=AB$. Произведение образуют в тех случаях, когда необходимо к исходным данным сначала применить первый алгоритм, а затем к результату его работы — второй. Произведение произведения двух алгоритмов и третьего алгоритма дает произведение трех алгоритмов и т. д. Получение произведения, в котором все «сомножители» являются одним и тем же алгоритмом, наз. повторением, а число «сомножителей» — кратностью повторения. Повторение кратности n алгоритма A обозначают A^n . Иногда бывает нужно, если исходные данные обладают определенным свойством S , применять к ним алгоритм A , а в противном случае — алгоритм B . При этом необходимо иметь нек-рый алгоритм R , распознающий наличие у исходных данных свойства S . Распознавание свойства S может заключаться в том, что R перерабатывает каждое исходное данное P в нек-рое определенное слово Q тогда и только тогда, когда это исходное данное обладает свойством S . При этом не должно существовать таких исходных данных, применение к к-рым алгоритма R является безрезультатным. Алгоритм C , удовлетворяющий условиям: 1) если $R(P)=Q$, то $C(P)=A(P)$, и 2) если $R(P) \neq Q$, то $C(P)=B(P)$, дает решение поставленной задачи. Его обозначают $C=R \frac{A}{B}$ и говорят, что он содержит разветвление. Построение алгоритма $R \frac{A}{B}$ наз. построением разветвления. Часто бывает нужно применить к исходным данным алгоритм A ; если результат работы не обладает заданным свойством S , применить к этому результату A ; если новый результат не обладает свойством S , снова применить к нему A и т. д., пока не получится результат, обладающий свойством S . В этом случае строят алгоритм C , называемый n и k л о м и обозначаемый $C=\{AR\}$, где R — алгоритм, распознающий наличие свойства S . Если заданы два алгоритма $R \frac{A}{B}$ (содержащий разветвление) и D , то продолжением в е т в и называется прием, с помощью к-рого получают алгоритм $R \frac{AD}{B}$ или алгоритм $R \frac{A}{BD}$. В к л ю ч е н и е м наз. прием, с помощью к-рого по заданным алгоритмам AB , $R \frac{A}{B}$ или $\{AR\}$ и заданному алгоритму D получают алгоритмы ADB , $R \frac{DA}{B}$, $R \frac{A}{DB}$, $\{DAR\}$ или $\{ADR\}$. Перечисленные приемы A . к. осуществляются различными путями, в зависимости от особенностей семейства родственных алгоритмов. Напр., для алгоритмов, описанных как *Тьюринга машины*, A . к. осуществляется путем построения по двум машинам Тьюринга третьей. Для *нормальных алгоритмов Маркова* A . к. осуществляется с помощью таких, не имеющих содержательного смысла, операций над ними, как замыкание, приписывание одного алгоритма к другому и др. Весьма просто A . к. для семейства родственных алгоритмов, называемых логическими схемами. В связи с этим логич. схемы получили применение как средство формального описания процессов переработки информации и как промежуточный «язык» при программировании. При программировании сперва конструируют алгоритм решения задачи без учета особенностей машины (напр., в виде логич. схемы),

а затем производят т. н. расширение полученного алгоритма путем включения в него алгоритмов (т. н. операторов), необходимых для того, чтобы обеспечить автоматич. выполнение алгоритма машиной. *Н. А. Крицкий.*

АЛФАВИТ (alphabet; alphabet; Alphabet) — конечный набор попарно различных букв, т. е. совокупность исходных «образов» букв, применяемых в той или иной области (в к.-л. системе алгоритмов или языке). Количество букв, входящих в A , наз. его объемом. Два A . наз. равными, если все буквы одного из них являются буквами в другом (различным может быть лишь порядок). Включением в A . новых букв получают его расширение, по отношению к к-рому исходный A . является частью. Если два A . не равны, но имеют одинаковые объемы и между их буквами существует взаимно однозначное соответствие, то эти A . наз. равнозначными (напр., русский A . для слепых и русский печатный A .). Большое практич. значение имеет кодирование одного A . в другом, заключающееся в следующем. Пусть B и C — два неравные A . Строит третий A ., равнозначный C из сочетаний букв алфавита B . Напр., во многих ЭВМ для ввода чисел, в качестве промежуточного применяют двоично-десятичный A . $\{0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, 0111, 1000, 1001\}$, являющийся результатом кодирования десятичного A . $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ в двоичном A . $\{0, 1\}$. Переход от к.-л. A . к др., ему равнозначному, наз. элементарной перекодировкой. *Н. А. Крицкий.*

АМПЛИТУДА (amplitude; amplitude; Amplitude, Scheitelwert) — наибольшее (максимальное) значение, к-рого достигает изменяющаяся во времени величина. Термин « A .» обычно употребляется по отношению к векторным величинам (напр., A . напряжения, тока, скорости, смещения и др.), к периодич. и аperiodич. сигналам (напр., A . синусоидального сигнала, A . импульса). A . нескольких гармонич. колебаний одной и той же частоты суммируются как векторы. По отношению к величинам, связанным с энергией или мощностью сигнала, термин « A .» обычно не употребляется. Для измерения A . электрич. сигналов и различения сигналов с различными величинами A . изготавливаются спец. приборы, напр. амплитудные вольтметры, амплитудные анализаторы импульсов, амплитудные дискриминаторы импульсов.

Лит.: Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; Санин А. А., Амплитудные анализаторы импульсов напряжения, «УФН», 1954, т. 54, вып. 4. В. Б. Брагинский.

АМПЛИТУДНАЯ ФАЗОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (gain-phase characteristic; diagramme amplitude-phase, courbe amplitude-phase; Amplitudenphasenkennlinie) — геометрическое место точек концов вектора $k(j\omega)$ комплексного коэфф. передачи линейной системы при изменении ω в интервале $0 \leq \omega < \infty$. Если на вход линейной системы подать гармонич. колебание, вектор к-рого $e^{j\omega t}$, то ее установившейся реакцией будет также гармонич. колебание с вектором $A(\omega)e^{j\varphi(\omega)} \times e^{j\omega t}$. Отношение вектора выходной величины к вектору входной, равное $A(\omega)e^{j\varphi(\omega)} = k(j\omega)$, есть комплексный коэфф. передачи системы, причем $A(\omega)$ есть амплитудная частотная хар-ка, а $\varphi(\omega)$ — фазовая частотная хар-ка системы. Между $\ln A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ для класса

минимально-фазовых систем существует однозначная связь, выражаемая преобразованиями Гильберта

$$\ln A(\omega) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\varphi(u)}{u-\omega} du,$$

$$\varphi(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\ln A(u)}{u-\omega} du,$$

График А. ф. х. (годограф) можно получить, если построить вектор $k(j\omega)$ для различных значений ω . При изменении ω от 0 до ∞ конец вектора опишет кривую, представляющую собой А. ф. х. системы. Ее можно определить экспериментально, подавая на вход объекта синусоид. колебания различной частоты и измеряя амплитуду и фазу выходного колебания. Вид А. ф. х. разомкнутой системы позволяет судить об устойчивости и качестве замкнутой системы (см. *Найквиста критерий*, *Михайлова критерий*). Л. П. Сысов.

АМПЛИТУДНАЯ ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (gain-frequency characteristic; diagramme amplitude-fréquence; caractéristique amplitude-fréquence; Amplitudenfrequenzkennlinie) — зависимость отношения амплитуды установившегося выходного колебания к амплитуде входного гармонического воздействия линейной динамической системы от частоты входного гармонич. воздействия. А. ч. х. равна модулю комплексного коэфф. передачи системы и может быть построена, если последний известен. А. ч. х. системы можно определить экспериментально, если подавать на вход системы гармонич. воздействие известной частоты и амплитуды и измерять амплитуду установившихся колебаний на выходе. Не всякая кривая $A(\omega)$ может быть А. ч. х. реальной физ. системы. Необходимым и достаточным условием физ. осуществимости системы с А.ч.х. $A(\omega)$ является выполнение условия

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\ln A(\omega)|}{1+\omega^2} d\omega < \infty.$$

Л. П. Сысов.

АМПЛИТУДНАЯ ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛОГАРИФМИЧЕСКАЯ (logarithmic gain-frequency characteristic; diagramme logarithmique amplitude-fréquence; logarithmische Amplitudenfrequenzkennlinie) — график логарифма амплитудной частотной хар-ки линейной динамич. системы, построенный в логарифмическом масштабе частоты. А. ч. х. л. и логарифмич. фазовая частотная хар-ка упрощают исследование сложных систем, состоящих из большого числа звеньев, т. к. при логарифмировании произведение амплитудных частотных хар-к последовательно соединенных звеньев системы заменяется суммой их А.ч.х.л. Последние строят в масштабе частот $\lg \omega$. Их ординаты в этом случае выражают в db (значение числа A , выражаемое в db , равно $20 \lg A$). Иногда А. ч. х. л. строят в масштабе частот $\ln \omega$. Ординаты А.ч.х.л., к-рая в этом случае наз. натуральной, выражают в nep , равных $\ln A$. Обычная А.ч.х.л. отличается от натуральной лишь пост. множителем, равным $20 \lg e$. Л. П. Сысов.

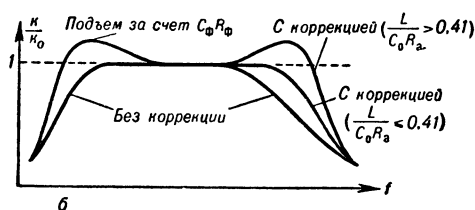
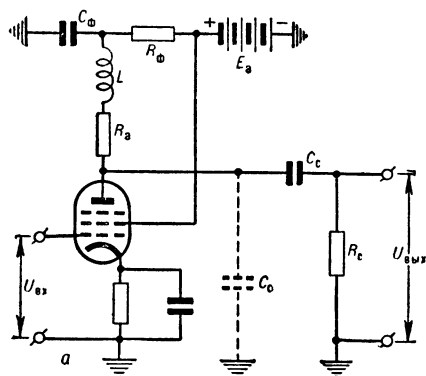
АМПЛИТУДНОЕ ИСКАЖЕНИЕ (amplitude distortion; distorsion d'amplitude; Amplituden-

verzerrung) — нарушение требуемой зависимости между амплитудой входных и выходных воздействий. Отклонение амплитуды выходного сигнала от номин. значения обуславливается внутр. нелинейными свойствами системы, на к-рую воздействует входной сигнал, и зависит от частоты входного сигнала. Макс. и мин. значения входного сигнала, при к-ром воздействие передается с требуемой точностью, характеризуют *динамический диапазон* системы. В. Н. Шадрин.

АМПЛИТУДНО - ЧАСТОТНАЯ КОРРЕКЦИЯ (amplitude compensation, amplitude-frequency correction; correction de courbe amplitudes-fréquence; Amplitudenfrequenz-zerrung) — изменение амплитудно-частотной хар-ки отдельных элементов или всего тракта радиотехнич. устройства с целью уменьшения частотных искажений. Схемы А.-ч. к. широко используются в широкополосных и импульсных усилителях для расширения их полосы пропускания, для компенсации частотных искажений, возникающих в приемниках, передатчиках, громкоговорителях, схемах звукозаписи, проводных линиях и др. элементах радиотехнич. устройств. Коррекция частотных искажений осуществляется введением в схему корректирующих (компенсирующих) элементов, в качестве к-рых применяются как отдельные пассивные элементы (сопротивления, конденсаторы, индуктивности), так и целые усилит. ступени. Принцип коррекции частотных искажений апериодической усилит. ступени заключается в следующем: выбирают элемент коррекции так, чтобы он давал подъем усиления на низкой (высокой) частоте усиляемого диапазона частот во столько раз, во сколько оно уменьшается в корректируемом устройстве. Тогда результирующий коэфф. усиления k окажется таким же, как и коэфф. k_0 в области ср. частот. Схемы корректирующих ступеней можно разбить на след. основные группы: схемы с увеличением сопротивления анодной нагрузки на частотах, где необходим подъем усиления; схемы резонансной коррекции; схемы коррекции за счет обратной связи. Корректирующие цепи, изменяющие частотную хар-ку усилителя на низких частотах, наз. «цепями низкочастотной коррекции» и соответственно на верхних частотах — «цепями высокочастотной коррекции».

В качестве примера схем первой группы приведена схема А.-ч. к. на низких и высоких частотах, наиболее часто встречающаяся на практике (рис., а). В этой схеме низкочастотная коррекция осуществляется путем включения в выходную цепь лампы (транзистора) цепочки $R_{\phi} C_{\phi}$, а для высокочастотной коррекции последовательно с сопротивлением анодной нагрузки R_a включается катушка индуктивности L . Конденсатор C_{ϕ} выбирается таким, чтобы на средних и верхних частотах он имел ничтожное сопротивление по сравнению с сопротивлением анодной нагрузки R_a . Тогда на средних частотах нагрузкой лампы будет сопротивление R_a . При понижении частоты сопротивление конденсатора C_{ϕ} становится значительным и полное сопротивление анодной нагрузки возрастает, что увеличивает коэффициент усиления ступени, падающий на нижних частотах из-за влияния разделительной емкости C_c . Надлежащим выбором емкости конденсатора C_{ϕ} можно добиться не только выравнивания, но и подъема частот-

ной хар-ки усилит. каскада в области низких частот. Сопротивление R_{ϕ} выбирается из условия: $I_0 R_{\phi} \approx (0,1 - 0,2) E_a$, где I_0 — пост. составляющая анодного тока (тока коллектора)



усилит. лампы (транзистора); E_a — напряжение источника анодного питания (батареи). Расширение полосы пропускания усилителя в сторону высоких частот при включении катушки L объясняется тем, что лампа оказывается нагруженной на параллельный колебат. контур LC_0R_a , сопротивление к-рого, подбором величины L , можно сделать малоизменяющимся в более широкой полосе частот, чем сопротивление цепи R_aC_0 , к-рая служит нагрузкой некорректированной схемы. С увеличением частоты сопротивление цепи R_aL увеличивается, что в нек-ром диапазоне частот компенсирует уменьшение сопротивления емкости C_0 (здесь C_0 — суммарная «паразитная» емкость усилит. каскада, складывающаяся из монтажной емкости, выходной емкости лампы и входной емкости следующей ступени). Из-за резонанса корректирующей индуктивности и «паразитных» емкостей схемы C_0 амплитудно-частотная хар-ка может иметь подъем в высокочастотной области (рис., б). Резонанс наступает, если отношение $L/(C_0R_a) > 0,41$.

В схемах второй группы рост усиления корректирующей ступени на верхних или нижних частотах может быть получен за счет резонанса в колебат. контуре, настроенном на соответствующую частоту. При этом могут быть использованы резонансные свойства как последоват. LC -контура, включаемого в цепь управляющей сетки лампы усилителя, так и параллельного контура, включаемого в анодную цепь в качестве нагрузки. Во всех схемах с обратной связью подъем усиления в нек-рой области частот (верхних или нижних) достигается за счет изменения глубины и фазы обратной связи на этих частотах. Параметры схемы выбираются так, что на средних частотах действует достаточно глубокая отрицат. обратная связь. В той области частот, где желательно получить рост усиления, обрат-

ная связь автоматически уменьшается по величине и меняется по фазе.

Лит.: Цыкин Г. С., Электронные усилители, М., 1960; Кризе С. Н., Усилительные устройства, М., 1958. И. А. Стрелцов.

АМПЛИТУДНЫЙ ДИСКРИМИНАТОР ИМПУЛЬСОВ (pulse height discriminator; discriminateur d'amplitude des impulsions; Amplitudendiskriminator, Amplitudenimpulsdiskriminator) — устройство, позволяющее автоматически выделять импульсы напряжения, амплитуда к-рых больше определенной (пороговой) величины или находится в определенных пределах, огранич. как со стороны малых, так и со стороны больших значений. Применяется в импульсных системах телеуправления и телеметрии, в схемах импульсных дешифраторов, при выделении полезного импульсного сигнала из шумов (при малом уровне шума), при исследовании случайных импульсных процессов анализаторами амплитудными и анализаторами функций распределения.

А. д. и. должен иметь амплитудную хар-ку с резко выраженным изломом. Такими хар-ками обладают диоды и нек-рые приемно-усилит. лампы. В качестве А. д. и. применяются диодные схемы, схемы на усилит. лампах, а также релаксат. схемы с одним устойчивым состоянием равновесия. В диодных схемах (рис. 1) используется излом хар-ки анодного

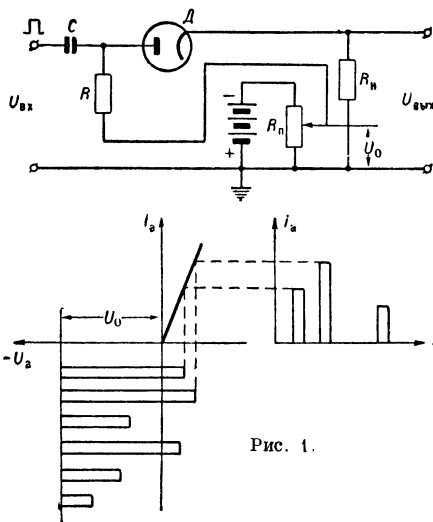


Рис. 1.

тока, а в схемах с усилит. лампами (рис. 2) — излом анодно-сеточной хар-ки. В обеих схемах напряжение U_0 , смещающее рабочую точку, создается при помощи потенциометра R_{ϕ} , питаемого от батареи смещения. Импульс анодного тока, а соответственно и импульс напряжения, появляется на выходе лишь в том случае, когда амплитуда напряжения на входе превысит значение $U_0 - U_{зап}$, к-рое является порогом срабатывания дискриминатора. Величину порога срабатывания изменяют, регулируя напряжение смещения U_0 .

Наиболее резкий излом хар-ки, а следовательно, и более точный порог срабатывания обеспечивают А. д. и. на ламповых диодах и многосеточных лампах в диодном включении. ПП диоды применяют только тогда, когда к точности и стабильности порога срабатывания предъявляются сравнительно низкие требования. В качестве А. д. и. применяются *спуско-*

вые схемы; наибольшее распространение получил триггер с одним устойчивым состоянием равновесия. Использование релаксационных схем в качестве А. д. и. позволяет получить на

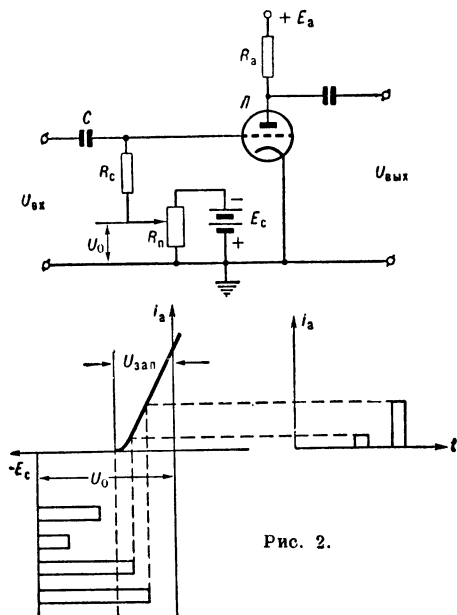


Рис. 2.

выходе импульсы с крутыми фронтами (порядка неск. десятых мксек), амплитуда и форма к-рых не зависят от амплитуды и длительности входного сигнала.

При необходимости регистрации импульсов, амплитуды к-рых лежат в определ. пределах, применяют схемы с дискриминаторами верхнего и нижнего уровней, т. е. дифференциальные А. д. и. (рис. 3). Исследуемые импульсы

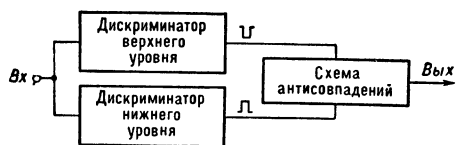


Рис. 3.

подаются одновременно на входы двух дискриминаторов с разными пороговыми значениями. Выходы дискриминаторов связаны с антисовпадений схемой. Если амплитуда импульса превышает пороговое значение напряжения дискриминатора верхнего уровня, то на схему антисовпадений подаются импульсы от обоих дискриминаторов, и на ее выходе сигнал не появляется. Импульс, прошедший через дискриминатор нижнего уровня, появляется на выходе схемы антисовпадений только в том случае, если не поступает импульс с дискриминатора верхнего уровня. Т. о., на выходе схемы регистрируются только те импульсы, амплитуда к-рых имеет величину, находящуюся между пороговыми напряжениями обоих дискриминаторов, т. е. в заданных пределах. Применение того или иного типа схем А. д. и. зависит от требований, предъявляемых к точности установки и стабильности порога срабатывания, времени восстановления схемы и т. п., а также от мини-

мального уровня и диапазона амплитуд входных импульсов.

Лит.: С а н и н А. А., Радиотехнические методы исследования излучений, М—Л., 1951; Б о н ч-Б р у е в и ч А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956. Р. В. Фельдман.

АНАЛИЗ ГАЗОВ АВТОМАТИЧЕСКИЙ (automatic gas analysis; analyse automatique des gazes; automatische Gasanalyse) — см. Газов анализ.

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ (transient response analysis; analyse des régimes transitoires; Übergangsverhaltenanalyse, Analyse instationärer Vorgänge, Einschwingvorgangsanalyse) — определение качества показателей переходных процессов при заданном внешнем воздействии. Его задачи: анализ «готовой» системы (обычно при проверочных расчетах); анализ влияния параметров системы на качество переходного процесса; анализ влияния параметров, не учтенных при составлении ур-ний динамич. системы. А. п. п. может производиться на основе изучения ур-ний динамич. системы, матем. моделирования, эксперимент. данных. Первое проводится в целях выбора параметров системы и при анализе «готовой» системы. А. п. п. этого типа позволяет также делать заключения общего характера о необходимых изменениях параметров и выбирать оптимальные (в к.-л. смысле) их соотношения. Применение того или иного метода А. п. п. зависит от конкретного вида ур-ний, описывающих систему, и поставл. задачи.

Линейные системы с постоянными параметрами. А. п. п. на основе преобразования Лапласа. Всякая линейная система с пост. параметрами может быть описана передаточной ф-цией $W(p)$. Зная ее полюсы, можно определить реакцию системы на произвольное внешнее воздействие. Поскольку выражение для реакции системы явно зависит от полюсов, а они являются ф-циями параметров системы, это дает возможность проанализировать переходные процессы, вызванные различными воздействиями, и проследить зависимость показателей качества от параметров системы. Если полюсы передаточной ф-ции (корни характеристич. ур-ния) неизвестны, то использование этого метода целесообразно лишь для систем не слишком высокого порядка; иначе придется преодолеть значит. вычислит. трудности. Для систем невысокого порядка есть методы приближ. определения корней характеристич. ур-ния (напр., метод Крыжановского для систем до 6-го порядка вкл.). А. п. п. частотным методом. Зная частотную хар-ку, легко определить и проанализировать временные хар-ки системы, а следовательно, и переходный процесс, вызванный произвольным внешним воздействием. Для этого могут быть использованы различные приближ. методы (метод трапециевидных и треугольных вещественных частотных хар-к, метод Блоха). Переходные процессы могут быть построены и в логарифмич. форме. Этот метод достаточно прост. Порядок системы здесь не имеет существ. значения, т. к. с его увеличением объем вычислит. работ растет только при определении частотной хар-ки. А. п. п. на основе дискретных методов приближ. построения переходных процессов. Основная идея этой группы методов основана на

замене обыкнов. дифференц. ур-ний разностными, для решения к-рых не требуется знания корней характеристич. ур-ния. При этом переходный процесс соответствующей дискретной системы приближенно совпадает с переходным процессом исходной системы. Сюда относятся методы Цыпкина — Гольденберга, Красовского — Поспелова, Рагазини — Бергена, Боксера, Боксера — Талера и др. Применение этих методов в особенности целесообразно для систем высокого порядка с распредел. параметрами и запаздыванием, а также в случаях, когда входные воздействия заданы в виде графиков и таблиц. К о с в е н н ы е м е т о д ы А. п. п., позволяющие сделать нек-рые общие выводы относительно характера переходного процесса без фактич. его определения. К ним относятся: 1) частотные критерии — по нек-рым данным о частотных хар-ках (напр., полосе пропускания, высоте и ширине резонансного пика) делаются выводы о характере протекания переходного процесса (длительности, колебательности и т. д.); 2) критерии распределения корней — позволяют по виду характеристич. ур-ния, не решая его, определить основные хар-ки области p -плоскости, в к-рой расположены его корни (напр., затухание и колебательность). По этим хар-кам могут быть определены границы переходного процесса, а также оценены т. н. прямые показатели качества переходного процесса. Если речь идет о системе регулирования, причем известны нули и полюсы передаточной ф-ции разомкнутой системы, то для оценки области расположения полюсов замкнутой системы могут быть использованы корневые годографы; 3) интегральные критерии (см. *Интегральных оценок метод*) — зная параметры исследуемой системы, можно вычислить значения нек-рых интегралов (функционалов кривой переходного процесса); малость их обеспечивает достаточную быстроту и «гладкость» его протекания.

Линейные системы с переменными параметрами. Для систем с медленно меняющимися во времени параметрами может быть введена «время-зависимая передаточная ф-ция», нули и полюсы к-рой есть ф-ции времени. Для небольших интервалов времени, в к-рых параметры системы можно считать постоянными, приближенно может быть принята теория, развитая для линейных систем с пост. параметрами. В общем случае А. п. п. в линейных системах с перем. параметрами производится на основе численного интегрирования, а также приближ. графич. методов.

Нелинейные системы. К а ч е с т в. м е т о д ы: 1) фазового пространства, позволяющий сделать общие выводы о характере протекания переходного процесса (монотонности, колебательности и т. д.); является весьма удобным и наглядным методом, дающим полное представление о всех возможных типах движений в системе; сюда же относятся метод точечных преобразований, позволяющий исследовать системы с *кусочно-линейными характеристиками*, и метод изоклин; практически применимы для систем не выше 3-го порядка; 2) метод интегральных оценок, аналогичный такому же методу для линейных систем с пост. параметрами; для нелинейных систем в общем случае можно лишь приближенно вычислить значение интеграла, служащего критерием качества переходного процесса, либо найти

для него оценку сверху; принципиально этот метод применим для систем произвольного порядка, однако с повышением порядка вычислит. трудности значительно возрастают.

М е т о д и н т е г р и р у е м о й а п п р о к с и м а ц и и. Основан на аппроксимации имеющейся нелинейности такой достаточно близкой зависимостью, к-рая позволяет проинтегрировать ур-ние движения системы и провести А. п. п.; чаще всего проводится кусочно-линейная аппроксимация с последующим решением линейных ур-ний на отдельных участках и приспособыванием решений (см. *Припасовывания метод*); сложность метода существенно повышается с увеличением числа участков аппроксимации. М е т о д ы п р и б л и ж. р е ш е н и я: асимптотический (Н. М. Крылов и Н. Н. Боголюбов), эквивалентной линеаризации (Е. П. Попов), численные методы интегрирования (касательных, хорд и др.). Графич. и графо-аналитич. методы, применяемые для систем с произвольными нелинейностями и меняющимися во времени параметрами; особо целесообразны в случаях, когда нелинейные зависимости или параметры, являющиеся ф-циями времени, заданы эксперимент. кривыми.

Дискретные системы. Описываются дискретными, или разностными, ур-ниями. А. п. п. линейных разностных систем проводится аналогично А. п. п. линейных непрерывных систем (с помощью дискретной передаточной ф-ции, частотных хар-к, на основе суммарных оценок — аналогов интегральных оценок); характерно отличие: зная дискретное изображение Лапласа кривой переходного процесса, можно, не вычисляя полюсов передаточной ф-ции, найти сам переходный процесс.

А. п. п. на основе матем. моделирования проводится для уточнения вида переходного процесса после предварит. этапа на основе изучения ур-ний системы. Важными преимуществами этого метода являются возможности исследования любого типа систем (нелинейных, с перем. параметрами и т. д.) с необходимой точностью, включая реальную аппаратуры и изменения масштаба времени. Основным его недостаток: при подборе *регуляторов закона* и подходящей комбинации параметров приходится прорабатывать весьма трудоемкую работу по просмотру множества возможных вариантов и остается невыясненным, что полученные результаты — наилучшие.

А. п. п. на основе эксперимент. данных (реальных объектов) проводится при окончат. доводке системы с целью проверки расчетов и определения влияния не учтенных ранее параметров. На первых этапах А. п. п. эта проверка, как правило, не проводится (такой эксперимент может быть нежелательным, напр., по экономич. соображениям, или же сам объект еще не будет существовать).

Лит.: Айзерман М. А., Лекции по теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1958; Гарднер М. Ф. и Барнс Д. Л., Переходные процессы в линейных системах с сосредоточенными постоянными, пер. с англ., М.—Л., 1949; Наумов Б. Н., Лекции по курсу. Теория автоматического регулирования. Переходные процессы в линейных системах автоматического регулирования, М.—Л., 1960; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Попов Е. П. и Пальтов И. П., Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем, М., 1960; Фельдбаум А. А., Электрические системы автоматического регулирования, М., 1954; Цыпкин Я. З., Теория импульсных систем, М., 1958.

Л. А. Тененбаум.

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ (systems stability analysis; analyse de stabilité des systèmes; Analyse der Systemstabilität) — исследование устойчивости положения равновесия. Возможные задачи А. у. с.: анализ структуры системы и определение параметров, при к-рых она может быть сделана устойчивой (см. *Устойчивость структурная*); при заданной структуре системы и части параметров, определение области допустимых изменений остальных параметров, при к-рых система будет устойчивой; выяснение, является ли устойчивой «готовая» система. Всякий метод А. у. с. должен дать возможность решить одну из перечисленных выше задач без фактич. решения ур-ний, описывающих рассматриваемую систему; выбор его зависит от типа динамич. системы и поставл. задачи.

Линейные системы с постоянными параметрами. Необходимым условием устойчивости линейной системы с пост. параметрами является положительность всех коэфф. характеристич. ур-ния. Следующие критерии дают достаточные условия устойчивости системы. **Геометрич. критерий Михайлова** (см. *Михайлова критерий*) позволяет по прохождению т. н. характеристич. кривой (годографа Михайлова), к-рая строится на основе характеристич. многочлена, судить об устойчивости исследуемой системы. Применение этого критерия особенно удобно при исследовании замкнутых САР, когда известны уравнения элементарных звеньев системы. В этом случае на основе известных годографов элементарных звеньев может быть сравнительно просто построен годограф полной системы. Весьма целесообразно использование спец. электронной аппаратуры, предназначенной для автоматич. построения годографа Михайлова. Этот критерий применим и для исследования линейных систем с пост. запаздыванием. **Алгебраич. критерии Рауса и Гурвица** (см. *Гурвица критерий*, *Рауса критерий*) — по коэфф. характеристич. ур-ния находятся значения коэфф. Рауса или определителей Гурвица, знаки к-рых определяют устойчивость исследуемой системы. Иногда используются для определения границ устойчивости системы, когда не все параметры заданы. Применимы только для линейных систем без запаздывания, если порядок системы не превышает 5—6-го. **Критерий Найквиста** применим только для замкнутых САР (как с запаздыванием, так и без запаздывания), когда известна *частотная характеристика* разомкнутой системы (см. *Найквиста критерий*). Частотная хар-ка разомкнутой системы может быть определена на основе ее характеристич. ур-ния, частотных хар-к элементарных звеньев, из к-рых состоит система, или получена эксперимент. путем. Частотная хар-ка разомкнутой системы или ее составляющих может быть задана в логарифмич. форме. Этим критерием удобно пользоваться при А. у. с. высокого порядка, особенно при наличии экспериментально снятых частотных хар-к отд. элементов системы.

Недостатком всех приведенных выше критериев является практич. применимость их лишь для анализа устойчивости «готовых» систем, когда все параметры заданы. Если же ставится задача подбора нек-рых параметров так, чтобы система была устойчивой, то непо-

средств. применение этих критериев потребовало бы весьма трудоемкой работы по заданию конкретных числ. значений параметров и исследованию устойчивости системы при этих значениях. Чтобы избежать этого, используется так называемое *D-разбиение* пространства параметров (или коэфф. характеристич. ур-ния), выделяющее в этом пространстве области устойчивости и неустойчивости системы (см. *D-разбиение*, *Устойчивости область*). Кроме того, для анализа устойчивости может быть использован метод *корневых годографов* (см. *Корневого годографа метод*), применимый для исследования замкнутых САР, когда известны нули и полюсы передаточной ф-ции разомкнутой системы. Этот метод дает возможность проследить траектории корней характеристич. ур-ния системы при изменении одного из параметров (напр., коэфф. усиления разомкнутой системы). Применение этого метода целесообразно при наличии спец. электронной аппаратуры, позволяющей автоматически производить построение *корневых годографов*.

Оба последних метода применимы как при анализе «готовой» САР, так и при решении задачи подбора нек-рых параметров системы, обеспечивающих ее устойчивость.

Нелинейные системы с постоянными параметрами. Для А. у. с. развиты след. методы: **Прямой метод Ляпунова** (применим и для систем с перем. параметрами, см. *Ляпунова метод*) — заключается в нахождении нек-рой ф-ции V (ф-ции Ляпунова) координат x_1, x_2, \dots, x_n исследуемой системы. Метод является весьма универсальным, однако его применение ограничивается тем, что не существует общего правила нахождения ф-ции Ляпунова для систем произвольного вида. Лишь для ряда огранич. классов систем найдена общая форма, в к-рой следует искать ф-цию Ляпунова (напр., линейные системы; системы с линейной частью с пост. коэфф. и одной нелинейностью, приводимые к канонич. форме). Прямой метод Ляпунова в общем случае дает лишь достаточные условия устойчивости. Это может привести к чрезмерно высоким требованиям, налагаемым на систему, к-рые могут оказаться невыполнимыми. **Метод первого приближения** — если нелинейные ф-ции допускают разложение в ряд по степеням координат вблизи исследуемых положений равновесия, то об устойчивости исходной системы можно судить по линейной системе первого приближения на основании теорем Ляпунова об ур-ниях первого приближения. Этот метод применим лишь в случае, когда система первого приближения не находится на границе устойчивости. **Метод фазового пространства** — весьма удобный и наглядный метод, позволяющий выяснить устойчивость определенных положений равновесия, получить разбиение фазового пространства на области различного качественного поведения системы, а также получить представление о всех возможных в системе типах движений. Применим к системам не выше 3-го порядка. Для А. у. с. с кусочно-линейными характеристиками может быть применен метод *точечных преобразований*, являющийся фактически развитием метода фазового пространства. Весьма полезно при А. у. с. воспользоваться условиями т. н. *принципальной устойчивости*.

чи в о с т и, дающими необходимые условия устойчивости положений равновесия исследуемой системы. Основная идея этого метода заключается в рассмотрении не дифференциальных, описывающих динамику системы, а ур-ний ее статики. Это дает возможность использовать здесь условия устойчивости соответствующей безынерц. модели. Метод применим к произвольным системам с одной регулируемой координатой, описываемым дифференциальными ур-ниями:

$$\Phi \left(x_1, \dots, x_n; z, \frac{dz}{dt}, \dots, \frac{d^n z}{dt^n} \right) = 0,$$

где x_1, \dots, x_n — внешние воздействия, z — регулируемая координата. Поскольку здесь получаются лишь необходимые условия устойчивости, то найденные этим методом области устойчивости могут быть либо больше действительных областей, либо вторые могут не существовать. Поэтому границы областей устойчивости, найденные этим методом, должны быть уточнены дополнением исследованием (напр., с помощью модели).

Системы с переменными параметрами. 1) Метод Заде — в линейной системе с переменными параметрами вводится системная функция $H(p, t)$, являющаяся аналогом передаточной ф-ции линейной системы с пост. параметрами. Необходимым условием устойчивости системы является расположение всех полюсов системной ф-ции $H(p, t)$ в левой полуплоскости при всех t . Однако для нахождения этой ф-ции необходимо решить линейное уравнение с переменными коэффициентами того же порядка, что и исходное ур-ние. Лишь в частном случае, когда параметры исследуемой системы меняются медленно, системная ф-ция примерно равна отношению оператора воздействий к собственному оператору. На практике часто принимают, что это так, и находят полюсы т. о. определенной «передаточной ф-ции» (метод «заморож. коэфф.»). Однако этот метод требует спец. обоснования в каждом конкретном случае или проверки на модели. 2) Если коэфф. исследуемой системы являются переменными лишь на конечном интервале времени (как это часто имеет место на практике), то при А. у. с. могут быть использованы критерии устойчивости на конечном интервале времени. 3) Метод Моисеева — состоит в замене исходной системы h дифференциальным уравнением системной h^2 ур-ний. Исходная система устойчива, если суммарная диагональная квадратичная форма Φ , получаемая из определителя новой системы, является знакоопределенной ф-цией, имеющей знак, противоположный знаку определителя новой системы. Методы А. у. с. с переменными параметрами либо слишком громоздки, либо мало обоснованы (метод «заморож. коэфф.»), и наиболее удобным и простым является исследование на модели.

Импульсные системы с постоянными параметрами. А. у. с. может быть сведен спец. заменой комплексной переменной характеристики ур-ния к анализу устойчивости некоторой непрерывной линейной системы. Кроме того, существуют критерии, позволяющие судить об устойчивости подобных систем, аналогичные соответствующим критериям для непрерывных линейных систем (аналог критерия Михайлова, аналог критерия Рауса и Гурвица, аналог критерия Найквиста). Здесь интервал изме-

нения частоты ω при построении годографа Михайлова или частотной хар-ки конечен и определяется частотой квантования по времени. Здесь также могут быть применены методы D -разбиения и корневых годографов.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Андронов А. А., Витт А. А. и Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; Лурье А. И., Некоторые нелинейные задачи теории автоматического регулирования, М.—Л., 1951; Цыпкин Я. З., Теория импульсных систем, М., 1958; Лебедев А. А., К задаче об устойчивости движения на конечном интервале времени, «ПМИМ», 1954, т. 18, вып. 1; Z a d e h L. A., Frequency analysis of variable networks, «Proc. I. R. E.», 1950, v. 38, № 3. Л. А. Тененбаум.

АНАЛИЗА СОСТАВА ВЕЩЕСТВ АВТОМАТИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА [apparatus for automatic analysis of matter composition; appareillage automatique pour l'analyse de composition (des corps) de matière; automatische Apparatur für Analyse der Stoffzusammensetzung] — см. *Состава и свойств веществ автоматическая измерительная аппаратура*.

АНАЛИЗАТОР АМПЛИТУДНЫЙ (amplitude analyzer; analyseur d'amplitude; Impulshöhenanalysator) — устройство, позволяющее определить интегральный или дифференциальный закон распределения амплитуд случайного импульсного процесса по числу появлений импульсов в заданном интервале амплитуд. А. а. применяются в экспериментальной физике для анализа распределения энергии частиц различных видов излучения, для исследования непрерывных стационарных случайных процессов, при условии выделения дискретных амплитудных значений случайного процесса в виде последовательности импульсов, а также в радиолокации и радиосвязи при анализе сигналов сложной формы. По принципу построения схемы А. а. могут быть одноканальными и многоканальными. Простейший одноканальный А. а. (рис. 1) состоит из двух амплитудных дискриминаторов импульсов, антисовпадения схемы и регистрационной схемы. Сигнал поступает сразу на оба дискриминатора: верхнего и нижнего уровня. Каждый срабатывает от импульсов, превышающих определенный для каждого дискриминатора уровень. Разность ΔU между уровнем срабатывания верхнего и нижнего дискриминаторов наз. шириной канала. Если амплитуда входного сигнала находится в пределах ширины канала, то на схему антисовпадений поступает импульс только от дискри-

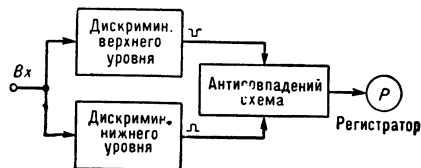


Рис. 1. Одноканальный амплитудный анализатор.

минатора нижнего уровня. При этом на выходе схемы антисовпадений появится импульс, который учитывается счетчиком импульсов — регистратором. В течение времени опыта T регистратор отметит число импульсов N , амплитуда которых находится в пределах от U_{m1} до $U_{m1} + \Delta U$, где U_{m1} — нижний уровень (порог) дискриминатора. Для определения зависимости $N = f(U_{m1})$ достаточно провести ряд последоват. измерений при различных

порогах дискриминатора нижнего уровня, но при той же ширине канала, т. е. при разных положениях канала. Все измерения должны быть проведены за равные промежутки времени T . Недостатком разобранной схемы является то, что процесс измерений занимает много времени.

Многоканальный А. а. (рис. 2) состоит из ряда одноканальных анализаторов, причем пороги дискриминации соседних каналов отличаются на величину ширины канала ΔU . Обычно используются простые амплитудные дискриминаторы, каждый из которых (кроме последнего) играет роль дискриминатора нижнего уровня данного канала и одновременно дискриминатора верхнего уровня предыдущего канала. Каждый канал А. а. регистрирует число импульсов для определ. интервала амплитуд. Напр., 1-й канал от U_{m1} до U_{m2} , 2-й — от U_{m2} до U_{m3} и т. д. Если число каналов достаточно велико, то в результате одного измерения в течение времени T будет определено распределение амплитуд в широком интервале значений. Обычно число каналов ограничивается габаритами прибора и мощностью, потребляемой им, и не бывает больше 1000. Недостатки рассмотренных схем А. а.: необходимость построения графиков распре-

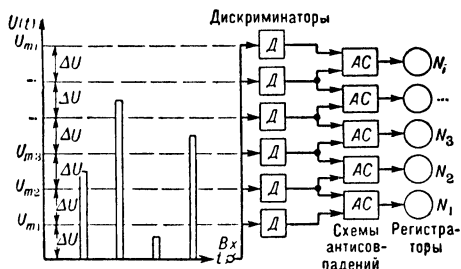


Рис. 2. Многоканальный амплитудный анализатор.

деления амплитуд по показаниям регистраторов; невысокая стабильность уровней дискриминаторов; громоздкость и неэкономичность многоканальных А. а.

К многоканальным относится А. а. с преобразованием амплитуд импульсов в пропорциональные временные интервалы (рис. 3), что позволяет заменить измерение амплитуд измерением интервалов времени. Такой прием позволяет исключить неточности, свойственные многоканальным системам др. типов из-за трудности обеспечения одинаковой ширины всех каналов. Для преобразования амплитуды в длительность применяются фантастронные схемы (см. *Фантастрон*), схемы сравнения с линейным пилообразным напряжением, фазово-импульсные модуляторы и др. На вход схемы (рис. 3) поступает импульс амплитуды U_m . Преобразующая схема вырабатывает импульс длительности T_m , причем $T_m = U_m$, который воздействует на генератор ударного возбуждения. Последний, в свою очередь, создает серию колебаний с числом периодов, пропорциональным длительности T_m . Формирующая схема преобразует синусоидальные колебания в кратковрем. импульсы, число которых пропорционально амплитуде входного импульса. Эти серии импульсов поступают на регистрирующую схему, представляющую собой запоминающее устройство: ультразвуковую линию, ЭЛТ памяти, ферритовые матрицы, магнитные

барабаны. Результаты измерений с запоминающих устройств могут быть поданы либо на ЭЛТ, либо на цифropечатающий прибор. Существует еще неск. типов многоканальных

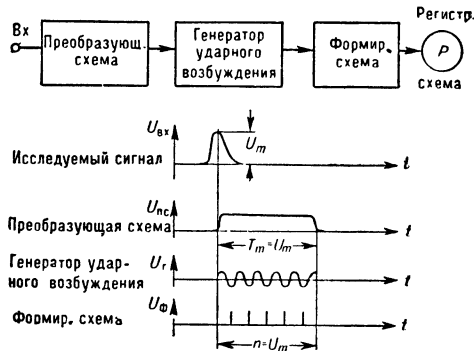


Рис. 3. Амплитудный анализатор с преобразованием амплитуд импульсов в пропорциональные временные интервалы.

А. а., которые имеют узкоспециальное применение в качестве спектрографов.

Пром-сть выпускает 2 типа одноканальных А. а. Прибор ИД-2 позволяет снять интегральный закон распределения для импульсов амплитудой от 0,1 до 100 в, с возможностью установки порога дискриминации через 1 в, при длительности входных импульсов в пределах от 3 до 10 мксек. Дифференциальный А. а. типа ААДО-1 позволяет построить дифференциальный закон распределения для импульсов с амплитудами от 0,02 до 100 в с возможностью регулировки порога дискриминации через 1 в, при длительности входных импульсов от 0,1 до 2 мксек. Ширина канала может изменяться ступенями — 1, 2, 5, 10 и 20 в. Разрешающее время прибора 1—2 мксек. Для работы с обоими А. а. необходимы пересчетные схемы, напр., типа ПС-10000. Из многоканальных наиболее распространены А. а. типов АИ-100 и АИ-250.

Лит.: Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; Санин А. А., Амплитудные анализаторы импульсов напряжения, «УФН», 1954, т. 54, вып. 4. Р. В. Фельдман.

АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА (spectrum analyzer; analyseur de spectre; Frequenzspektrometer, Spektralanalysator) — прибор для измерения распределения амплитуд (или энергии) по частотам синусоидальных составляющих, входящих в состав сложного анализируемого колебания. Периодич. колебат. процесс любой формы можно разложить в бесконечный ряд простых гармонич. составляющих, каждая из которых характеризуется своей частотой, амплитудой и фазой. Любой физич. колебат. процесс может быть преобразован в электрич. при помощи соответствующих датчиков, поэтому и спектр. анализ любого такого процесса можно свести к анализу электрич. процесса. В основу работы А. с. положено явление резонанса. Для выделения синусоидальной составляющей спектра исследуемого сигнала применяется частотноизбират. фильтр с узкой полосой пропускания (высокой добротностью). Возможны 2 метода анализа сложного колебания. В методе одно-врем. анализа на вход системы, состоящей из набора резонаторов, настроенных на различные частоты, воздействует исследуемый сиг-

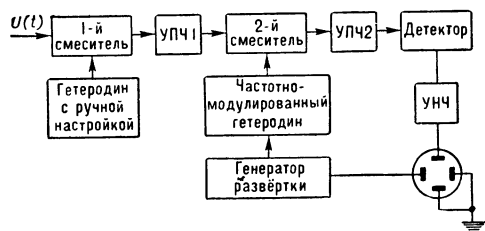
нал; амплитуды колебаний на выходах резонаторов пропорциональны амплитудам соответствующих составляющих спектра на входе. В методе последоват. анализа один резонатор перестраивается в диапазоне частот, охватывающем исследуемый спектр. Построить фильтр с высокой добротностью и плавной перестройкой в широком диапазоне частот практически невозможно. Поэтому вместо того, чтобы передвигать резонансную частоту фильтра относительно спектра, перемещают по шкале частот весь спектр относительно неподвижной резонансной частоты фильтра. Для получения спектра, смещающегося по шкале частот, используются преобразованием частоты (см. *Супергетеродин*). Анализируемое колебание смешивается с напряжением гетеродина, в результате чего в А. с. появляется спектр промежуточной частоты, к-рый перемещается по шкале частот при изменении частоты гетеродина. Важнейшими технич. хар-ками А. с. являются диапазон исследуемых частот и разрешающая способность по частоте (т.е. способность А. с. разделить 2 соседние спектр. линии, зависящая от ширины полосы пропускания частотно-избират. фильтра).

Пром. образцы А. с. выполняются по схеме с одинарным или двойным (рис.) преобразованием частоты. В таком А. с. частота 2-го гетеродина электронным способом (напр., реактивной лампой) перестраивается в пределах полосы пропускания 1-го усилителя *УПЧ-1*, к-рая должна быть шире полосы преобразованного спектра. С выхода 2-го смесителя спектр, перемещающийся по шкале частот, подается на *УПЧ-2*, к-рый имеет узкую полосу пропускания и является частотно-избират. фильтром. Напряжение на выходе *УПЧ-2* пропорционально амплитуде части спектра, заключенной в пределах полосы пропускания *УПЧ-2*. Это напряжение детектируется и через усилитель низкой частоты подводится к вертикально-отклоняющим пластинам ЭЛТ. Частота 2-го

зона. В инфразвуковом диапазоне (1—25 гц) методом последоват. анализа нельзя обеспечить высокую разрешающую способность (при малом времени анализа); поэтому в этом диапазоне используется метод одноврем. анализа. Чтобы при этом методе получить на индикаторе картину, близкую к мгновенному спектру, необходимо, чтобы поочередное подключение выходов резонаторов к безынерц. индикатору происходило с малым временем запаздывания. Время одного цикла съема показаний должно быть значительно меньше миним. времени установления напряжения в резонаторах. Наиболее подходящим типом коммутатора для этого метода является электронный; однако из-за отсутствия простых коммутаторов электронных применяются механические, период коммутации к-рых значительно больше времени установления колебаний. Это вызывает необходимость вводить дополнит. устройство — детекторно-накопит. ячейку, постоянная времени к-рой должна быть равна периоду

Основные данные промышленных анализаторов спектра

Тип А. с.	Диапазон исследуемых частот	Разрешающая способность по частоте	Чувствительность	Погрешность измерения частоты
АСЧХ-1	20—20000 гц			
	20—500 »	12 гц	4 мм/мв	0,1—12 гц
	60—2000 »	60 »	1,3 »	0,1—60 »
	100—5000 »	100 »	1 »	0,1—100 »
	400—20000 »	400 »	0,8 »	0,1—400 »
АСШ-2	30—11500 Мгц Разбит на 4 поддиапазона	25 кгц или 250 кгц	10^{-7} — 10^{-8} вт	0,2%
ИБ-46	2500—3750 Мгц	60 кгц	$50 \cdot 10^{-11}$ вт	0,2%
ИБ-66	9700—8800 Мгц	60 кгц	$50 \cdot 10^{-12}$ вт	0,2%



Упрощенная блок-схема анализатора спектра с двойным преобразованием частоты.

гетеродина изменяется по линейному закону синхронно с изменением напряжения на выходе генератора развертки. Т. о., на экране ЭЛТ появляется изображение спектра исследуемых колебаний.

А. с., основанные на методе последоват. резонанса, применяются в основном для анализа спектров импульсных процессов малой длительности и частотно-модулиров. колебаний в диапазоне радиочастот, а также для анализа сложных колебаний звукового диапа-

коммутации. Фильтры для диапазона инфразвуковых частот, используемые в А. с., построенных по методу одноврем. анализа, состоят из Т-образных двойных *RC*-мостов, позволяющих получить полосу пропускания до десятых долей гц, что дает возможность анализировать непрерывн. процесс длительностью порядка неск. сек.

Р. В. Фельдман.

АНАЛИЗАТОР ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ [amplitude distribution meter; analyseur des fonctions a distribution (repartition); Verteilungsfunktionsanalysator] — устройство, позволяющее по заданной реализации стационарного случайного процесса, существующей в течение огранич. времени наблюдения, получить одномерную или двумерную ф-цию распределения этого процесса. А. ф. р. применяются для решения нек-рых задач совр. физики, напр. при изучении космич. и радиоактивных излучений; в технике связи и автоматич. управления при обнаружении слабых сигналов, когда по результатам анализа вероятностных свойств принятого сигнала требуется определить, является ли данный сигнал помехой или полезным сигналом; при решении задач оптимального кодирования в системах связи; при анализе технологич. процессов статистич. методами. К А. ф. р. относятся *анализаторы амплитудные*, существующие конструкции к-рых предусматривают в основном

анализ только импульсных процессов со случайным законом распределения амплитуд. Выходные данные амплитудных анализаторов представляют собой числа появлений данного значения амплитуды импульсов в пределах ширины канала измерения анализатора, по к-рым далее расчетным путем строятся вероятностные хар-ки. Однако параметром сигнала, изменяющимся по случайному закону, может быть не только амплитуда, но и частота, фаза, временной сдвиг, длительность импульса, причем линейным преобразованием любой из этих параметров может быть приведен к напряжению, изменяющемуся по тому же случайному закону, что и исследуемый. Поэтому термин «А. ф. р.» является более общим. Существующие А. ф. р. по принципу действия близки к анализаторам амплитуды, основанным на преобразовании амплитуды импульса во временной интервал. Для экспериментального определения кривой распределения амплитуд непрерывной случайной ф-ции напряжения выбирается нек-рый интервал напряжений $\Delta U = U_2 - U_1$ (рис. 1), определяющий ширину канала измерения. Приблизительно можно считать, что время пребывания реализации случайного процесса $U(t)$ в интервале ΔU является прямой мерой вероятности пребывания

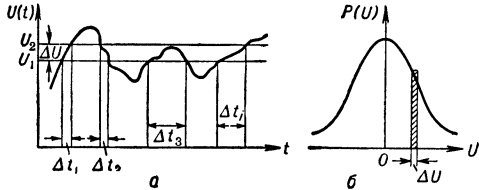


Рис. 1. Непрерывная случайная ф-ция напряжения (а) и кривая плотности распределения вероятности (б).

случайной величины в этом пределе. Вероятность распределения амплитуд приблизительно равна отношению времени пребывания реализации случайного процесса в интервале ΔU за период наблюдения T , т. е.

$$\frac{\int_{U_1}^{U_2} P(U) dU}{U_2 - U_1} \approx \frac{P(U) \Delta U}{U_2 - U_1} \approx \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_i}{T},$$

где $P(U)$ — плотность распределения вероятности.

Эквивалентность двух способов усреднения стационарных случайных процессов обусловила применение в большинстве А. ф. р. принципа действия, основанного на измерении отношения времени пребывания случайной ф-ции в заданном интервале. Если для всех реализаций период наблюдения T и ширину канала ΔU полагать постоянными, то

$$P(U) \approx \frac{1}{\Delta U T} (\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_i) = \text{const} (\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_i).$$

Т. о., сумма времен Δt_i пребывания случайного процесса в пределах ΔU пропорциональна плотности распределения вероятности $P(U)$.

В нек-рых конструкциях, появившихся в последнее время, используется именно этот принцип действия, причем изображение кривой распределения в нек-ром масштабе можно наблюдать непосредственно на экране индикаторной ЭЛТ. Блок-схема одномерного А. ф. р. приведена на рис. 2. Исследуемое напряжение поступает на вход прибора и усиливается широкополосным видеоусилителем. Основным элементом устройства является дискриминаторно-преобразующая схема, основанная на применении ЭЛТ спец. конструкции. Фокусирующая система трубки, формиру-

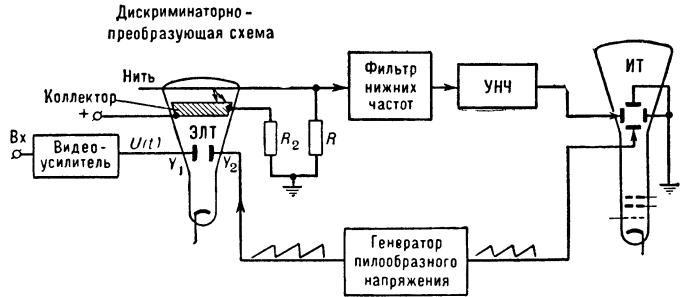


Рис. 2. Блок-схема одномерного анализатора ф-ций распределения.

ющая электронный луч, обычная, с электростатич. фокусировкой. Отклонение луча производится только в одной плоскости Y . Около экрана трубки, перпендикулярно плоскости отклонения луча, натянута тонкая металлич. нить, являющаяся источником вторичных электронов. Потенциал коллектора, выполненного в виде кольца, выше потенциала нити. На пластину Y_2 дискриминаторно-преобразующей ЭЛТ от генератора развертки подается пилообразное напряжение низкой частоты (10—50 гц). Это же напряжение подается на горизонтально отклоняющую систему индикаторной трубки ИТ. При пересечении электронным лучом нити во время прямого хода из нее выбиваются вторичные электроны, к-рые, попадая на коллектор, создают на сопротивлениях R_1 и R_2 импульс напряжения. На время обратного хода луч запирается. Длительность импульса вторичного излучения зависит от сечения луча, толщины нити и скорости движения луча. Последняя определяется чувствительностью трубки по отклонению и скоростью изменения отклоняющего напряжения. Т. к. сечение луча, толщина нити и чувствительность трубок для данной конструкции постоянны, то длительность импульса определяется только скоростью изменения отклоняющего напряжения. Для определения кривой плотности распределения исследуемое напряжение $U(t)$ подается на пластину Y_1 . Импульсы тока в цепи коллектор — нить будут протекать при равенстве отклоняющих напряжений на пластинах Y_1 и Y_2 , т. к. только в этом случае будет иметь место пересечение нити лучом. Длительность импульсов зависит от времени пребывания случайного процесса $U(t)$ в пределах ΔU . В данном случае ширина канала ΔU определяется величиной изменения напряжения на отклоняющих пластинах, необходимого для перемещения электронного луча на длину, равную его диаметру. Импульсы напряжения с сопротивления R_1 поступают на фильтр нижних частот, представляющий собой ин-

тегрирующую цепь. Напряжение на выходе фильтра за малый промежуток времени $\Delta t < T$ пропорционально сумме длительностей импульсов вторичного излучения за этот промежуток времени, а следовательно, и ординате плотности распределения. Т. к. напряжение на пластине Y_2 медленно (по сравнению со случайным процессом) изменяется по пилообразному закону от U_{\min} до U_{\max} , проходя все возможные значения

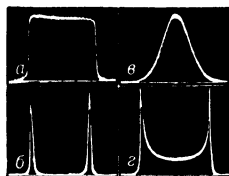


Рис. 3. Осциллограммы кривых плотности распределения вероятности, полученные по схеме рис. 2 для: а — пилообразного напряжения; б — прямоугольного напряжения; в — нормального гауссова шума; г — спускательного напряжения.

ла измерения ΔU в пределах от U_{\min} до U_{\max} , а отклонение по вертикали пропорционально плотности распределения вероят-

АНАЛОГОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА, АВМ (analog computer; calculatrice analogique, machine analogique à calculer; Analogrechner, Analogierechenmaschine), — вычислительная машина, в которой каждому мгновенному значению переменной величины, участвующей в исходных соотношениях, ставится в соответствие мгновенное значение другой (машинной) величины, зачистую отличающейся от исходной физич. природой и масштабным коэфф. Каждый элементарный решающий элемент АВМ выполняет строго определ. элементарную математич. операцию над машинными величинами. Этой операции, как правило, соответствует некий физич. закон, устанавливающий математич. зависимости между физич. величинами на выходе и входе решающего элемента (напр., законы Ома и Кирхгофа для электрических цепей, выражение для эффекта Холла, лорентцевой силы и т. д.). Место АВМ среди других средств вычислительной техники и моделирования видно из классификационной схемы (рис. 1).

Особенности представления исходных величин и построения отдельных решающих элементов АВМ в значит. мере предопределяют сравнительно большую скорость их работы, простоту программирования и набора задачи, ограничивая, с др. стороны, динамич. диапазон и точность получаемого результата. По сравнению с ЦВМ аналоговые устройства от-

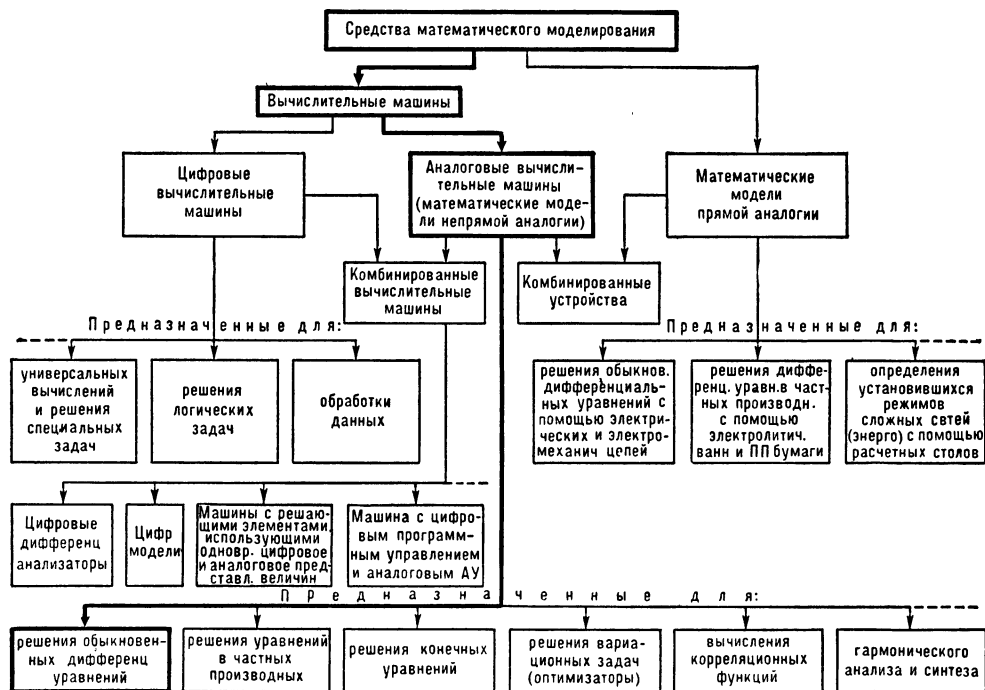


Рис. 1. Классификация средств математич. моделирования.

ности $P(U)$. Т. о., движение луча ИФ соответствует распределению плотности вероятности данного случайного процесса (рис. 3).

Лит.: Вентцель Е. С., Теория вероятностей, М., 1958; Тетерич Н. М., Генераторы шума, М.—Л., 1961; Grayson M., An amplitude distribution meter, «Electronic Engng», 1959, v. 31, № 380.
Р. В. Фельдман.

личаются также меньшей универсальностью (алгоритмич. ограниченность) в том смысле, что при переходе от одного класса задач к др. требуется не только изменять соотношение между числом линейных и нелинейных решающих элементов, но и дополнять установку принципиально новыми элементами. Огра-

нижение точности в большинстве случаев не составляет существ. препятствия для использования этих устройств в автоматике, т. к. системы автоматич. регулирования и управления, как правило, представляют собой грубые, в смысле Андропова, динамич. системы, параметры к-рых известны с точностью, не превышающей 10—20%.

Осн. задачи, решаемые с помощью АВМ:

1) Анализ динамики систем управления или регулирования. Заданные ур-ния объекта решаются в выбранном масштабе времени на установках (рис. 2, а) с целью нахождения осн. параметров, обеспечивающих требуемое протекание процесса. Применение АВМ обеспечивает в этом случае резкое сокращение времени для проведения расчетов на первых этапах проектирования, а также наглядность получаемых результатов.

2) Эксперимент. исследование поведения системы с аппаратурой управления или регулирования в лабораторных условиях. В этих случаях аппаратура управления или регулирования дополняется АВМ, воспроизводящей в натур. масштабе времени по заданным ур-ниям поведение той части системы управления или регулирования, работа к-рой по тем или иным причинам не может быть воспроизведена в лабораторных усло-

вях. Решение задач по определению возмущений или полезных сигналов, действовавших на систему. В этом случае по системе дифференц. ур-ний, описывающих динамич. систему, значениям нач. условий и известному из эксперимента характеру изменения выходной координаты определяется значение возмущения или полезного сигнала на входе. На рис. 2, в дана структурная схема решения простейших задач подобного типа, основанная на введении дополнительной отрицат. обратной связи. Этот способ применения АВМ может также использоваться для построения приборов, автоматически регистрирующих возмущения и вырабатывающих сигнал управления в зависимости от характера и величины этих возмущений.

Помимо перечисл. задач, связанных в осн. с исследованием систем управления и регулирования, АВМ применяется также в качестве элементов и узлов сложных систем автоматики. Здесь они используются для: а) вычисления значения некого сводного параметра регулирования (кпд, мощность, производительность и т. п.); б) для выработки оптим. настроек в процессе работы динамич. системы; в) для выработки корректирующих сигналов путем выполнения опережающего анализа динамики системы управления (см. Аналоговой вычислительной машины применения — 3); г) для создания оптимальных по быстродействию систем управления путем применения прогнозирующих устройств (см. Аналоговой вычислительной машины применения — 2).

Прогресс аналоговой техники, по-видимому, будет связан с проникновением цифровых методов. В частности, следует указать на развитие т. н. цифровых моделей и цифровых дифференциальных анализаторов, у к-рых отдельные решающие элементы выполняют математич. операции над приращениями переменных, представл. в одном из цифровых кодов, с передачей результатов от блока к блоку на принципах, используемых в моделирующих установках. При параллельном выполнении отдельных арифметич. операций можно достичь сравнительно высокого быстродействия и точности, избежав трудоемкого программирования задачи (см. Моделирующее цифровое устройство, Цифровой аналог). Еще большие перспективы сулит построение комбинированных вычислительных устройств, у которых исходные величины представлены одновременно в цифровой и аналоговой форме. В таких системах устройства связи аналоговой части с цифровой приобретают важное

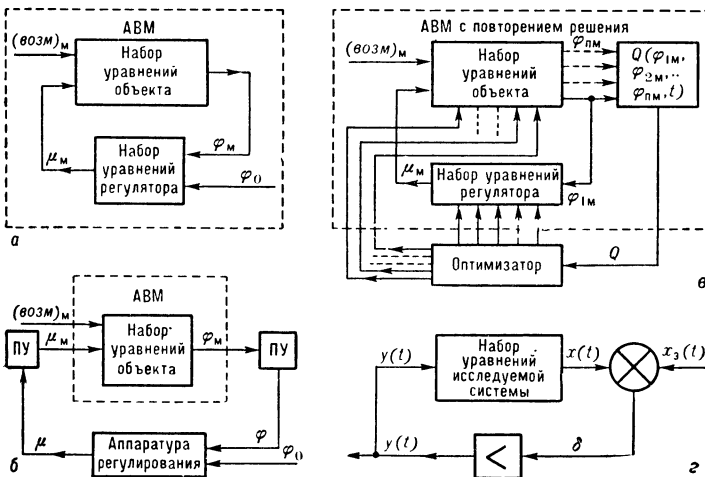


Рис. 2. Осн. способы применения АВМ: φ — регулируемая величина; μ — регулирующее воздействие; φ_0 — задающее воздействие; φ_m — возмущающее воздействие (индекс «м» означает величины, соответствующие указанным переменным); δ — ошибка; Q — критерий.

виях. Связь АВМ с аппаратурой управления или регулирования в большинстве случаев осуществляется с помощью спец. преобразующих устройств — ПУ (трехступенные платы, электрогидравлич. преобразователи и т. п.) (рис. 2, б) (см. Аналоговая вычислительная машина, работающая в натуральном масштабе времени).

3) Решение задач синтеза систем управления и регулирования сводится к подбору по заданным технич. условиям структуры изменяемой части системы, функцион. зависимостей требуемого вида и значений осн. параметров. Окончат. результат получается путем многократного повторения решения с оценкой каж-

дого решения в соответствии с принятым критерием близости (рис. 2, в). Задачи этого типа очень часто могут быть сведены к отысканию экстремума некоторого функционала (см. Аналоговой вычислительной машины применения — 4).

4) Решение задач по определению возмущений или полезных сигналов, действовавших на систему. В этом случае по системе дифференц. ур-ний, описывающих динамич. систему, значениям нач. условий и известному из эксперимента характеру изменения выходной координаты определяется значение возмущения или полезного сигнала на входе. На рис. 2, в дана структурная схема решения простейших задач подобного типа, основанная на введении дополнительной отрицат. обратной связи. Этот способ применения АВМ может также использоваться для построения приборов, автоматически регистрирующих возмущения и вырабатывающих сигнал управления в зависимости от характера и величины этих возмущений.

значение (см. *Комбинированная вычислительная машина, Преобразователь представления величин*).

В зависимости от физич. природы машинных величин различают механич., пневматич., гидравлич., электромеханич. и электронные АВМ. Наибольшее распространение получили электронные АВМ, отличающиеся значительно более широкой полосой пропускания, удобством сопряжения неск. машин между собой и с элементами аппаратуры управления. Эти машины собираются из готовых радиотехнич. узлов и полужабириков, не требующих трудоемкого изготовления.

По структуре различают АВМ с фиксированной схемой набора решающих элементов и с программным управлением. В первом случае решающие элементы перед началом решения соединяются между собой в соответствии с последовательностью выполнения математич. операций, задаваемых исходной задачей. Подавляющее большинство современных АВМ строится на этом принципе. В машинах с программным управлением последовательность выполнения отдельных математич. операций меняется в процессе решения задачи в соответствии с заданным алгоритмом решения. Изменение в ходе решения порядка выполнения отдельных операций обуславливает прерывистый характер работы машины: период решения сменяется периодом останова (для выполнения требуемых коммутаций). При таком режиме АВМ должна снабжаться аналоговым ЗУ для хранения результатов вычисления отдельных решающих элементов в конце периода решения.

Наличие памяти и дискретный характер работы машины дают возможность организовать многократное использование отдельных решающих элементов (см. *Аналоговая вычислительная машина с многократным использованием элементов*). Это позволяет ограничить число решающих элементов, не ограничивая при этом класс решаемых задач, т. е. указывает пути преодоления алгоритмической ограниченности АВМ, правда, за счет снижения быстродействия при сохранении точности решения в пределах точности аналоговых машин.

АВМ состоит из нек-рого числа решающих элементов, к-рые по характеру выполняемых математич. операций делятся на линейные, нелинейные и логические. Линейные решающие элементы выполняют операции суммирования, интегрирования, перемены знака, умножения на пост. величину, воспроизведения временного сдвига. *Нелинейные решающие элементы* (функции, преобразователи) воспроизводят нелинейные зависимости. Различают решающие элементы, предназн. для воспроизведения заданной ф-ции от одного, двух и большего числа аргументов. Из этого класса обычно выделяют устройства для воспроизведения разрывных ф-ций одного аргумента (типичные нелинейности) и множително-делит. устройства (см. *Множительно-делительное устройство*). К логич. блокам (см. *Логический элемент аналоговой вычислительной машины*) относят устройства для выделения наибольшей или наименьшей из неск. величин, релейные переключающие схемы, в т. ч. блоки сигналов.

В электронных АВМ все эти решающие элементы строятся в основном на базе много-

каскадных электронных усилителей пост. тока с большим коэфф. усиления в разомкнутом состоянии и глубокой отрицат. обратной связью. В зависимости от структуры и характера входной цепи и цепи обратной связи *операционный усилитель* выполняет ту или иную линейную или нелинейную математич. операцию или комбинацию этих операций. Если обратиться к схеме рис. 3 и пренебречь при большом коэфф. усиления усилителя напряжением в суммирующей точке, а также не учитывать сеточный ток, то оказывается: $I_1 + I_2 = 0$ или $e_{\text{вых}} = -\frac{y_1}{y_2} e_{\text{вх}}$. В самом общем случае, полагая $I_1 = f_1(e_{\text{вх1}}, e_{\text{вх2}}, \dots, e_{\text{вхn}})$, а $I_2 = f_2(e_{\text{вых}})$, получим ур-ние обобщ. решающего элемента в виде:

$$f_2(e_{\text{вых}}) = -f_1(e_{\text{вх1}}, e_{\text{вх2}}, \dots, e_{\text{вхn}}). \quad (1)$$

В табл. 1 даны нек-рые типовые схемы входных цепей и цепей обратной связи решающих элементов и указаны выполняемые при этом математич. операции.

При решении задачи на АВМ следует определить число и характер требуемых решающих элементов, составить схему их соединения между собой и, наконец, выбрать масштабы представления исходных величин задачи. Все эти вопросы составляют осн. содержание методики решения задач (см. *Аналоговая вычислительная машина применения — I*). Покажем на простейшем примере метод решения задач на АВМ. Пусть задано ур-ние простейшей схемы автоматич. регулирования:

$$\left. \begin{aligned} T_0 \frac{d\varphi}{dt} + \varphi &= \kappa_0 \mu \\ \frac{d\mu}{dt} &= -\kappa \varphi \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

с нач. условиями $\varphi(0) = A$, $\dot{\varphi}(0) = 0$, где T_0 — постоянная времени объекта, κ_0 — коэфф. усиления, φ — регулируемая величина, μ — регулирующее воздействие. Разрешая первое ур-ние относительно старшей производной и

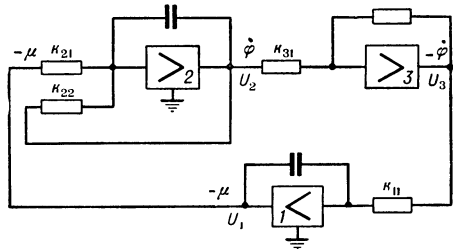
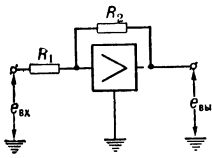
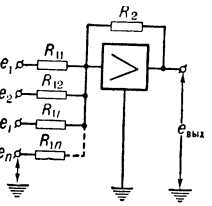
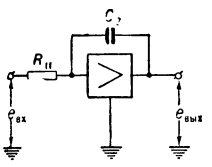
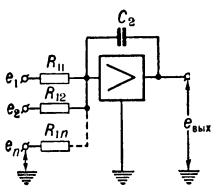
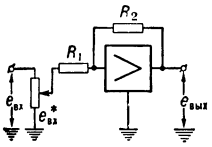
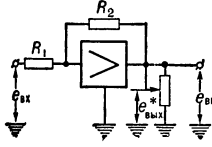
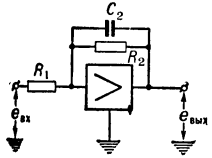
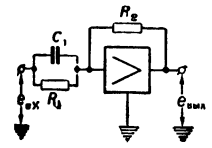


Рис. 4. Схема набора задачи.

допуская, что значение старшей производной известно, находим φ и μ после соответствующих операций интегрирования правых частей ур-ний. Неизвестные слагаемые правой части получаются путем введения обратных связей (рис. 4). Пусть машинными величинами являются напряжения U_1 и U_2 на выходах интегрирующих блоков, тогда ур-ния, связывающие

Таблица 1

Принцип, схема включения входной цепи и цепи обратной связи операц. усилителя	Значение проводимостей цепи, параллельной усилителю	Значение проводимости входной цепи	Ур-ние операц. усилителя	Математич. операция, выполняемая операц. усилителем
	I. Элементарные операции			
	$Y_2(p) = \frac{1}{R_2}$	$Y_{11}(p) = \frac{1}{R_1}$ $Y_{12}(p) = 0$ $Y_{1n}(p) = 0$	$e_{\text{вых}} = -\frac{R_2}{R_1} e_{\text{вх}}$	Перемена знака и умножение на постоянную величину
	$Y_2(p) = \frac{1}{R_2}$	$Y_{11}(p) = \frac{1}{R_{11}}$ $Y_{12}(p) = \frac{1}{R_{12}}$ $Y_{1n}(p) = \frac{1}{R_{1n}}$	$e_{\text{вых}} =$ $= -R_2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \bar{e}_{\text{вх}i}$	Суммирование нескольких независимых переменных
	$Y_2(p) = C_2 p$	$Y_{11}(p) = \frac{1}{R_{11}}$ $Y_{12}(p) = 0$ $Y_{1n}(p) = 0$	$\bar{e}_{\text{вых}} = \frac{1}{R_{11} C_2 p} \bar{e}_{\text{вх}}$ $\bar{e}_{\text{вых}} = -\left(\frac{1}{R_{11} C_2 p} \bar{e}_{\text{вх}} + \frac{C_1}{C_2} \bar{e}_{\text{вх}}^* \right)$	Интегрирование по времени одной переменной. Если к суммирующей точке подключить дополнительный сигнал $\bar{e}_{\text{вх}}^*$ через конденсатор C_1 , то блок будет выполнять операц. $\bar{e}_{\text{вых}} = -\left(\frac{1}{R_{11} C_2 p} \bar{e}_{\text{вх}} + \frac{C_1}{C_2} \bar{e}_{\text{вх}}^* \right)$
	$Y_2(p) = C_2 p$	$Y_{11}(p) = \frac{1}{R_{11}}$ $Y_{12}(p) = \frac{1}{R_{12}}$ $Y_{1n}(p) = \frac{1}{R_{1n}}$	$\bar{e}_{\text{вых}} =$ $= -\frac{1}{C_2 p} \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \bar{e}_{\text{вх}i}$	Интегрирование суммы нескольких переменных по времени
	$Y_2(p) = \frac{1}{R_2}$	$Y_{11}(p) = \frac{1}{R_1}$	$\bar{e}_{\text{вых}} = -\frac{R_2}{R_1} \bar{e}_{\text{вх}}^*$ $\bar{e}_{\text{вх}}^* = \beta_1 \bar{e}_{\text{вх}}$ $\bar{e}_{\text{вых}} = -\beta_1 \frac{R_2}{R_1} \bar{e}_{\text{вх}}$	Умножение на величину $\beta_1 < 1$
	$Y_2(p) = \frac{1}{R_2}$	$Y_{11}(p) = \frac{1}{R_1}$	$\bar{e}_{\text{вых}}^* = -\frac{R_2}{R_1} \bar{e}_{\text{вх}}^*$ $\bar{e}_{\text{вх}}^* = \beta_2 \bar{e}_{\text{вх}}$ $\bar{e}_{\text{вых}} = -\frac{R_2}{\beta_2 R_1} \bar{e}_{\text{вх}}$	Деление на величину $\beta_2 < 1$
	II. Воспроизведение ур-ний отдельных звеньев САУ			
	$Y_2(p) = C_2 p + \frac{1}{R_2}$	$Y_{11}(p) = \frac{1}{R_1}$	$\bar{e}_{\text{вых}} =$ $= -\frac{R_2}{R_1} \frac{\bar{e}_{\text{вх}}}{R_2 C_2 p + 1}$	Решение ур-ния цепи, состоящей из инерц. звена
	$Y_2(p) = \frac{1}{R_2}$	$Y_{11}(p) = C_1 p + \frac{1}{R_1}$	$\bar{e}_{\text{вых}} = -\frac{R_2}{R_1} (R_1 C_1 p + 1) \bar{e}_{\text{вх}}$	Решение ур-ния цепи, состоящей из форсирующего звена

Принцип. схема включения входной цепи и цепи обратной связи операц. усилителя	Значение проводимостей цепи, параллельной усилителю	Значение проводимости входной цепи	Ур-ние операц. усилителя	Математич. операция, выполняемая усилителем
	$Y_2(p) = \frac{1}{R_2}$	$Y_1(p) = -\frac{1}{R_1 + \frac{1}{C_1 p}}$	$\bar{e}_{\text{вых}} = -\frac{\bar{e}_{\text{вх}}}{R_1 C_1 p + 1}$	Решение ур-ния цепи, состоящей из последовательно соединенных дифференцирующего и инерц. звеньев
	$Y_2(p) = C_2 p + \frac{1}{R_2}$	$Y_1(p) = C_1 p + \frac{1}{R_1}$	$\bar{e}_{\text{вых}} = \frac{(R_1 C_1 p + 1) R_2}{(R_2 C_2 p + 1) R_1} \bar{e}_{\text{вх}}$	Решение ур-ния цепи, состоящей из последовательно соедин. форсирующего и инерц. звеньев

машинные переменные, будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dU_1}{dt} &= \kappa_{11} \kappa_{31} U_2 \\ \frac{dU_2}{dt} + \kappa_{22} U_2 &= -\kappa_{21} U_1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Очевидно, системы (2) и (3) будут тождественны, если между машинными величинами U_1 и U_2 и исходными переменными φ и μ существуют ур-ния преобразования $\varphi = M_\varphi U_2$, $\mu = -M_\mu U_1$, $t = M_t t_m$, а коэфф. ур-ний (3) выйдут из очевидных соотношений:

$$\frac{\kappa_{11} \kappa_{31}}{M_\varphi} \frac{M_\mu}{M_t} = \kappa; \quad \frac{\kappa_{21}}{\kappa_{22}} \frac{M_\varphi}{M_\mu} = \kappa_0; \quad \frac{M_t}{\kappa_{22}} = T_0.$$

Нач. условия, устанавливаемые в виде нач. напряжения на втором операц. усилителе, определяются на основании ур-ния преобразования: $U_2(0) = \frac{\varphi(0)}{M_\varphi} = \frac{A}{M_\varphi}$.

Вследствие неидеальности работы отдельных решающих элементов, неточности установки их коэфф. передачи и нач. условий, решение, найденное с помощью АВМ, будет с погрешностью. Результирующая погрешность зависит не только от перечисл. первичных источников, но также и от характера и особенностей решаемой задачи. Так, напр., при решении неустойчивых динамич. задач или исследовании негрубых динамич. систем следует ожидать значительно больших погрешностей, чем при исследовании устойчивых систем (см. *Аналоговой вычислительной машины погрешности*). Как правило, погрешность растет с ростом числа решающих и особенно числа нелинейных решающих элементов, включ. последовательно. Практически можно считать, что погрешность при исследовании устойчивых нелинейных систем автоматич. управления не превышает 5—6%, если порядок набираемой системы дифференц. ур-ний не превосходит 10-го.

Еще в самом начале развития АВМ сравнительно большое быстродействие решающих элементов привело к созданию машин, работающих с повторением решения. Введение АВМ в режим периодизации решения преследовало цель облегчить визуальное наблюдение

решения на экране ЭЛТ, обладающей огранич. временем послесвечения. С применением люминофоров с длительным послесвечением частоты периодизации решения в совр. установках были снижены с 15—20 гц до 1—0,5 гц. Однако в последнее время возрос интерес к машинам с большой частотой повторения решения (30—1000 гц), но уже в связи с решением весьма важных вопросов, касающихся создания оптим. систем управления, а также с необходимостью организации поиска оптимальных в нек-ром смысле структур и параметров автоматич. систем управления (см. *Оптимизации система*).

Технич. хар-ки нек-рых типов электронных АВМ общего назначения, выпускаемых серийно в СССР, даны в табл. 2. Первые пять типов установок — портативные малогабаритные настольные устройства. ИПТ-5 выполнена из отдельных блоков, представляющих собой линейные решающие элементы. Блочную конструкцию имеет также ЭМУ-8, каждый блок к-рой состоит из 4 решающих элементов, позволяющих решать линейные и нелинейные дифференц. ур-ния до 2-го порядка включительно. Блоки ЭМУ-8 не требуют стабилизиров. источников питания. ЛМУ-1 состоит из отдельных секций; ИПТ-5 (см. вклейку) и ЛМУ-1 в сочетании с набором нелинейных блоков позволяют решать также и нелинейные задачи. МН-7 (настольного типа, см. вклейку) имеет ограниченный фиксиров. состав решающих элементов. Установки МН-8, МН-14, ЭМУ-10 — многосекционные, рассчитанные на решение сложных задач. Так, МН-8 имеет 80 операц. усилителей и 28 нелинейных решающих элементов, МН-14 — 360 усилителей, 92 нелинейных решающих элемента, ЭМУ-10 — 48 операц. усилителей, 30 нелинейных решающих элементов. Установки МН-14 и ЭМУ-10 (см. вклейку) снабжены сменными наборами полями, цифровым вольтметром, системой управления, облегчающей набор задачи и установку коэффициента и нач. условий. В МН-14 предусмотрена возможность управления от перфокарты. ЭМУ-10 отличается широкой полосой пропускания осн. решающих элементов, она снабжена решающими усилителями с тремя параллельными каналами усиления, обладающими малым дрейфом нуля.

Таблица 2

Тип установки	Вид дифференц. ур-ний, решаемых на установке	Макс. порядок дифференц. ур-ний или число ур-ний 1-го порядка в системе	Допустимая длительность решения (сек.)	Габаритные размеры (мм) или площадь, занимаемая установкой (м ²)	Потребляемая мощность (квт)	Источник питания
ИПТ-5	Линейные с пост. и перем. коэфф.	9	150	2000×400	2,4	Стабилизированный
ЛМУ-1	Линейные с пост. и перем. коэфф. с типичными нелинейностями	6—9	200—400	622×476×1230	2,1	Стабилизированный
ННБ	Выполнение нелинейных операций		не ограничена			
МН-7	Линейные и нелинейные с небольшим числом нелинейных операций	6	200	700×440×380	0,73	Стабилизированный
ЭМУ-8	Линейные и нелинейные	Набор из стандартных блоков, каждый предназначен для решения ур-ний 2-го порядка	2000	Размер блока 350×300×300	0,06	Нестабилизированный
МН-11	Линейные и нелинейные с автоматич. поиском решения по заданному критерию	6—9	Частота повторений решения 100 раз/сек	15 м ²	10	Стабилизированный
МН-8	Линейные и нелинейные с большим числом перем. коэфф. и нелинейных решающих элементов	32	1800	60 м ²	35	Стабилизированный
МН-14	Линейные и нелинейные с большим числом нелинейных решающих элементов	30	10000	40 м ²	15	Стабилизированный
ЭМУ-10	Линейные и нелинейные с перем. запаздыванием. Решение задач автоматич. оптимизации	24	2000	5 м ²	3,5	Нестабилизированный с мало-мощным вспомогат. стабилизатором

вого уровня и полосой пропускания в пределах 50 кГц.

Лит.: Кобринский Н. Е., Математические машины непрерывного действия, М., 1954; Этерман И. И., Математические машины непрерывного действия, М., 1957; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, М., 1959; Тарасов В. С., Основы теории и конструирования математических машин непрерывного действия, вып. 1, Л., 1961; Fifer S. t., Analogue computation, L., 1961. Б. Я. Коган.

АНАЛОГОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА, РАБОТАЮЩАЯ В НАТУРАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ (real time analog computer; calculatrice analogique à fonctionnement en temps réel; Istzeitanalogrechner, Analog-rechner zum rechnen im tatsächlichen Zeitmaßstab) — машина, служащая для исследования в натуральном (естеств.) масштабе времени обычных дифференц. ур-ний вида:

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_3, \dots, \dot{x}_n, t) \\ (i = 1, 2, 3, \dots, n), \quad (1)$$

описывающих процессы в различных динамич. объектах. Машины этого типа получили широкое распространение в связи с развитием исследований динамич. систем методами математич. моделирования. Часто АВМ, работаю-

щие в натур. масштабе времени, включаются на совместную работу с реальными устройствами и приборами (напр., аппаратурой управления, линией передачи информации и др.), образуя с ними общую систему для моделирования исследуемых процессов.

Для серийных АВМ, работающих в натур. масштабе времени, характерно следующее: зависимые машинные переменные x ; представляются мгнов. значениями электрич. напряжения пост. тока; независимой переменной является время (t), отсчитанное от начала интегрирования; все математич. операции, необходимые для решения задачи в машине, выполняются одновременно и непрерывно; точность представления машинных переменных и выполнения математич. операций ограничивается двумя-тремя верными десятичными знаками.

Основу АВМ, работающей в натур. масштабе времени, составляют электронные операц. блоки, к-рые в функцион. отношении являются специализир. и выполняют отд. элементарные математич. операции (алгебраич. сложение, умножение на пост. коэффициент, интегрирование, дифференцирование и др.). Машинные переменные подаются на входы операц. блоков, а результат выдается на их выходах. Практич. реализация операц. блоков, необходимых для работы АВМ в натур.

масштабе времени, оказалась возможной лишь в результате разработки *операционного усилителя*, обладающего рядом ценных свойств. В зависимости от вида и сложности решаемых задач типы и количество операц. блоков в составе АВМ, работающей в натур. масштабе времени, могут изменяться в широких пределах. Составом операц. блоков обычно определяется тип АВМ в целом. Так, в машине, предназначенной для решения систем линейных обыкновенных дифференц. ур-ний, должны содержаться интегрирующие, суммирующие, масштабные, дифференцирующие блоки. Блоки ввода пост. и перем. коэфф., блоки запаздывания. Машина, осуществляющая решение нелинейных обыкновенных дифференц. ур-ний, имеет (кроме перечисл. блоков) еще и нелинейные функции. Блоки, блоки перемножения и блоки деления. Первые позволяют осуществлять нелинейные функции от одной или двух переменных, вторые — попарно перемножать, третьи — попарно делить переменные.

Необходимость интегрирования ур-ний в естеств. масштабе времени приводит к ряду специфич. особенностей, характерных только для АВМ, работающих в натур. масштабе времени. В таких машинах обычно содержатся блоки интегрирования, а часто и блоки воспроизведения перем. коэфф., рассчитанные на работу с высокой точностью в течение длит. интервалов времени. С этой целью в схемах блоков интегрирования используются усилители пост. тока с малым дрейфом нулевого уровня, а в схемах блоков перем. коэфф. — шаговая развертка по времени с помощью управляющих импульсов эталонной частоты. Для связи машины с реальной аппаратурой в состав АВМ, работающих в натур. масштабе времени, включаются усилительные и преобразующие устройства, в к-рых машинные переменные изменяются по масштабу и форме их представления. Такими преобразующими устройствами являются масштабные усилители с мощным выходным каскадом, электродинамич. блоки, предназначенные для преобразования напряжения в угол поворота платформы, и др.

По количеству операц. блоков АВМ делят на машины малой, средней и большой мощности [1]. Самые малые АВМ содержат всего 10—15 операц. блоков и осуществляют решение несложных систем ур-ний 2—6-го порядка. Они занимают небольшую площадь и требуют для питания их схемы незначит. мощности. Количество операционных блоков в наиболее крупных машинах достигает 500—1000; эти АВМ — сложный комплекс электронной аппаратуры.

Помимо комплекта операц. блоков, в АВМ имеются устройства ввода и вывода данных, управления, контроля, регистрации результатов решения и электропитания. Ввод данных сводится к заданию нач. условий, пост. коэфф. и функций. зависимостей в операц. блоках, а также к установлению между их входами и выходами электрич. связей в соответствии с видом решаемой задачи. Коммутация операц. блоков производится чаще всего сменными шнурами на коммутац. поле, гнезда к-рого соединены с входами и выходами блоков машины. С помощью устройств системы управления генерируются импульсы, необходимые для синхронизации работы операц. блоков, и вырабатываются команды управ-

ления. Состав команд в АВМ по сравнению с ЦВМ бывает небольшим. Осн. являются команды: 1) начала интегрирования, 2) фиксации машинных переменных (останов) и 3) возврата схемы в исходное положение. Кроме того, имеются команды, относящиеся к управлению устройствами контроля и регистрации. Для регистрации машинных переменных служат спец. измерит. приборы непрерывного (стрелочные вольтметры, электроннолучевые индикаторы, двухкоординатные регистрирующие приборы) или дискретного (цифровые измерители времени, цифровые вольтметры) принципа действия. С их помощью результаты решения задач представляются в удобной для анализа форме в виде графиков или в виде таблиц.

АВМ, работающие в натур. масштабе времени, применяются для решения математич. задач, для исследования систем методом математич. моделирования, в качестве машин, управляющих технологич. процессами, и в качестве тренажеров (для самолетов, атомных электростанций и др. объектов), предназначен. для обучения технич. персонала. С их помощью проводятся сложнейшие исследования, позволяющие экономить большие матер. средства и сократить сроки разработок. В СССР распространены серийные АВМ различных моделей (см. вклейку).

Лит.: 1) Ушаков В. В., Электронные вычислительные машины непрерывного действия для решения дифференциальных уравнений, в сб.: Вычислительная техника и ее применение, под ред. С. А. Лебедева, М.—Л., 1959. Г. М. Истров.

АНАЛОГОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА С МНОГОКРАТНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ (shared time analog computer; Analogrechner mit Mehrfachausnutzung der Bauelemente — комплексная вычислит. установка, отдельные части и блоки к-рой поочередно используются для раздельного по времени выполнения однотипных вычислит. операций. В основе А. в. м. с. м. и. э. лежит поочередное подключение ко входу многократно

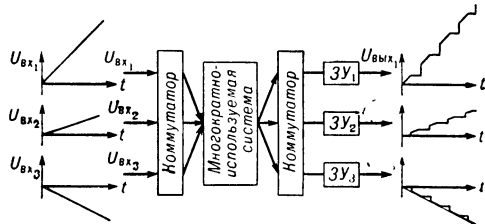


Схема многократного использования элементов при масштабном преобразовании линейно изменяющихся напряжений.

используемой схемы (МИС) нескольких входных величин. Одновременно запоминаются соответствующие выходные величины на период подключения к схеме остальных входных величин. На рис. в упрощ. форме показано многократное использование элементов для случая масштабного преобразования трех входных линейно изменяющихся напряжений. А. в. м. с. м. и. э. является системой с комбинированными жесткими и программными связями между блоками, занимая по способу коммутации среднее положение между ЦВМ и АВМ.

Схемы математич. моделирования, включающие в свой состав МИС, можно разделить на четыре осн. группы. В схемах 1-й группы

используются отдельные операц. блоки, выполняющие наиболее емкие по объему их схемы операции, напр. перемножение двух переменных и образование нелинейных функций. Использование одного и того же операц. блока для последоват. проведения однотипных операций может повысить точность выполнения этих операций, т. к. схема такого операц. блока может быть более сложной (вплоть до использования комбиниров. непрерывных и импульсных схем и применения цифровых методов счета) по сравнению со схемой обычных операц. блоков однократного использования, число к-рых может быть значительным. В схемах 2-й группы многократно используются операц. блоки, выполняющие комплексные вычислит. операции, не содержащие операций интегрирования и не использующие метод неявных функций. К числу таких комплексных операций относятся, напр., операции преобразования координат. В схемах 3-й группы многократно используются операц. блоки для выполнения итерац. вычислит. операций как с применением некоего числа внешних элементов, так и при использовании метода неявных функций внутри МИС. 4-я группа схем содержит многократно используемые блоки для образования правых частей при математич. моделировании систем линейных или нелинейных обыкновен. дифференц. ур-ний или ур-ний в частных производных. В состав схем 4-й группы могут входить как устройства, имеющие развитую систему программного управления при небольшом числе многократно используемых операц. блоков, так и отдельные операц. блоки при достаточно развитой обычной схеме математич. моделирования.

Осн. дополнит. элементами А. в. м. с. м. и. э. являются устройства запоминания и коммутат. устройства. Для запоминания выходных величин могут быть применены, напр., конденсатор и потенциометрич. следящая система, ползунки к-рой сохраняют приданное им положение на период запоминания. Устройства запоминания, содержащие конденсатор, состоят из трех осн. элементов — ключевой схемы, элемента запоминания и выходной схемы усиления мощности. В системах многократного использования блоков применяются электромехан. коммутирующие схемы, триодные и диодные схемы последоват. типа. В случае электромехан. коммутирующей схемы отношение постоянных времени заряда и разряда конденсатора очень мало, что обеспечивает хорошие хар-ки по точности. Управление электромехан. коммутирующими схемами может быть максимально простым и выполняться в виде кулачкового распределит. контактного механизма, вал к-рого вращается с пост. скоростью. Электромехан. ключевые схемы применяются в тех случаях, когда период подключения входной величины может быть выбран достаточно большим. При использовании электронных схем увеличивается отношение постоянных времени заряда и разряда конденсатора.

Период подключения входной величины к МИС определяется, с одной стороны, требуемой точностью выполнения операций и возможной скоростью изменения входной величины, а с другой, — динамич. качествами операц. блоков, ключевых схем и схем запоминания выходных величин.

В схемах 1-й и 2-й групп определяющим фактором является макс. возможная скорость изменения входной величины. В частном случае при постоянстве входной величины выбор периода подключения зависит от качества выходных ЗУ. Период подключения входных напряжений к МИС для выполнения итерац. вычислит. операций определяется методом итерации, скоростью сходимости итерац. процесса, скоростью изменения входных величин и качеством ЗУ.

Работа схемы 4-й группы подобна действию схем числ. интегрирования, при к-ром используется простейший «метод ломаных» — метод Эйлера. Оценку необходимого периода подключений в этом случае следует производить с учетом усредненных за время интегрирования значений правых частей в системе дифференц. ур-ний.

Период подключения входной величины к МИС состоит из ряда равных частных периодов, величина к-рых определяется числом входных величин, поочередно подключаемых к схеме. Внутри одного частного периода осуществляется ряд последоват. операций: подключение входного сигнала ко входу МИС; задержка во времени, необходимая для установления напряжений во всех точках МИС; подключение ЗУ к выходу МИС; задержка во времени, необходимая для заряда конденсатора ЗУ до выходного напряжения МИС; отключение предыдущего входного сигнала и подключение последующего входного сигнала к МИС. При использовании в качестве ЗУ интегрирующих усилителей период подключения напряжений ко входу такого усилителя непосредственно определяет величину постоянной времени интегрирования (за счет совмещения операций интегрирования и запоминания). Целесообразность применения МИС определяется точностью выполнения операций и допустимым относительным объемом оборудования. Увеличить точность выполнения операций в АВМ можно: 1) уменьшением погрешности выполнения операций каждым из операционных блоков и 2) уменьшением относительной погрешности — разницы, возникающей между отдельными величинами, к-рые должны быть образованы путем реализации однотипных зависимостей. Так, при выполнении операции перемножения с помощью одного квадратора, ко входу к-рого поочередно подключается сумма или разность входных перемножаемых напряжений, точность выполнения операции умножения на нуль значительно повышается. Второй путь типичен для систем с МИС.

Целесообразность применения МИС характеризуется отношением относит. объема схемы устройства, не содержащего многократно используемых блоков, к величине относит. объема устройства с многократно используемыми блоками; это отношение должно быть больше единицы.

Относит. объем оборудования — комплексный показатель, включающий в себя, кроме объема собственного оборудования схемы, также и ряд эксплуат. оценок, связанных с выбранными режимами работы элементов в операц. блоках, необходимостью эксплуат. контроля элементов, частотой перестройки блоков или элементов, количеством элементов, обслуживающих операц. блоки, и др.

И. М. Вуленберг.

АНАЛОГОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ КАНАЛАМИ (parallel analog computer; calculatrice analogique parallèle; calculatrice analogique à voies parallèles; Parallelanalogrechner) — см. *Комбинированная вычислительная машина.*

АНАЛОГОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА С ПОВТОРЕНИЕМ РЕШЕНИЯ (repetitive analog computer; calculatrice analogique répétitive; Analogrechner mit periodischem Wiederholen) — машина, выполняющая математич. моделирование системы обыкнов. дифференц. ур-ний с периодич. повторением решения.

Выбор частоты повторения решения связан с областью применения АВМ. Если ее используют для анализа реального процесса методом опережающего моделирования этого процесса, то важно, чтобы период получения решения на машине был значительно меньше периода протекания реального процесса. Если АВМ применяется для лабораторных исследований, то увеличение частоты повторения решения приводит к уменьшению затрат времени при исследованиях. Это приобретает особое значение при решении краевых задач, где поиск заданного решения производится методом проб, требующим выполнения определ. числа «поисковых» решений. Однако технич. хар-ки элементов АВМ ограничивают возможности увеличения частоты повторений. Серийные электромоделирующие установки, предназнач. для работы в натур. масштабе времени, могут работать с частотами повторения ок. 1 гц. АВМ для работы только в режиме периодизации (напр., МН-11) предусматривают в настоящее время частоту повторения решений в 25—100 гц.

Осн. требованием к элементам АВМ при увеличении частоты повторения является расширение их частотных хар-к. Зависимость между частотой повторения решения и частотной хар-кой элемента неоднозначна и определяется классом задач, к-рые должны решаться с помощью АВМ, их устойчивостью и частотным спектром решения. Определ. оценкой приемлемости элементов для применения в АВМ, работающей в режиме периодизации решения, является величина отношения суммарной постоянной времени цепи последовательно включ. элементов, используемых для образования производной, к постоянной времени интегрирующего усилителя (ИУ), к-рая для задач с монотонным характером решения не должна превышать 10^{-2} — 10^{-3} . Увеличение частоты повторения решения требует увеличения выходной мощности элементов АВМ, что обусловлено уменьшением постоянной времени ИУ и величин их входных сопротивлений, уменьшением входных сопротивлений и сопротивлений обратной связи суммирующих и масштабных усилителей (для снижения вредного влияния паразитных емкостей) и уменьшением общих сопротивлений делителей напряжения.

В серийных АВМ, работающих как в режиме повторения, так и в режиме однократного решения, применяются усилители пост. тока (УПТ). Серьезным препятствием к использованию их в специализир. АВМ, предназнач. для пром. условий, является дрейф нулевого уровня выходного напряжения УПТ. Он практически не будет влиять на характер решений, если АВМ обладает столь большим быстро-

действием, что все варианты повторяющегося решения «просматриваются» за короткий отрезок времени. Однако решения, получ. для тех же условий в моменты времени, отстоящие друг от друга на сравнительно большие интервалы (порядка часов и суток), могут существенно различаться. В АВМ, работающих только в режиме периодизации, могут быть применены усилители перемен. тока. Это позволяет включить ПП элементы в схемы усилителей. Однако применение таких усилителей усложняет проблему их устойчивости и схемы в целом на низких частотах, а также вопросы статич. контроля.

Операции перемножения переменных в АВМ, работающих в режиме периодизации решения с частотами порядка 100 гц, производятся с помощью схем, использующих искусственно создаваемые квадратичные хар-ки (напр., схемы с диодами). При увеличении частоты периодизации выше 1000 гц целесообразно применять радиотехнич. схемы с модуляцией напряжений ВЧ. Для выполнения операций нелинейного преобразования используют диодные схемы с потенциально заземл. диодами.

Воспроизведение перемен. коэфф. осуществляется либо последоват. включением блока нелинейного преобразования линейной функции времени и схемы перемножения, либо электронной коммутацией выводов делителя напряжения.

Оценка результатов математич. моделирования при работе в режиме повторения производится наблюдением кривых на экране электроннолучевого индикатора или показаний стрелочных приборов, подключаемых к выходу схем запоминания мгнов. значений кривых. В последнем случае установка момента измерений относительно начала интегрирования производится оператором. Схема управления ИУ, обеспечивающая работу операц. усилителей в режимах пуска, останова и возврата, является электронной и содержит датчик временных интервалов, триггерные схемы управления электронными ключами и электронные ключи во входной цепи и в цепи обратной связи каждого из ИУ. Электронный ключ во входной цепи ИУ замыкается в режиме интегрирования, а электронный ключ в цепи обратной связи — в режиме возврата к исходному состоянию. Схема управления ИУ может быть упрощена исключением из нее режима останова. При соответствующем подборе элементов внешних цепей операц. усилителей и отсутствии в машине режима останова электронные ключевые схемы во входных цепях ИУ могут быть исключены. Режим периодизации делает целесообразным автоматизацию нек-рых операций. Напр., автоматич. программное изменение нач. значений переменных приводит к образованию и периодич. повторению семейства кривых на экране электроннолучевого индикатора, что облегчает анализ.

Источниками дополнит. погрешностей в машинах, работающих в режиме повторения, являются ограниченность частотных хар-к операц. блоков и недостатки ключевых схем. Общим методом определения погрешностей, вызванных первой причиной, является многократное математич. моделирование заданной системы дифференц. ур-ний с последоват. уменьшением масштаба времени. Появление отклонений, увеличивающихся по мере умень-

шения масштаба, указывает на образование погрешности из-за ограниченности частотных хар-к. Осн. причинами погрешностей, возникающих из-за ключевых схем, являются наличие сопротивления у замкнутого ключа, конечность сопротивления открытого ключа и проникание импульсов управления на выход ключевой схемы (см. *Ключ электронный*).
И. М. Витенберг.

АНАЛОГОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ВРЕМЕННЫЕ ИНТЕРВАЛЫ (analog computer time intervals; intervalles de temps en calculatrice analogique; Analogrechner-Zeitintervalle) — интервалы между сигналами времени, обеспечивающими синхронизацию работы систем ввода переменных коэффициентов, регистрирующих устройств и системы отсчета времени как между собой, так и по отношению к моменту включения интегрирующих усилителей (ИУ). Системы синхронизации бывают непрерывные и дискретные. Датчик времени в системе непрерывной синхронизации образует синусоид. напряжение стабильной частоты, приемниками к-рого являются либо синхронные двигатели, либо следящие системы с тахогенераторами. Подключение нагрузок к синхронно вращающимся валам производится электромагнитными муфтами. В системах импульсной синхронизации — принудительной и свободной — датчик временных интервалов образует последовательности импульсов различной частоты, используемые для синхронизации работы отметчиков времени и шаговых приводов в схемах ввода переменных коэфф., а также отсчета времени. В системах принудит. синхронизации, использующих в качестве датчиков импульсов контактные системы (звездочки), моменты включения и отключения ИУ определяются положением звездочки. При этом между подачей команды на включение или отключение усилителей (нажатием кнопки) и ее исполнением существует временной интервал, изменяющийся от нуля до одного периода выбранной частоты следования импульсов в зависимости от положения звездочки в момент нажатия кнопки.

Датчиком импульсов в системе свободной синхронизации является электронная схема, содержащая кварцевый генератор и каскады деления частоты. Включение ИУ и появление импульсов синхронизации работы всех частей машины в этой системе происходят в момент подачи команды на включение. В АВМ, работающих в режиме периодизации решения, все элементы машины синхронизируются датчиком временных интервалов, образующим с заданной частотой периодизации серию импульсов «пуск», «останов» или «измерение» и «возврат», а также синхронные импульсы любой наперед заданной частоты. И. М. Витенберг.

АНАЛОГОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ПОГРЕШНОСТИ (analog computer errors; erreurs de calculatrice analogique; Analogrechnerfehler, Analogiegerät-Rechenfehler) — включают в себя 2 понятия: точность математического моделирования и воспроизводимость решения. Точность математич. моделирования определяется разностью величин, получ. в процессе моделирования, и точным решением, к-рое может быть определено числ. методами; воспроизводимость решения — стабильностью полученных решений во времени. Необходимость определения А. в. м. п. воз-

никает как при решении задачи синтеза — какую погрешность можно допустить в отдельных блоках с тем, чтобы А. в. м. п. не превышала заданную, так и при решении задачи анализа — определении А. в. м. п. за счет погрешностей блоков. В случае исследования влияния отдельных параметров системы на ее хар-ки при недостаточности сведений о самой системе требования к точности моделирования могут быть снижены при сохранении высоких требований к воспроизводимости решения. Точность математич. моделирования определяется погрешностями отдельных блоков АВМ, погрешностями в схем задания нач. условий, устойчивостью исследуемой системы ур-ний и опытом оператора. Осн. источниками А. в. м. п. являются: дрейф нулевого уровня выходного напряжения усилителей пост. тока; изменение во времени и неточность установки номин. значений для сопротивлений и конденсаторов, включ. во внешних цепях операц. усилителей; изменение во времени величин опорных электр. напряжений, используемых в нелинейных блоках, а также при задании пост. величин и т. п.; методич. погрешности аппроксимации плавных кривых ступенчатыми или кусочно-линейными зависимостями; конечность коэфф. усиления операц. усилителей (погрешность статизма); огранич. частотная хар-ка блоков АВМ; несоверш. действие ключевых схем и утечка через сопротивления изоляции. Часть погрешностей блоков АВМ носит случайный характер, а др. часть — систематический. Деление погрешностей на случайные и систематич. в достаточной мере условно и определяется принятым периодом во времени для их оценки. Так, погрешность в величине коэфф. усиления является систематич. в интервале нескольких часов или дней работы и не вызывает изменения воспроизводимости решения, но будет случайной, приводящей к изменениям решений, при увеличении интервала до неск. месяцев (напр., из-за старения сопротивлений внешней цепи операц. усилителя). Погрешности, имеющие случайный характер изменений, будучи постоянными в течение определ. интервала времени, приводят к понижению точности математич. моделирования (как и систематич. погрешности). Изменение случайных погрешностей во времени приводит к ухудшению воспроизводимости решения.

Погрешности в схеме задания нач. условий, к числу к-рых относятся и погрешности, вызванные неодновременностью срабатывания контактов реле включения интегрирующих усилителей, по-разному влияют на точность математич. моделирования. Осн. фактором при этом является устойчивость исследуемой системы ур-ний. Так, при моделировании устойчивого ур-ния $\frac{dy}{dt} = -ay$ погрешность в задании нач. условий Δy_0 уменьшается по закону $\Delta y = \Delta y_0 e^{-at}$, а при моделировании неустойчивой системы $\frac{dy}{dt} = ay$ — растет ($\Delta y = \Delta y_0 e^{at}$).

При решении с помощью АВМ неустойчивых задач погрешности схемы математич. моделирования играют роль возмущений, резко изменяющих выходные данные. Опыт и искусство оператора обеспечивают не только уменьшение погрешностей при математич. моделировании, но в ряде случаев и самую возможность выполнения тех или иных исследова-

ний. Приемами уменьшения погрешностей, к-рые использует опытный оператор, являются: рациион. преобразование системы ур-ний, подлежащей математич. моделированию; рациион. выбор количества и типов блоков; разумный выбор пределов изменения переменных при расчете масштабов; тщательная настройка блоков АВМ и грамотное решение вопросов, связанных с методикой решения задачи на машине. Большинство инженерных и научных задач (исследования САР, строит., аэродинамич. и др. расчеты), базирующихся на результатах эксперимента, где большая часть коэфф. известна приближенно, не претендует на абсолютно точное решение.

Определение погрешностей может осуществляться аналитич., эксперимент. и смешанными методами. Наиболее часто, когда исследователи располагают АВМ, применяют эксперимент. методы: 1) метод подстановки, используемый для исключения грубых ошибок и промахов; он заключается в определении соответствия напряжений в отд. точках схем расчетным значениям, подсчитанным для различных комбинаций значений переменных; легко поддается автоматизации; 2) метод сравнения с ранее имеющимся числ. решением; используется при вариантных расчетах и для испытания машин на точность; 3) метод моделирования установившихся решений; он заключается в моделировании заданной системы дифференц. ур-ний с дополнит. расчетными членами, обращающими в нули значения производных для момента начала интегрирования; предназначен для оценки возможной погрешности моделирования систем с неизвестным характером решения; 4) многократное решение задачи при вариантах состава блоков с последующей статистич. обработкой результатов; используется для повышения общей точности решения; 5) метод анализа и обобщения накопл. опыта; 6) метод имитации погрешностей, использующий имитацию ошибок в отдельных блоках для оценки влияния этих ошибок на общую погрешность моделирования. Последние методы могут быть использованы при решении задач синтеза.

Лит.: Глузберг Э. А., Методика подготовки задач и контроль правильности их решения на электрических моделях, в сб.: Вычислительная техника и ее применение, М.—Л., 1959. И. М. Витенберг.

АНАЛОГОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИМЕНЕНИЯ

(analog computer applications; application de calculatrice analogique; Analogrechnen- anwendungen) — 1) Методика решения задач. Подготовка исходной системы дифференц. ур-ний для набора на АВМ включает след. операции: составление структурной схемы соединения решающих элементов в соответствии с заданной системой дифференц. ур-ний, расчет коэфф. передачи отдельных решающих элементов по коэфф. исходных ур-ний, выбор масштабов представления независимых переменных и времени, определение

нач. условий и возмущений в тех физич. величинах, к-рые в АВМ представляют исходные перем. задачи. Составление структурных схем набора задачи, как правило, выполняется путем сведения операций, заданных исходными ур-ниями, к ряду операций интегрирования, суммирования и функционального преобразования. Операция дифференцирования обычно исключается из-за усиленного влияния помех. Методы составления структурных схем можно свести: к непосредств. интегрированию; разложению на ур-ния первого порядка; комбинированию производных.

При наиболее часто применяемом методе непосредств. интегрирования (методе понижения порядка производной) исследуемое ур-ние разрешается относительно старшей производной, и над ее составляющими производится n последоват. операций интегрирования (n — порядок ур-ния). Составляющие старшей производной во входном сумматоре образуются наложением обратных связей и введением независимых переменных и возмущений. В качестве примера рассмотрим решение ур-ния Матье:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + (a - 2q \cos 2x)y = 0.$$

Независимая переменная в электронных АВМ представляется временем. Поэтому, вводя замену переменных $x = \omega t/2$, $\omega = 2\pi/T$ (где ω — круговая частота изменения параметра q) и обозначив $z = \frac{\omega^2}{2} q \cos \omega t$, получим после разрешения относительно старшей производной: $\frac{d^2 z}{dt^2} = -\frac{\omega^2}{4} a y + z y$. Новая переменная z может быть получена с помощью вариатора коэфф. (см. Ввод переменных коэффицентов) или путем решения на АВМ вспомогательного дифференц. ур-ния:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = -\omega^2 z \quad \text{при} \quad \begin{cases} z(0) = \frac{\omega^2}{2} q \\ \dot{z}(0) = 0. \end{cases}$$

Схема набора для этого случая дана на рис. 1. Метод разложения на ур-ния первого порядка и метод комбинирования производных широко применяются при воспроизведении дробно-рациональных ф-ций [1].

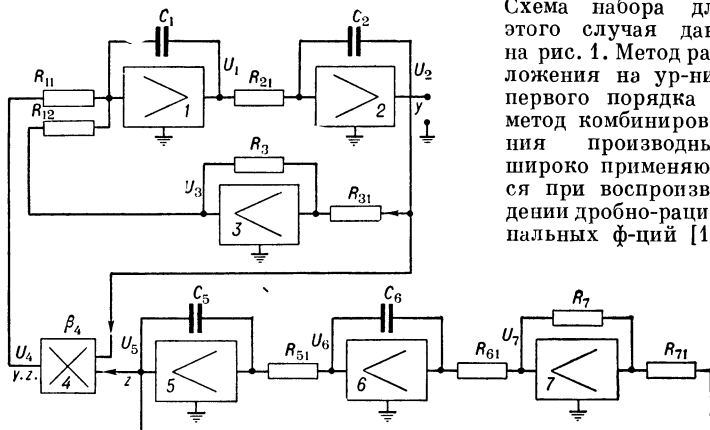


Рис. 1. Структурная схема решения на АВМ ур-ния Матье.

Определение коэфф. передачи отдельных решающих элементов схемы набора производится сопоставлением коэфф. исходных ур-ний и ур-ний, описывающих структурную схему набора, в к-рых машинные переменные заменены исходными на основе масштабных преобразований. Составление дифференц. ур-ний струк-

турной схемы набора задачи предполагает составление ур-ний отдельных решающих блоков. Для блока, работающего в режиме интегратора-сумматора:

$$U_i = -\frac{1}{p} \sum_{j=1}^n \alpha_k k_{ij} U_k \quad (k=0, 1, 2, \dots, n),$$

где U_i — выходное напряжение i -того блока, j — номер входа этого блока, α_k — коэфф., указывающий, какая часть выходного напряжения U_k (k -того блока) подается на j -тый вход данного блока. Для нелинейных блоков фиксируется только порядковый номер в схеме. Так, для множительного устройства имеем $U_i = \beta_i U_m U_n$, для делительного устройства — $U_i = \gamma_i \frac{U_m}{U_n}$. Здесь β_i и γ_i — масштабные коэфф.

Для функциональных преобразователей от одного аргумента $U_i = v_i f(\xi_i, U_k)$. Требуемые для реализации заданного передаточного коэфф. значения сопротивлений и емкости конденсаторов пассивных цепей операц. усилителя подсчитываются из выражений:

а) для интегратора $K_{ij} = \frac{1}{R_{ij} C_{oc}} \left[\frac{1}{сек} \right]$, б) для дифференциатора $K_{ij} = R_{oc} C_{ij} \left[\frac{1}{сек} \right]$, в) для масштабного усилителя $K_{ij} = R_{oc} / R_{ij}$. Здесь C_{oc} и R_{oc} — емкость конденсатора и сопротивление, включаемое в цепь, параллельную усилителю.

Для примера составим ур-ния структурной схемы рис. 1.

$$\begin{aligned} U_1 &= -\frac{1}{p} (k_{11} U_4 + k_{12} U_3); \quad U_2 = -\frac{1}{p} (k_{21} U_1); \\ U_3 &= -k_{31} U_2; \quad U_4 = \beta_4 U_2 U_5; \quad U_5 = -\frac{1}{p} k_{51} U_6; \\ U_6 &= -\frac{1}{p} k_{61} U_7; \quad U_7 = -k_{71} U_5. \end{aligned}$$

Здесь $p = \frac{d}{dt}$, t_m — независимая переменная усложнения — время.

Вводя ур-ния масштабного преобразования переменных

$$y = M_y U_2, \quad z = M_z U_5, \quad t = M_t t_m$$

и преобразовывая полученную систему к исходным переменным, получим:

$$\begin{aligned} M_t^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + k_{12} k_{21} k_{31} y &= \frac{1}{M_z} \beta_4 k_{11} k_{21} z y \\ M_t^2 \frac{d^2 z}{dt^2} + k_{51} k_{61} k_{71} z &= 0. \end{aligned}$$

Приравнявая коэфф. этих ур-ний и исходных, находим:

$$\frac{k_{12} k_{21} k_{31}}{M_t^2} = \frac{\omega^2}{4} a; \quad \frac{1}{M_z} \beta_4 \frac{k_{21} k_{11}}{M_t^2} = 1; \quad \frac{k_{51} k_{61} k_{71}}{M_t^2} = \omega^2.$$

В этих соотношениях число неизвестных превышает число ур-ний, однако возможность произвольного выбора части коэфф. передачи ограничивается необходимостью обеспечить изменение машинных переменных внутри линейного диапазона решающих элементов и сократить погрешность решения. При выборе величин масштабных коэфф. следует стремиться к тому, чтобы решение происходило при наибольшем допустимом уровне напряжений на каждом решающем элементе (в пределах линейного диапазона). Масштаб времени M_t выбирается исходя из постановки задачи и частотных свойств решающих элементов. При работе с элементами реальной аппаратуры, как правило, $M_t = 1$. Для случая переменных

во времени коэфф. заранее определяются их макс. значения, и по этим значениям, положив все $\alpha_k = 1$, выбирают значения коэфф. передачи K_{ij} .

Для определения нач. условий и возмущений пользуются ур-ниями масштабных преобразований переменных и ур-ниями для машинных переменных. Переменные во времени возмущения воспроизводятся в АВМ путем решения вспомогательного дифференц. ур-ния или с помощью вариатора коэфф.

В тех случаях, когда динамич. диапазон изменения машинных переменных по соображениям точности не может быть ограничен динамич. диапазоном АВМ, приходится применять искусств. приемы: а) разбиение всего интервала изменения переменных на поддиапазоны и осуществление автоматич. перехода с одного диапазона на др. с изменением масштаба представления исходных переменных; б) преобразование ур-ний к логарифмич. масштабу представления исходных переменных.

При исследовании с помощью АВМ неустойчивых динамич. систем обычными методами погрешность решения может со временем достичь недопустимых значений. В этих случаях используется предварт. преобразование исходных переменных: $x_n = e^{-\lambda t} x$, где x — исходная переменная, x_n — преобразованная переменная, а параметр λ выбирается из условия обеспечения устойчивости новой системы ур-ний [3].

При моделировании устойчивых динамич. систем схема набора на АВМ может оказаться неустойчивой. Одна из причин этого — появление в схеме набора замкнутых контуров с четным числом масштабных или суммирующих решающих блоков при условии, что коэфф. передачи разомкнутого контура ≥ 1 . Появление этих контуров связано с присутствием по крайней мере в одном исходном ур-нии старших производных одного порядка, напр.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} + a_1 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_2 \frac{dx}{dt} - a_3 \frac{dy}{dt} + a_4 x &= 0 \\ \frac{d^2 y}{dt^2} + b_1 \frac{d^2 x}{dt^2} + b_2 \frac{dy}{dt} - b_3 \frac{dx}{dt} + b_4 y &= 0 \end{aligned} \right\}$$

(на рис. 2 такой контур выделен жирной линией). В этих случаях целесообразно перед составлением структурной схемы набора на АВМ в каждом ур-нии исключить путем прямой подстановки одну из старших производных. Неустойчивость также может возникнуть при нечетном числе решающих элементов, образующих замкнутый контур, за счет паразитных параметров этих элементов. В некоторых случаях ее удается устранить при введении дополнит. постоянной времени.

Проверка точности решения и оценка погрешностей осуществляются путем сравнения решения, выдаваемого АВМ, с точным решением, получаемым аналитически или числ. методами (напр., на ЦВМ) для одного из вариантов задачи. Сравнение может производиться как в отдельных точках решения, так и по параметрам решения (частота, затухание, установившееся значение, общая длительность) — см. *Аналоговой вычислительной машины погрешности*. При решении задач с перем. коэфф. удобно проверять отдельные значения коэфф. в фиксированные моменты времени. При решении сложных задач часто

можно ограничиться частичной проверкой решения отдельных ур-ний, входящих в состав исследуемой системы. Перед началом решения рекомендуется проверить правильность функционирования отдельных решаю-

щего теплового баланса химич. реактора, определяет производительность и концентрацию продукта [3]. С помощью АВМ производительность реактора поддерживается постоянной.

Иногда закон управления задается как решение нек-рых вариационных ур-ний, ур-ний динамики, программирования и т. п. В этом случае АВМ решает соответствующие экстремальные задачи, т. е. работает как оптимизатор.

Когда закон управления заранее не определен, а заданы лишь нек-рый критерий оптимальности и соответствующие граничные условия, АВМ применяется в системах поиска оптимального управления. В этих случаях она используется как математическая модель системы (объекта). Существуют 2 типа подобных систем управления. В первом на модели проверяется соответствие процесса критерию оптимальности. Система содержит регулятор, параметры которого перестраиваются в течение процесса с целью его оптимизации. Определение оптимальных параметров регулятора производится на модели системы с помощью подключенного к ней оптимизатора. При этом процедура поиска не влияет на работу объекта. Модель может работать как в натуральном масштабе времени, так и в режиме опережающего анализа. В последнем случае время поиска сокращается.

Несоответствие характеристик модели и системы может устраняться автоматически в процессе работы [4].

В системах второго типа на модели проверяется соответствие процесса заданным граничным условиям. Система строится так, что процесс в ней идет всегда по одной из оптимальных траекторий, а с помощью модели выбирается та из них, которая удовлетворяет граничным условиям. В этом случае модель должна обязательно работать в режиме опережающего анализа (т. е. в ускоренном масштабе времени) и с повторением решений. Данные о состоянии объекта подаются на модель в виде начальных условий. Примером таких систем является предложенное в [5] автоматическое устройство для приземления самолета, где из всех траекторий, удовлетворяющих необходимым условиям оптимальности, выбирается такая, которая приводит в будущем ошибку и скорость ее изменения в нуль. Другой пример — оптимизация химического процесса [6], где из совокупности процессов, удовлетворяющих вариационным уравнениям Эйлера, отыскивается такой, который проходит через заданную точку.

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; 2) Travers R. H., Yochelson S. B., First computer-controlled power system, (I. S. A. Journal), 1957, v. 4, № 10; 3) Tolin E. D. and Fluegel D. A., An analog computer for on-line reactor control, там же, 1959, v. 6, № 10, p. 32—38; 4) Энкман Д. П., Лефкович И., Принципы применения моделей в оптимальных системах управления. Доклад на I Международном конгрессе ИФАК по автоматическому управлению, М., 1960; 5) Chestnut H., Sollecito W. E., Troutman P. H., Predictive-control system application, (Appl. and Ind.), 1961, № 55, p. 128—34;

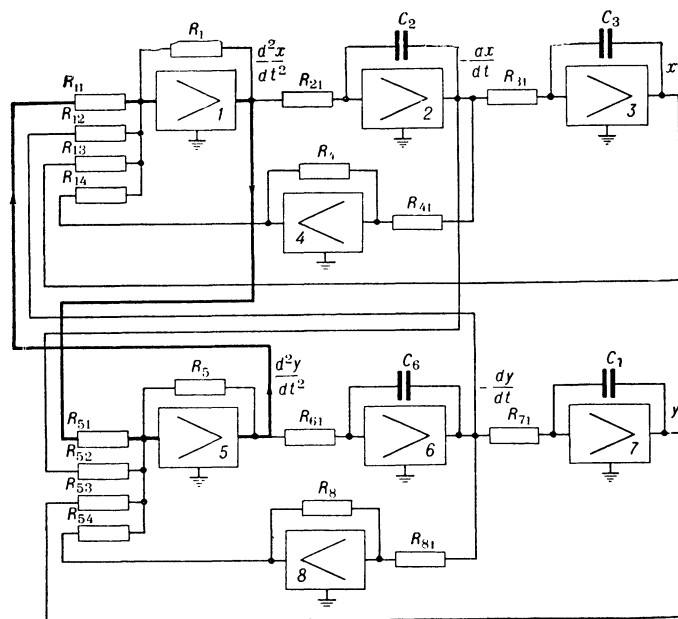


Рис. 2. Структурная схема, иллюстрирующая возможность появления замкнутых контуров с четным числом масштабных и суммирующих блоков.

щих элементов, правильность набора схемы и установленных значений коэфф. передачи отдельных решающих элементов (см. Контроль набора задачи).

Лит.: 1) Коган Б. Я., О способах моделирования дробно-рациональных передаточных функций без помощи дифференцирующих элементов, «Авт», 1960, т. 21, № 1; 2) Егоров, Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, М., 1959; 3) Корн Г. и Корн Т., Электронные моделирующие устройства, пер. с англ., М., 1955. Ф. Е. Транин.

2) Контроль и управление. В системах автоматического управления и контроля АВМ применяются, как правило, для определения или формирования закона управления или для вычисления сводных параметров процессов. В тех случаях, когда задано математическое выражение, определяющее связь сводного параметра или управляющего воздействия с координатами объекта, задача АВМ — решение соответствующего ур-ния. Напр., в оптимальных по быстротой действия системах АВМ реализует соотношение вида $u=f(t, x_1, x_2, \dots, x_n)$, определяемое заранее известной или рассчитанной поверхностью переключения [1]. Результат вычислений может поступать либо через соответствующую логическую схему на исполнительный механизм (замкнутая система), либо к оператору. В последнем случае АВМ работает как информативное устройство, вычисляющее нек-рый сводный параметр. Известны АВМ, определяющие показатели экономичности, эффективности энергетических систем [2]. Те же АВМ могут управлять соответствующими исполнительными механизмами, т. е. служить автоматическими диспетчерами. АВМ подобного типа применяются и в химической промышленности: напр., машина рассчитывает по 14 параметрам про-

6) Eskin D. P., Lefkowitz I., Optimizing control of batch chemical process, «Control Engng.», 1957, v. 4, № 9, p. 197—204. Ф. Б. Гулько.

3) **Опережающий анализ** основан на использовании быстрого действия АВМ. При опережающем анализе технологич. процесса АВМ многократно решает систему ур-ний, описывающую управляемый процесс, используя его текущие хар-ки. При этом АВМ за короткое время «просматривает» большое число вариантов решений, отличающихся величинами параметров, подлежащих изменению при управлении процессом. Значительно опережая ход процесса, АВМ находит те значения параметров, к-рые могут обеспечивать необходимое качество протекания процесса. Найденные машинной значения параметров передаются регулятором, напр. в виде положений их уставок, после чего поиск наилучшего варианта возобновляется. Такая схема управления технологич. процессом является весьма совершенной САР, в к-рой подбор положений уставок регуляторов производится моделированием управляемого процесса без предварит. воздействия на него, но с учетом его фактич. состояния к моменту начала поиска наилучшего режима.

На рис. 3 дана блок-схема АВМ для управления технологич. процессом в режиме опережающего анализа. Электромоделирующая схема (ЭМС) используется для математич.

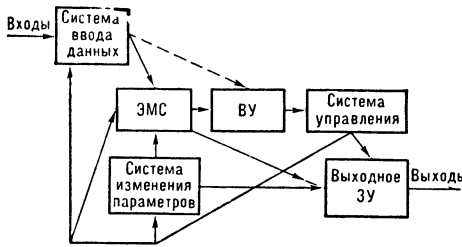


Рис. 3. Блок-схема АВМ для управления технологич. процессом в режиме опережающего анализа.

моделирования в режиме периодизации решения системы дифференц. ур-ний, описывающих управляемый процесс. Значения переменных, определяющих текущие параметры процесса и не подлежащих изменению при управлении последним (неуправляемые переменные), вводятся системой ввода данных. Эта система выполняет операции запоминания текущих параметров процесса на период поиска наилучшего режима.

Выходные величины ЭМС поступают на вычислит. устройство (ВУ), предназнач. для оценки близости получаемого решения условиям протекания наилучшего режима. Система управления работой АВМ в зависимости от получаемых результатов производит изменение соответствующих параметров в схеме математич. моделирования или подбираемых нач. значений переменных т. о., чтобы обеспечить близость выходных величин ЭМС заданным условиям. Выходные величины ЭМС и системы изменения параметров, используемые для изменения положений уставок регуляторов, поступают на выходное ЗУ. Последнее подключает найденные и удовлетворяющие условиям наилучшего режима величины ко входам регуляторов процесса, обеспечивая постоянство этих величин на весь период

последующего цикла поиска наилучшего режима. Общая синхронизация работы всех элементов установки обеспечивается системой управления.

Для выбора наилучшего режима протекания технологич. процесса могут быть также использованы самонастраивающиеся математич. машины, работающие в режиме опережающего анализа. Эти машины работают периодически сменяющимися циклами. В первом цикле машина использует входные и выходные хар-ки регулируемого процесса для определения нек-рых пост. или переменных коэфф. (в отдельных случаях — нелинейных зависимостей) в системе дифференц. ур-ний, описывающей этот процесс. В результате обеспечивается макс. приближение моделируемого процесса к реальному, осн. параметры к-рого могут изменяться в силу различного рода причин. Второй цикл работы самонастраивающейся машины используется для отыскания наилучшего варианта протекания процесса. Одна машина в ряде случаев может быть применена для управления работой нек. однотипных технологич. систем.

Создание АВМ, работающих в режиме опережающего анализа, может идти по пути построения: 1) машин-советчиков, входные данные для к-рых вводятся автоматически или оператором, использующим результаты получ. на машине расчетов для ручного или полуавтоматич. управления процессом; 2) управляющих машин, автоматически учитывающих текущие хар-ки управляемого процесса и осуществляющих управление им по оптим. показателям.

И. М. Витенберг.

4) **Решение вариационных задач.** Аналоговые устройства можно использовать для автоматич. синтеза оптим. систем при применении дополнит. аппаратуры, к-рая также является в осн. аналоговой и включает в себя многоканальные автоматич. оптимизаторы, универс. нелинейные преобразователи, управляемые линейные фильтры и др. (см. *Синтез автоматический*). Задача автоматич. синтеза оптим. системы всегда может быть сведена к решению нек-рой вариацион. задачи:

$$Q = f(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) \rightarrow \min,$$

где Q — критерий оптимальности — ф-ция или функционал от ряда параметров x_1, \dots, x_n , оптим. комбинацию к-рых необходимо подобрать. Часто при решении задачи ставятся дополнит. ограничения типа неравенств $H_j = \psi_j(x_1, \dots, x_n) \leq 0; j=1, \dots, m$, где число ограничений m не зависит от числа переменных n . В этом случае задача сводится к определению условного экстремума. Структура функционалов Q и H_j , а также выбор параметров x_i зависят от условий конкретной задачи. Напр., при решении задачи определения наилучшей аппроксимации, заданной на интервале Ω_x ф-ции $f(x)$ с помощью функции $*f(x)$, принадлежащей данному классу, критерием близости обеих ф-ций могут быть функционалы:

$$Q_1 = \max |f(x) - *f(x)|; x \in \Omega_x,$$

$$Q_2 = \int_{\Omega_x} |f(x) - *f(x)| dx,$$

$$Q_3 = \int_{\Omega_x} [f(x) - *f(x)]^2 dx.$$

При этом ф-ции $*f(x)$ могут быть из класса

кусочно-пост. или кусочно-линейных ф-ций с заданным числом элементарных интервалов Δx , на к-рые разбивается интервал Ω_x задания ф-ции. В качестве переменных x_i могут быть значения ординат $*f(x)$ в конце каждого элементарного интервала, причем число переменных определится числом интервалов разбиения. Дополнительно в качестве переменных можно брать длины элементарных интервалов или абсциссы $x_i (i=0, 1, \dots, n)$ их концов. Тогда ограничениями могут служить условия $x_i - x_{i+1} \leq 0$.

Рассматриваемая задача набирается на АВМ, часть блоков к-рой используется для вычисления критерия оптимальности Q и ограничений H_j . При этом предусматривается возможность изменения регулируемых параметров x_i извне с помощью спец. вариаторов. Т. о., x_i являются управляющими воздействиями, от к-рых зависят величины Q и H_j .

Оптимальная комбинация x_i подбирается спец. устройством — автоматич. оптимизатором, на вход к-рого подаются Q и H_j , а выходные сигналы играют роль управляющих воздействий x_i для моделирующей установки. Под воздействием тактовых импульсов электронная модель начинает периодически повторять решение задачи, причем автоматич. оптимизатор от цикла к циклу постепенно изменяет x_i так, чтобы получить миним. значение Q при заданных ограничениях.

Время решения задачи зависит от ее характера, быстродействия модели, используемого метода поиска и предварит. знаний о расположении района экстремума. Число тактов (итераций) может колебаться от неск. десятков для простых задач до неск. тысяч для сложных. Поэтому для медл. моделей (не быстрее, чем одно решение в сек.) длительность решения может составить неск. часов. Наилучшие результаты получают, применяя спец. комплекс аппаратуры автоматич. синтеза, включающий в себя многоканальный автоматич. оптимизатор, управляемый линейный фильтр, универс. нелинейные преобразователи с одним или с двумя входами, ЗУ, к-рое позволяет с помощью разделения переменных на группы (число переменных в группе не более числа каналов автоматич. оптимизатора) решать задачи с многими переменными. При этом во время оптимизации по очередной группе переменных значения остальных переменных остаются равными их значениям, найденным в предыдущих циклах поиска.

Лит.: Стаховский Р. И. [и др.], Автоматические оптимизаторы и их применение для решения вариационных задач и автоматического синтеза, в кн.: Труды I Международного конгресса международной федерации по автоматическому управлению, [т. 4], М., 1961; Фицнер Л. Н., Автоматическая оптимизация пространственного распределения, ч. 3, «Авт», 1961, № 8.

5) Решение задач статистической динамики. Реальные автоматич. и автоматизир. системы работают в условиях воздействия внешних и внутр. помех. Поэтому ур-ния динамики таких систем содержат случайные параметры и случайные ф-ции, представляющие собой заданные помехи. Рассмотрим систему, динамика к-рой описывается ур-ниями вида:

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t, \Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m) \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n — обобщенные координаты исследуемой системы; f_1, f_2, \dots, f_n — неслучайные

ф-ции; $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m$ — случайные параметры и ф-ции (помехи).

Не нарушая общности, можно предположить, что нач. условия $x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0$ включены в состав величин Φ_j , а ср. значения величин Φ_j равны нулю. Все случайные ф-ции Φ_j можно предварительно разложить в к.-л. сходящиеся ряды, в к-рых случайными будут только коэфф. разложения V_j . Тогда в правых частях ур-ния (1) будут фигурировать только случайные параметры V_j , и система (1) примет вид:

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t, V_1, V_2, \dots, V_m) \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (2)$$

Для решения ур-ний (1) и (2) наряду с цифровыми машинами успешно применяются АВМ. Методика использования АВМ зависит гл. обр. от формы, в к-рой заданы помехи. Случайные ф-ции Φ_j и параметры V_j могут быть заданы: в виде множества реализаций Φ_{js} и V_{js} ; с помощью многомерных законов распределения P_Φ и P_V ; с помощью моментов связи K_Φ и K_V . В результате вычислений на машине требуется получить либо закон распределения P_x обобщенных координат $x_i (i=1, 2, \dots, n)$, либо отдельные его хар-ки M_x , в качестве к-рых обычно выбирают ср. значения x_i и корреляц. ф-ции K_x координат. В принципе для решения поставл. задач с помощью АВМ могут быть использованы обычные алгоритмы для вычисления хар-к x_i и K_x , полученные в статистич. динамике управляемых систем. Однако в целях уменьшения затрат времени для определения P_x и M_x при работе на машинах стремятся использовать такие алгоритмы, к-рые позволили бы применить системы (1) и (2), а не к.-л. др. сложные ур-ния.

Наибольшее распространение имеют два подобных алгоритма: 1) получение ф-ций P_x и M_x по множеству реализаций случайных ф-ций Φ_j или параметров V_j (Монте-Карло метод). Случайные ф-ции и параметры вводятся в АВМ от спец. генераторов. При вводе каждой реализации Φ_{js} и V_{js} на выходе машины получают реализации координат x_i , множество к-рых далее подвергается статистич. обработке. В результате определяются ф-ции P_x и M_x ; 2) получение моментов связи для координат x_i по заданным моментам связи для ф-ций Φ_j или параметров V_j . Задача в этом случае решается выбором спец. неслучайных реализаций Φ_j или значений V_j (эквивалентных возмущений), по к-рым далее легко определяются искомые характеристики x_i . В данном случае особенно удобно пользоваться ур-нием (2). Если предположить, что зависимость координат x_i от параметров можно представить полиномом, что практически обычно имеет место, то можно построить ряд удобных алгоритмов для вычисления хар-к x_i и K_x на АВМ. Так, напр., полагая, что для аппроксимации зависимости x_i от V_j достаточно взять полином 3-й степени и что величины V_j подчинены симметричным законам распределения и не связаны, получаем таблицу неслучайных значений величин. Величины σ_j — ср. квадратичные отклонения для параметров V_j . Проведя $2m$ интегрирование системы (2), подставляя при каждом из них вместо случайных параметров V_j их значения, взятые из табл., получим $2m$ ф-ций $x_{is} (s=1, 2, \dots, 2m)$. Искомое математич. ожи-

№ интег- риро- вания	Величина						Ре- зуль- тат
	V_1	V_2	V_3	...	V_m		
1	$\sigma_1 V_m$	0	0	...	0		x_{i1}
2	$-\sigma_1 V_m$	0	0	...	0		x_{i2}
3	0	$\sigma_2 V_m$	0	...	0		x_{i3}
4	0	$-\sigma_2 V_m$	0	...	0		x_{i4}
...
$2m-1$	0	0	0	...	$\sigma_m V_m$	$x_{i(2m-1)}$	
$2m$	0	0	0	...	$-\sigma_m V_m$	x_{i2m}	

данные x_i определяется по ф-ле $x_i = \frac{\sum_{s=1}^{2m} x_{is}}{2m}$.

Аналогично определяются и высшие моменты для координат x_i .

При небольшом числе величин V_j 2-й метод дает существ. выигрыш по объему вычислений сравнительно с методом Монте-Карло.

Б. Г. Доступов.

6) Решение интегральных уравнений. Интегр. ур-ния решаются на АВМ, предназначен. для решения обыкновенных дифференц. ур-ний, с помощью спец. приставки, а также на спец. АВМ для решения интегр. ур-ний [1,2].

Интегр. ур-ние имеет след. вид:

$$y(x) + \lambda \int_a^b K(x, s) y(s) ds = f(x);$$

$$a \leq s, x \leq b, \quad (1)$$

где $K(x, s)$ — ядро ур-ния — заданная ф-ция двух аргументов; $f(x)$ — правая часть ур-ния — заданная ф-ция; λ — собств. число; $y(x)$ — искомая ф-ция (решение ур-ния).

Ур-ние (1) наз. ур-нием 2-го рода. Если $y(x)$ находится только под знаком интеграла, имеем интегр. ур-ние 1-го рода. В случае пост. верхнего предела интегрирования имеем интегр. ур-ние, наз. ур-нием Фредгольма, в противном случае — ур-нием Вольтерра.

Нек-рые задачи анализа и синтеза автоматич. систем приводят к необходимости решения интегр. ур-ний. Напр., определение динамич. хар-к объектов автоматизации в процессе их норм. эксплуатации сводится к решению след. интегр. ур-ния Фредгольма 1-го рода:

$$\int_0^\infty R_{xx}(\tau - t) k(t) dt = R_{yx}(\tau),$$

где $R_{xx}(\tau)$ и $R_{yx}(\tau)$ — автокорреляционная и взаимная корреляц. функции воздействий на входе и выходе объекта, $k(t)$ — импульсная переходная ф-ция исследуемого объекта (решение интегр. ур-ния).

Общая идея решения интегр. ур-ний на АВМ состоит в следующем. Одному из независимых переменных в ур-нии (1) (а именно аргументу x) придается ряд дискретных равноотстоящих значений x_1, x_2, \dots, x_n ; $x_1 = a$; $x_n = b$; при этом второй аргумент s непрерывно изменяется в интервале $[a, b]$. Ур-ние (1) принимает вид:

$$y(x_i) = f(x_i) - \lambda \int_a^b K(x_i, s) y(s) ds$$

$$(i = 1, 2, \dots, n). \quad (2)$$

В ур-нии (2) ф-ция двух аргументов — ядро $K(x, s)$ — аппроксимируется семейством ф-ций одного аргумента $K(x_i, s)$, где x_i — параметр. Примем нек-рое значение ф-ции $y(s)$ в правой части ур-ния (2). Тогда, используя типовые блоки АВМ (функцион. преобразователи, множит. устройства и др.), можно вычислить правую часть ур-ния (2) для $i = 1, 2, \dots, n$. При этом ф-ция $y(x_i)$ получается в виде отдельных ординат, число к-рых равно n . Примем кусочно-постоянную аппроксимацию $y(x)$ и введем вычисл. значения $y(x_i)$ под знак интеграла в правой части ур-ния (2). При этом в левой части ур-ния (2) получаются новые значения ф-ции $y(x_i)$. Такая замкнутая схема вычисления позволяет получить $y(x_i)$.

Указанный метод наз. методом последоват. приближений (итеративный метод). Значение $y(s)$, с к-рой начинают процесс, наз. ф-цией нач. приближения; обычно она выбирается тождественно равной нулю. В процессе вычисления выполняется неск. итеративных шагов, каждый из к-рых дает улучшенное значение искомой ф-ции $y(x_i)$ по сравнению с предыдущим шагом. Начиная с нек-рого шага, значения $y(x_i)$ уже не будут изменяться, что говорит о сходимости итеративного процесса.

При решении интегр. ур-ний применяются 2 разновидности итеративного процесса: метод простой итерации [1,3]

$$y(x_i)^{(k)} = f(x_i) - \lambda \int_a^b K(x_i, s) y(s)^{(k-1)} ds,$$

$$(i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

и метод итерации Гаусса—Зейделя [2, 4, 6]

$$y(x_i)^{(k)} = f(x_i) - \lambda \int_a^b K(x_i, s) y(s)^{(k)} ds - \lambda \times$$

$$\times \int_{x+\Delta x}^b K(x_i, s) y(s)^{(k-1)} ds, (i = 1, 2, \dots, n), \quad (4),$$

где верхний индекс означает номер итеративного шага, $\Delta x = \frac{b-a}{2(n-1)}$.

Характерной особенностью итеративных методов является то, что они не всегда приводят к сходящемуся процессу. Так, процессы, описываемые ур-ниями (3) и (4), имеют, вообще говоря, различные области сходимости, которые перекрываются лишь частично. Это следует учитывать при практическом решении интегр. ур-ний.

Для решения интегр. ур-ний по алгоритмам (3) или (4) недостаточно иметь упоминавшиеся типовые блоки; необходимо располагать устройством для запоминания вычисляемых ординат $y(x_i)^{(k)}$ и $y(x_i)^{(k-1)}$. Для этого используются конденсаторы, коммутируемые шаговыми искателями и заряжаемые до напряжения, пропорционального запоминаемой ординате искомой ф-ции [1]. Применяются также спец. ЭЛТ, что позволяет увеличить быстродействие устройства (благодаря отсутствию механич. переключателей) [2,4]. В обоих случаях вычисление производится в режиме периодизации решения.

Лит.: 1) Белова А. И., Витенберг И. М., Глущберг Э. А., Блок регистрации и воспроизведения функций (БРВ) для решения интегральных уравнений, М., 1958; 2) Вальденберг

Ю. С., Колотов Ю. Н., Синтезатор — вычислительная машина для решения интегральных уравнений, М., 1960; 3) Wallman H., An electronic integral-transform computer and the practical solution of integral equations, «J. Franklin Inst.», 1950, v. 250, № 1; 4) Fisher M. E., On the continuous solution of integral equations by an electronic analogue, «Proc. Cambridge Philos. Soc.», 1957, v. 53, pt 1; 5) Васильев В. Г., Автоматическое устройство для решения интегральных уравнений Вольтерра второго ряда с ядром типа $k(t-x)$, «НДВШ. ЭНА», 1958, № 4; 6) Tomovic R., Parezanovic N., Solving integral equations on a repetitive differential analyzer, «IRE Trans. Electronic Comput.», 1960, v. 9, № 4. Ю. С. Вальденберг.

7) Решение конечных уравнений. Существуют 4 различных метода решения конечных уравнений с применением АВМ: метод сканирования, метод минимизаций, итерационный метод и метод аналогий. С помощью этих методов решается следующая задача. Задана система n конечных уравнений от n переменного вида

$$f(x_1, \dots, x_n) = 0 \quad (i=1, \dots, n). \quad (1)$$

Требуется найти все совокупности из n чисел (x_1^*, \dots, x_n^*) , подстановка каждой из которых в систему уравнений (1) обращает эти уравнения в тождества. Если система (1) имеет счетное множество корней, то рассматривается задача об отыскании всех корней в некоторой огранич. области D . Наиболее простым по идее и общим по своим возможностям является метод сканирования, т. е. метод непосредств. обследования n -мерной области D путем изменения переменных x_1, \dots, x_n по некоторому закону. На рис. 4 дана картина последоват. обследования плоской области D . В процессе сканирования ведется наблюдение за значениями ф-ций f_i системы (1). Фиксируются те значения (x_1^*, \dots, x_n^*) , при которых все функции одновременно обращаются в нуль. На основе этого метода строятся специализированные машины по отысканию корней — *корнеискатели*. Точность найденных этим методом значений корней существенно зависит от

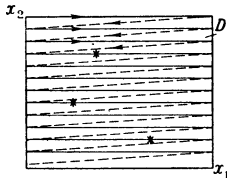


Рис. 4. Отыскание корней ур-ний методом сканирования; * — корни.

Метод сканирования часто используется совместно с методом минимизаций.

Метод минимизаций обеспечивает сходимость переменных x_1, \dots, x_n из нач. точки x_1^0, \dots, x_n^0 , взятой в т. н. области сходимости корня (x_1^*, \dots, x_n^*) , к этому корню. При применении этого метода вся область D оказывается разбившейся на отдельные области притяжения, каждая из которых связана со своим корнем (рис. 5). Задача отыскания всех корней сводится к отысканию всех областей притяжения, что можно осуществить использованием грубого сканирования, т. е. последовательного задания нач. точек 1, 2, 3... в узлах относительно крупной сетки. О др. методах поиска областей притяжения см. в [2]. Движение

координат x_1, \dots, x_n в области притяжения по методу минимизаций обеспечивается след. образом: из ф-ций f_i образуется положительно определенная ф-ция $V = V(f_1, \dots, f_n)$ в виде $V = \sum_{i=1}^n f_i^2$ или $V = \sum_{i=1}^n |f_i|$. Эта ф-ция обращается в нуль только в точках, где $f_1 = f_2 = \dots = f_n = 0$, т. е. в корневых точках. В n -мерном пространстве с координатными осями x_1, \dots, x_n

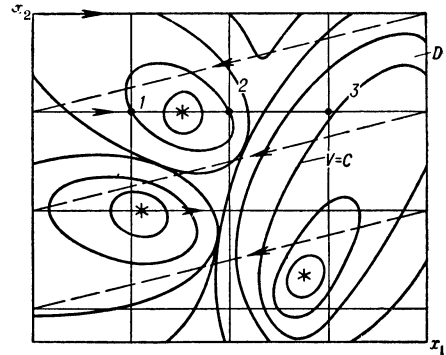


Рис. 5. Отыскание корней методом минимизации совм. с методом сканирования; * — корни.

семейство $V=C$ представляет собой вблизи корня систему замкнутых и вложенных одна в другую поверхностей, образующих область притяжения корня. Т. о., любая корневая точка (x_1^*, \dots, x_n^*) соответствует абс. минимуму функции V , и отыскание корня в области его притяжения может производиться с помощью *оптимизатора*. При отыскании корней с помощью электронной АВМ [2] на машине решается система дифференц. уравнений

$$\frac{dx_i}{dt} = -\frac{\partial V}{\partial x_i} = -2 \sum_{k=1}^n \frac{\partial f_k}{\partial x_i} f_i \quad (i=1, \dots, n),$$

в результате чего при задании нач. условий в области притяжения к-л. корня изображающая точка (x_1, \dots, x_n) с течением времени будет двигаться в направлении, обратном направлению градиента семейства $V=C$. Метод обеспечивает большую скорость сходимости, чем при применении оптимизатора, однако требует некоего увеличения числа функций. блоков.

Методы итераций и аналогий в настоящее время применяются в осн. для решения систем линейных алгебраич. уравнений. Наиболее распространен. итеративными методами являются метод простых итераций и метод итераций по Гауссу—Зейделю. Алгоритм процесса итераций по Гауссу—Зейделю при решении системы уравнений

$$\sum_{k=1}^n a_{ik} x_k + b_i = 0, \quad |a_{ik}| \neq 0 \quad (i=1, \dots, n) \quad (2)$$

сводится к следующему: 1) из 1-го уравнения вычисляется $x_1^{(1)}$ при произвольно заданных $x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$; 2) из 2-го уравнения вычисляется $x_2^{(1)}$ подстановкой в это уравнение вычисл. значений $x_1^{(1)}$ и $x_3^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$; 3) этот прием повторяется для 3-го, 4-го и т. д. уравнений; цикл завершается вычислением $x_n^{(1)}$; 4) из 1-го уравнения находится $x_1^{(2)}$ при

подстановке $x_i = x_i^{(1)}$ ($i=2, \dots, n$). Далее, процесс продолжается по программе 1-го цикла. Значения $x_1^{(j)}, \dots, x_n^{(j)}$ j -того цикла наз. значениями j -того приближения координат корня. Контроль за точностью приближений ведется по значениям невязок:

$$\delta_i = \left| \sum_{k=1}^n a_{ik} x_k + b_i \right| \quad (i=1, \dots, n).$$

Схема набора задачи в точности соответствует приведен. алгоритму вычислений.

Итеративные методы не всегда обеспечивают сходимость процесса итераций. Так, при итерациях по Гауссу—Зейделю процесс сходится при условии, что

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n \left| \frac{a_{ij}}{a_{ji}} \right| < 1.$$

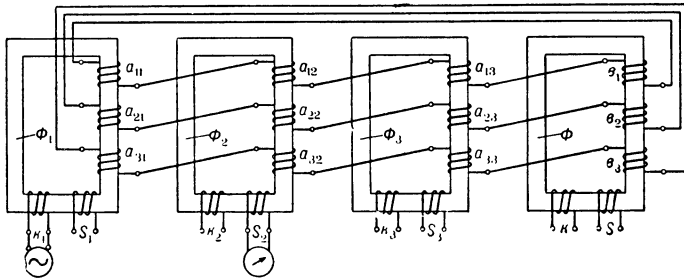


Рис. 6. Трансформаторная схема для решения системы линейных алгебраич. ур-ний по методу аналогий.

Метод аналогий [2] в применении к решению линейных алгебраич. ур-ний заключается в использовании различных электрич., механич. и др. типа цепей, установившийся режим к-рых описывается ур-ниями этого типа. На этом основана, напр., трансформаторная схема Мэллока [2] (рис. 6). При идеальных тр-рах, т. е. при отсутствии потоков рассеяния и нулевых активных сопротивлений обмоток, напряжения на обмотках этой схемы связаны тождествами:

$$\sum_{k=1}^n a_{ik} \Phi_k + b_i \Phi = 0 \quad (i=1, \dots, n), \quad (3)$$

где $a_{ik} \Phi_k$ и $b_i \Phi$ — напряжения, наводимые потоками $\Phi_k \Phi$ в обмотках a_{ik} , b_i соответственно. В этой схеме переменным x_k решаемой системы (2) соответствуют потоки Φ_k . Значения потоков Φ_k определяются в виде пропорцион. напряжений u_k , наводимых ими на обмотках с одинаковым числом витков S_k , пропорциональным коэффициентам a_{ik} , b_i . Возбуждение схемы осуществляется включением источника перем. напряжения на одну из обмоток k_i .

Лит.: 1) Рыбаков М. В., Решение на модели методом градиента алгебраических и трансцендентных уравнений, «Авт.», 1961, т. 22, № 1; 2) Жданов Г. М., Конспект лекций по курсу «Счетно-решающая автоматика», вып. 4 — Вычислительные машины и приборы непрерывного действия, М., 1961.

М. В. Рыбаков.

АНАЛОГОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ УПРАВЛЕНИЕ (control of analog computer; commande de calculatrice analogique; Analogrechnersteuerung) — задание различных режимов работы АВМ, выполнение измерений в различных точках схемы набора и нек-рых вспомогат. операций. АВМ обычно

имеет следующие режимы работы: «возврат», «пуск», «останов» и «периодизация». В режиме «возврат» в схеме, набранной на АВМ, устанавливаются нач. условия задачи. В режиме «пуск» производится решение задачи, т. е. машинные переменные изменяются во времени в соответствии с набранными ур-ниями. Переход на режимы «пуск» и «возврат» осуществляется вручную (нажатием кнопки). В режиме «останов» изменение переменных мгновенно прекращается, и значения их остаются такими, какие имели место в момент перехода с режима «пуск» на режим «останов». Команда на перевод АВМ с «пуска» на «останов» выдается либо вручную, либо автоматически (вырабатывается в самой АВМ). Автоматич. переход на «останов» происходит по истечении заранее заданного интервала времени, для чего в схеме АВМ предусматриваются эталон

времени и задатчик времени. Режим «периодизация» представляет собой непрерывное чередование режимов «возврат» и «пуск», вследствие чего решение набранной задачи периодически повторяется. Длительность режима «пуск» определяется задатчиком времени.

Для того, чтобы осуществлять различные режимы работы в АВМ, необходимо управлять только операц. усилителями-интеграторами. Типичная схема такого управления дана на рисунке (положение контактов соответствует режиму «пуск»). Переход на «останов» происходит при включении реле PO ключом K_1 ; при этом входные сопротивления отключаются от суммирующей точки. В режиме «возврат», помимо реле PO , включается также реле RHY , в результате чего получается схема аperiodич.

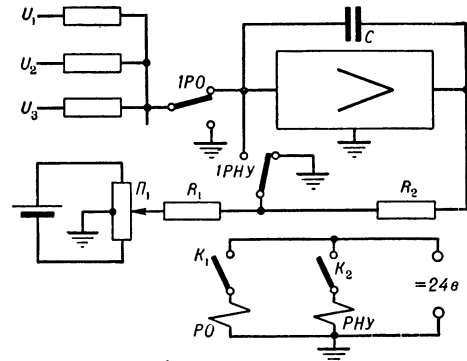


Схема управления операционным усилителем-интегратором.

звена, при к-рой величина и знак напряжения на выходе усилителя определяются потенциометром Π_1 .

Централизован. измерение напряжений в различных точках схемы набора производит с помощью селектора, подключающего измерит. прибор к выходу усилителя или потенциометра, номер к-рого набран на задатчике селектора.

Лит.: Корн Г., Корн Т., Электронные моделирующие устройства, пер. с англ., М., 1955.
Н. Н. Михайлов.

АНАЛОГО-ЦИФРОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА (analog-digital computer; calculatrice mixte analogique et numerique, calculatrice analogique-digitale; kombinierter Analog-Digitalrechner)— см. *Комбинированная вычислительная машина*.

АНОДНАЯ НАГРУЗКА (plate load, anode load; charge d'anode, charge anodique; Anodenbelastung) — сопротивление (активное, индуктивное или комплексное), включенное между анодом лампы и источником анодного питания. В усилит. каскаде, в зависимости от отношения величины сопротивления А. н. R_a к внутреннему сопротивлению лампы R_i , схема может являться усилителем напряжения, тока или мощности. Наибольшее усиление напряжения обеспечивается, если отношение $R_a : R_i \gg 1$; наибольшее усиление мощности — если $R_a : R_i = 1$ и наибольшее усиление тока — если $R_a : R_i \ll 1$.

А. Е. Розинкин.

АНОДНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, АМО (electromachining, sparkover-initiated discharge machining; traitement anodique-

творы солей щелочных металлов (фосфаты, бораты, нитраты, карбонаты и др.).

При черновой АМО сьем металла является результатом теплового воздействия электрич. разрядов, возникающих между изделием (анод) и движущимся токопроводящим инструментом (катод). Электролит (жидкое стекло, реже — суспензия глины) способствует локализации разрядов на малых участках анода (изделия) и удалению из зоны обработки движущимся инструментом (катодом) продуктов эрозии. Материалом инструмента (катада) служат медь, сталь, чугун, латунь, электропроводные абразивы и др. Материалы электронейтральных инструментов — абразивы, резина, дерево, пластмассы. Основные операции, выполняемые при помощи АМО (табл. 1): разрезание, затачивание, долбление, шлифование (чистовое, черновое, отделочное, притирочное), профилирование (точение и др.). АМО наиболее целесообразно применять для обработки твердых сплавов, закаленных углеродистых и низколегирован-

Табл. 1. — Некоторые характеристики анодно-механической обработки

Разновидность АМО	Операция	Электрический режим		Давление при обработке *** (кг/см ²)	Скорость движения инструмента (м/сек)	Съем металла (мм/мин) при площади контакта 1 см ²	Чистота обработанной поверхности по ГОСТу 2789-59
		рабочее напряжение * (в)	плотность ** тока (а/см ²)				
Черновая	Разрезка сталей:						
	дискон	16-25	70-500	0,5-2,0	10-24	2000-6000	▽2-▽4
	лентой	16-25	50-300	0,5-2,0	15-20	3000-7000	▽3-▽5
	Разрезка твердых сплавов диском	16-25	40-150	0,5-2,0	20-25	1000-2000	▽3-▽5
	Шлифование черновое	16-25	8-15	0,5-2,0	20-30	10-30	▽6-▽7
	Долбление полостей	19-25	5-15	0,5-2,0	0,5-2,0	50-250	▽4-▽6
Чистовая	Шлифование:						
	чистовое	14-16	3-7	0,5-1,5	20-30	2-15	▽8-▽10
	отделочное	4-5	0,5-1	0,5-5	0,5-1,0	2-3	▽10-▽12
	притирочное	10-20	0,5-1	1-1,5	30	2-6	▽9-▽11
	Хонингование	3-20	0,1-10	0,25-5	0,5-1,1	0,5-20	▽9-▽11
	Электроабразивное шлифование	12-15	0,5-10	0,5-1,0	20-30	20-25	▽11-▽12

* При расчетной плотности тока на зажимах источника питания. ** Расчетная плотность тока, относительная к торцевой поверхности диска или ленты, непосредственно контактирующей с изделием при рабочем давлении. *** На площадь непосредственного контакта с изделием.

mecanique; Werkstoffabtragen durch anodenmechanisches Trennen).— групповое название двух разновидностей электрической обработки металлов: электрохимической (на чистовых режимах) и электроэрозионной (на черновых режимах). АМО предложена В. Н. Гусевым в 1943. В основе чистовой АМО лежит известный процесс анодного растворения: с обрабатываемого изделия (анода), помещенного в электролит, снимается при прохождении электрич. тока слой металла, пропорциональный количеству электричества (в соответствии с законом Фарадея). Образующиеся на поверхности анода (изделия) продукты растворения, в виде плохопроводящих или непроводящих электрич. ток пленок, удаляются при небольшом усилии движущимся инструментом (металлич. — включенным в цепь тока в качестве катода, либо неметаллич. — электрически нейтральным). Электролитом служат водные растворы технич. силиката натрия (жидкое стекло), реже — рас-

ных сталей, труднообрабатываемых механич. высоколегированных сталей и сплавов (магнитных, кислотоупорных, жаропрочных, быстрорежущих) для вольфрама, молибдена, титана и др. Экономич. эффективность АМО тем выше, чем труднее обрабатывается материал обычными механич. методами и чем он дороже, т. к. отходы при АМО значительно ниже, чем при обработке резанием. Применение АМО сокращает либо исключает расход абразивов, алмазов, инструментальной стали и затраты на изготовление режущего инструмента. Автоматизация АМО способствует повышению качества обработанной поверхности и производительности обработки. В СССР серийно выпускаются станки для АМО (табл. 2).

Лит.: Гусев В. Н., Анодно-механическая обработка металлов, М.—Л., 1952; Кан Б. И., Космачев И. Г., Анодно-механическая чистовая обработка, М.—Л., 1952; Попилов Л. Я., Электрическая и ультразвуковая обработка, М.—Л., 1960; Справочник металлста, т. 4, М., 1958, гл. 5; Лившиц А. Л., Электроэрозионная обработка металлов, М., 1957. Л. Я. Попилов.

Табл. 2. — Характеристика некоторых серийно выпускаемых станков для анодно-механической обработки

Модель	Назначение	Наибольший диаметр разрезаемой заготовки (мм)	Мощность технологическая (квт)	Номинальный рабочий ток (а)	Рабочее напряжение *	Скорость инструмента (м/сек)	Вес станка (кг)
4820	Разрезка	75	4	150	24—26	25	1173
4822	»	300	11	300	22—30	16	3500
4823	»	600	17	600	24—28	16	4800
4ФМ362	Профилирование фасонного инструмента . .	25×40Ø68	1,4	80	18—20	0,2/20	1200

* На зажимах источника питания (генератора, выпрямителя и т. д.) при номинальном токе.

АНОДНЫЙ ПОВТОРИТЕЛЬ (anode follower; amplificateur à couplage anodique; circuit à charge anodique; anodyne, montage à chargé anodique; Anodenfolger, Anodenverstärker, Anodenfolgeschaltung) — электронный усилитель с анодной нагрузкой, охваченный глубокой отрицат. обратной связью, и с коэфф. усиления, равным единице. А. п. применяется в автоматических устройствах в качестве *буферного каскада* и инвертора. Как у любого усилителя с нагрузкой в аноде, у А. п. выходное напряжение находится в противофазе со входным. Схемы А. п. различаются способом подачи отрицат. смещения и сигнала на управляющую сетку лампы или типом лампы (пентод вместо триода). А. п. обладает всеми достоинствами, присущими усилителям с глубокой обратной связью: высокой стабильностью, малым выходным сопротивлением, равномерной частотной хар-кой в области высоких частот.

Лит.: Мамонкин И. Г., Импульсные усилители, М.—Л., 1958; Эрглис К. Э., Степаненко И. П., Электронные усилители, М., 1961.

А. Е. Рогинкин.

АНСАМБЛЬ СООБЩЕНИЙ (set of messages; ensemble des messages; Nachrichtenensemble, Informationsensemble, Meldungsensemble) — множество предназначенных для передачи по каналу связи или хранения в ЗУ сообщений с их вероятностными хар-ками. Множество сообщений могут, напр., составлять: а) последовательности, составленные из элементов нек-рого конечного множества (такими множествами могут быть: совокупность команд «направо», «налево», «стоп»; набор заранее обусловленных текстов и т. п.); б) ф-ции времени $f(t)$, не содержащие частот, выше нек-рой фиксиров. частоты ω . Такие сообщения обычно встречаются в телефонии и радиовещании; в) ф-ции 2 переменных $f(x, y)$. С такими сообщениями имеют дело в фототелеграфии; г) ф-ции 3 переменных $f(x, y, t)$. Множество сообщений, образованное из таких ф-ций, имеет место при передаче телевиз. изображения; д) векторные ф-ции

$$\vec{f}(x, y, t) = [f_1(x, y, t), f_2(x, y, t), f_3(x, y, t)].$$

Этот случай возникает при передаче цветного движущегося изображения. Каждая из составляющих $f_1(x, y, t)$, $f_2(x, y, t)$ и $f_3(x, y, t)$ векторной ф-ции описывает пространственно-временное поведение одного из цветов. Множества сообщений, составленные из последовательностей, называются множествами дискретных сообщений, а состоящие из функций непрерывного аргумента — множествами непрерывных сообщений. Связь между этими множествами вскрывается *Котельникова теоремой*.

Теория информации исходит из представления о том, что сообщение, подлежащее передаче, является неизвестным с полной определенностью на приемном конце. Поэтому последовательности или ф-ции, описывающие сообщения, понимаются как случайные последовательности или ф-ции своих аргументов. В соответствии с этим вводится понятие об А. с. как множестве сообщений с их вероятностными хар-ками. Полное вероятностное описание А. с. в случае множества сообщений, состоящего из конечного числа сообщений, заключается в задании вероятностей отдельных сообщений. В более общем случае полное описание А. с. дается в задании вероятностной меры в функциональном пространстве множества сообщений. Примеры А. с.: а) множество ф-ций $f_k(t)$ при $k=1, 2, \dots, n$, если известно, что вероятность выбора сообщений $f_k(t)$ равна p_k ; б) множество ф-ций

$$f(a_i, t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \frac{\sin \pi (2\omega t - n)}{\pi (2\omega t - n)},$$

где a_i — независимые случайные величины, распределенные по норм. закону с дисперсией σ^2 . Этот А. с. представляет собой белые шумы (см. *Шум белый*), спектр к-рых лежит в полосе частот 0— ω , а ср. мощность равна σ^2 ; в) всевозможные последовательности значений n независимых случайных величин $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$, когда известны ф-ции распределения $F_1(x_1)$, $F_2(x_2), \dots, F_n(x_n)$ этих величин. А. с. наз. стационарным, если при сдвиге всех ф-ций, составляющих множество сообщений, по любому аргументу на нек-рую фиксиров. величину получается тот же А. с. Стационарный А. с. является эргодическим, если среди множества сообщений не существует подмножества с вероятностной мерой, отличной от 0 и 1, к-рое само является стационарным А. с.

Как по технич., так в ряде случаев и по принцип. соображениям полное вероятностное описание А. с. не всегда возможно. Часто известны лишь нек-рые простые или доступные вероятностные хар-ки А. с. Так, напр., относительно ансамбля рус. текстов известны лишь вероятности отдельных букв, вероятности 2- и 3-буквенных сочетаний. Для А. с. телевиз. изображений наиболее изученными являются распределения вероятностей 1, 2 и 3 соседних элементов изображения, а также спектральная плотность сообщения. Чем полнее известны вероятностные свойства А. с., тем более эффективные способы передачи этого А. с. могут быть предложены. Поэтому изучение вероятностных свойств (статистики) А. с. является важной задачей.

Лит.: Шэннон К., Статистическая теория передачи электрических сообщений, в кн.: Теория пе-

передачи электрических сигналов при наличии помех. Сб. переводов, М., 1953; Хинчин А. Я., Об основных теоремах теории информации, «УМН», 1956, т. 11, вып. 1; Колмогоров А. Н., Теория передачи информации, М., 1956. Б. С. Цыбаков.

АНТЕННА (antenna; antenne, aërien; Antenne) — устройство для преобразования энергии токов высокой частоты в энергию электромагнитного поля (радиоволн) и обратно, т. е. для излучения и приема радиоволн. Согласно принципу взаимности, любая А. характеризуется одними и теми же параметрами при работе как на передачу, так и на прием. Однако на практике приемные и передающие А. иногда имеют значительные конструктивные отличия, объясняемые специфич. условиями работы: малыми уровнями мощности сигналов в приемных А., различными требованиями по кд и др.

Основными параметрами, характеризующими любую А., являются ее сопротивление излучения, кд, диаграмма направленности, коэффициент усиления, действующая высота и действующая площадь. При рассмотрении процесса преобразования энергии А. может быть составлена комплексная сопротивлением, состоящим из активной и реактивной частей. Для обеспечения наилучших условий передачи и приема энергии в А. необходимо ее согласовать с передатчиком, т. е. нейтрализовать ее реактивное сопротивление и подобрать ее связь с выходным каскадом передатчика. Коэффициент полезного действия А. определяет потери, возникающие в ней при преобразовании энергии. Он равен отношению мощности P_{Σ} , излучаемой А., к мощности $P_{\text{пер}}$, подведенной к ней от передатчика: $\eta_A = P_{\Sigma}/P_{\text{пер}}$. Диаграмма направленности А. определяет закон распределения в пространстве энергии, излучаемой А. Она дает картину относительного распределения электромагнитного поля вокруг передающей А. Направленные свойства А. численно определяются коэфф. направленного действия, к-рый показывает, во сколько раз мощность, излучаемая А. в данном направлении, превышает мощность, равномерно излучаемую ненаправл. А. при равенстве мощностей, подводимых к обеим А. от передатчика. Для общей хар-ки преобразоват. и направленных свойств А. применяется т. н. коэфф. усиления. Он показывает, во сколько раз необходимо увеличить мощность, подводимую к идеальной ненаправленной А. (с кд, равным единице), по сравнению с реальной направленной, чтобы получить в к.-л. удаленной от А. точке пространства электромагнитное поле с такой же напряженностью. Численно он равен произведению кд А. на ее коэфф. направленного действия. Действующая высота h_d с неравномерным распределением тока по ее высоте h наз. высотой нек-рой воображаемой А. с равномерным по высоте распределением тока, равным его макс. значению в реальной А., и равновеликой площадью тока (площадью фигуры, образованной графиком распределения тока вдоль высоты А.). У всех А. $h_d \leq h$. Понятие «действующая высота» вводится для А., у к-рых высота сравнима с длиной рабочей волны и употребляется для А. диапазонов ДВ, СВ и КВ. Действующая площадь А., имеющей раскрыв (напр., синфазной А., рупорной А., параболической А.), характеризует ее способность улавливать энергию входящих радиоволн. Она связана

с геометрич. размерами А. и определяется как отношение мощности, отдаваемой А. нагрузке, к плотности потока энергии электромагнитных колебаний, облучающих А.

Конструкция А. зависит от рабочей частоты и назначения А. Простейшей А. в диапазонах ДВ, СВ и КВ является одиночный вертикальный провод (штырь). Для большей равномерности распределения тока и увеличения действующей высоты такой А. к верхнему концу провода присоединяется один или неск. горизонтальных проводов. А. такого типа широко распространены под назв. Т-образных и Г-образных А.

Для высококачеств. радиовещания, передачи больших мощностей и получения хорошей частотной характеристики на современных мощных приеме-передающих центрах ДВ, СВ и КВ применяются сложные антенные сооружения, состоящие из системы металлич. мачт и проводов (рис. 1), расположенных на большой площади (антенное поле). К антеннам часто предъявляются дополнит. требования по направленности излучения и приема радиоволн. Простейшие А. ДВ, СВ и КВ излучают во всех направлениях и принимают радиоволны со всех сторон достаточно

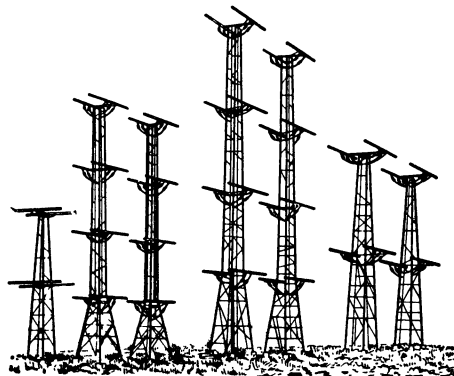


Рис. 1. Антенное поле.

равномерно. Для достижения направленного приема (или передачи) размеры А., как правило, должны быть сравнимы с рабочей длиной волны. Исключение составляют рамочные А., наиболее часто применяемые для направленного приема на ДВ и СВ. Они представляют собой (рис. 2, а) провод, намотанный в виде одного (или ряда) круглых или прямоугольных витков. У рамочной А. наиболее сильный прием имеет место тогда, когда радиостанция лежит в направлении, совпадающем с плоскостью рамки, а наиболее слабый прием — в направлении, перпендикулярном ей. Диаграмма направленности рамочной А. имеет вид восьмерки (рис. 2, б). Рамочная А. обладает низким кд. Ее действующая высота меньше, чем у Г- и Т-образных А. Поэтому

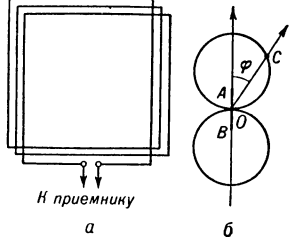


Рис. 2. Рамочная антенна (а) и ее диаграмма направленности (б).

Диаграмма направленности рамочной А. имеет вид восьмерки (рис. 2, б). Рамочная А. обладает низким кд. Ее действующая высота меньше, чем у Г- и Т-образных А. Поэтому

она не используется как передающая, а только как приемная А. с высокочувствит. приемником (напр., в радиопеленгаторах).

В диапазонах КВ и особенно УКВ, где размеры А. становятся небольшими, создание направленных А. упрощается. Простейшая направленная А. — полуволновой вибратор, выполненный из металлич. трубок. Его длина $L = \lambda_0(1 - \Delta\%/100)/2$, где λ_0 — длина волны, $\Delta\%$ — коэфф. укорочения, зависящий от отношения диаметра трубки d к длине волны d/λ_0 . Диаграмма направленности такого вибратора имеет вид восьмерки с нулевым излучением вдоль оси вибратора. Он является основным элементом сложных антенных систем различных типов, представляющих собой набор большого числа вибраторов. Его сопротивление излучения равно примерно 73 ом, а величина коэфф. направленного действия — $5/3$. Примером такой А. является простейшая телевизионная А. Более узкая диаграмма направленности может быть создана А. типа «волновой канал», состоящей из ряда параллельных полуволновых вибраторов (рис. 3, а). Такая А. состоит из одного активного вибратора 1, связанного двухпроводной линией с передатчиком (или приемником), вибратора 2 (рефлектора), расположенного позади активного и действующего подобно зеркалу, и неск. вибраторов 3 (директоров), расположенных в направлении главного излучения (или приема). Их длина делается на 15—20% короче

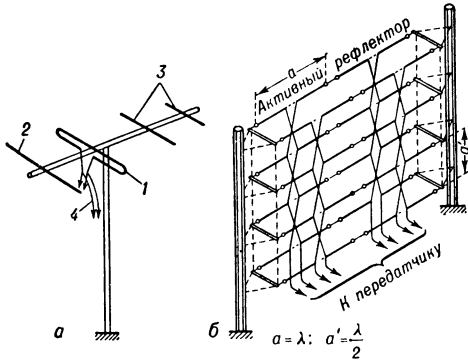


Рис. 3. Многовибраторные антенны: а — типа «волновой канал», б — синфазная антенна.

полуволны. Токи, возбуждаемые в них, приводят к сужению диаграммы направленности А. Обычно число директоров берется от 3 до 10. Коэфф. направленного действия такой А. прикл. равен числу директоров, умноженному на 5. Пример А. этого типа — телевизионная А. коллективного пользования. Более сложной многовибраторной А. является синфазная А. (рис. 3, б). Она состоит из полуволновых вибраторов, расположенных в одной плоскости в один или неск. этажей (рядов) на одинаковом расстоянии друг от друга. Позади вибраторов в синфазной А. устанавливается рефлектор из металлич. сетки. Он служит для получения односторонней диаграммы направленности. Многовибраторные А. широко распространены в диапазоне метровых волн и примыкающей к ним части дециметровых волн.

При дальнейшем укорочении длины волны для создания направленных А. применяется

принцип радиопрожектора. В диапазоне сантиметровых волн основным типом становится параболическая А. — металлич. параболич. зеркало диаметром d , в фокусе которого помещается активный облучатель, напр. полуволновый вибратор (рис. 4, а). При диаметре зеркала, много большем длины волны, такие А. позволяют получать диаграммы направленности шириной в неск. градусов (рис. 4, б) при коэфф. усиления, доходящих до неск. тысяч. А. такого типа широко применяются в аппаратуре радиорелейных линий телеуправления и связи, радиолокац. станциях, радиотелескопах. Диаметр параболич.

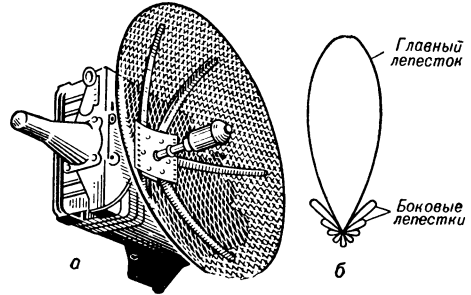


Рис. 4. Параболич. антенна (а) и ее диаграмма направленности (б).

зеркала совр. отечеств. радиотелескопа достигает 22 м, а его вес — 65 т. В совр. радиотелескопах применяются гигантские крестообразные А., в к-рых отражателем служат две крестообразно расположенные линии металлич. мачт с параболич. сетчатыми отражателями. Над отражателем помещаются приемные полуволновые вибраторы. У крестообразной А. радиотелескопа Физич. ин-та АН СССР им. П. Н. Лебедева длина каждой линии мачт достигает 1 км, а высота мачт — 40 м. А. такого радиотелескопа эквивалентна параболич. зеркалу диаметром в 1 км.

В диапазоне сантиметровых волн широко распространены рупорные, линзовые, щелевые и диэлектрич. А. Рупорные А. состоят из прямоугольного рупора, связанного с волноводом. Направленные свойства рупорной А. определяются углами раствора рупора в горизонт. и вертик. плоскостях, а также его длиной. Эти А. часто используются в ка-

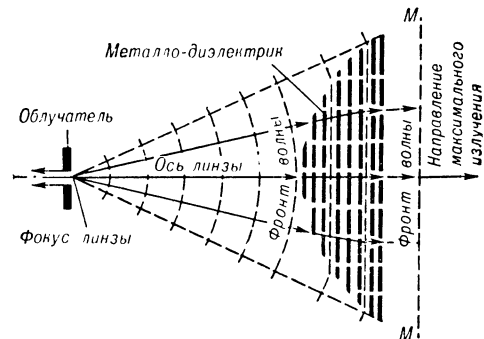


Рис. 5. Линзовая антенна.

честве активного облучателя параболич. А. В линзовых А. (рис. 5) фокусировка радиоволн в узкий направленный пучок про-

изводится при помощи диэлектрич. или метал-лопластинчатой линзы, подобно фокусировке световых лучей оптич. линзой. Принцип работы щелевой А. основан на направленном излучении радиоволн из щелей длиной в полволны, прорезанных в широкой стенке волновода и действующих подобно вибраторам в синфазной А. В диэлектрич. А. излучателем является круглый стержень конусообразной формы из диэлектрика длиной в неск. волн, возбуждаемый у основания. Электромагнитные волны, возникающие в стержне, распространяются вдоль стенок к его концу и излучаются через стенки в окружающее пространство. В связи с возникновением космич. радиосвязи в диапазоне УКВ получили развитие складные телескопич. и зонтичные А. Они устанавливаются на космич. кораблях и искусств. спутниках Земли и раскрываются после их вывода на орбиту. Ведутся работы по созданию надувных А.

Лит.: Пистолькорс А. А., Антенны, М., 1947; Антенны сантиметровых волн, пер. с англ., под ред. Я. Н. Фельда, [Т.] 1—2, М., 1950; Марков Г. Т., Антенны, М.—Л., 1960. Ю. Б. Любченко.

АНТИРЕЗОНАНС (parallel phase resonance, antiresonance; *r  sonance parall  le*, *anti-r  sonance*; Antiresonanz, Stromresonanz, Parallelresonanz, Sperresonanz) — то же, что параллельный резонанс.

АНТИСЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ (antiferroelectrics; antiferroelectriques; Antiferroelektrika) — кристаллы, в к-рых в отсутствие внешнего электрического поля отдельные кристаллич. подрешетки ионов обладают электрич. дипольными моментами, отличными от нуля, но их антипараллельная ориентация дает суммарный дипольный момент элементарной ячейки, равный нулю. А. являются электрич. аналогом антиферромагнетиков. Считается, что дипольные моменты отдельных кристаллич. подрешеток в А. имеют ту же природу, что и в сегнетоэлектриках, и возникают при сдвиге ионов из первонач. положений силами электростатич. диполь-дипольного взаимодействия. Антипараллельные сдвиги ионов обуславливают появление на рентгенограммах А. сверхструктурных рефлексов. А. могут иметь центр симметрии, поэтому пьезоэффект должен отсутствовать. Однако на опыте наблюдаются более сложные, неколлинеарные дипольные конфигурации, вследствие чего нек-рые А. все же обладают пьезоэффектом.

При повышении темп-ры антипараллельное дипольное упорядочение разрушается тепловым движением, и при нек-рой темп-ре происходит фазовый переход 1-го или 2-го рода в параэлектрич. состояние, в к-ром диэлектрич. проницаемость ϵ подчиняется закону Кюри — Вейса: $\epsilon = C/(T - \theta)$, где C — постоянная Кюри — Вейса, θ — темп-ра Кюри — Вейса. Темп-ре фазового перехода соответствуют максимум ϵ и изменение симметрии кристалла; наблюдаются аномалии в температурных зависимостях теплоемкости, теплового расширения, двойного лучепреломления, сопровождающие фазовые переходы 1-го или 2-го рода.

В антисегнетоэлектрич. состоянии, в отличие от сегнетоэлектрич. состояния, не наблюдается петель диэлектрич. гистерезиса, а ϵ при фазовом переходе может не достигать больших значений. При увеличении напряженности электрич. поля темп-ра перехода в параэлектрич. состояние понижается, а ϵ возрастает.

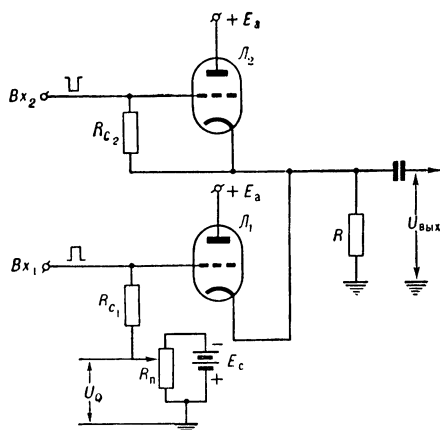
В нек-рых А. сильное электрич. поле вызывает фазовый переход в сегнетоэлектрич. состояние, т. е. вместо антипараллельного возникает параллельное дипольное упорядочение. Сегнетоэлектрич. состояние имеет место также при замещении нек-рых ионов в кристаллич. решетке А. др. ионами. Эти данные свидетельствуют о близости свободных энергий антисегнето- и сегнетоэлектрич. состояния в нек-рых А. Последнее подтверждается теоретич. расчетами величины диполь-дипольного взаимодействия в сегнетоэлектриках и А. со структурой типа перовскита.

К А. относятся, напр., соединения: PbZrO_3 , NaNbO_3 , Pb_2MgWO_6 и др., в к-рых фазовый переход из антисегнето- в параэлектрич. состояние происходит, соответственно, при 230° , 360° и 38° ; к этой же группе кислороднооктаэдрических А. можно отнести WO_3 и др.

Нек-рые твердые растворы на основе А. обладают хорошими диэлектрич. и пьезоэлектрич. свойствами (напр., PbZrO_3 или Pb_2MgWO_6 с PbTiO_3 , NaNbO_3 с KNbO_3 или CdNb_2O_6) и применяются как материалы для керамич. конденсаторов и пьезоэлементов.

Лит.: Смоленский Г. А., «ИАН СССР. Сер. физ.», 1957, т. 21, № 2, с. 233; Смоленский Г. А. и Исупов В. А., в кн.: Полупроводники в науке и технике, т. 2, М.—Л., 1958, гл. 21; Веневцев Ю. Н., Жданов Г. С., «ИАН СССР. Сер. физ.», 1957, т. 21, № 2, с. 275; Смоленский Г. А., Крайник Н. Н., Аграновская А. И., «ФТТ», 1961, т. 3, вып. 3, с. 981; Кенниг В., Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики, М., 1960; Kittel C., «Phys. Rev.», 1951, v. 82, № 5, p. 729; Devonshire A. F., «Advances Phys.», 1954, v. 3, № 10, p. 85; Shirane G., Jona F., Pepinsky R., «Proc. IRE», 1955, v. 43, № 12, p. 1738; Megaw H. D., Ferroelectricity in crystals, L., 1957. Н. Н. Крайник.

АНТИСОВПАДЕНИЙ СХЕМА (anticoincidence circuit; circuit d'anticoincidence; Antikoinzidenzschaltung-System) — устройство, в к-ром при одновременном появлении всех входных сигналов выходной сигнал не появляется; он появляется только при неодновременном их приходе. А. с. используется в различных физич. приборах, в амплитудных



анализаторах и анализаторах ф-ций распределения, в дешифраторах и декодирующих устройствах. В одной из простейших А. с. с двумя входами (рис.) триод L_2 проводит ток, а L_1 заперт за счет отрицат. напряжения смещения. Если на Bx_1 подан положительный импульс, а на Bx_2 нет отрицат. импульса, то L_1 отпирается и на сопротивлении R создается

положит. импульс выходного напряжения. Если же одновременно с подачей положит. импульса на Bx_1 , подан отрицат. импульс на Bx_2 , то увеличение напряжения на сопротивлении R в результате протекания анодного тока лампы L_1 компенсируется уменьшением напряжения за счет уменьшения анодного тока лампы L_2 . В этом случае напряжения на выходе нет. Таким образом, А. с. не вырабатывает выходного сигнала при совпадении двух событий и, наоборот, вырабатывает выходной сигнал при отсутствии совпадения. Подобные схемы могут быть построены на многосеточных лампах, а также на полупроводниковых приборах.

Лит.: Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956. Р. В. Фельдман.

АПЕРИОДИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, цепи [aperiodic circuits; systèmes (circuits) apériodiques; aperiodische Systeme (Ketten)], — системы (цепи), в которых свободные движения имеют лимитационный характер. При отклонении А. с. от положения равновесия координаты, описывающие ее движение, принимают равновесное значение не более одного раза. Этим А. с. существенно отличаются от колебательных систем. Термин «А. с.» строго может применяться только при классификации линейных систем (цепей). В А. с. не могут возбуждаться собств. колебания. Простейшим примером электрич. А. с. являются цепи, содержащие одно активное и одно реактивное сопротивление — RL - и RC -цепи. Процессы в таких цепях описываются дифференц. ур-ниями 1-го порядка. Предельными случаями RL - и RC -цепей являются интегрирующая и дифференцирующая цепочки. RL - и RC -ячейки и их комбинации применяются в качестве фильтрующих цепочек, в цепях фазовой и частотной коррекции и как переходные цепочки между каскадами различных радиотехнич. устройств. При достаточно больших потерях А. с. являются электрич. цепи, процессы в к-рых описываются дифференц. ур-ниями порядка выше первого. Пример такой цепи — колебат. контур электрический, состоящий из последовательно включенных индуктивности L , емкости C и сопротивления R . При превышении активным сопротивлением R некоего критич. значения контур превращается в А. с. — т. н. аperiodич. контур. Дифференц. ур-ние для тока в контуре имеет вид

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dI}{dt} + \frac{1}{LC} I = 0.$$

Решение этого ур-ния показывает, что в общем случае ток I меняется по закону

$$I = e^{-\frac{R}{2L}t} (A_1 e^{\sigma t} + A_2 e^{-\sigma t}),$$

где A_1 и A_2 — постоянные величины, определяемые нач. условиями, t — время, $\alpha = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$. При $\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC}$ α — мнимая величина и процессы в контуре имеют периодич. характер. При $\frac{R^2}{4L^2} \geq \frac{1}{LC}$ или $R \geq 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ ток меняется аperiodически по приведенному выше закону. В этом случае в контуре происходит аperiodич. разряд конденсатора.

Аналогично, в механич. системе, для груза массы m , удерживаемого в положении равновесия пружиной с коэфф. упругости k и испыты-

вающего пропорц. скорости v силу трения $F = bv$, критич. значение коэфф. трения b , при к-ром происходит переход от колебат. к А. с., $b_{кр} = 2\sqrt{mk}$. Увеличение потерь (сопротивления) колебат. системы для предотвращения ее в А. с. применяется, напр., при демпфировании измерит. приборов. Демпфированием широко пользуются как в механич., так и в электрич. колебат. системах. Примерами А. с. механич. типа являются различные амортизац. устройства.

Лит.: Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; Стрелков С. П., Введение в теорию колебаний, М.—Л., 1950. Л. И. Катцов.

АПЕРИОДИЧЕСКИЙ РЕЖИМ (aperiodic regime; régime apériodique; aperiodische Arbeitsweise) — режим работы динамич. системы, при к-ром выходная координата системы монотонно стремится к установившемуся значению (рис. 1) или имеет один экстремум и

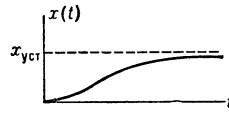


Рис. 1.

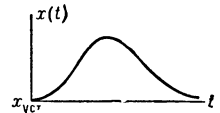


Рис. 2.

не пересекает установившегося значения (рис. 2). А. р. — частный случай динамич. режима.

Особенностью переходных процессов, протекающих в системе, работающей в А. р., является отсутствие колебательности. Система будет работать в А. р., если ее переходная ф-ция устанавливается к установившемуся значению, не пересекая его. Линейная система, описываемая дифференц. ур-нием, будет работать в А. р., если корни ее характеристического ур-ния не имеют мнимых частей.

Л. П. Сисоев.

АПЕРИОДИЧЕСКОЕ ЗВЕНО (aperiodic link; élément apériodique; aperiodisches Glied) — составная часть САР, имеющая передаточную ф-цию вида $W(s) = \frac{k}{Ts+1}$. А. з. называется также инерционным или одноемкостным. В качестве А. з. могут рассматриваться электрич.

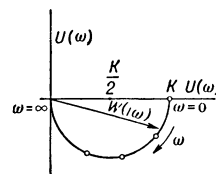


Рис. 1. Амплитудно-фазовая хар-ка устойчивого аperiodического звена.

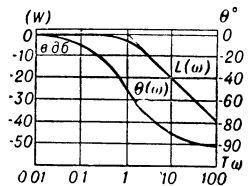


Рис. 2. Логарифмич. частотные хар-ки аperiodического звена.

цепи, составленные из идеальных сопротивлений, емкостей и индуктивностей; тело, погруженное в нагретую жидкость, где входной величиной является темп-ра жидкости, а выходной — темп-ра тела; генератор пост. тока; ряд фотосопротивлений и т. д. В АЗ в качестве инерц. звена используется интегрирующий усилитель с входным сопротивлением $R_{вх}$ и с сопротивлением $R_{обр}$, включенным параллельно конденсатору C в цепи обратной связи.

Передаточный коэфф. k такой схемы составляет $\frac{R_{обр}}{R_{вх}}$, а постоянная времени $T = R_{обр} C$.

Дифференц. ур-ние А. з.: $T \frac{dx_2}{dt} + x_2 = kx_1$, где x_1 — входная величина, x_2 — выходная величина. При $x_1 = 1$ решение дифференц. ур-ния

А. з. примет вид: $h(t) = k \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$, где $h(t)$ — переходная ф-ция А. з.

Амплитудно-фазовая хар-ка А. з.: $W(j\omega) = \frac{k}{Tj\omega + 1} = \frac{k}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}} e^{-\arctg T\omega}$ приведена на рис. 1.

Логарифмич. амплитудная и фазовая хар-ки А. з.: $L(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{T^2\omega^2 + 1}$, $\theta(\omega) = -\arctg T\omega$ даны на рис. 2.

Наряду с устойчивыми встречаются неустойчивые А. з. Их передаточные ф-ции, ур-ния и хар-ки могут быть получены из приведенных выше ф-л путем замены знака у k и T .

В. И. Гурков, И. М. Витенберг.

АППРОКСИМАЦИИ МЕТОД (approximation method; méthode d'approximation; Approximationsmethode) — метод исследования, основанный на приближении к-л. математич. объектов (чисел, функций, фигур и т. п.) более простыми. При вычислении площади сложной фигуры можно ее заменить др. фигурой, составленной из прямоугольников, треугольников и т. д. Необходимо, чтобы получаемая при этом ошибка не превышала заданной величины, определяющей точность измерения. Для исследования сложных ф-ций полезно бывает приблизить их более простыми, напр., многочленами. По теореме Вейерштрасса, любую непрерывную на отрезке $[a, b]$ ф-цию можно с любой точностью приблизить (на том же отрезке) многочленом.

В теории автоматич. управления А. м. используется при исследовании нелинейных объектов и систем. Часто нелинейную систему заменяют более простой для исследования линейной (или кусочно-линейной), к-рая в каком-то смысле была бы близка к истинной нелинейной. Результаты исследования полученной линейной системы переносят затем на нелинейную. Напр., систему дифференц. ур-ний, описывающих поведение исследуемой нелинейной системы, заменяют системой подходящих линейных ур-ний.

Теория точности линейных систем может во многих случаях применяться к исследованию точности систем, содержащих существенно нелинейные элементы, напр. релейные элементы с разрывными хар-ками, элементы с огранич. зоной линейности и т. п. Часто аппроксимируют нелинейную систему также нелинейной, но более простой. Примером использования А. м. является метод *линеаризации статистической* — один из наиболее важных методов анализа широкого класса нелинейных систем, находящихся под действием случайных возмущений.

Для любого сложного математич. объекта всегда можно указать неск. более простых объектов, каждый из к-рых в известном смысле можно рассматривать как объект, аппроксимирующий данный сложный объект. На практике рассматривают не все возможные аппроксимации данного математич. объекта, а ограничиваются лишь нек-рым классом и выбирают в этом классе наилучшую. При этом

внутри каждого класса «наилучшая» аппроксимация определяется с помощью нек-рого критерия; различные критерии дают различные результаты. Напр., при аппроксимации непрерывной на отрезке $[a, b]$ ф-ции $f(x)$ иногда бывает достаточно ограничиться многочленом 1-й степени $ax + b$ (линейной ф-цией). Т. о., класс аппроксимирующих ф-ций — линейные ф-ции. В качестве критерия, определяющего наилучшую аппроксимацию, можно выбрать критерий, обеспечивающий мини-

мум интеграла $\int_a^b [f(x) - (ax + b)]^2 dx$. В качестве др. критерия можно выбрать критерий, обеспечивающий минимум др. интеграла

$\int_a^b |f(x) - (ax + b)| dx$. Этим 2 критериям соответ-

ствуют различные «наилучшие» линейные аппроксимации ф-ции $f(x)$ линейными ф-циями.

Лит.: Ахпезер Н. И., Лекции по теории аппроксимации, М.—Л., 1947; Гончаров В. Л., Теория интерполирования и приближения функций, 2 изд., М., 1954. Е. С. Кочетков.

АРИФМЕТИЧЕСКАЯ ОПЕРАЦИЯ [arithmetic operation (англ.), arithmetical operation (англ.); opération arithmétique; arithmetische Operation, Rechenoperation] — операция, выполняемая над числами. К А. о., выполняемым ЭВМ, относят сложение, вычитание, умножение, деление и извлечение квадратного корня. Последние 2 действия, а также возведение в степень, определение логарифма, тригонометрич. функций и т. п. часто выполняются по стандартным подпрограммам. Осн. операцией ЭВМ является сложение, к к-рому сводятся все А. о. Вычитание заменяется сложением с помощью соотношения $A - B = A + +(-B)$, в к-ром оба числа могут быть представлены прямым, обратным или дополнит. кодами. Умножение сводится к многократному суммированию множимого, деление — к последоват. нахождению цифр частного с помощью сложения и вычитания. Наиболее просто А. о. осуществляется в машинах с фиксиров. запятой, в к-рых, чтобы избежать выхода результата за разрядную сетку, предварительно проводится масштабирование чисел. В машинах с плавающей запятой масштабирование исключается за счет значит. расширения диапазона представления чисел с помощью порядков. Дополнительно в них производятся операции с порядками чисел: при сложении и вычитании — выравнивание порядков со сдвигом мантиссы одного из чисел и коррекция порядка после нормализации результата, при умножении — сложение порядков, при делении — вычитание порядков. Со знаковыми разрядами при сложении и вычитании производятся те же операции, что и с разрядами мантиссы. При умножении и делении знак результата образуется сложением по модулю двух знаков исходных чисел.

Правила выполнения А. о. с двоичными числами значительно проще, чем с числами в др. системах счисления. Это упрощает структуру АУ и повышает скорость счета. Существуют различные модификации А. о., расширяющие возможности ЭВМ. Сложение в машине с плавающей запятой может выполняться с округлением или с блокировкой округления, с нормализацией результата или с блокировкой нормализации результата, ум-

ножение — с выводом удвоенного количества разрядов произведения, а деление — с выводом остатка. Процент тех или иных А. о. может значительно колебаться в зависимости от типа решаемых задач, напр. при научно-технич. расчетах в среднем производится 20—30% сложений — вычитаний, ок. 25% умножений и 2% делений.

Перспективным является представление чисел в системе остаточных классов, что позволяет повысить скорость выполнения А. о. за счет исключения процесса переноса при сложении двух чисел. Широко распространен микропрограммный принцип управления, с помощью к-рого сравнительно просто осуществляются: извлечение корня, возведение в степень, вычисление тригонометрич. функций, а также составные операции, что расширяет состав А. о. и повышает производительность машин.

Лит.: Люстерник Л. А., Решение математических задач на автоматических цифровых машинах, М., 1952. Г. Б. Смирнов.

АРИФМЕТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО, АУ (arithmetic unit; unité arithmétique, opérateur arithmétique; Rechenwerk), — одна из осн. частей вычислит. машины (счетно-решающего прибора), выполняющая арифметич. и логич. операции. В нек-рых случаях АУ может использоваться самостоятельно в качестве суммирующего, умножающего или логич. блока с ограниченным составом операций. Осн. хар-ки и состав АУ зависят от принятой системы счисления, разрядности чисел, требуемого быстродействия, состава операций, формы представления чисел (с фиксированной или плавающей запятой) и типа применяемых схем и связей между ними (потенциальные, импульсные или импульсно-потенциальные).

В зависимости от способа ввода чисел АУ могут быть параллельного, последовательного или смешанного типов. В АУ параллельного действия все разряды одного числа поступают одновременно по каналу емкостью n цифр; действия с кодами чисел производятся также одновременно во всех разрядах. В АУ последоват. действия ввод чисел и операции над ними производятся последовательно разряд за разрядом; обычно АУ такого типа содержит меньше оборудования, чем АУ параллельного действия, но и обладает меньшим быстродействием. В АУ смешанного (параллельно-последовательного) типа разряды чисел могут поступать последовательно, а операции над числами производиться параллельно; возможно разделение кодов на группы, ввод разрядов каждой группы одновременно, а самих групп — последовательно. АУ смешанного типа встречается при использовании двоично-десятичной системы счисления; при этом десятичные разряды (тетрады) подаются в АУ последовательно, а двоичные разряды каждой тетрады — одновременно. Как по количеству элементов, так и по времени выполнения операций АУ смешанного типа занимает промежуточное положение между первыми двумя.

В зависимости от формы представления чисел различают АУ, оперирующие с числами с фиксированной запятой (сов. машины «Урал», «Кристалл», «Погода») и с плавающей запятой (сов. машины «Стрела», БЭСМ). В зависимости от принятой системы счисления различают двоичные, десятичные, двоично-десятичные АУ. Принципиально возможно построить АУ с любым основанием системы счисления, но

это сопряжено с большими технич. и логич. трудностями.

По принципу действия схемы бывают кодово-позиционные (комбинационные) и накапливающие АУ. В кодово-позиц. АУ два числа поступают по разным каналам одновременно или с небольшой задержкой, малой по отношению к длительности сигналов кодов чисел. Результат на выходе появляется практически одновременно с поступлением входных сигналов (если не учитывать задержки в схеме) и зависит только от комбинации входных сигналов. Такое АУ не содержит накапливающих элементов. Поэтому результат на выходе сохраняется только при наличии на входах кодов исходных чисел; спец. стирающий сигнал не требуется. Комбинац. схемы имеют обычно потенц. связи между элементами. Для выполнения каждой элементарной операции предназначена отдельная схема.

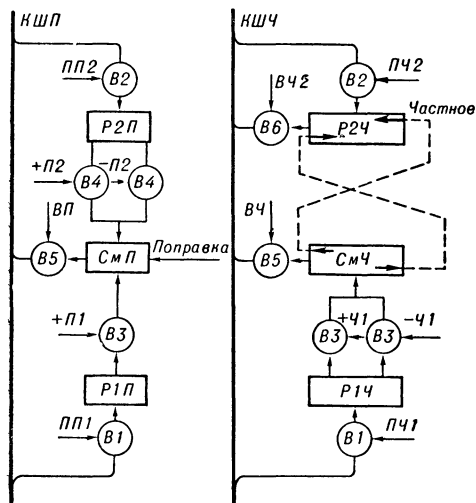
Накапливающие (счетно-импульсные) АУ содержат регистры и сумматор накапливающего типа, обеспечивающие хранение чисел. Исходные числа поступают в устройство последовательно одно за другим. Результат на выходе сохраняется до прихода спец. стирающего сигнала и может выдаваться в любое время после окончания переходных процессов; при этом код результата замещает число, ранее хранившееся в сумматоре. Схемы накапливающих АУ, как правило, имеют импульсные и импульсно-потенц. связи между элементами. Наиболее характерным элементом таких схем является статич. или динамич. триггер. Сочетание в АУ схем накапливающего и комбинац. типов позволяет получить гибкую структуру и высокое быстродействие при оптим. аппаратных затратах. Поэтому такое АУ наиболее распространено.

Любая арифметич. операция разбивается на ряд элементарных операций или микроопераций, выполняемых в различных последовательностях. К микрооперациям относятся: 1) установка в нуль любых разрядов блоков АУ; 2) прием кода числа или отдельного разряда каким-либо блоком; 3) выдача кода; 4) обращение кода, т. е. получение инверсной величины; 5) сдвиг кода в сторону старших или младших разрядов; 6) сложение кодов. Последняя операция, в отличие от алгебраич. сложения, определяет непосредственно процесс сложения кодов двух чисел (мантиис или порядков), начиная с момента приема кода второго числа. Время выполнения элементарной операции сложения является осн. хар-кой сумматора, а время алгебраич. сложения — одной из осн. хар-к АУ. Операция вычитания в АУ накапливающего типа 3-адресной машины с плавающей запятой состоит из след. микроопераций: установка в нуль всех блоков АУ; приемы кодов 1-го и 2-го чисел; обращение порядка 2-го числа; сложение порядков; сдвиг мантиисы меньшего числа вправо на количество разрядов, равное разности порядков; обращение мантиисы 2-го числа; сложение мантиис; сдвиг влево результата на количество разрядов, равное числу нулей справа от запятой, т. е. нормализации результата; коррекция порядка (вычитание поправки) большего числа; выдача результата. В АУ комбинац. типа все эти микрооперации выполняются отдельными схемами, что приводит к большим аппаратным затратам.

Принципы построения и состав АУ. Основным блоком АУ, независимо от принятой системы счисления и принципа действия, является сумматор, к-рый производит непосредственно элементарную операцию сложения. Состав арифметич. и логич. операций и методика их выполнения определяют количество регистров в АУ. В АУ комбинац. типа роль блоков хранения чисел могут играть выходные регистры ЗУ. Регистры и сумматор временно хранят исходные числа, промежуточные и конечные результаты, выполняют вспомогат. операции обращения и сдвига кодов. Количество регистров также определяется составом операций. АУ, содержащее один накапливающий сумматор (аккумулятор), может выполнять сложение и вычитание положит. чисел. АУ, содержащее накапливающий сумматор и один регистр, выполняет алгебраич. сложение и вычитание с учетом знаков; комбинац. сумматор те же операции производит при наличии двух дополнит. регистров для хранения двух слагаемых. Операции умножения и деления может выполнять АУ, состоящее из накапливающего сумматора и двух регистров или комбинац. сумматора и трех регистров. В процессе выполнения этих операций необходимо хранить множимое или делитель, множитель или частное и накапливать сумму частичных произведений или образовывать промежуточные остатки.

В АУ параллельного действия используются статич. регистры на динамич. или статич. триггерах, тогда как в АУ последоват. действия — динамич. регистры (ртутные или магнитострикц. линии задержки, регистры циклич. сдвига на различных элементах).

АУ накапливающего типа, оперирующее с числами с фиксиров. запятой (рис.), состоит из двух частей для раздельного выполнения операций над мантиссой и порядками. Числа поступают в АУ по кодовым шинам числа $KШЧ$



Блок-схема арифметич. устройства параллельного действия.

и кодовым шинам порядка $KШП$, принимаются на регистры $P1$ и $P2$ через входные вентили $B1$ и $B2$ (управляющие сигналы $ПП1$, $ПП2$, $ПП3$). Мантисса первого числа принимается на $P1Ч$, порядок — на $P1П$,

а второго числа — соответственно на $P2Ч$ и $P2П$. Для выполнения операций сложения и вычитания предусмотрена выдача на $СмЧ$ и $СмП$ обратного или прямого кода порядка и мантиссы через вентили $B3$ и $B4$ (управляющие сигналы $+Ч1$, $-Ч1$, $+П2$, $-П2$). Выдача результата с сумматоров в кодовые шины производится через вентили $B5$ (управляющие сигналы $ВП$ и $ВЧ$); через вентили $B6$ выдается с регистра $P2Ч$ частное. Для операций выравнивания порядков, нормализации результата, сдвига в сторону старших или младших порядков на регистрах и сумматоре введены цепи сдвига, условно показанные стрелками. При операциях сложения и вычитания после получения разности порядков меньшее число сдвигается вправо либо на $P2Ч$, если это второе число, либо на $СмЧ$, если это первое число. Операция элементарного сложения производится на $СмЧ$, результат нормализуется сдвигом влево, с вычитанием количества сдвигов из порядка большего числа. Операция умножения сводится к умножению множимого на отдельные разряды множителя, начиная с младших или старших разрядов, и последующему суммированию частных произведений. Если очередная цифра множителя, находящегося на $P2Ч$, равна единице, то множимое передается с $P1Ч$ на $СмЧ$ и прибавляется к сумме частных произведений. Если очередная цифра множителя равна нулю, то передача множимого не производится. После этого сумма частных произведений на $СмЧ$ и множитель на $P2Ч$ сдвигаются на один разряд вправо и процесс повторяется. Младшие разряды произведений могут сдвигаться из $СмЧ$ в освобождающиеся старшие разряды $P2Ч$, тогда на сумматоре образуются старшие n разрядов произведения. Операция деления осуществляется путем прибавления или вычитания кода делителя из кода делимого (остатка), хранящегося на $СмЧ$. Образовавшийся знак остатка определяет очередную цифру частного, к-рая записывается в младший разряд $P2Ч$. Затем содержимое $СмЧ$ и $P2Ч$ сдвигается влево на один разряд, и происходит определение следующей цифры частного и т.д. Т.о., операции умножения и деления состоят из n операций сдвига и сложения, поэтому время их выполнения значительно больше, чем операции сложения. При операциях умножения и деления порядки двух чисел складываются или вычитаются. В АУ с фиксиров. запятой логика выполнения операций упрощается, т.к. там нет операций над порядками.

Логич. операции в АУ осуществляются с помощью дополнит. схем. Некоторые из них — логич. сложение, сравнение, сдвиги, преобразование из параллельного кода в последовательный и обратно — могут выполняться с помощью объединения указ. регистров, порядка и числа в общий регистр. Схема АУ последоват. действия принципиально состоит из тех же блоков, но в ней применяются динамич. регистры с кольцевым сдвигом и одноразрядный сумматор на три числа. Сдвиг в последоват. схемах осуществляет элемент задержки, к-рый временно включается (или выключается) в тракт прохождения данного кода и сдвигает на одну временную позицию весь код. Последовательность выполнения микроопераций, передачу информации между отдельными блоками внутри АУ и связь АУ с др. частями машины осуществляет схема

Характеристики арифметических устройств советских электронных вычислительных машин

Наименование ЭВМ	Форма представления чисел	Система счисления	Разрядность	Количество арифметич. и логич. операций	Принцип действия АУ	Скорость					Аппаратурные затраты (количество ламп)
						Средняя (оп/сек)	Сложения (элемент сложения) (мксек)	Умножения (мксек)	Деления (мксек)	Прочих (мксек)	
БЭСМ	Плавающая	Двоичная	39 разрядов М* — 32 Знак М — 1 П** — 5 Знак П — 1	15	Параллельное, накапливающее, импульсно-потенц.	8—10 тыс.	70—225 (3,5)	240	240	70	ок. 1000
«Стрела»	Плавающая	Двоичная	43 разряда М — 35 Знак М — 1 П — 6 Знак П — 1	15	Параллельное, кодово-позиц., потенц.	2000	500 (150)	500	—	500	ок. 2000
«Урал-1»	Фиксиров.	Двоичная	36 разрядов	15	Последовательно-параллельное, накапливающее, импульсно-потенц.	100	10 ⁴	10 ⁴	4·10 ⁴	10 ⁴	ок. 300
«Урал-2»	Плавающая и фиксиров.	Двоичная	40 разрядов М — 32 Знак М — 1 П — 6 Знак П — 1	22	Параллельное, импульсно-потенц.	5000	8—150 (для фиксированной запятой)	500	800	80	ок. 800
М-2	Плавающая и фиксиров.	Двоичная	34 разряда		Параллельное, импульсно-потенц., накапливающее	3000	300—500	800—1600	1,7×10 ³	300	ок. 500
М-3	Фиксиров.	Двоичная	М — 30 Знак М — 1	30	Параллельное, накапливающее	30 (с магн. барабаном), 1500 (с операцией 3У)	60(15)×10 ³	1,9×10 ⁴	2·10 ³		ок. 350
СЭСМ	Фиксиров.	Двоичная	М — 28 Знак М — 1	2 арифметич. операции	Последоват., регистры динамич. типа	—	1,25×10 ³	17,5×10 ³	—	—	90 ламп 425 ПП диодов

* М — мантисса числа. ** П — порядок числа.

управления. Сравнит. данные АУ отечеств. ЭВМ приведены в табл.

Развитие схем АУ идет по пути увеличения быстродействия (см. *Ускорение операций*), повышения надежности работы и уменьшения габаритов. Разрабатываются новые методы выполнения операций, вводятся системы автоматич. обнаружения и частичного исправления ошибок, внедряются новые элементы, обладающие рядом ценных качеств (полупроводниковые, криогенные, магнитные и пленочные материалы и т. д.).

При выполнении с повышенной скоростью непосредственно арифметич. части нек-рой задачи целесообразно переложить все ф-ции по обработке потока входных — выводных данных (перевод чисел из одной системы счисления в др., преобразование кодов вводимых чисел и команд, выполнение операций с числами произвольной длины и т. д.) на вспомогат. устройство. Применение этого принципа, наряду с использованием транзисторных элементов с рабочей частотой 10 Мгц, позволило получить в машине «Стретч» (США) время сложения с фиксиров. запятой для сверхбыстродействующей параллельной секции 0,2 мксек, с плавающей запятой 0,6 мксек и время умножения 1,2 мксек, а в последоват. секции, предназнач. для обработки данных, время сложения и вычитания 2—3 мксек, время умножения 5—15 мксек.

Лит.: Головистиков П. П., Арифметические устройства универсальных быстродействующих вычислительных машин, в сб.: *Вычислительная техника и ее применение*, под ред. С. А. Лебедева, М.—Л., 1959; Карцев М. А., Арифметические устройства электронных цифровых машин, М., 1958; Хетагуров Я. А., Арифметические устройства вычислительных машин дискретного действия, М., 1961; Лебедев С. А. и Мельников В. А., *Общее описание БЭСМ и методика выполнения операций*, М., 1959; *Кибернетический сборник*, 2. Сб. переводов, М., 1961; Рабинович З. Л., [и др.], *Специализированная электронная счетная машина СЭСМ*, Киев, 1961. Г. Б. Смирнов.

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ (asymptotic methods; méthodes asymptotiques; asymptotische Methoden) — методы построения приближ. решений нелинейных дифференц. ур-ний с малым параметром (характеризующим малое отличие рассматриваемого ур-ния от ур-ния, интеграл к-рого точно известен и в к-рое обращается исходное ур-ние при равенстве малого параметра нулю) в виде формальных, т. н. асимптотич., разложений в ряды по степеням малого параметра. А. м. служат матем. аппаратом исследования нелинейных колебаний, описываемых ур-ниями с малым параметром. Напр., нелинейные колебания, описываемые ур-нием

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = \varepsilon f\left(x, \frac{dx}{dt}\right), \quad (1)$$

где $f(x, \frac{dx}{dt})$ — аналитич. ф-ция от x и $\frac{dx}{dt}$, $\varepsilon > 0$ — малый параметр, к-рые при помо-

щи $A. m.$ определяются в виде разложения

$$x = x_0 + \varepsilon x_1 + \varepsilon^2 x_2 + \dots + \varepsilon^m x_m, \quad (2)$$

причем x_0 — решение ур-ния линейного консервативного вибратора, в к-рое обращается (1) при $\varepsilon=0$.

Основное содержание $A. m.$ составляют способы построения ф-ций x_1, x_2, \dots, x_m , при к-рых разложения вида (2) для любого фиксированного m при $\varepsilon \rightarrow 0$ обладают асимптотич. свойством: при малом ε выражение (2) должно давать достаточно верное представление о точном решении ур-ния для достаточно длит. интервала времени, погрешность m -го приближения должна быть порядка ε^{m+1} . При выполнении требования асимптотичности формальные разложения вида (2), ограничиваемые в практич. расчетах конечным, обычно небольшим, числом членов, дают правильное представление о колебат. явлениях в нелинейных системах, даже если при $m \rightarrow \infty$ эти разложения расходятся.

Трудности построения асимптотич. разложений связаны с тем, что наиболее очевидные пути определения x_1, x_2, \dots, x_m приводят к выражениям, содержащим т. н. вековые, или секулярные, члены: составляющие, пропорциональные времени, вида

$$t^k \sin \alpha t, \quad t^k \cos \alpha t, \quad k = 1, 2, \dots$$

При наличии вековых членов разложение (2), состоящее из конечного числа слагаемых, изображает процесс, непрерывно растущий во времени, и не может дать достоверного представления о колебаниях, имеющих место в системе в течение достаточно длит. промежутка времени. $A. m.$ получили систематич. прикладное развитие и строгое математич. обоснование в трудах сов. ученых Н. М. Крылова и Н. Н. Боголюбова. Эти методы позволяют определить в близких к линейным нелинейным (с потерями) колебат. системах не только установившиеся (периодич. и почти периодич.) движения, но и переходные процессы. В последнем случае отклонение приближенного решения от соответствующего точного (при согласовании начальных условий) ограничивается величиной $\varepsilon^{m+1}t$. Полагая, что при $\varepsilon=0$ ур-ние системы обращается в линейное и имеет решение $x_0 = a \cos \psi$, Крылов и Боголюбов наряду с (2) строят разложения:

$$\frac{da}{dt} = \varepsilon A_1(a) + \varepsilon^2 A_2(a) + \dots + \varepsilon^m A_m(a),$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \omega + \varepsilon B_1(a) + \varepsilon^2 B_2(a) + \dots + \varepsilon^m B_m(a),$$

где $A_i(a)$ и $B_i(a)$, $i=1, 2, \dots, m$ выбираются т. о., чтобы каждое из последовательно определяемых x_i не содержало вековых членов. $A. m.$ Крылова и Боголюбова представляют теоретич. основу широко используемых в автоматике и радиотехнике приближ. методов анализа нелинейных систем, основанных на принципе эквивалентной линеаризации — методов гармонич. и энергетич. балансов.

Лит.: Крылов Н. М., Боголюбов Н. Н., Введение в нелинейную механику. Записки кафедры математической физики, т. 1—2. Киев, 1937; Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А., Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний, М., 1958; Крылов А. Н., Собр. трудов, т. 10 — Вибрация судов, М.—Л., 1948; Бабанов И. М., Теория колебаний, М., 1958.

М. М. Смиркин.

АСИНХРОННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА, цифровая (asynchronous com-

puter; calculatrice asynchrone; asynchrone Rechenanlage, Asynchronrechner), — вычислительная машина дискретного действия, в к-рой начало выполнения каждой операции определяется сигналом, фиксирующим окончание предыдущей операции. В отличие от синхронных вычислит. машин, рабочий такт к-рых для каждой операции имеет постоянную заранее заданную величину, $A. v. m.$ обладают плавающим рабочим тактом, величина к-рого определяется временем выполнения операции и может широко изменяться в зависимости от вида операции и участвующих в ней операндов. В связи с этим длина рабочего такта $A. v. m.$ задается не устройством управления, как это делается в синхронных машинах, а тем устройством, к-рое выполняет данную операцию и вырабатывает сигналы ее окончания. Поскольку работа всех устройств $A. v. m.$, так же как и синхронных, согласовывается с помощью гл. синхронизир. импульсов, то термин «асинхронный» является относительным и означает лишь отсутствие единого централизован. управления количеством синхронизирующих циклов, необходимых для выполнения той или иной операции. $A. v. m.$ обладают большей скоростью вычислений, чем синхронные, т. к. для выполнения каждой операции в них затрачивается минимальное время. Асинхронный принцип позволяет сравнительно просто согласовывать работу устройств с различным быстродействием (напр., электромеханич. и электронных). Кроме того, он обеспечивает нек-рый самоконтроль машины, поскольку в случае невыполнения к-л. операции и неполучения сигнала о ее окончании машина останавливается. Однако $A. v. m.$ конструктивно сложнее синхронных машин, т. к. содержит дополнит. схемы, необходимые для определения моментов окончания операций. Выбор асинхронного принципа оправдан при наличии в составе машины большого количества автономных устройств с различным быстродействием и если требование производительности машины преобладает над требованием схемной простоты. $A. v. m.$ могут быть не только полностью, но и частично асинхронные. В последних асинхронное выполнение применяется лишь для тех операций, продолжительность к-рых существенно больше времени обращения к оперативным ЗУ (умножение, деление, ввод информации в машину и т. д.), а остальные операции, в к-рых осн. время тратится на обращение к оперативным ЗУ, имеют постоянный такт работы.

И. А. Данильченко.

АСТАТИЗМ n -го порядка (astatism of n -order; astatisme d'ordre « n »; astatisches Verhalten der n -Ordnung) — свойство системы автоматич. управления приводить установившуюся ошибку к нулю, если внешнее воздействие изменяется по закону

$$g(t) = g_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_{n-1} t^{n-1}.$$

В случае изменения воздействия по более сложному закону установившаяся ошибка будет зависеть от $n-1$ производных этого воздействия. При указанном виде внешнего воздействия и $a_i = 1/(i-1)!$, ($i=1, 2, \dots, n-1$) установившаяся ошибка

$$\varepsilon_{уст} = \lim_{p \rightarrow 0} [p G(p) \Phi_\varepsilon(p)] = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{\Phi_\varepsilon(p)}{p^{n-1}}, \quad (1)$$

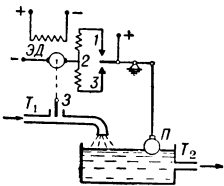
где $G(p)$ — изображение по Лапласу ф-ции

$g(t)$; передаточная ф-ция ошибки $\Phi_e(p) = 1/[1+kW(p)]$. Из (1) можно определить, что $\epsilon_{уст}$ равна нулю, если передаточная ф-ция разомкнутой системы $kW(p) = P(p)/p^n D(p)$, где $P(p)$ и $D(p)$ — многочлены, не имеющие нулевых корней. Отсюда следует, что система обладает А. n -порядка, если $kW(p)$ имеет полюс кратности n .

Наряду с понятием А. системы по отношению к управляющему воздействию существует понятие А. по отношению к возмущающему воздействию. В системах автоматич. стабилизации обычно интересуются А. по отношению к возмущающему воздействию, т. к. управляющее воздействие в них постоянно, за исключением случая перенастройки регуляторов. Для следящих систем, наоборот, наибольший интерес представляет А. по отношению к управляющему воздействию, к-рое должно воспроизводиться возможно точнее.

Ю. С. Попков.

АСТАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (astatic system; système astatique, système sans erreur de position; astatisches System) — САР, в к-рой имеет место астатизм, в общем случае, n -го порядка. В частном случае, в астатич. САР первого порядка, при воздействии, стремящемся с течением времени к некому установившемуся постоянному значению, отклонение регулируемой величины стремится к нулю вне зависимости от величины воздействия. На



Астатическая система регулирования: T_1 — входная труба; Z — задвижка; ЭД — электродвигатель; П — поплавок; T_2 — выходная труба; 1, 2, 3 — верхний, средний и нижний контакты.

рис. представлена схема А. с. регулирования уровня жидкости. При увеличении (уменьшении) расхода поплавок перемещается и замыкает контакт. Двигатель, вращаясь, изменяет положение задвижки, к-рая увеличивает (уменьшает) приток жидкости. В этой схеме установившееся состояние при любом расходе имеет место только для одного значения регулируемой величины — соответствующего нейтральному положению реле.

Одна и та же А. с. может быть статич. по отношению к возмущающему и астатич. по отношению к управляющему воздействию. В системах автоматич. стабилизации, где управляющее воздействие сохраняет постоянную величину, интересуются тем, является ли система астатич. по отношению к возмущающему воздействию, а для следящих систем — по отношению к управляющему воздействию.

Для того чтобы САР являлась астатич. по отношению к управляющему воздействию, передаточная функция ошибки $\Phi_e(s)$ должна иметь нуль k -л. порядка при $s=0$, где s — комплексная переменная. Порядок астатизма системы соответствует порядку нуля $\Phi_e(s)$ при $s=0$.

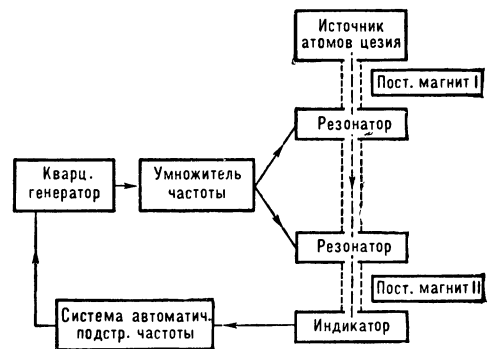
На практике широкое применение получили САР с астатизмом 1-го порядка (позиционные) и с астатизмом 2-го порядка (скоростные) по отношению к управляющим воздействиям. Передаточная ф-ция ошибки $\Phi_e(s)$ А. с. 1-го порядка имеет нуль при $s=0$, т. е. может быть записана в виде $\Phi_e(s) = s \cdot \Phi_{e0}(s)$. У А. с. 2-го порядка передаточная

ф-ция ошибки имеет нуль кратности два при $s=0$, т. е. имеет вид: $\Phi_e(s) = s^2 \Phi_{e0}(s)$. Следовательно, А. с. 1-го порядка не имеет установившейся ошибки при единичном ступенчатом воздействии, а А. с. 2-го порядка не имеет ошибки как при единичном ступенчатом воздействии, так и при воздействии, изменяющемся с пост. скоростью. О. П. Ларичев.

АСТАТИЧЕСКИЙ ПРИБОР [astatic device; appareil astatique; astatisches Gerät (Apparat, Instrument)] — электроизмерительный прибор (электромагнитной или электродинамич. системы), содержащий два измерит. узла, подвижные элементы к-рых повернуты друг относительно друга на 180° и укреплены на одной оси с указателем. Направление тока в неподвижных катушках выбирается таким, чтобы их магнитные поля имели противоположные направления, что дает возможность при идентичности катушек почти полностью уничтожить влияние внешних магнитных полей на показание прибора.

Лит.: Шкурин Г. П., Справочник по электроизмерительным и радиоизмерительным приборам, [2 изд.], М., 1955; Электрические и магнитные измерения. Общий курс, под ред. Е. Г. Шрамкова, Л.—М., 1937; Электрические измерения, под ред. А. В. Фремке, 2 изд., Л.—М., 1954. Г. Г. Ярмольчук.

АТОМНЫЕ ЭТАЛОНЫ ЧАСТОТЫ (atomic frequency standards; étalons de fréquence atomiques; Atomfrequenznormalen) — эталоны частоты, в к-рых применена стабилизация частоты радиочастотного генератора по спектральной линии атомов. В существующих А. э. ч. для стабилизации кварцевого генератора используется спектральная линия магнитной сверхтонкой структуры цезия (длина волны $\lambda=3,26$ см; частота $f=9192$ Мгц). Сигнал от кварцевого генератора поступает на вход умножителя частоты (рис.). Частота



кварцевого генератора и коэфф. умножения подбираются так, чтобы на выходе умножителя частота сигнала была близка к частоте перехода между уровнями сверхтонкой магнитной структуры цезия. Высококачественный сигнал с выхода умножителя поступает в два резонатора, к-рые пронизываются пучком атомов цезия, излучаемых термич. источником. Атомы цезия пересекают зазоры двух пост. магнитов I и II с большими градиентами магнитного поля и фокусируются на индикатор, регистрирующий число падающих атомов. При прохождении пучка цезия через магнитное поле I он расфокусируется на ряд частичных пучков. Если в магнитном поле II градиент поля направлен в противоположную сторону, происходит рефокусировка атомов. В результате взаимодействия ВЧ поля резонаторов с пролетающими через них атомами идет про-

цесс резонансного поглощения: атом цезия поглощает квант энергии частоты f и переходит на более высокий энергетич. уровень. Атом цезия, получивший квант энергии высокочастотного поля в резонаторах, не будет фокусироваться на индикаторе. Наибольшее число взаимодействий атомов цезия с высокочастотным полем произойдет при совпадении частоты поля с частотой перехода сверхтонкой структуры. В этом случае индикатор регистрирует минимум интенсивности пучка. С помощью спец. системы производится автоматическая подстройка частоты кварцевого генератора к минимуму интенсивности пучка. Погрешность А. э. ч. определяется шириной наблюдаемой спектральной линии для используемого перехода, к-рая убывает при увеличении расстояния между резонаторами. В применяемых А. э. ч. это расстояние порядка метра, а достигнутая относит. погрешность частоты составляет $\approx 2 \cdot 10^{-10}$.

Для связи важно иметь возможность улавливать радиоэталон частоты на самолетах, спутниках и космич. кораблях, поэтому большое значение имеет вес эталона в целом. В то время как стационарные установки А. э. ч. громоздки, имеют большие вес и габариты, спец. конструкции современных А. э. ч. весят около 80 кг. В А. э. ч. с пучком атомов цезия при ускорении происходит изменение частоты довольно значительное потому, что скорость атомов цезия в пучке сравнима со скоростями самолетов и спутников. Можно создать др. вид А. э. ч., в к-ром вместо пучка атомов цезия используются пары цезия в смеси с инертными газами при давлении порядка 1 мм рт. ст. В такой системе частота не изменяется при сообщении системе ускорения, в отличие от описанной выше. Однако достигаемая стабильность частоты неск. ниже (составляет неск. единиц в девятом знаке).

А. э. ч. применяются в качестве стандартов частоты, «атомных часов» в системах службы времени и др. С помощью А. э. ч. была установлена и измерена неравномерность вращения Земли.

Лит.: Рамзей Н., Молекулярные пучки, пер. с англ., М., 1960; Essen L., Parry I. V. L.,

«Philos. Trans. Roy. Soc. London A», 1957, v. 250, № 973, p. 45; Mainberger W., Orenberg A., «IRE Nat. Convent. Rec.», 1958, v. 6, pt 1 p. 14—18; McCoubrey W., там же, p. 10—13. В. Б. Брагинский.

АТТЕНУАТОР (attenuator; atténuateur, affaiblisseur; Abschwächer, Attenuator, Messtufe Schwächungsglied) — устройство, позволяющее ослаблять проходящую через него мощность (изменять амплитуду напряжения или тока) в известное число раз. А. иногда называют делителями или ослабителями. А. применяются для постоянного или регулируемого в широких пределах ослабления мощности, поступающей от источника колебаний, а также для развязки электрических цепей между собой, напр. генератора от нагрузки и др. Ослабление, вносимое А., чаще всего выражается в виде отношения мощностей (амплитуд напряжений или токов) на входе и выходе А. и измеряется в децибеллах. В области СВЧ применяются два типа А. В А. первого типа, наз. поглощающими, часть проходящей через А. мощности поглощается активным сопротивлением и превращается в тепло. Такие А. представляют собой отрезок волновода с размещенной в нем пластинкой из диэлектрика с проводящим покрытием. А. второго типа наз. предельными; они основаны на применении отрезков волноводов с размерами меньше критич. для данного типа и длины волны. В таких устройствах, вследствие выбранных поперечных размеров, не происходит волнового процесса передачи энергии, а затухание в этом случае не связано с поглощением энергии. А. могут выполняться как с переменным, так и с постоянным коэфф. ослабления. Т. к. конструирование регулируемых СВЧ А. с макс. величиной ослабления, превышающей 50 дб, затруднительно, применяют последовательное включение неск. А. Для аттенуации низкочастотных напряжений применяются делители напряжений, представляющие собой цепочки последовательно включенных потенциометров на активных сопротивлениях или конденсаторах (емкостные делители). А. получили особенно широкое распространение в радионизмерительной и СВЧ технике.

Ю. Н. Смирнов.

Б

БАЛАНСНЫЕ СХЕМЫ (balanced circuits, balancers; circuits équilibrés; Balanceschaltungen, Gleichgewichtsschaltungen) — схемы, представляющие собой симметричное соединение двух нелинейных четырех- или шестиполусовиков и позволяющие подавлять некоторые нежелательные гармонич. составляющие на выходе схемы. Действие Б. с. основано на нарушении равновесия

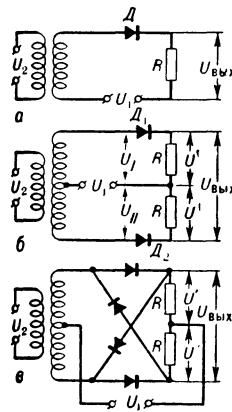


Рис. 1. Умножающие схемы: а — небалансная; б — балансная; в — кольцевая.

таких, как модуляторы или преобразователи. Для умножения двух напряжений U_1 и U_2 необходимо, чтобы они действовали в одной цепи (рис. 1, а), содержащей нелинейный элемент (D) с хар-кой $i=f(U)$, напр. вида: $i = a_0 + a_1 U + a_2 U^2 + a_3 U^3 + \dots$. При этом на выходе цепи появляется напряжение:

$$U_{\text{вых}} = R [a_0 + a_1 (U_1 + U_2) + a_2 (U_1^2 + 2U_1 U_2 + U_2^2) + a_3 (U_1^3 + 3U_1^2 U_2 + 3U_1 U_2^2 + U_2^3) + \dots]$$

Член, содержащий произведение $U_1 U_2$, получается только за счет наличия квадратичного члена в полиноме, описывающем хар-ку нелинейного элемента. Если представить напряжения U_1 и U_2 в виде

$$U_1 = U_{m1} \sin \omega t \text{ и } U_2 = U_{m2} \sin \Omega t,$$

то произведение $U_1 U_2$ даст составляющие двух боковых частот $(\omega - \Omega)$ и $(\omega + \Omega)$. Члены полинома U , U^2 , U^3 и т. д. дают соот-

ветственно 1-ю, 2-ю, 3-ю и т. д. гармоники соответствующих частот, а члены $U^2 U_2$, $U_1 U_2^2$ и т. д. — комбинационные частоты вида $(2\omega \pm \Omega)$ и $(\omega \pm 2\Omega)$. В Б. с. (рис. 1, б) напряжение U_1 подается на нелинейные элементы D_1 и D_2 в фазе. Поэтому при отсутствии напряжения U_2 схема сбалансирована, т. к. токи, протекающие по сопротивлениям R под действием напряжения U_1 , вычитаются и при симметрии схемы $U_{\text{вых}} = 0$. При включении напряжения U_2 , к-рое подается на нелинейные элементы в противофазе, напряжения, действующие на каждом из нелинейных элементов D_1 и D_2 , будут соответственно: $U_I = U_1 + U_2$ и $U_{II} = U_1 - U_2$. При этом баланс схемы нарушается. При действии разбалансировочного напряжения в каждом плече Б. с. появляются выходные напряжения U' и U'' . Выходное напряжение Б. с. представляет собой разность выходных напряжений несимметричных схем, т. е. $U_{\text{вых}} = U' - U''$. Т. о., напряжение на выходе Б. с.:

$$U_{\text{вых}} = 2R [a_1 U_2 + 4a_2 U_1 U_2 + a_3 (3U_1^2 U_2 + U_2^3 + \dots)],$$

из к-рого видно, что при изменении знаков напряжений в плечах Б. с. изменяются соответственно и знаки у некоторых членов общего выражения для выходного напряжения. Составляя разность выходных напряжений плеч Б. с. или беря их отношение, можно устранить некоторые члены в выражении для выходного напряжения. Так, в ур-нии для $U_{\text{вых}}$ Б. с. исключаются все члены полинома, содержащие четные степени U_2 , а четные и нечетные степени U_1 остаются только в произведениях $U_1^2 U_2$, $U_1 U_2^3$ и т. д. Т. о., в Б. с. подавляются: колебание основной частоты напряжения U_1 и его гармоники 2ω , 3ω и т. д. и четные гармоники частоты Ω , вносимой напряжением U_2 . Дальнейшим развитием Б. с. является кольцевая схема (рис. 1, в), к-рая позволяет исключить как четные, так и нечетные гармоники колебаний обеих частот, оставляя в спектре только боковые частоты $(\omega \pm \Omega)$ и комбинационные частоты нечетных гармоник $(\omega \pm 3\Omega)$ (рис. 2).

Применение Б. с. в преобразователях УКВ и СВЧ, когда напряжение гетеродина подается на нелинейные элементы в фазе (напряжение U_1), позволяет значительно уменьшить

в спектре промежуточной частоты составляющие частоты гетеродина, обладающие паразитной шумовой модуляцией, и тем самым уменьшить шум преобразователя. Б. с. частотных дискриминаторов позволяют снизить нелинейные искажения сигнала и уменьшить

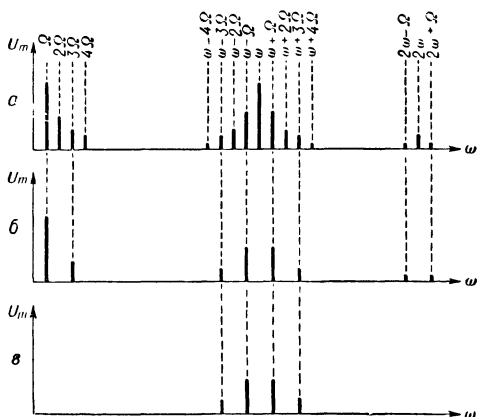


Рис. 2. Спектры умножающих схем: а — небалансной; б — балансной; в — кольцевой.

влияние паразитной амплитудной модуляции по сравнению с небалансной схемой. В двухтактных усилителях и генераторах подавляются четные гармоники основного колебания — 2ω , 4ω и т. д. (см. *Двухтактная схема*).

Лит.: Харкенич А. А., Умножающие схемы, «Р-ка», 1954, т. 9, № 3; Артым А. Д., Теория и методы частотной модуляции, М.—Л., 1961.

Р. В. Фельдман.

БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД (ballistic method; methode balistique; ballistische Methode) — метод измерения малых быстро протекающих количеств электричества (кратковрем. импульсов тока) с помощью спец., т. н. баллистич., гальванометра, обладающего большим моментом инерции подвижной системы. Угол отброса α подвижной рамки гальванометра пропорционален количеству электричества Q , прошедшему через нее, при условии, что длительность импульса τ настолько мала, что рамка практически не успевает двигаться по окончании импульса. Тогда $\int idt = Q = \alpha C_6$, где C_6 — баллистич. постоянная гальванометра. Б. м. применяется гл. обр. при магнитных измерениях, где он является одним из основных методов измерения магнитного потока, напряженности магнитного поля и магнитодвижущей силы (см. *Магнитных измерений методы*), а также для измерения емкостей и исследования диэлектриков. При магнитных измерениях к рамке гальванометра подключается измерит. катушка, при этом: $rQ = -\Delta\psi \cdot 10^{-8}$, т. е. количество электричества Q , протекающее через рамку, пропорционально изменению потоко-сцепления ψ ; здесь r — сопротивление цепи рамки баллистич. гальванометра. Для измерения магнитного потока пост. магнита измерит. катушку с числом витков W_k , надетую на магнит, быстро удаляют с него, при этом

$\Delta\psi = \Phi W_k$ и $\Phi = \frac{rC_6 \cdot 10^8}{W_k} \alpha$. При испытании образцов, подвергающихся намагничиванию током, изменение потока вызывают либо изменением направления тока намагничива-

ния, тогда $\Delta\psi = 2\Phi W_k$ и $\Phi = \frac{rC_6 \cdot 10^8}{W_k} \alpha$, либо отключением источника тока, тогда $\Delta\psi = \Phi W_k$. Для измерения напряженности магнитного поля H используют плоскую калиброванную катушку с известным поперечным сечением S_k и числом витков W_k . Изменяя направление тока либо поворачивая калиброванную катушку на 180° , получают $\Delta\psi = 2HS_k W_k \mu_0$ и $H = \frac{rC_6 \cdot 10^8}{2\mu_0 S_k W_k} \alpha$, где μ_0 — магнитная проницаемость пустоты. Постоянная C_6 находится тарировкой с помощью эталонной взаимоперпендикулярности. Для измерения емкости заряженный до напряжения U конденсатор разряжают через гальванометр и емкость вычисляют по ф-ле $C_x = C_k \alpha / U$, где C_k — баллистич. постоянная при разомкнутой цепи рамки баллистич. гальванометра, определяемая экспериментально через известную емкость C_3 ; напряжение U_3 и отброс α_3 — по ф-ле $C_k = C_3 U_3 / \alpha_3$. Величины C_k и C_3 не равны между собой.

Лит.: Электрические и магнитные измерения. Общий курс, под ред. Е. Г. Шрамкова, Л.—М., 1937; Электрические измерения, под ред. А. В. Фремке, 2 изд., Л.—М., 1954; Курс электрических измерений, под ред. В. Т. Прыткова и А. В. Талицкого, [ч. 1—2], М.—Л., 1960; Кифер И. И. и Пантиш и В. С., Испытания ферромагнитных материалов, М.—Л., 1955. Г. Г. Ярмольчук.

БАРЕТТЕР (barreter; barretter, tube régulateur fer-hydrogène; Barreter, Stabilisierungsröhre, Eisenwasserstoffwiderstand, Eisen-Urdox-Widerstand) — см. *Стабилизатор тока*.

БЕЗРАЗЛИЧНОЕ СОСТОЯНИЕ релейной цепи [«don't care» condition; état indifférent; neutraler Zustand (des Relaiskreises)] — состояние, при к-ром условиями работы всего релейного устройства в целом допускается любое состояние данного выхода. Для записи Б. с. в таблицу состояний применяются особые символы (\sim , ϕ и др.), которые ставятся на местах значений состояний соответствующих элементов. В случаях, когда некоторое состояние элементов устройства является безразличным относительно всех выходов, описываемых таблицей состояний, обычно не записывается вся строка состояний. Б. с. и *неиспользуемые состояния* образуют т. н. «условные» состояния. Их наличие позволяет значительно упростить структуру релейного устройства и облегчает процесс нахождения минимальной структуры по заданной таблице состояний (см. *Минимизация, Синтез релейных устройств*).

Лит.: Гаврилов М. А., Минимизация булевых функций, характеризующих релейные цепи, «Авт», 1959, т. 20, № 9, с. 1217—38. В. Д. Казаков.

БЕСКОНТАКТНЫЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ (contactless control circuit of electro drives with logical elements; montages sans contacts a elements logiques pour la commutation de commandes électriques; kontaktlose mit logischen Elementen bestückte Steuerschaltungen für elektrische Antriebe) — разновидность бесконтактных систем управления электроприводами (напр., генератор-двигатель система с электромашиным или магнитным усилителем) или с управляемым рутным выпрямителем), в к-рой все функциональные зависимости и блокировки в цепях управления осуществляются с помощью логич. элементов без электромагнитных реле и контакторов. Применяются гл. обр. в системах автоматизир.

электропривода и в системах автоматич. управления производств. процессами. Схемы управления на логич. элементах обеспечивают высокую надежность, малые габариты и вес систем управления электроприводами. Для ориентировочных сравнит. расчетов можно принимать, что в среднем 5 элементарных логич. ячеек заменяют одно реле или контактор в схемах управления. Логич. элементы представляют собой триггеры с неск. входами. В качестве триггерного элемента используются ферриты с прямоугольной петлей гистерезиса, реже безнакальные тиратроны, транзисторы или диоды. Обычно ферриты применяются в сочетании с транзисторами (феррит-транзисторные логич. элементы) или с диодами (феррит-диодные логич. элементы).

Кроме основных логич. элементов («и», «или», «нет», «запоминание», «задержка времени» и др.), схемы управления на логич. элементах содержат выходные преобразователи, связывающие цепи управления и блокировки с управляющими элементами системы электропривода (электромашиными и магнитными усилителями и т. п.). Выходные преобразователи усиливают маломощные сигналы логич. ячеек на выходе функциональных цепей управления до мощности, достаточной для питания управляющих обмоток электромашиных и магнитных усилителей. Обычно

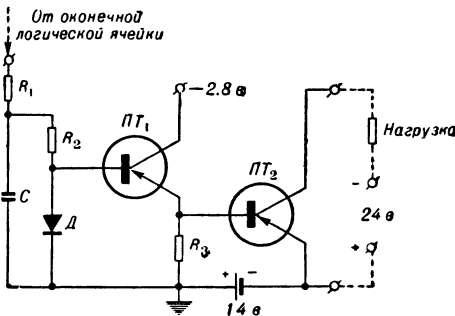


Рис. 1. Выходной преобразователь-усилитель на транзисторах.

выходной преобразователь представляет собой усилитель на транзисторах с мощным выходным каскадом, напр. по схеме рис. 1.

Схема управления на логич. элементах в общем случае (рис. 2) содержит ряд командоаппаратов КА (ручные командоаппараты, путевые и др. автоматич. датчики), воздействующих на логич. схему ЛС (см. Логическая цепь), состоящую из бесконтактных логич. элементов. Логич. схема выдает командные импульсы, к-рые через выходной преобразователь ВП воздействуют на управляющий элемент УЭ

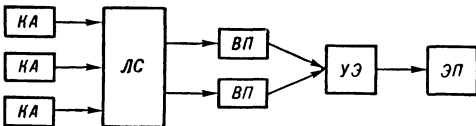


Рис. 2. Блок-схема системы управления на логич. элементах.

(электромашиный или магнитный усилитель, схему зажигания управляемого ртутного выпрямителя) системы электропривода ЭП. Ручные командоаппараты, путевые выключатели и др. механич. командные устройства могут быть бесконтактными, напр. типа ин-

дуктивных либо трансформаторных датчиков с релейной хар-кой.

В связи со спецификой схем выходных преобразователей, имеющих обычно общую заземленную точку, при необходимости реверсирования тока в управляющей обмотке управляющего элемента УЭ вместо известного «реверсивного прямоугольника» (рис. 3, а)

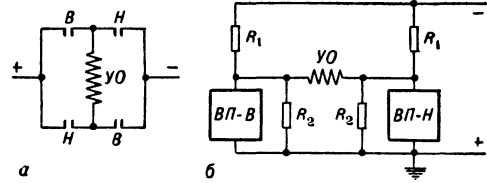


Рис. 3. Схемы включения управляющей обмотки для реверсирования токов в ней: а — при контакторном управлении; б — при бесконтактном управлении и наличии общей заземленной точки.

применяют спец. схемы включения управляющей обмотки УО и ВП (напр., рис. 3, б), где открытое состояние ВП-В соответствует работе привода «вперед», а открытое состояние ВП-Н — работе привода «назад».

В. И. Фейгин.
БИБЛИОТЕКА ПОДПРОГРАММ (subroutines library; bibliothèque de sous-programmes; Programmbibliothek, Programmtheke, Programmsammlung) — коллекция заранее составленных частей программ (т. н. подпрограмм), предназначенных для использования в качестве целых «кусков» при составлении новых программ (см. Библиотечный подпрограмм метод). Б. п., на подпрограммы к-рой наложены жесткие условия, унифицирующие способ применения, наз. библиотекой или системой стандартных подпрограмм. Б. п. ускоряет и облегчает программирование задач определ. классов. Системы стандартных подпрограмм используются при автоматизации программирования. Н. А. Крицкий.

БИБЛИОТЕЧНЫХ ПОДПРОГРАММ МЕТОД (subroutines library method; methode des sous-programmes; Methode der Programmtheke, Programmierungsmethode mittels Befehlsbibliothek) — метод программирования, при котором новая программа строится из заранее заготовленных частей, образующих т. н. библиотеку подпрограмм. При этом вновь программируются лишь те участки программы, к-рые отсутствуют в библиотеке подпрограмм. Б. п. м. обеспечивает использование результатов предыдущего программирования при составлении новых программ. При программировании вручную встречаются след. способы применения подпрограмм. С п о с о б о б ъ е д и н е н и я, при к-ром подпрограммы составлены в буквенно-числовых обозначениях и хранятся на бланках. Новая программа составляется также в буквенно-числовых обозначениях. Объединение подпрограмм и их включение в составляемую программу достигается заменой их букв соответствующими буквами новой программы. После этого производится распределение памяти и присвоение истинных адресов. Способ объединения экономит труд по сравнению с непосредственным программированием, однако неудобен тем, что требует переписывания подпрограмм и переобозначения их буквенно-числовых обозначений, что может сопрово-

даться внесением ошибок. Способ обращения предусматривает размещение каждой подпрограммы в заранее определенных ячейках ЗУ. Во вновь составляемую программу включают команды т. н. обращения к подпрограммам, т. е. команды перехода к ним и возврата от них (см. *Команда возврата*). При этом способе подпрограммы бывают составлены в окончат. виде. Недостатком способа связано с тем, что при достаточном богатстве библиотеки подпрограммы не могут быть рассчитаны на размещение в непересекающихся участках ЗУ, что ограничивает возможность их совм. применения, а также с тем, что вновь составляемые части программы приходится располагать в частях ЗУ, свободных от подпрограмм. Достоинство способа — значит. экономия труда программиста. Способ вызова является видоизмененным способом обращений и отличается от него тем, что подпрограммы записывают во внешних ЗУ, а в составляемой программе предусматривают команды для переноса их в оперативное ЗУ (их «вызова»), а затем для обращения к ним. В составляемой программе можно предусматривать вызов новых программ на место уже использованных. Преимуществом способа вызова перед способом обращений является возможность совместного использования любых подпрограмм библиотеки.

Наибольшее удобство и выгоду дают автоматизированные Б. п. м., существующие в двух разновидностях — *компиляции метод* и *интерпретации метод*. Всякий автоматизированный Б. п. м. предполагает, что используемые в нем подпрограммы являются стандартными, т. е. удовлетворяют определенным требованиям, дающим возможность описать в виде единого алгоритма совокупность действий, необходимых для применения любой из них. Автоматизация Б. п. м. заключается в том, что упомянутый алгоритм представляют в виде программы, с помощью к-рой применение подпрограмм осуществляется самой машиной. При методе компиляции такая программа наз. составляющей, а при методе интерпретации — интерпретирующей.

При методе компиляции новая программа с помощью составляющей программы строится из вновь запрограммированных частей и стандартных подпрограмм (СП). При этом необходима дополнит. информация о способе их объединения. Наибольшая экономия труда программиста достигается, если вновь составляемые части программы строятся по правилам, установленным для СП. Такой метод программирования позволяет постепенно обогащать библиотеку подпрограмм.

При методе интерпретации вместо СП в новую программу включают специальные коды, наз. псевдокомандами. Новую программу вводят в оперативную память машины вместе с интерпретирующей программой, а СП размещают в буферной памяти или во внешних ЗУ машины (напр., на магнитной ленте). При выполнении машиной новой (основной) программы каждый раз, когда встречается псевдокоманда, происходит передача управления интерпретирующей программе (в состав псевдокоманды входит команда перехода к интерпретирующей программе). Интерпретирующая программа с

помощью информации, содержащейся в псевдокоманде, вызывает на определенное место оперативной памяти необходимую подпрограмму, «настраивает» ее нужным образом, формирует в ее конце команду перехода к основной программе и передает ей управление. Так как каждая подпрограмма производит некую «сложную» (по сравнению с основными операциями машины) операцию, то метод интерпретации как бы расширяет систему операций машины. Существуют машины, в к-рых интерпретирующая программа и небольшое количество СП выполнены схемно (напр., «Стрела»).

Н. А. Криничкий.

БИЕНИЯ (beating, beat; battements; Schwebungen, Interferenzschwingungen) — периодич. изменение амплитуды результирующих колебаний, получаемых при сложении двух гармонич. колебаний с близкими частотами (разность частот мала по сравнению с самими частотами). Б. возникают вследствие того, что разность фаз между двумя колебаниями с близкими частотами все время меняется так, что оба колебания в какой-то момент времени оказываются в фазе, через некое время — в противофазе, затем снова в фазе и т. д. В результате сложения амплитуда результирующих колебаний периодически достигает то максимума, равного сумме амплитуд суммируемых колебаний, то минимума, равного разности этих амплитуд. Математич. результат сложения двух синусоидальных колебаний

$$x_1 = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) \quad \text{и} \quad x_2 = A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$$

легко получить, если за начало отсчета времени выбрать момент, когда фазы суммируемых колебаний одинаковы. Тогда

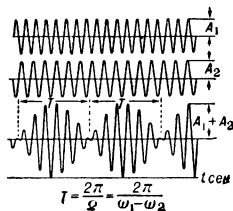
$$\begin{aligned} x &= A_1 \sin \omega_1 t + A_2 \sin \omega_2 t = \\ &= (A_1 + A_2) \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \cdot \sin \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t + \\ &+ (A_1 - A_2) \sin \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \cdot \cos \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t. \end{aligned}$$

Полученный результат соответствует негармонич. колебанию с круговой частотой $(\omega_1 + \omega_2)/2$ и переменной амплитудой A , меняющейся по закону

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(\omega_1 - \omega_2) t}.$$

Разность $\omega_1 - \omega_2 = \Omega$ наз. круговой частотой Б. Пределами изменения A являются значения $A_1 - A_2$ и $A_1 + A_2$ (см. рис.). В частном случае при равенстве амплитуд $A_1 = A_2 = A_0$ и если круговые частоты складываемых колебаний ω_1 и ω_2 достаточно близки, результирующее колебание можно рассматривать как прибл. гармоническое со средней круговой частотой $(\omega_1 + \omega_2)/2$ и амплитудой, медленно меняющейся по гармонич. закону.

Б. наблюдаются в колебат. процессах любой природы. Практически наиболее часто встречаются Б. акустич. и электрические. Акустич. Б. являются результатом сложения звуковых колебаний. Их можно получить, напр., при одновременном звучании двух камертонов,



Сложение двух гармонич. колебаний с близкими частотами.

настроенных на близкие тона. Электрич. Б. получаются в результате сложения колебаний электрич. тока, напряжения или электромагнитных колебаний высокой частоты и широко применяются в радиотехнике, напр. при приеме радиотелеграфных сигналов. В приемном устройстве радиотелеграфный сигнал складывается с колебаниями местного генератора (гетеродина), частота к-рого отличается от радиочастоты сигнала на величину, равную к.-л. звуковой частоте. Б., имеющую звуковую частоту, детектируются, усиливаются и поступают, напр., в телефон. Др. примером применения электрич. Б. является метод нулевых Б. Поскольку частота Б. тем меньше, чем ближе частоты суммируемых колебаний, регистрация Б. позволяет с большой точностью констатировать равенство частот двух колебаний в момент, когда частота Б. падает до нуля (нулевые Б.). Б. наблюдаются также при действии гармонич. силы на линейную колебат. систему (механич., электромагнитную и др.) с малым затуханием, несколько расстроенную относительно внешней силы. В этом случае имеют место Б. между собственными и вынужденными колебаниями системы. В реальных системах этот вид Б. может наблюдаться лишь в течение нек-рого времени непосредственно после момента приложения внешней силы, так как собств. колебания системы из-за наличия потерь (трения) неизбежно затухают. Это время тем больше, чем меньше потери. При действии на систему внешней силы более сложной формы необходимо рассматривать отдельно действие гармонич. составляющих этой силы и воспользоваться *суперпозиции принципом*.

Существенный теоретич. и практич. интерес представляют Б. в колебат. системах со многими, в простейшем случае двумя, степенями свободы. Примером такой системы являются 2 маятника, воздействующие друг на друга через пружину или к.-л. др. образом (связанные маятники). Существует множество практич. задач, решение к-рых сводится к анализу такой модели (напр., связанные системы в радиотехнике). При определенных нач. условиях, напр. при отклонении в нач. момент только 1-го маятника, энергия его колебаний постепенно передается 2-му маятнику, и если маятники одинаковы, то это продолжается до тех пор, пока 1-й маятник практически не останавливается. К этому моменту времени размах колебаний 2-го маятника при малом трении в системе достигает величины, близкой к нач. отклонению 1-го маятника. Затем происходит обратный процесс передачи энергии от 2-го маятника 1-му и т. д. Б. этого типа наблюдаются в тех случаях, когда собств. частоты систем близки. Б. возникают также при параметрич. возбуждении колебат. системы, если частота изменения параметра системы и частота *резонанса параметрического* не одинаковы, но близки.

Лит.: Стрелков С. П., Введение в теорию колебаний, М.—Л., 1950; Стретт Дж. В. (лорд Рэлей), Теория звука, пер. с англ., т. 1, 2 изд., М., 1955; Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959. Л. Н. Канцов.

БИОНИКА (bionics; bionique; Bionik) — раздел *кибернетики*, занимающийся использованием биологич. процессов и приложением биологич. методов для решения инженерных задач. Б. можно определить также как учение о методах создания технич. систем, хар-ки

к-рых приближаются к хар-кам живых организмов. Понятие Б. в широком смысле включает использование опыта живой природы во всех областях техники, однако в первую очередь исследуются вопросы, связанные с перенесением в технику принципов и механизмов ориентировки, восприятия и переработки информации, а также элементов структуры биологич. управляющих систем.

Технические системы, предназначенные для переработки информации (включая и ЦВМ), достигли высокого совершенства и по многим хар-кам (точность и быстродействие) существенно превосходят биологич. системы. В то же время технич. кибернетич. устройствам присущ ряд недостатков: 1) сложность программной реализации свойства приспосабливаемости к непредвид. ситуации; 2) недостаточная надежность. С увеличением сложности задач и соответственным ростом числа элементов надежность снижается; 3) значит. габариты и потребляемые мощности; 4) большая сложность и относительно малые возможности каналов ввода (и отчасти вывода) информации и их недостаточная гибкость.

Преодоление перечисл. недостатков путем совершенствования известных методов логикоматематич. синтеза устройств по заданным технич. условиям возможно, но не всегда достаточно эффективно. Эффективность методов резко падает с усложнением синтезируемых устройств и реализуемых ими функций.

Возможен и другой — бионический — путь дальнейшего развития кибернетич. техники, при к-ром в качестве прообраза для создания сложных кибернетич. систем широко используются принципы организации, функционирования и регуляции, заимствуемые у живых организмов. Целесообразность такого подхода определяется совершенством структуры и функции биологич. организмов, выработавшимся в результате длит. эволюции, высокой надежностью действия физиологич. механизмов и их динамич. приспособляемостью к условиям внешней среды и непрерывно изменяющемуся внутр. состоянию. При этом стремятся не к слепому заимствованию всех хар-к биологич. объектов, а к критич. отбору лишь полезных свойств. Напр., необходимость отдыха всего организма и каждой отдельной клетки для пополнения энергетич. ресурсов, как правило, нецелесообразно моделировать в технич. системах, ибо существующие методы подвода энергии позволяют обеспечить большее быстродействие.

Сложнейшей биологич. системой, выполняющей разнообразные весьма сложные функции управления и переработки информации, является нервная система. Многие особенности функционирования нервной системы и процессов управления в живых организмах определяются структурными особенностями нервных клеток (нейронов), представляющих собой т. н. пороговые элементы, к-рые срабатывают и выдают импульсы возбуждения при поступлении на их входы сигналов, превосходящих по уровню нек-рое пороговое значение. При этом имеет место суммирование в пространстве и во времени сигналов раздражения, поступающих на нейрон через его синаптич. контакты, число к-рых изменяется от неск. единиц до неск. тысяч.

Поэтому одной из составных частей Б., с к-рой началось ее развитие, является разра-

ботка технических моделей нейронов с целью использования их в качестве элементов кибернетич. систем. На рис. 1 представлена существенно упрощенная блок-схема модели нейрона с n входами, на к-рые могут поступать сигналы x_1, x_2, \dots, x_n , принимающие дискретные значения 0 или 1. Эти сигналы воздействуют на нейрон через синаптит. контакты, характеризующиеся весами или синаптит. числами S_1, S_2, \dots, S_n . Когда $\sum_{i=1}^n S_i x_i \geq P$, где P — пороговое значение сигнала раздражения, происходит возбуждение нейрона, и он выдает сигнал $y=1$. Если же приведенное неравенство не удовлетворяется, то $y=0$. Т. о., входные и выходные сигналы в описанной модели несут дискретный характер, а внутр. процессы характеризуются непрерывными значениями величин. Для технич. реализации моделей нейронов используются существующие и разрабатываемые радиоэлектронные элементы.

Другой составной частью Б. является решение проблем по разработке надежных, помехоустойчивых и гибких методов кодирования и хранения информации на основе принципов, заимствованных у живых организмов. Изучение методов кодирования и преобразования информации, реализуемых, напр., в зрительном анализаторе, показывает, что преобразование светового раздражения в сигналы осуществляется по сложной модуляц. характеристике, причем информация об интенсивности

сигнала передается в мозг в виде сигналов об изменениях этой интенсивности. Такой механизм кодирования соответствует т. н. *дельта-модуляции*, когда по каналу связи передаются не абс. значения величины, а лишь сведения об изменении ее амплитуды. Использование подобных заимствованных у живого организма принципов позволяет, напр., в десятки раз сократить ширину полосы канала для передачи телевиз. изображения. Др. примером удивительно экономичной системы кодирования информации является механизм кодирования и хранения наследств. информации в зародышевой клетке, размеры к-рой не превышают десятков $\mu\text{к}$.

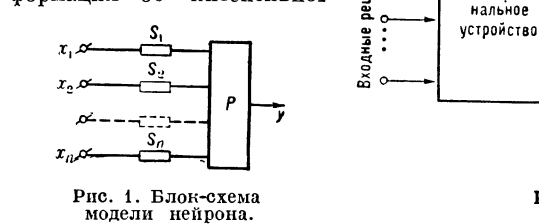


Рис. 1. Блок-схема модели нейрона.

правлении является создание сложных ЗУ совр. вычислит. машин, построенных на иерархич. принципе с разнообразными методами выборки из памяти, в т. ч. и по ассоциативному принципу, когда выбор информации осуществляется не по заданному адресу, а по нек-рым признакам самой информации.

Важными для Б. объектами изучения в живых организмах являются процессы самоорганизации (самонастройки) и обучения. Моделированию, как одному из осн. средств изучения этих процессов, служащих прототипом при разработке сложных кибернетич. систем, всегда уделялось большое внимание. Наиболее известными моделями являются: *гомеостат* Эшби (1948), модель самоорганизующейся системы Фэрли и Кларка (1954), *Уолтера черепаха*, *мышь в Шеннона лабиринте*, программы Оеттингера, Фридберга и Бонгарда, моделирующие процессы обучения. Все эти модели и программы способны имитировать те или иные характерные свойства процессов выработки условных рефлексов, обучения и самоорганизации.

Дальнейшее развитие этого направления, и работы по моделированию нейронных сетей привели к построению целого ряда специальных устройств и программ, способных автоматически осуществлять дифференциацию

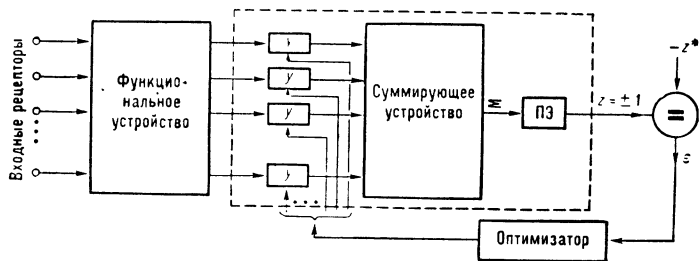


Рис. 2. Блок-схема пандемониума.

сти света передается в мозг в виде сигналов об изменениях этой интенсивности. Такой механизм кодирования соответствует т. н. *дельта-модуляции*, когда по каналу связи передаются не абс. значения величины, а лишь сведения об изменении ее амплитуды. Использование подобных заимствованных у живого организма принципов позволяет, напр., в десятки раз сократить ширину полосы канала для передачи телевиз. изображения. Др. примером удивительно экономичной системы кодирования информации является механизм кодирования и хранения наследств. информации в зародышевой клетке, размеры к-рой не превышают десятков $\mu\text{к}$.

Большие перспективы таит в себе исследование принципов построения и функционирования механизмов памяти у живых организмов, отличающихся от известных технич. ЗУ чрезвычайно большой емкостью, достигающей до неск. десятков млрд. двоичных единиц, сложной иерархич. структурой, большой гибкостью и надежностью. Высокие хар-ки устройств памяти живых организмов дают надежду получить в результате их тщательного изучения новые идеи и принципы, пригодные для реализации при создании технич. устройств. Первыми шагами в этом на-

и опознание образов, воспринимаемых входными элементами устройства.

Примерами подобных устройств являются персептрон, пандемониум Сельффриджа, адальин Видроу, программы опознавания Бравермана и Бонгарда. В основе ряда таких моделей лежат идеи, развитые в работе Фэрли и Кларка, реализация к-рых произведена на базе к.-л. из моделей нейрона. Упрощенная схема одного из таких опознающих устройств — пандемониума, изображена на рис. 2. Сигналы от входных рецепторов (фотоэлементов), воспринимающих образ, поступают в функционал. устройство, вырабатывающее нек-рые заранее известные ф-ции входа. Эти ф-ции поступают на входы модели нейрона (окружена пунктиром), где усиливаются, суммируются и преобразуются с помощью порогового элемента (ПЭ). Выход z порогового элемента сравнивается со значением $-z^*$, задаваемым обучающим, и рассогласование ε поступает в оптимизатор, подбирающий коэфф. усиления входной цепочки усилителей так, чтобы свести к минимуму среднеквадратическое значение ошибки ε .

Перспективным направлением в развитии Б. является моделирование физико-химич. процессов, протекающих в живом организме.

Одним из результатов работ в этом направлении является модель живой клетки — *солион*, способная выполнять функции фотоэлемента, микрофона, термометра или усилителя. Солион представляет собой транзистор, в к-ром твердый ПП (германий или кремний) заменен жидкими ПП, помещаемыми в камерах, разделенных пористой перегородкой. Использование жидких ПП увеличивает чувствительность прибора к нагреву и механич. воздействиям на мембрану.

Большое место в Б. занимают исследования малоизвестных информац. систем у живых организмов: изучение «антенн» мотыльков и бабочек, ультразвуковой связи рыб и водных млекопитающих, ориентации у водных животных, языка пчел, физиологии и химии биологич. часов, механизмов ультразвуковой локации летучих мышей и т. п.

Б. находится сейчас в самой ранней стадии своего развития, и успешный ход ее может быть обеспечен лишь совместными усилиями широкого круга специалистов: физиологов, биологов, математиков, физиков и инженеров.

Лит.: Брейзье М., Электрическая активность нервной системы, пер. с англ., М., 1956; Автоматы. Сб. ст., пер. с англ., М., 1956; Полетаев И. А., Сигнал. О некоторых понятиях кибернетики, М., 1958; Брайнес С. Н., Напалков А. В., Сверчинский В. Б., Ученые записки (Проблемы нейрокибернетики), М., 1959 (Ин-т психиатрии АМН СССР); Харкевич А. А., Опознавание образов, «Р-ка», 1959, т. 14, № 5; Гаазе-Рапопорт М. Г., Автоматы и живые организмы, М., 1961; Гриффин Д. Р., Эхо в жизни людей и животных, пер. с англ., М., 1961; Глезер В. Д. и Цуккерман И. И., Информация и зрение, М.—Л., 1961; Современные проблемы биофизики, [Сб. ст.], т. 1—2, М., 1961; Кибернетический сборник. 1. Сб. переводов, М., 1960; Джерард Р., Функции человеческого тела, пер. с англ., М., 1947; Браверман Э. М., «Авт», 1960, т. 21, № 10, с. 1375—86; Friedberg R. M., «IBM Journal Res. Developm.», 1958, v. 2, № 1, p. 2—13; 1959, v. 3, № 3, p. 282—87; Бонгард М. М., «Биофизика», 1961, т. 6, вып. 2, с. 129; Эклс Дж., Физиология нервных клеток, пер. с англ., М., 1959; Fagley B. G., Clark W. A., «IRE Trans.», 1954, PGIT-4, IX, 75.

М. Г. Гаазе-Рапопорт, Л. П. Крайзмер.

БЛОК СТАНДАРТНЫЙ, ячейка вычислительной машины (standard computing block; bloc standard, carte; Rechner-Standardblock, Rechner-Standardbaustein), — съемная взаимозаменяемая конструкция, на которой монтируется один или несколько осн. элементов (триггеры, вентили, усилители) или отдельные узлы ЭВМ (регистр, сумматор и т. п.). Каждое устройство или узел ЭВМ состоит из отдельных Б. с., часто называемых типовыми блоками, модулями или субблоками. Б. с. объединяются функционально на платах или шасси с помощью разъемов, а иногда (для большей надежности) — пайкой. Блочный принцип позволяет собирать различные в функциональном отношении узлы и устройства машины из неск. типов Б. с. Существуют мелкоблочный принцип построения, когда Б. с. состоит из одного или неск. осн. элементов, и крупноблочный, когда Б. с. содержит часть или целый узел машины. Преимущество мелкоблочного принципа — минимальное количество типов Б. с., простота исправления ошибки заменой одного блока др., простота ремонта и проверки блоков. Крупноблочный монтаж уменьшает паразитные емкости и индуктивности в схемах и рекомендуется при повышенных частотах работы узлов машины (более 1 Мгц). Блочный принцип значительно упро-

щает произ-во машин благодаря механизации и автоматизации, в частности печатному монтажу и микромодульному построению Б. с.

Г. Б. Смирнов

БЛОКИНГ-ГЕНЕРАТОР [blocking generator (oscillator); oscillateur à blocage, oscillateur bloqué, oscillateur surcouplé; Sperrschwinger, Sperrkippsender, Blockingszillator, Stoßoszillator] — генератор релаксационных колебаний с сильной положительн. трансформаторной обратной связью и с двумя принципиально необходимыми энергоемкими элементами — конденсатором и индуктивностью тр-ра, — одновременно запасающими энергию во время импульса. Типовые схемы Б.-г. с электронной лампой и с транзистором (рис. 1, а и б) работают в автоколебат. режиме. В продолжение б. ч. периода повторения импульсов лампа (транзистор) заперта. Во время формирования импульса лампа (транзистор) открыта.

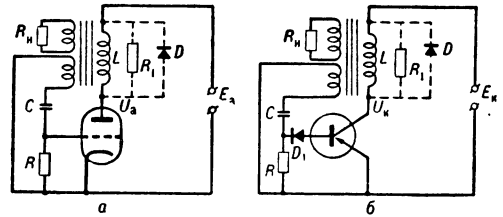


Рис. 1. Типовые схемы блокинг-генераторов: а — с электронной лампой; б — с транзистором.

В этом состоянии даже через маломощные лампы (транзисторы) могут протекать большие токи от неск. десятых долей а до неск. а. Поэтому *скважность* следования импульсов в Б.-г. должна быть такой, при к-рой мощность, рассеиваемая в приборе за период повторения, не превосходит допустимой для непрерывной работы прибора. В процессе формирования вершины импульса (t_1, t_2 на рис. 2) напряжение на сетке лампы положительно; ток сетки заряжает конденсатор С; происходит намагничивание сердечника трансформатора. Время формирования вершины существенно зависит от емкости конденсатора С, индуктивности анодной обмотки трансформатора L, его коэфф. трансформации и от вида вольтамперных хар-к лампы (транзистора). Во время паузы между импульсами t_2, t_3 в схеме

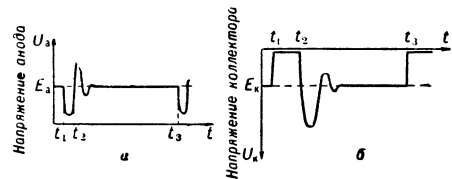


Рис. 2. Импульсы напряжения блокинг-генераторов: а — с электронной лампой; б — с транзистором.

рассеивается накопл. трансформатором и конденсатором энергия. Энергия, накопл. в сердечнике трансформатора, относительно быстро рассеивается на сопротивлениях потерь. При этом нередко имеют место осцилляции напряжения на обмотках трансформатора, частота к-рых зависит от индуктивности связи трансформатора и суммарной величины паразитных емкостей трансформатора, схемы и лампы. В течение всей паузы конденсатор разряжается

через сопротивление R . Длительность паузы определяется постоянной времени RC -цепи, величиной действующего в этой цепи напряжения и напряжения отсечки анодного тока лампы. Длительность фронтов импульсов зависит от величин междуэлектродных емкостей лампы, паразитных емкостей схемы, индуктивностей рассеяния сеточной и анодной обмоток трансформатора. Перечисл. емкости замедляют формирование фронтов импульсов напряжения. Индуктивность рассеяния, напротив, форсирует формирование этих фронтов. Однако формирование фронтов импульсов токов при этом замедляется. При конструировании импульсного трансформатора и схемы следует сводить к минимуму величины перечисл. паразитных элементов.

Процессы в Б.-г. с транзисторами отличаются от процессов в схемах с электронными лампами вследствие специфич. особенностей диффузионного механизма передачи сигнала через базу транзистора, накопления заряда неосновных носителей в базе транзистора при режиме насыщения и вследствие нелинейной проводимости запертых $p-n$ -переходов. Наличие проводимости $p-n$ -переходов при обратных напряжениях на них определяет максимально возможную в данной схеме длительность паузы между импульсами и приводит к появлению существ. зависимости длительности паузы от темп-ры окружающей среды. В типовой схеме с транзистором часть времени формирования вершины импульса протекает в режиме насыщения транзистора. Если при этом длительность импульса сравнима с временем жизни неосновных носителей в базе транзистора, то она будет определяться не только величинами элементов схемы и видом вольтамперных хар-к транзистора, но будет существенно зависеть от характера протекания процесса рассасывания неосновных носителей в его базе, связанного с временем жизни этих носителей. Диффузионный характер движения носителей заряда от эмиттера к коллектору приводит к дополнительному замедлению процессов формирования фронтов импульсов.

Б.-г. на совр. электронных лампах и дрейфовых транзисторах с импульсными трансформаторами, имеющими сердечники из ферромагнитных материалов с большими значениями магнитной проницаемости и с малыми потерями (ферриты и тонкий прокат пермаллоя), могут генерировать импульсы длительностью порядка 10^{-7} сек. Для подавления осцилляций и обратного выброса, возникающих после импульса, в схему вводят либо дополнит. сопротивление R_1 , либо диод D (рис. 1). При конструировании Б.-г. с транзисторами во входную цепь транзистора часто включают последоват. ПП диод D_1 (рис. 1, б) с достаточно высоким допустимым обратным напряжением и возможно меньшим обратным током. Это позволяет неск. увеличить предельную длительность паузы. Включение диода обязательно при работе с дрейфовыми транзисторами, у которых допустимое обратное напряжение эмиттера часто оказывается порядка 1 в, в то время как напряжение на конденсаторе в начале паузы может составлять неск. в.

Существует много разновидностей схем Б.-г., в к-рых лампа или транзистор могут быть использованы в любом из трех способов

включения (общий катод, общая сетка, общий анод или общий эмиттер, общая база, общий коллектор). Конденсатор C и сопротивление утки R могут быть включены как в цепь сетки, так и в цепь катода лампы или, соответственно, в цепь базы или эмиттера транзистора. В ряде случаев для формирования импульсов вместо конденсатора C используются линии задержки. Способы включения нагрузки могут быть различны. Возможно также использование Б.-г. в ждущем режиме и режиме синхронизации (*Ждущий блокинг-генератор*). Б.-г. широко применяются в импульсной технике для получения мощных коротких импульсов, в телевидении и радиолокации в схемах разверток, а также в делителях частоты.

Лит.: Меевич Л. А., Зеличенко Л. Г., Импульсная техника, М., 1953; Полупроводниковые триоды в регенеративных схемах, под ред. В. В. Мигулина, М.—Л., 1959; Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959. Г. Я. Сенаторов.

БЛОКИРОВКА (blocking; verrouillage; Verriegelung) — фиксация рабочих частей элемента, аппарата или схемы в определенном (рабочем или нерабочем) состоянии после прекращения причин, к-рые привели его в данное состояние. Б. аппарата в зависимости от принципа его действия осуществляется механич., оптич., магнитной или электрич. (схемой) связями, с помощью к-рых рабочие части удерживаются в необходимом состоянии. Б. применяется тогда, когда необходимо сохранить элемент, аппарат или схему в фиксир. положении после получения воздействия. Б. прекращается подачей воздействия, при к-ром разблокирующая часть элемента, аппарата или схемы приходит в действие и приводит их из рабочего положения во вне рабочее (исходное) или допускает переход из нерабочего (исходного) в рабочее при последующем приходе рабочего импульса или сигнала.

И. Е. Декабрун.
БЛОКИРОВКА РЕЛЕ [relay blocking (interlock); blocage de relais, verrouillage de relais; Relaisblockierung, Relaisverriegelung, Relaisperrung] — механическая или схемная связь, вводимая при срабатывании реле, с помощью которой рабочие части реле удерживаются от возвращения в исходное состояние по истечении причин, вызывающих его срабатывание. Механическая Б. р. осуществляется обычно с помощью специальной защелки, освобождение к-рой производят вручную или отдельным электромагнитным или тепловым приводом. Электрич. блокировка электромагнитного реле происходит через замыкающийся при срабатывании реле контакт (рис.). Возвращение в исходное состояние производится кнопкой или контактом др. реле, разрывающего цепь блокировки.

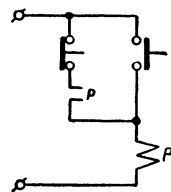


Схема блокировки реле.

И. Е. Декабрун.
БЛОКИРОВКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ [electric drives blocking (interlock); blocage de commande électrique; Elektroantriebsblockierung] — взаимосвязь отд. элементов схем управления, обеспечивающая повышение надежности работы привода, безопасность обслуживания, требуемую последовательность включения механизмов и ограничение пере-

мещений механизмов в пределах рабочей зоны. Простейшим видом Б. э. является схема управления, в к-рой работа привода сохраняется и после того, как кнопка «пуск» отпущена. Для этого питание катушки контактора осуществляется через свой норм. открытый контакт, шунтирующий кнопку «пуск». Привод останавливается посредством кнопки «стоп». В схемах управления лифтами широко распространена Б. э., обеспечивающая безопасность пассажиров тем, что напряжение

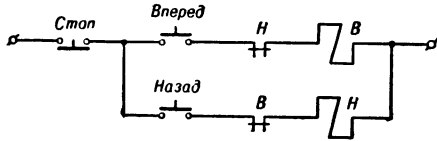


Рис. 1.

на схему управления подается лишь в том случае, когда закрыты дверь кабины и все двери шахты на этажах.

Торможение и реверсирование многих двигателей выполняются путем переключения реверсивных контакторов. При этом необходимо, чтобы блокировочные связи исключали возможность одноврем. включения двух контакторов, к-рое приводит к изв. в главной цепи двигателя. На рис. 1 предусмотрена такая блокировка с помощью нормально замкнутых блок-контактов реверсивных контакторов B и H . При одном включенном контакторе, напр. B , невозможно включение другого, т. к. цепь катушки контактора H разомкнута нормально замкнутым контактом B . В схемах автоматизиров. электропривода конвейеров часто требуется взаимная блокировка их двигателей между собой. По схеме рис. 2 включение контактора $L2$, осуществляющего пуск

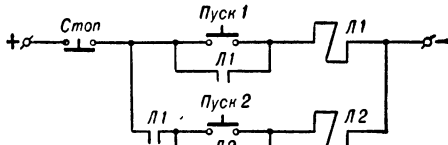


Рис. 2.

второго двигателя, возможно лишь после включения контактора $L1$ первого двигателя. Для многих механизмов пуск главного привода $МГ$ разрешается только после включения привода насоса смазки $МН$. Такая блокировка показана на рис. 3. Отключение двигателя

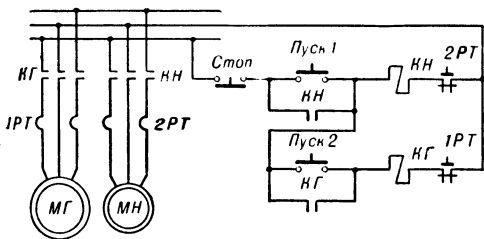


Рис. 3.

насоса приводит к автоматич. отключению главного привода.

Автоматич. ограничение перемещения и точная остановка привода механизма в заданном положении (станок, лифт и др.) производятся обычно при помощи конечных или путевых выключателей, действующих в соответствующих цепях управления. В электроприводах станков схемы управления должны обеспечить как рабочий, так и наладочный режим, используемый при опробовании отд. элементов станка и установке обрабатываемых изделий и инструмента. На рис. 4

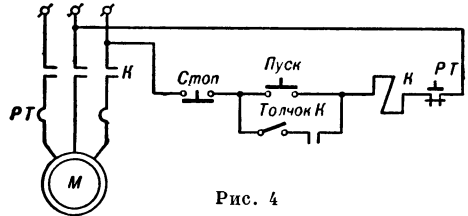


Рис. 4

приведена одна из наиболее простых схем для наладочного режима, к-рый можно получить, если предварительно отключить выключатель «толчок». Двигатель в этом случае будет работать в течение того времени, пока нажата кнопка «пуск»; при ее отпуске двигатель выключается. Для рабочего режима выключатель «толчок» включается. Существует большое количество др. Б. э., определяемых условиями технологич. процесса и конкретными конструктивными особенностями механизма.

Г. М. Иванов.

БЛОК-КОНТАКТ (blocking contact; contact de verrouillage; Hilfskontakt, Nebenkontakt) — контакт электрич. аппарата, предназначен. для коммутации цепей управления или сигнализации. Б.-к. снабжаются контакторы, магнитные пускатели, выключатели высокого напряжения, разъединители и т. д. В одном аппарате обычно имеется неск. Б.-к. — нормально открытых и нормально закрытых. Б.-к. изготавливаются на длительно допустимый ток до 5—20 а; дугогасит. камерами Б.-к. не снабжаются.

Е. Л. Львов.

БЛОК-КОНТАКТОР (blocking contactor; contacteur de verrouillage; Hilfsschutz) — контактор для коммутации цепей управления и сигнализации. В Б.-к. имеется неск. групп блок-контактов без дугогасит. камер. Контакты Б.-к. могут коммутировать цепи пост. или перем. тока. Втягивающие катушки Б.-к. изготавливаются для постоянного и перем. тока.

Е. Л. Львов.

БЛОК-СХЕМА вычислительной машины (computer block-diagram; diagramme synoptique de calculatrice, organisation générale d'une calculatrice; Blockscheema, Blockdiagramm, Blockbild, Blockschaftbild) — схема, содержащая осн. структурные элементы и логич. связи машины и позволяющая проследить движение обрабатываемой и управляющей информации в машине. Большинство первых вычислит. машин имели Б.-с. рис. 1. Через арифметическое устройство проходили все каналы передачи информации. Запоминающее устройство работало со скоростью АУ при работе внутри машины, а при вводе и выводе — со скоростью вводных и выводных устройств. Т. к. в первых машинах время обращения к ЗУ было значительно меньше, а время ввода или вывода данных больше времени

срабатывания АУ, то ЗУ значит. часть времени простаивало. Повышение скорости работы АУ, связанное с повышением скорости работы ЗУ, еще больше увеличивало разрыв между скоростями работы собственно машины

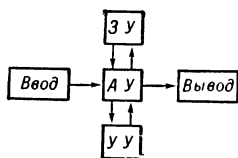


Рис. 1. Блок-схема первых вычислит. машин.

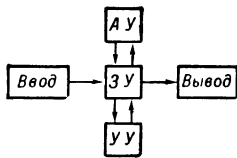


Рис. 2. Блок-схема ЭВМ, в к-рой все каналы проходят через ЗУ.

и скоростями ввода — вывода. Переход к машинам с Б.-с. рис. 2 позволил увеличить загрузку каналов и поднять коэфф. полезного использования устройств. Достоинство этой схемы в том, что ввод и вывод данных мог производиться одновременно с вычислениями.

Следующим этапом было создание многоступенчатых внутренних ЗУ разных скоростей и объемов: регистры АУ для операндов, ЗУ для программ и данных и накопители для хранения больших объемов информации. Ввод и вывод производились через буферные ЗУ. Стало возможным совместить работу различных устройств: АУ работало с регистрами операндов, оперативное ЗУ — с управляющим устройством, буферные ЗУ — с устройствами ввода и вывода.

Совмещение работы и выбор правильного соотношения скоростей и емкостей различных

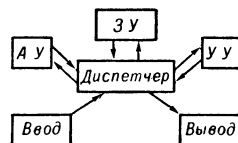


Рис. 3. Блок-схема ЭВМ с «диспетчером».

ЗУ позволили максимально загрузить каналы, ведущие к ЗУ, и повысить производительность машины. Позднее были созданы машины, в к-рых действие различных устройств и блоков

зависит от т. н. «диспетчера», устройства, к-рое распределяет работу в соответствии с решаемой задачей (рис. 3).

(т. е. устройства ввода, вывода, АУ, логич. устройство, барабан и т. д.) могут работать все одновременно и автономно благодаря наличию в ЗУ распределителя передач данных (схемы приоритета), а в УУ — распределителя программ (со своими схемами приоритета). Б.-с. «Гамма-60» приведена на рис. 4. По отношению к быстродействующему ЗУ и к «диспетчеру» все устройства равноправны (включая УУ) и присоединяются к ним в таком порядке, чтобы максимально загрузить каналы передачи информации. См. также Логическая схема ЦВМ. Н. Н. Рикко.

БЛОК-СХЕМА ПРОГРАММЫ (flow chart, flow diagram; diagramme synoptique de programme, ordinogramme, organigramme des calculs; Übersichtsschema des Programms) — форма записи логич. схемы программы, при которой операторы логич. схемы изображаются в виде так называемых блоков, внутри к-рых описаны словесно или с помощью формул выполняемые операторами действия. Знаки перехода от оператора к оператору изображаются на Б.-с. п. стрелками. Б.-с. п., блоки к-рой являются обобщенными (укрупненными) операторами, а надписи — лаконичными, может быть удобной для наглядного, но грубого описания программы. Иногда, с целью увеличения наглядности, в Б.-с. п. для операторов различных типов применяют блоки различной геометрич. формы. Напр., действующие операторы изображают прямоугольниками, логич. — кружками, и т. п. Нередко при размещении Б.-с. п. на чертеже отступают от принятого для буквенных логич. схем линейного расположения операторов.

Н. А. Крицкий.
БОЛОМЕТР ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ, тепловой детектор (transistor bolometer, thermistor bolometer, thermal detector; détecteur thermique en semi-conducteur; Halbleiterbolometer), — прибор для обнаружения и измерения энергии излучения в широком диапазоне длин электромагнитных волн, основанный на изменении электрич. сопротивления полупроводника при его нагревании. Чувствит. элемент Б. п. выполняется в виде тонкой пленки с поверхностью прямоугольной

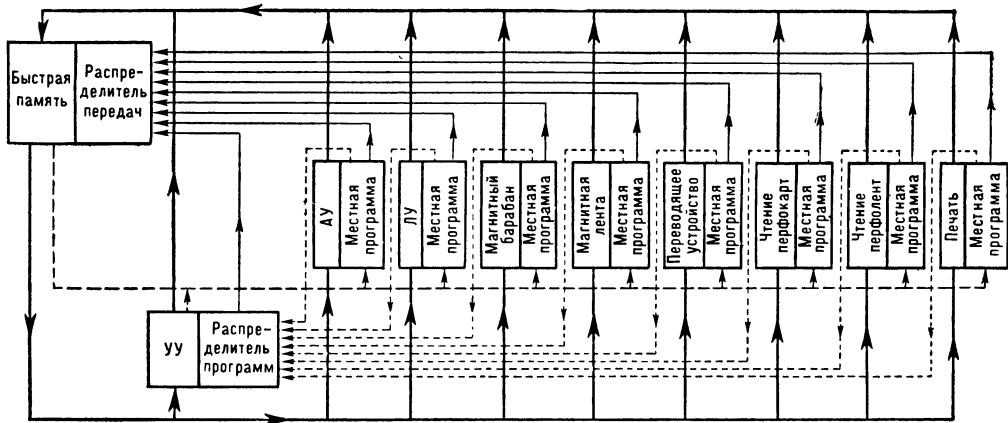


Рис. 4. Блок-схема машины «Гамма-60».

«Диспетчер» работает либо по системе прерывания (машина «Стрелка»), либо по системе «вопрос — ответ» («Гамма-60»). «Гамма-60» имеет еще одну существ. особенность: ее элементы

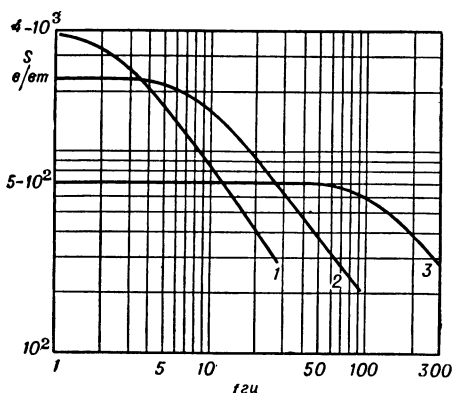
формы из ПП материалов, ввиду их большого температурного коэфф. сопротивления (3—6% на градус). Лучшие результаты получены на основе оксидных ПП (окислы Mn, Ni, Co).

Качество Б. п. определяется его чувствительностью, выраженной в $\epsilon/\text{вт}$, величиной порога чувствительности $W_{\text{п}}$ (вт) (т. е. мощностью излучения, вызывающей на выходе Б. п. сигнал, равный среднеквадратичному напряжению шумов) и постоянной времени τ (т. е. временем, за которое сигнал достигает 63% от установившегося значения). Параметры некоторых Б. п. приведены в табл.

Параметры полупроводниковых болометров

Тип болометра	Размеры чувствит. элемента (мм)	Сопротивление при 27°C (Мом)	Рабочее напряжение (е)	S ($\epsilon/\text{вт}$)	Чувствительность на единицу освещенности ($\frac{\epsilon \cdot \text{см}^2}{\text{вт}}$)	$\tau \cdot 10^3$ (сек.)	$W_{\text{п}}$ при $f = 15 \text{ гц}$ $\Delta f = 1 \text{ гц}$ (10^{-10} вт)
Оксидные:							
без подложки	2,5×0,2	3	100	4000	20	120—150	8
с подложкой металлической . .	2,5×0,2	3	160	2300	11,5	20—40	3
стеклянной . . .	2,5×0,2	3	260	600	3	5—8	4
кварцевой	5,55×2,25	3	430	700	3,5	2,5—5	3
	2,5×0,2	0,55	520	39	4,8	2,5—5	2,5
Сурьмяный . . .	3 × 0,25	18	—	12 000	90	—	15
Германиевый . .	1 мм ²	2	—	—	—	3—4	50

Для уменьшения инерционности чувствит. элемент Б. п. монтируется на кварцевой или стеклянной подложке, что приводит к уменьшению чувствительности на нулевой частоте модуляции регистрируемого излучения (рис.),



Зависимость чувствительности болометров различных типов от частоты: 1 — без подложки; 2 — с тыльной металлич. пластиной; 3 — с кварцевой подложкой.

однако позволяет использовать Б. п. в относительно быстродействующей аппаратуре.

Обычно изготавливаются компенсационные Б. п., состоящие из 2 термочувствит. сопротивлений, к-рые включаются или по мостовой схеме, или так, что компенсационное термосопротивление служит нагрузочным сопротивлением. Часто Б. п. изготавливаются вместе с предусилителем. Высокоомные Б. п. легко согласуются с входным сопротивлением лампового усилителя.

Б. п. используются в регистрирующей системе инфракрасных быстродействующих спектрометров (со скоростью регистрации до 0,2 мк/сек) для бесконтактного дистанц. измерения темп-ры нагретых (и охлажденных) тел и для измерения СВЧ мощности.

Лит.: Мирлин Д. Н., Полупроводниковые болометры, 2 изд., Л., 1957. В. А. Горохов.

БУРДОНА ТРУБКА (Bourdon tube; tube Bourdon; Bourdonsche Röhre, Bourdonröhre, Manometer mit Rohrfeder) — см. *Манометр с трубчатой пружиной*.

БУФЕРНЫЙ КАСКАД, буферная ступень (buffer cascade, buffer stage; étage séparateur, étage intermédiaire; Pufferstufe, Trennstufe) — электронная схема, служащая для устранения обратного влияния по-

следующих цепей или нагрузки на источник сигнала, т. е. схема, входное сопротивление к-рой не меняется или мало меняется при изменении ее нагрузки. В качестве Б. к. могут быть использованы усилит. каскады, катодные и эмиттерные повторители, инверторы. Основной случай применения Б. к. — включение его между генератором и нагрузкой (напр., между задающим кварцевым генератором и мощным выходным каскадом передатчика). Это обеспечивает необходимую стабильность работы генератора, независимо от изменения нагрузки. Последнее особенно важно при передаче напряжения генератора неск. потребителям. В качестве Б. к. могут применяться ламповые или ПП усилит. каскады, работающие в линейном режиме. Обычно от Б. к. не требуется изменения уровня передаваемого сигнала, а только неискаж. передача его формы; Б. к. используются также для согласования 2 схем по выходному и входному сопротивлениям. При малом входном сопротивлении или большой емкостной нагрузке последующей части устройства Б. к. служат *катодные повторители*.

Лит.: Дробов С. А., Радиопередающие устройства, [2 изд.], М., 1951.

А. Е. Розинкин, В. И. Шебанов.

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ (speed of response, high-speed quick-response; rapidité de réponse, vitesse de fonctionnement; Schnelligkeit, Schnellwirkung), в системах автоматич. регулирования и управления — см. *Оптимальное управление*, в вычислит. машинах — см. *Цифровая вычислительная машина*.

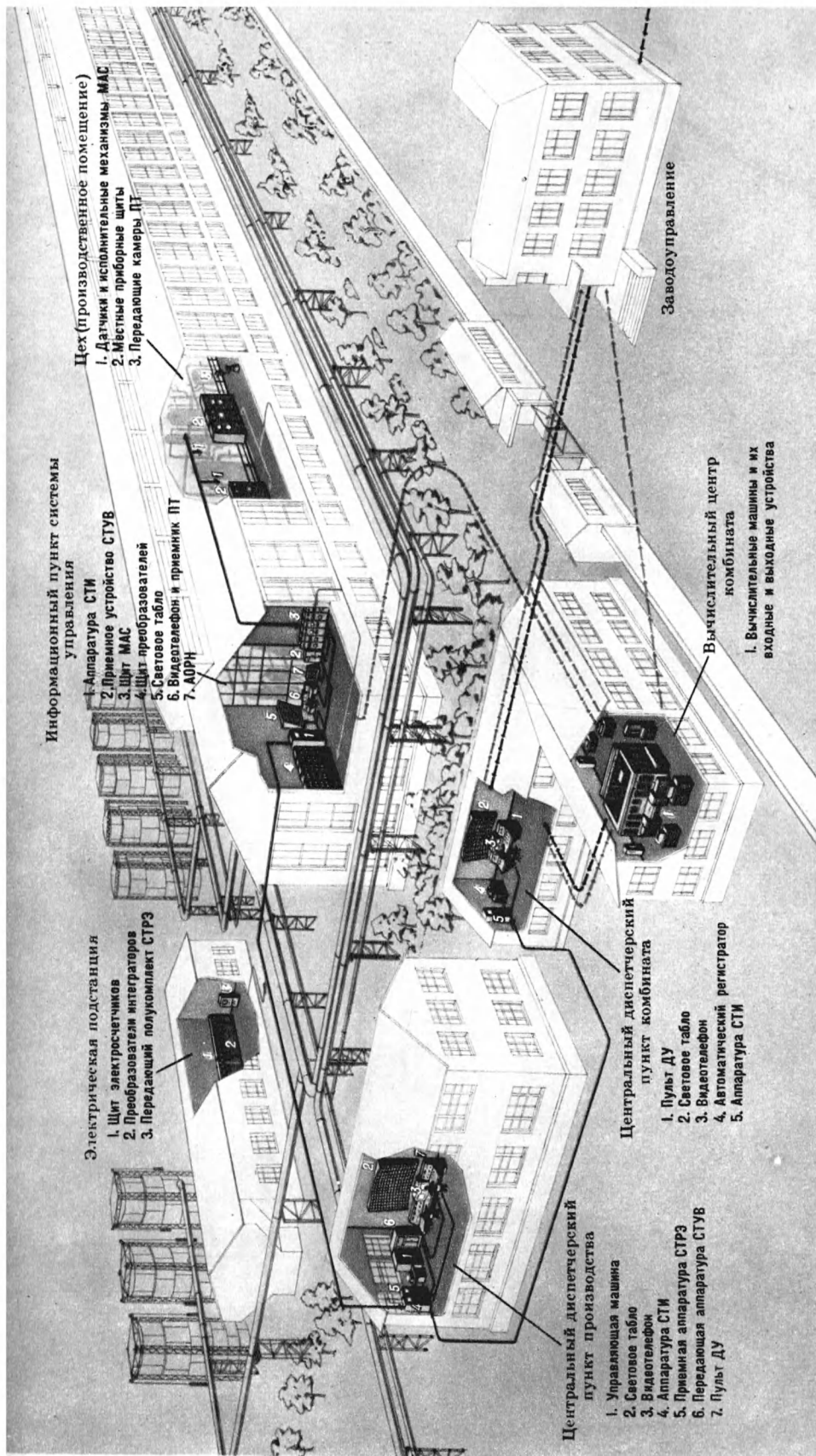
БЫСТРОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМ ТУ — ТС [high-speed response of remotecontrol systems; rapidité des systèmes de télécommande; Fernsteuerungssysteme-und -Fernsignalisierungssystemsschnelle (Schnelligkeit, Geschwindigkeit)] — определяется временем от возникновения единичного сообщения на передающей стороне системы до выдачи воздействия на исполнитель. орган или индикаторы сигнализации, при условии, что в момент возникновения данного сообщения не передавалось др. сообщений.

В системах ТУ — ТС с временным разделением сигналов спорадич. действия с непосредств. исполнением команд или сигналов в процессе приема, время, затрачиваемое устройством на различные сообщения, изменяется в зависимости от номера сообщения. В устройствах с циклич. передачей время от момента возникновения сообщения до начала передачи сигнала по каналу связи является случайной величиной, зависящей от относит. положения распределителя импульсов в момент поступления сообщения. Поэтому в общем случае быстродействие следует определять по среднему времени от момента возникновения сообщений до их исполнения. Быстродействие является одним из основных технич. и эксплуатационных показателей систем, однако оно не характеризует полностью систему ТУ—ТС с точки зрения скорости передачи реальных сообщений на конкретных объектах. Действительно, система с высоким быстродействием, напр. система с комбинационным избором и кодом на все сочетания, может быть крайне невыгодной с точки зрения скорости передачи сообщений, если неск. сообщений возникают практически одновременно. Поэтому метод передачи сообщений и метод избора должны быть согласованы со статистикой передаваемых сообщений.

Время, определяющее быстродействие, складывается из времени, затрачиваемого на преобразование сообщения в сигнал и обратно, и времени передачи сигнала по каналу связи. Время преобразования обычно мало и в большинстве случаев может не учитываться. Ис-

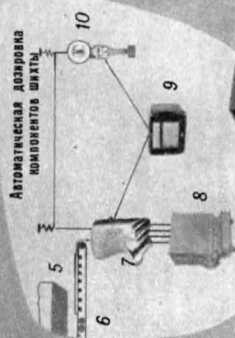
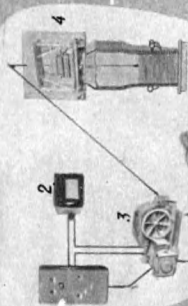
ключение составляют одноимпульсные системы, где время преобразования может быть соизмеримо с временем передачи сигнала по каналу связи. Время передачи по каналу связи состоит из длительности телемеханич. сигнала, к-рым передается сообщение, и времени его распространения по каналу связи. Основным резервом повышения быстродействия является сокращение времени передачи, достигаемое уменьшением либо длительности элементов сигнала, либо их количества. Первый путь требует пропорционального расширения полосы пропускания частот телемеханич. тракта, что в ряде случаев оказывается неэкономичным или неприемлемым по технич. соображениям. Так, в релейно-контактных системах уменьшение длительности элементов сигнала сильно ограничено аппаратными возможностями, ибо телефонные нейтральные реле могут работать максимально со скоростью до 15—20 импульсов в сек., а поляризованные — до 50—100 импульсов в сек., однако при пониженной надежности. Использование бесконтактных магнитных и ПП элементов позволяет повысить скорость во много раз при стабильной работе. Сокращение количества элементов в сигнале достигается применением более эффективных методов избора. Возможности в этом отношении ограничиваются усложнением устройств и трудностью осуществления защиты. Быстродействие пром. систем ТУ—ТС обычно изменяется в зависимости от условий их применения и лежит в пределах примерно от 0,02 сек. до 5 сек.

В. А. Жожиканили, Р. Л. Райнс.

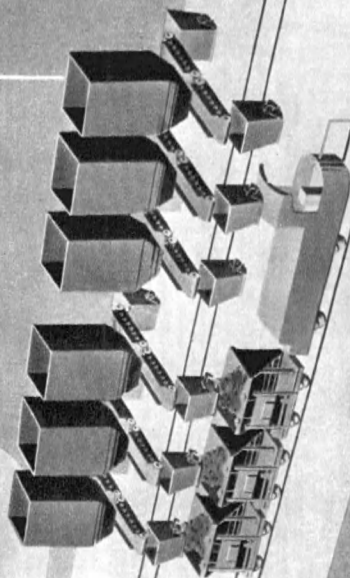


Комплексная автоматизация крупного химического комбината: СТЭЗ — система телеизмерений расходов электроэнергии; СТИ — система телепередачи информации; СТЭЗ — система телепередачи управляющих воздействий; МАС — местные автоматические системы; ПТ — промышленное телевидение; АОРН — автомат оптимального распределения нагрузки; ДУ — дистанционное управление. Светлыми линиями обозначены потоки информации от рабочих агрегатов к управляющим устройствам, темными линиями — обратные потоки. Сплошные линии показывают автоматизацию, пунктирные — неавтоматические.

Автоматическое измерение уровня шахты с помощью
компактной установки зондового уровнямера



Автоматическая загрузка бункеров



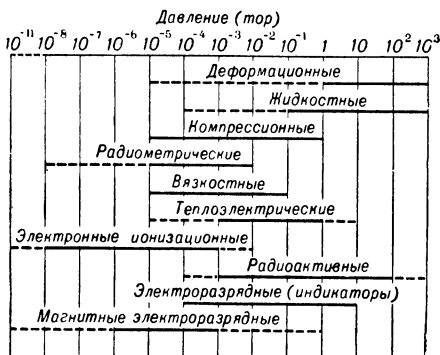
Автоматическое программное
управление всеми операциями



Комплексная автоматизация загрузки шахтных печей: 1 — щит управления; 2 — вторичный регистрирующий прибор; 3 — лебедка зондового уровнямера; 4 — узел ввода зонда в печь; 5 — бункер; 6 — дозатор; 7 — питатель; 8 — вагонетка; 9 — вторичный прибор; 10 — циферблатные веса с датчиком.

В

ВАКУУММЕТР (vacuum gauge; vacuomètre; Vakuummesser) — прибор для измерения давления разреженных газов (ниже 1 ат). Для измерения давлений от 760 до неск. мм рт. ст. существуют В., проградуированные в «единицах вакуума» и регистрирующие величину $p_0 - p$ или $\frac{p_0 - p}{p_0} \cdot 100\%$, где p_0 — атм. нормальное, а p — измеряемое абс. давление. Более низкие давления в вакуумной технике оценивают в мм рт. ст. или торах (1 тор = 1 мм рт. ст.). Нек-рые совр. типы В. позволяют производить измерение сверхвысокого вакуума, т. е. давлений ниже 10^{-7} тор. В соответствии с принципом действия В. разделяют на: 1) гидравлические (жидкостные) и механические деформационные, устройство к-рых в принципе не отличается от устройства гидравлич. и механич.



манометров; измеряют непосредственно давление газа; 2) компрессионные манометры, устройство к-рых основано на законе Бойля—Мариотта; измеряют парциальное давление неконденсируемых газов; широко применяются как эталонные при градуировке др. типов В.; 3) вакуумметры радиометрические, основанные на радиометрич. эффекте, т. е. переносе импульса молекулами газа от нагретых тел к холодным; 4) вязкостные В., основанные на зависимости внутр. трения разреженных газов от давления; 5) теплоэлектрич. В., основанные на зависимости теплопроводности разреж. газов от давления; В. этого класса, особенно их разновидность — термпарные В., широко применяются в лабораториях и пром-сти; 6) вакуумметры ионизационные, в к-рых мерой давления (точнее концентрации) газа служит ионный ток при ионизации газа электронами, испускаемыми накалившимся катодом; 7) вакуумметры радиоактивные — разновидность ионизационных В.; ионизация газа осуществляется α -частицами, испускаемыми находящимся в манометре радиоактивным веществом; 8) вакуумметры магнитоэлектроразрядные; в них мерой давления служит ток тлеющего разряда, возникающего в магнитном поле при низких давлениях. Только гидравлич., механич., деформационные, компрессионные и радиометрич. В. являются абсолютными, т. е. их показания не зависят от рода газа и могут быть заранее рассчитаны по конструкц. размерам В. Остальные В. требуют первичной градуировки по эталонному абс. В. для каждого заданного состава газа. Диапазоны давлений различных типов В. представлены на рис. Сплошные линии указывают типовую рабочую область давлений, пунктирные — достигнутую при работе с отдельными спец. приборами. Для измерения сверхвысокого вакуума (давлений ниже 10^{-7} тор) применяют спец. ионизационные и магнитоэлектроразрядные В., конструкция к-рых предусматривает подавление фоновых токов, ограничивающих чувствительность при весьма низких давлениях (напр., ионизац. манометры типа Баярда — Альперта и инверсно-магнетронные манометры типа Редхеда).

Лит.: Дэшман С., Научные основы вакуумной техники, пер. с англ., М., 1950; Янкель Р., Получение и измерение вакуума, пер. с нем., М., 1952; Грошковский Я., Технология высокого вакуума, пер. с польск., М., 1957.

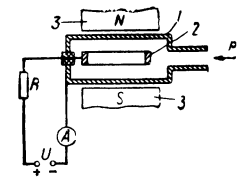
ВАКУУММЕТР ИОНИЗАЦИОННЫЙ (vacuum ionization gauge; vacuomètre d'ionisation; Ionisationsvakuummesser) — вакуумметр, основанный на измерении интенсивности ионизации газа электронами, испускаемыми горячим катодом. В. и., обычно применяемый в пром-сти и лабораториях, представляет собой 3-электродную лампу; баллон этой лампы соединяется с объемом, в к-ром измеряется вакуум. В центре баллона расположен вольфрамовый катод прямого накала, вокруг катода — ускоряющий электрод в виде сетки и коллектор в виде сплошного цилиндра. Электроны, испускаемые накалившимся катодом, ускоряясь напряжением сетки, ионизируют молекулы газа. Ионный ток i_i снимается с коллектора, усиливается усилителем пост. тока и подается на измерит. прибор. В общем случае

давление $p = k \cdot \frac{i_n}{i_3}$, где k — коэфф., зависящий от конструкции прибора и рода газа, i_3 — электронный ток (ток сетки). Для измерения давления надо иметь градуировочные коэфф. для различных газов и поддерживать постоянным электронный ток i_3 . В нек-рых В. и. измеряется отношение ионного тока к электронному и не требуется стабилизации электронного тока.

Обычно применяемые В. и. измеряют давление от 10^{-2} до 10^{-8} мм рт. ст. Верхний предел измерения ограничен сроком службы катода, к-рый выходит из строя под действием кислорода или катодного распыления. Создан В. и. с ториевооксидным катодом на придиовом стержне, к-рый не перегорает даже при попадании воздуха с атм. давлением и позволяет измерять вакуум до 1 мм рт. ст. [1]. Нижний предел измерения ограничивается током вторичных электронов с коллектора, вызванных мягким рентгеновским излучением, возникающим от попадания электронов на сетку. Величина этого тока становится сравнимой с ионным током при вакууме 10^{-8} мм рт. ст. [2]. Для измерения давлений от 10^{-8} до 10^{-11} — 10^{-12} мм рт. ст. создан В. и., в к-ром резко снижен паразитный электронный ток с коллектора за счет расположения его в центре лампы [3].

Лит.: 1) Пенчко Е. А., «ПТЭ», 1961, № 1, с. 170; 2) В а у а р д Р. Т., Alpert D., «Rev. Scient. Instrum.», 1950, v. 21, № 6, p. 571; 3) П а т л и, «ПТЭ», 1959, № 6, с. 3; 4) Г р и г о р ь е в А. М., там же, с. 10. К. К. Оносовский.

ВАКУУММЕТР МАГНИТОЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫЙ (vacuum electric discharge gauge; vacuomètre magnétique à décharge électrique; Magnet-Elektroentladungsvakuummesser, Penning-Manometer, Gasentladungsmannometer) — ионизационный вакуумметр с холодным катодом, в к-ром путь пробега ионизирующих электронов удлиняется наложением магнитного поля. Простейший В. м. представляет собой камеру с двумя катодами и анодом между ними. В металлич. В. м. (рис.) катодами 1 являются стенки камеры, анод 2 — кольцеобразный. Камера соединяется с вакуумируемым объемом и помещается в пост. магнитное поле магнитов 3 порядка неск. сот э, с направлением анод — катод. Анодное напряжение порядка неск. кв. Под действием электр. и магнитного полей электроны двигаются между катодами по спиральным траекториям. Удлинение траекторий приводит, даже при весьма низких давлениях (порядка 10^{-6} мм рт. ст.), к возникновению значит. разрядного тока, измеряемого без усиления маг-



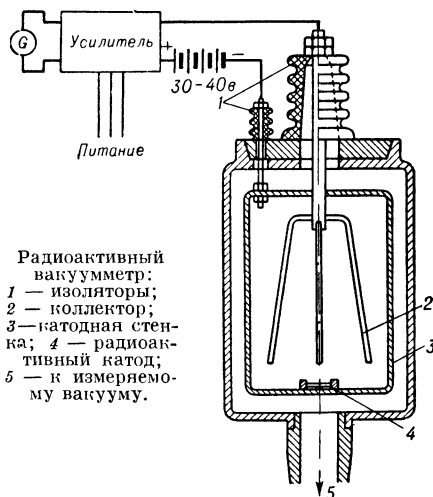
нитоэлектрич. прибором. Зависимость разрядного тока от давления нелинейна. Каждый тип прибора должен иметь градуировочную кривую для различных газов.

В. м. предназначен для измерений в диапазоне давлений от 1 до 10^{-6} мм рт. ст. Введением дополнит. электродов и изменением конструкции диапазон измерения В. м. можно расширить до 10^{-11} мм рт. ст. Широкого диапазона измерения и отсутствие усилит. устройств на выходе делают В. м. наиболее подходящим прибором для управления защитой вакуумных систем. К недостаткам В. м.

относятся сокращение срока службы в присутствии паров масла и меньшая точность по сравнению с вакуумметром ионизационным. Лит.: Г р и г о р ь е в А. М., «ПТЭ», 1959, № 6, с. 10. К. К. Оносовский.

ВАКУУММЕТР РАДИОАКТИВНЫЙ, альфа-т р о н [alphatron gage (амер.), alphasatron gauge (англ.); jaugé d'ionisation alphasatron; Alphasatronmanometer], — вакуумметр, действие которого основано на измерении электропроводности газа, ионизиров. α -излучением. В. р. измеряет давление в диапазоне от 10^3 до 10^{-4} мм рт. ст. и, вследствие своей надежности и конструктивной простоты, может применяться в системах автоматич. контроля давления.

Конструктивно В. р. выполняется в виде колбы (рис.), соединенной с откачиваемым объемом. В колбе помещается источник излучения (обычно соль радия) и два электрода — катод и анод (коллектор) с разностью потенциалов 30—40 в. Возникающий между ними ионный ток измеряется усилителем постоян-



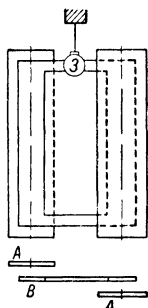
Радиоактивный вакуумметр:
1 — изоляторы;
2 — коллектор;
3 — катодная стенка;
4 — радиоактивный катод;
5 — к измеряемому вакууму.

ного тока, к выходу к-рого обычно присоединяется самоионизирующий потенциометр. Нижний предел измерения прибора ограничивается коэфф. усиления усилителя и радиационной безопасностью работы с прибором. Преимуществом прибора по сравнению с вакуумметром ионизационным является отсутствие накаливаемого катода. Радиационная опасность связана с выделением радиоактивного радона. Поэтому иногда радий заменяют плутонием, что уменьшает радиационную опасность, однако приводит и к уменьшению чувствительности прибора. Для увеличения диапазона прибора до 10^{-6} мм рт. ст. используют электронный умножитель, усиливающий ионный ток. Прибор требует градуировки для каждого газа.

Лит.: Б р о д с к и й В. В., «П», 1956, № 7; Х а в к и н Л. П., «ПТЭ», 1960, № 5; А к и ш и н А. И., там же, 1959, № 2. К. К. Оносовский.

ВАКУУММЕТР РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ, вакуумметр Кнудсена (vacuum radiometer gauge; vacuomètre radiométrique; Strahlungsvakuummeter, Radiometermanometer, Knudsen-Manometer, Schaufelradmanometer), — вакуумметр, основанный на измерении приращения кинетич. энергии молекул газа при его нагревании. Величина приращения зависит от числа молекул газа в единице объема, т. е. от давления. В. р. служит для измерения давлений от 10^{-2} до 10^{-8} мм рт. ст.

В простейшем В. р. (см. рис.) пластина *B* подвешена на тонкой кварцевой нити. Параллельно ей расположены две неподвижные пластины *A*, нагреваемые до темп-ры, большей чем температура стенок того объема, в который помещается В. р. для измерения вакуума. На участки пластины *B*, расположенные против пластин *A*, попадают молекулы с большими скоростями, чем на др. участки. Под действием разности сил, вызванных разностью скоростей молекул, пластина *B* поворачивается. По величине угла поворота можно судить о вакууме, т. к. сила закручивания зависит от числа ударяющихся в пластину молекул, к-рое, в свою очередь, определяется давлением. Отсчет производится по отклонению луча света, отраженного от зеркала *З*, закрепленного на пластине *B*. Преимуществом В. р. является независимость его показаний от рода газа. В. р. используется в лабораторной практике. *К. К. Оносовский.*



ВАКУУМНЫЙ ФОТОЭЛЕМЕНТ (vacuum photocell; tube photo-électronique, cellule photo-électrique, cellule photo-émissive; Vakuumphotozelle, Photozelle mit äußerem lichtelektrischem Effekt) — см. *Фотоэлемент с внешним фотоэффектом.*

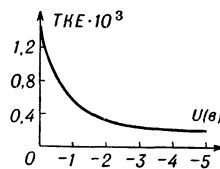
ВАРИАЦИЯ ПОКАЗАНИЯ ПРИБОРА [meter reading variation; variation des indications (lectures) d'appareil; Instrumentanzeigengänderung, Schwankung der Instrumentanzeigen] — наибольшая разность между отдельными показаниями измерит. прибора при повторных измерениях им одной и той же величины при неизменных внешних условиях. Вызывается трением в опорах подвижной части прибора, наличием люфтов, а также и др. причинами (напр., гистерезисом в нек-рых электроизмерит. приборах). В. п. п. снижает точность результата измерения. Для многих измерит. приборов (электроизмерит. показывающие приборы, манометры, нутромеры и др.) допустимые значения вариации показаний ограничены требованиями общесоюзных стандартов на эти приборы. В большинстве случаев необходимо, чтобы вариация показаний не превышала абс. значения наибольшей основной погрешности, допустимой для данного прибора. *М. И. Левин, А. М. Любарская.*

ВАРИКАПА (varicap; diode semiconductor à capacité variable, diode varactor; Vari-

cap, veränderliche Kapazität Diode) — ПП диод, примененный как нелинейная емкость. Используется *емкость барьерная* запертого *p-n*-перехода, обусловленная изменением заряда в нем при изменении приложенного напряжения (см. *Запирающий слой*). Зависимость барьерной емкости C_b от пост. напряжения (при малых перем. сигналах) описы-

вается приближ. ур-нием $C_b = C_{b0} \sqrt[m]{U_k/U_k - U}$, где U — пост. напряжение, приложенное к переходу (запиранию соответствует знак «-»), U_k — потенциальный барьер (в германиевых и кремниевых В. неск. десятых в); C_{b0} — барьерная емкость при $U=0$, m — параметр, зависящий от технологии изготовления (для сплавных *p-n*-переходов $m=2$, для диффузионных $2 \leq m \leq 3$). Типичная зависимость температурного коэфф. емкости (ТКЕ) В. от напряжения приведена на рис.

В. имеют преимущества перед *варикондами*: более высокая добротность, меньший ТКЕ, большая нелинейность (особенно при малых напряжениях), стабильность параметров во времени. В. применяются на различных радиочастотах в схемах автоподстройки и качания частоты автогенераторов, параметрических усилителей, стабилизаторов напряжения, преобразователей пост. напряжения в переменное и др.



Зависимость температурного коэфф. емкости варикапы от напряжения.

Лит.: Самойленко В. И., Особенности работы полупроводниковых диодов и триодов при больших напряжениях, М., 1959; Применение полупроводниковых приборов в авиационных радиотехнических устройствах. Сб. статей, под ред. И. С. Горюховского, М., 1960; Берман Л. С., Ландсман А. П., Субашин В. К., «Р-ка», 1959, т. 14, № 12, с. 69—70. *Л. С. Берман.*

ВАРИКОНД (varicond; condensateur variable avec la tension, variconde; spannungsabhängiger Kondensator) — сегнетокерамический конденсатор с резко выраженными нелинейными свойствами. Нелинейность его проявляется в значит. изменении емкости при изменении величины приложенного электрич. напряжения. Управление емкостью В. осуществляется пост. и перем. напряжениями в отдельности, а также при одноврем. воздействии неск. напряжений, отличающихся по амплитуде и частоте. При увеличении напряжения емкость В. растет, достигает максимума при нек-ром значении напряжения $U_{\text{макс.}}$ и затем снижается. Основ-

Основные свойства варикондов

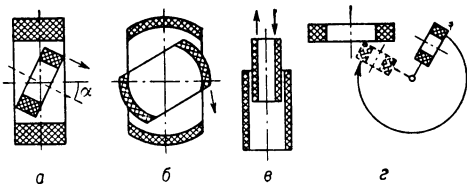
Обозначение материала	Температура Кюри	$K \sim$	$E_{\text{макс}}$ (в/мм)	Номинальные значения C	Примечание
ВК-1	75 ± 10	≥ 4	100	$100 \text{ нф} - 0,15 \text{ мкф}$	Простая технология изготовления
ВК-2	75 ± 10	≥ 8	80	$10 \text{ нф} - 0,22 \text{ мкф}$	Высокие K
ВК-3	25 ± 5	≥ 2	50	$100 \text{ нф} - 1,0 \text{ мкф}$	Большая удельная C и управляемость пост. напряжением
ВК-4	105 ± 10	≥ 8	150	$10 \text{ нф} - 0,1 \text{ мкф}$	Стабильные хар-ки от 20° до 80°
ВК-5	75 ± 10	≥ 20	60	$10 \text{ нф} - 0,01 \text{ мкф}$	Очень высокие K
ВК-6	200 ± 20	≥ 10	200	$10 \text{ нф} - 1000 \text{ нф}$	Высокая прямоугольность петли гистерезиса

ные параметры В.: коэфф. нелинейности по переменному (K_{\sim}) и по пост. ($K_{=}$) напряжениям; K_{\sim} — отношение макс. емкости к начальной; $K_{=}$ — отношение нач. емкости к предельной, измеренных при одном и том же фиксированном перем. поле и двух различных значениях пост. управляющего поля. В. изготавливаются в виде объемных и пленочных образцов размерами от 1 мм³ до 6 см³ (на основе ВК-6 до 0,5 см³); пленочные могут применяться в комплексе с ПП приборами.

В табл. приведены осн. параметры объемных В. из различных сегнетокерамических материалов, отличающихся температурой Кюри, выше которой исчезают нелинейные свойства, и степенью нелинейности. Для пленочных образцов управляющие перем. и пост. напряжения в 5—10 раз ниже, чем для объемных. В. характеризуются высокой механич. прочностью, устойчивы к воздействию вибрации, тряски, влаги, многих облучений. Применяются для автоматич. бесконтактного дистанц. управления, как диэлектрич. усилители мощности и напряжения, умножители и делители частоты, линии с управляемым временем задержки, пик-генераторы, параметрич. стабилизаторы тока и напряжения, искрогасящие шунты, нелинейные измерит. элементы, реле напряжения, реле времени, модуляторы амплитуды, частоты, фазы синусоидальных колебаний, низкочастотные релаксационные генераторы, элементы подстройки колеб. контуров, ячейки памяти для счетно-решающих машин; в качестве малогабаритных конденсаторов, емкостных измерит. термометров и для мн. др. устройств.

Лит.: Вербицкая Т. Н., «Эво», 1956, № 11, с. 68; там же, 1960, № 8, с. 68. Т. Н. Вербицкая.

ВАРИОМЕТР (variometer, adjustable inductor; variomètre; Variometer, Drehdrossel) — система катушек индуктивности, связанных магнитно и электрически и перемещаемых друг относительно друга для плавного изменения величин индуктивности. Простейший В. (рис., а) состоит из двух последовательно соединенных катушек — неподвижной (статора) и вращающейся (ротора). Индуктивность L такого В. равна: $L = L_1 + L_2 + 2M \cos \alpha$, где L_1 — индуктивность статора, L_2 — индуктивность ротора; M — их макс. взаимная индуктивность (при $\alpha = 0$); α — угол поворота ротора. При изменении α от 0° до 180° индуктивность В. изменяется от $L_{\max} = L_1 + L_2 + 2M$ до $L_{\min} = L_1 + L_2 - 2M$. Диапазон изменения индуктивности возрастает при возрастании взаимной индуктивности, чему способствует равенство индуктивностей ротора и статора. Макс.



Типы вариометров: а — с вращающейся катушкой; б — шаровой; в — с выдвигающейся катушкой; г — с подвижной катушкой вне статора.

диапазон изменения индуктивности обеспечивается в шаровом В. (рис., б), где L_{\max}/L_{\min} достигает 10, что примерно в 2 раза больше, чем у цилиндрич. В. Катушки В. могут соединять-

ся параллельно или последовательно. При параллельном соединении катушек индуктивность В. изменяется от

$$\frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M} \text{ до } \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M}.$$

Подвижная катушка может быть короткозамкнутой; такой В. конструктивно наиболее прост, но его добротность сильнее уменьшается при уменьшении связи катушек, чем у др. В. Нек-рые В. конструктивно соединяются с переменными конденсаторами. В. применяется для настройки выходных каскадов генераторов в широком диапазоне частот, а также в приборах для измерения индуктивности, где от них требуется линейная или логарифмич. шкала изменения индуктивности. Это достигается выбором конструкции В. и соотношений размеров катушек. В. с линейной шкалой (0—0,1 мГн) входят в состав магазинов индуктивностей 3-да «Точэлектрприбор», погрешность В. $\pm 0,0015$ мГн, активное сопротивление не более 3 ом. 3-д «Эталон» выпускает вариометры ВР с пределами изменения индуктивности от 1,7—12,5 мкГн (тип А) до 60—500 мГн (тип. Д).

Лит.: Нестеренко А. Д., Основы расчета электронизмерительных схем уравнивания, 2 изд., Киев, 1960; Мейнке Х., Гундлах Ф., Радиотехнический справочник, пер. с нем., т. 1, М.—Л., 1960. А. Е. Розинкин.

ВАРИСТОР (varistor; varistor, varistance; Varistor, spannungsabhängiger Widerstand, stromabhängiger Widerstand) — активное нелинейное ПП сопротивление, величина которого уменьшается с возрастанием напряженности электрического поля. Это объясняют электронной эмиссией из острых краев зерен вследствие микронагрева контактирующих точек, увеличением проводимости оксидных пленок и возрастанием тока через $p-n$ переходы между зернами в материале В. Упр-ние для низковольтных В.: $I = U \sigma_0 \exp(b \sqrt{U} - \frac{\omega}{kT})$,

где σ_0 — электропроводность в слабых полях; ω — ср. энергия активации материала; $\beta = U/I \cdot \frac{dI}{dU} = 1 + b \sqrt{U}/2$ — коэфф. нелинейности.

Хар-ки высоковольтных В. снимаются вместе с разрядником, с к-рым они применяются. В. практически безынерционны. Изготавливаются в виде дисков и др. форм из материалов на основе порошкообразного SiC. Для связывания зерен SiC используют глину, жидкое стекло, легкоплавкое стекло, ультрафарфор, кремний, органич. лаки и искусств. смолы. Электроды наносятся вжиганием или распылением расплавл. Cu или Al. Кроме 2 основных, могут быть дополнит. управляющие электроды. Параметры В. зависят от свойств SiC, размеров зерен и относит. содержания SiC и связки, качества перемешивания, темп-ры, продолжительности обжига и геометрии сопротивления. В. подразделяются на высоко- и низковольтные. Высоковольтные В. используются в вентильных разрядниках для защиты от импульсных перенапряжений устройств перем. тока до 400 кВ. Низковольтные В. изготавливаются на рабочие напряжения от 3 до 200 в, токи от 1 ма до 5 а с $\beta = 1,5-7$. Единичные дисковые сопротивления рассеивают мощность до 1 вт, сопротивления для больших мощностей собираются в виде столбиков из комплекта шайб с радиаторами охлаждения. Применяются для стабилизаторов напряжения, искрогашения на контактах и защиты от коммутационных перенап-

ряжений, в качестве регуляторов числа оборотов двигателей и для изменения направления их вращения. Пример маркировки В. на рабочее напряжение 20 в, ток 10 ма при $\beta=4$: НПС 20—10—4.

В. защищают от действия влаги, напр. покрытиями из лака или эпоксидной смолы. В. обладают достаточной стабильностью хар-к с течением времени, выдерживают значит. перегрузки, не боятся тряски и ударов; предельная рабочая частота доходит до 0,5 Мгц. Схемами с В. пользуются в счетнорешающей технике для возведения в степень, извлечения корней, умножения и деления заданных величин. На основе В. изготавливаются умножители частоты, модуляторы и различные управляемые устройства. Применение В. в телефонии, радиотехнике и телевидении позволяет регулировать громкость звука, изготавливать плоские телевизоры, экраны, упрощать схемы и улучшать работу аппаратуры.

Лит.: Пружинин А. Грановская В. И., «Э-во», 1945, № 7, с. 32; Розенблат М. А. и Седых О. А., «АвтТ», 1951, т. 12, № 4, с. 306; Пасынков В. В. и Савельев Г. А., «Э-во», 1959, № 9, с. 72; Полупроводники в науке и технике, под ред. А. Ф. Иоффе, т. 1, М.—Л., 1957, гл. 10, с. 314; Teszner S., Seguin P., Millet J., «Ann. télécommunications», 1953, t. 8, № 8—9, p. 271; Braun A., Busch G., «Helv. phys. acta», 1942, v. 15, fasc. 6, p. 571; там же, 1945, v. 18, fasc. 4, p. 251; Zückler K., «Z. angew. Phys.», 1956, Bd 8, H. 1, S. 34.

ВВОД ДАННЫХ В АВМ [data input in analog computer; introduction des données dans les calculatrices analogiques; Informations-eingabe (Dateneingabe) in Analogrechnern] — комплекс мероприятий и устройств, обеспечивающих ввод исходной информации в АВМ. К операциям ввода данных относятся: коммутация операц. блоков, установка коэфф. передачи усилителей и потенциометров, настройка блоков задания функцион. зависимостей и перем. коэфф. и задание нач. значений переменных. Коммутация операц. блоков осуществляется путем соединения входов и выходов блоков, выполняющих различные вычислит. операции, согласно системе ур-ний, подлежащей решению. Для коммутации блоков используются коммутац. поля, конструктивное выполнение к-рых определяется типом и назначением АВМ. Установка коэфф. передачи суммирующих и интегрирующих усилителей сводится к смене или настройке входных сопротивлений, сопротивлений цепи обратной связи или интегрирующих конденсаторов в соответствии со знаками пост. коэфф. и принятыми масштабами для переменных. Настройка блоков задания функцион. зависимостей и перем. коэфф. производится по методике, определяемой конструктивными и схемными решениями, принятыми при разработке блоков данной установки. Операции В. д. в АВМ, как правило, производятся вручную. Наиболее современные АВМ ср. и большой мощности для увеличения времени полезной работы снабжаются съемными коммутац. полями и устройствами для автоматизации ввода данных. При автоматизации ввода используется обычно перфолента, управляющая изменением коэфф. передачи потенциометров, служащих для задания постоянных коэфф. или нач. значений иско-мых переменных.

При работе с АВМ для исследования реальных систем управления или в составе тренировочных устройств для В. д. используются электрические потенциометры, пол-

зунки к-рых приводятся в движение исполнит. элементами реальной аппаратуры или оператором. Вывод данных при этом осуществляется подачей электрич. выходных величин в реальную аппаратуру или на элементы, имитирующие показания реальных указывающих приборов (см. *Вывод данных из АВМ*).

И. М. Витенберг.

ВВОД ДАННЫХ В ЦВМ [data input in digital computers; introduction des données dans les calculatrices digitales; Informations-eingabe (Dateneingabe) in Ziffernrechnenautomaten] — комплекс мероприятий и устройств, обеспечивающих ввод исходной информации в ЦВМ. Выполняется человеком, задающим программу работы и исходные числовые данные, или автоматически по линиям связи от реальных объектов. При В. д. в ЦВМ человеком они наносятся на промежуточные устройства хранения информации — перфоленты и перфокарты. При наладке машины и отладке программ возможен В. д. в ЦВМ непосредственно с клавиатуры на пульте машины.

Информация, поступающая по автоматич. каналам, должна сначала подвергаться первичной обработке (сортировка, перевод в машинный код, выделение полезного сигнала на фоне шумов, присвоение машинных адресов для отправки в ЗУ и т. д.). Первичная обработка выполняется либо на спец. входных устройствах, либо (при большом оперативном ЗУ) в машинах. Т. к. внутр. код машин отличается от человеч. языка, часто ввод данных и программ осуществляют на спец. символич. языке, являющемся входным в программы интерпретации, к-рые преобразуют информацию в машинный код. Данные и программы вводят в цифровом и цифро-буквенном коде. Скорость ввода с перфокарт — до 800 карт в мин., с перфолент — порядка неск. тысяч знаков в мин. Клавиатурный ввод с пульта имеет скорость ручной печати. Перфокарты и перфоленты читаются электромеханич. и фотоэлектрич. путем. Скорость фотоэлектрич. ввода самая высокая (до 600 знаков в сек.). Т. к. скорость работы вводных и выводных устройств во много раз ниже скорости работы АУ и УУ машины, то организуют одноврем. работу многих вводных и выводных устройств, т. о., чтобы получить оптим. загрузку машины на определ. круге задач.

Контроль В. д. в ЦВМ осуществляется схемно и программно. Существует контроль повторным чтением (2-я читающая головка на перфолентах или 2-е устройство чтения перфокарт) с последующим сравнением побуквенно и пословно, а также контроль с помощью контрольных кодов: слова сопровождаются контрольным сигналом, к-рый может наноситься, напр., при перфорации. При вводе спец. схема заново вырабатывает контрольный код и сравнивает его с имеющимся. Несовпадение контрольных кодов сигнализирует неправильное чтение и останавливает ввод. Затраты на оборудование при схемном контроле компенсируются повышением скорости В. д. в ЦВМ в связи с тем, что исключается повторение ввода. Иногда при перфорации печатается контрольная буквенная лента, к-рая визуаль-но сравнивается с оригиналом.

Получил распространение ввод путем нанесения данных спец. карандашами (напр., магнитными) на графические перфокарты либо бланки. Карты с ручной записью данных

пропускаются через спец. устройство, к-рое переводит рукописные отметки в перфорации. Бланки с цифровой информацией (напр., банковские чеки) читаются специальной приставкой, переводящей их в машинный код. Ведутся работы по чтению печатного и рукописного текста прямо с рукописи, что значительно сокращает предварительную обработку данных (см. *Вывод данных из ЦВМ*).

Н. Н. Рязко.

ВВОД ПЕРЕМЕННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ (variables coefficients introduction; introduction des coefficients variables; Einführung variabler Koeffizienten) — задание функций времени с одновременным умножением их на любую зависящую переменную при математич. моделировании систем обыкновенных дифференц. ур-ний. Наиболее распространены электромеханич. устройства (блоки) для В. п. к. В них используется потенциометрич. делитель напряжения, положение ползунка к-рого пропорционально величине ф-ции времени, а входное напряжение — переменной, подлежащей умножению на ф-цию времени; т. о., выходное напряжение оказывается пропорц. требуемому произведению. В зависимости от способа распределения сопротивления по длине потенциометра устройства для В. п. к. делятся на: 1) системы с линейным распределением сопротивления и нелинейным перемещением ползунка по времени (кулачковые и фотосчитывающие системы, системы с функциональным расположением контактного гребня или голого провода на поверхности барабана или движущейся вдоль линейного потенциометра пластины и т. п.); 2) устройства с нелинейным распределением сопротивления при линейном перемещении ползунка — т. н. функциональные потенциометры. По способу синхронизации во времени блоки перем. коэфф. делятся на непрерывные, в к-рых перемещение ползунка во времени осуществляется непрерывно (напр., вариатор коэффициентов в установке ЭМУ-4), и шаговые, использующие дискретное перемещение ползунка и делители напряжения. Наиболее распространены шаговые блоки, в состав к-рых входят: делитель напряжения (обычно стосекционный), шаговый переключатель и коммутацион. поле, используемое для задания функций. зависимости по времени методом кусочно-пост. (ступенчатой) аппроксимации. Для воспроизведения переменных коэфф. с различными скоростями изменения графика коэфф. в ходе одного решения скорость перемещения ползунка шагового переключателя может изменяться во времени. Для этого импульсы управления поступают в блок для В. п. к. через схему задания программы перемещения ползунка переключателя. Напр., в программном блоке машины МПТ-9 для этих целей используется дополнит. шаговый переключатель, к контактам к-рого с помощью программной коммутации поля подводятся импульсы различной требуемой частоты. Шаговые блоки, использующие метод кусочно-пост. аппроксимации кривых, могут быть дополнены схемой интерполяции. В этом случае с помощью делителя напряжения, шагового переключателя и коммутацион. поля воспроизводятся координаты точек начала всех линейных отрезков кусочно-линейной аппроксимации заданной кривой; линейные отрезки могут быть воспроизведены с помощью потенциометра, интегрирующего

усилителя или аналогичного блока переменного коэффициента, но осуществляющего линейную зависимость 25—50 мелкими ступенями. Осн. источник погрешностей электромеханич. систем В. п. к. при непрерывном перемещении ползунка во времени — неточность изготовления потенциометра, наличие нагрузки на выходе схемы блока и неточность изготовления элемента, воспроизводящего заданную для коэфф. зависимость (кулачок, контактная кривая, график на бумаге и т. п.). При шаговом перемещении ползунка потенциометра появляется дополнит. погрешность, величина к-рой зависит от соотношения частоты следования импульсов управления шаговым переключателем и скорости изменения заданной функции. зависимости и определяется принятым способом кусочно-постоянной аппроксимации.

Электронные схемы В. п. к. могут строиться, напр., как электронный эквивалент электромеханич. устройства с использованием потенциометрич. делителя напряжения и электронных ключей, заменяющих контакты шагового переключателя. Для образования величины переменного коэфф. может быть взята также любая схема образования нелинейной зависимости, входное напряжение к-рой изменяется линейно, а выходное поступает на схему перемножения, где умножается на др. величину, пропорцион. зависимой переменной.

Н. М. Бутенберг.

ВЕНГЕРСКИЙ МЕТОД (Hungarian method; méthode hongroise; ungarische Methode) — один из наиболее эффективных способов решения *транспортной задачи*. Предложен амер. ученым Г. Куном [1] для решения задачи о назначениях (проблема выбора). При разработке В. м. были использованы идеи венгерского математика Эгервари, высказанные им в 1931, — отсюда и назв. метода. В. м. основывается на одновременном рассмотрении исследуемой транспортной задачи и задачи двойственности (см. *Двойственности теория*). Общая схема метода для транспортной задачи в матричной постановке с транспортными расходами на единицу груза по коммуникации (i, j) , равными c_{ij} , состоит в следующем.

Выбирается нек-рый план двойственной задачи, т. е. с каждым пунктом производства $A_i (i=1, 2, \dots, m)$ и с каждым пунктом потребления $B_j (j=1, 2, \dots, n)$ связываются соответственно числа u_i и v_j , удовлетворяющие неравенствам

$$v_j - u_i = \bar{c}_{ij} \leq c_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n).$$

Коммуникации, для к-рых $\bar{c}_{ij} = c_{ij}$, наз. допустимыми. Далее решаются вспомогат. задачи — составление плана перевозок по допустимым коммуникациям максимально возможного суммарного объема. При этом в каждый пункт завозится не более того, что ему требуется. Если в результате реализации построенного плана все пункты потребления оказываются полностью удовлетворенными, то данный план является решением задачи. В противном случае по решению вспомогательной задачи и имеющемуся плану двойственной задачи формируется новый план двойственной задачи. Этот план порождает новую вспомогательную задачу, решение к-рой либо определяет искомый оптимальный план, либо дает возможность улучшить план двойствен-

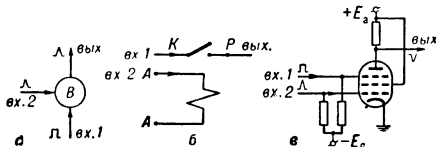
ной задачи. Каждый шаг метода сокращает степень неудовлетворенности пунктов потребления. Через нек-рое (конечное) число шагов все пункты потребления оказываются полностью удовлетворенными, и мы получаем решение транспортной задачи. Существует несколько алгоритмов (см. напр. [2]), основанных на идеях В. м. Различия их проявляется лишь на этапе решения вспомогат. задачи.

В сравнении с другими способами решения транспортной задачи В. м. обладает нек-рыми преимуществами: а) небольшая модификация В. м. (см. [3] стр. 404) позволяет после каждого шага получать план задачи и хар-ку его близости к решению. Это дает возможность прервать процесс решения после достижения заранее заданной близости к оптимуму, б) В. м. хорошо приспособлен для использования на ЦВМ, в) нечувствителен к явлению вырожденности (в противоположность *потенциалов методу*).

В. м. является приспособлением метода последовательного сокращения невязок к транспортной задаче. Гл. отличие состоит в экономном методе решения вспомогат. задачи, основанном на учете специфики условий транспортной задачи. Подробное описание В. м. можно найти в [3].

Лит.: 1) Кунн Н. В., The Hungarian method for solving the assignment problem, «Naval Res. Logistics Quarterly», 1955, в. 2, № 1—2, р. 83—97; 2) Александров А., Лурье А., Олейник Ю., Применение электронных вычислительных машин в оперативном планировании, «Автомоб. транспорт», 1959, № 6; 3) Юдин Д. Б., Гольштейн Е. Г., Задачи и методы линейного программирования, М., 1961. Е. Г. Гольштейн.

ВЕНТИЛЬ (в вычислит. технике), клапан, схема совпадения, временной селектор, вентиль совпадения (valve, gate, coincidence circuit; circuit à coïncidence, porte; Koinzidenzschaltung, Tür, Einwegleitung), — схема с несколькими входами (чаще двумя) и одним выходом, сигнал на котором образуется только тогда, когда есть сигналы на всех его входах. В. используется для управления передачей (клапанирования) сигналов и для осуществления (как схема совпадения) логич. операции «и». На один из входов В. подается сигнал в виде узкого (короткого) импульса, а на другой — широкий импульс или потенциал. Длительность выходного сигнала равна длительности самого узкого из входных сигналов (при чисто активной выходной цепи вентилля). Следовательно, В.



а — условное обозначение вентилля; б — реле в качестве вентилля; в — ламповый импульсно-потенциальный вентиль.

можно использовать в качестве формирующего или фазирующего элемента. Примером В. в автоматике служит электромагнитное реле (рис., б), в к-ром ток от контакта К направляется к Р только в том случае, когда есть ток также и в катушке А. Др. примером В. является ламповый пентод с двумя управляю-

щими сетками (рис., в). Выходной сигнал образуется тогда, когда лампа открыта по обоим сеткам одновременно. Условное обозначение В. и его схема показаны на рис., а.

Г. Б. Смирнов.

ВЕНТИЛЬ э л е к т р и ч е с к и й (valve; valve, soupape; Ventil)—электротехнич. устройство, электрич. сопротивление к-рого в большой мере зависит от направления тока, что позволяет применять В. для выпрямления перем. тока. Вентильное действие имеет место на границе двух различных сред: металла и электролита (в электролитических В.), металла и газа (в ртутных В., газотронах, тиратронах и игнитронах), металла и вакуума (в электронных лампах), металла и ПИ или двух различных ПИ или же двух ПИ с различными примесями (*полупроводниковый вентиль*). В. вместе с соответствующей вспомогат. аппаратурой образует *выпрямитель*.

ВЕНТИЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ [barrier-layer rectifier, converter; convertisseur à soupape (électronique, ionique); Stromrichter, Umrichter] — устройство для преобразования одного рода электрического тока в др., осн. рабочим элементом к-рого является электрич. вентиль. Различают В. п. перем. тока в постоянный (*выпрямитель*); пост. тока в переменный (*инвертор*); перем. тока одной частоты в перем. ток др. частоты (*вентильный преобразователь частоты*); пост. тока одного напряжения в пост. ток др. напряжения. В управляемых выпрямителях используются вентили, момент начала проводимости к-рых устанавливается по желанию (управляемые вентили). Это дает возможность получать выпрямл. напряжение, изменяющееся от нуля до макс. значения, равного выпрямл. напряжению неуправляемого выпрямителя. В зависимости от типа применяемых вентилей преобразователи могут быть электронные, ионные, полупроводниковые. В соответствии с функцион. назначением различают В. п. сигналов и В. п. мощности, служащие источником питания электрич. устройств.

Электронные В. п. применяются гл. обр. как преобразователи сигналов, а также как выпрямители для установок малой мощности, где большое внутр. падение напряжения электронных вентилей не имеет существенного экономич. значения. В последнее время их заменяют маломощные ПП выпрямители.

В ионных В. п. применяются вентили с твердым накаливаемым катодом (газотроны, тиратроны) и с жидким катодом (ртутные вентили). В мощных совр. энергетич. установках используются гл. обр. ионные В. п. В частности, ртутные выпрямители служат для питания потребителей пост. тока от энергосистем перем. тока (электролизные установки, пром. электропривод, электрич. транспорт). Мощность ртутных выпрямителей достигает 5 Мвт и больше (если применяется последоват. включение вентилей) при выпрямл. напряжении обычно в диапазоне 600—4000 в.

Для реверсивного электропривода применяются как выпрямители, так и инверторы. Функции тех и других поясняет рис. 1. При перекрестной схеме включения возможно использование как 2 отдельных агрегатов — выпрямителя и инвертора, так и спец. схем встречно-параллельного включения (рис. 2).

На электрич. транспорте применяются выпрямители (для питания поездов в тяговом

режиме) и инверторы (для возвращения энергии в энергоснабжающую сеть при рекуперативном торможении подвижного состава). При электрич. тяге однофазного тока применяются 2-пульсные (2-полупериодные) В. п.;

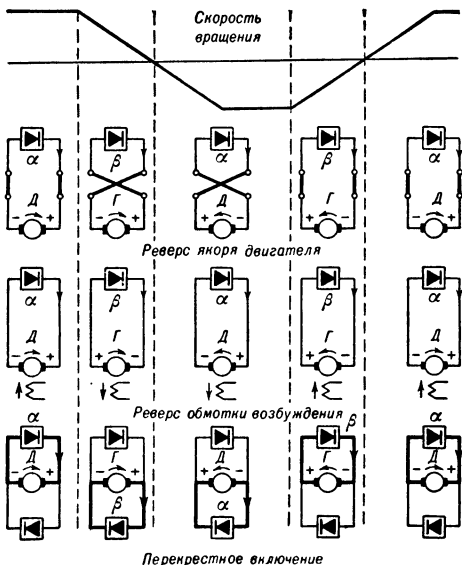


Рис. 1. Питание промышл. привода от вентильного преобразователя: α — работа преобразователя в выпрямительном режиме; β — работа преобразователя в инверторном режиме; Д — двигательный режим; Г — генераторный режим.

при тяге пост. тока — преимущественно 6-пульсные (6-фазные) В. п., иногда 12-пульсные (12-фазные).

С помощью ионных В. п. осуществляется передача энергии пост. током на большие расстояния. Напр., передача мощности порядка 750 Мвт может производиться при пост. напряжении ± 400 кВ относительно земли, к-рое

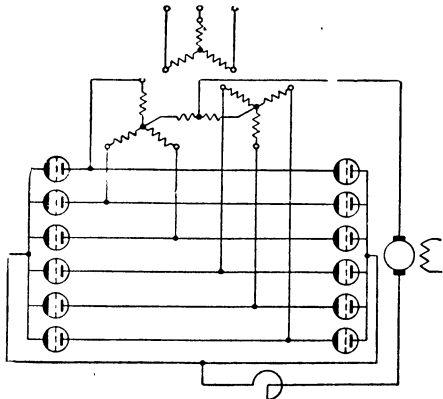


Рис. 2. Схема встречно-параллельного включения вентильного преобразователя на примере использования одного тр-ра, соединенного по схеме «2 обратные звезды с уравнительным реактором», к каждой вентильной обмотке к-рого подключено по 2 вентили с разными направлениями проводимости.

получается последоват. соединением 8 вентильных мостовых схем, собранных на ртутных вентиллях с рабочим напряжением порядка 100 кВ. На одном конце линии пост. тока

имеется выпрямит. подстанция, на др. — инверторная, где пост. ток снова превращается в 3-фазный, легко поддающийся трансформации по напряжению и пригодный поэтому для распределения энергии между различными потребителями.

Все более широкое применение получают ПП преобразователи, гл. обр. кремниевые, к-рые вытесняют неуправляемые ртутные выпрямители. Созданные в последнее время кремниевые управляемые вентили сузили границы применения тиратронов в преобразователях мощности, работающих при ср. мощностях и напряжениях.

М. А. Чернышев.

ВЕНТИЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ [frequency converter; convertisseur de fréquence à soupape électronique (ionique); Frequenzumsetzer] — один из видов вентильных преобразователей, связывающий две системы переменного тока разных частот и нередко с различным числом фаз. В. п. ч. применяются для широкого регулирования скорости электроприводов с асинхронными короткозамкнутыми двигателями, в питании электрич. тяги перем. тока пониж. частот, для индукц. нагрева и плавки металла, для связи электрич. систем разных частот, а также в электрооборудовании самолетов и в источниках электропитания. Осн. элементы В. п. ч.: вентили с системой сеточного управления, тр-ры, сглаживающие и коммутирующие устройства (реакторы и конденсаторы). Преобразование идет путем периодически повторяющихся процессов коммутации тока между вентильями. Коммутация тока в В. п. ч. осуществляется под воздействием напряжений питающей сети или напряжений на коммутирующих конденсаторах, а также при сочетании обоих способов коммутации.

Существуют два осн. типа В. п. ч.: 1) с промежуточной цепью выпрямл. тока и 2) непосредственно преобразующие частоту перем. токов и числа фаз. В. п. ч. первого типа с явно выраженной цепью выпрямл. тока представляет собой инвертор автономный, питаемый от выпрямителя [1, 4]. Он обеспечивает независимость соотношений частот на входе и на выходе и уравнищенность по мощности при связи 3-фазной и 1-фазной систем. В. п. ч. с неявно выраженной цепью выпрямл. тока — промежуточный между двумя осн. типами В. п. ч. (рис. 1). 3 из 9 вентилей на этой схеме обеспечивают передачу мощности от фазы выпрямит. тр-ра Tr_1 , имеющей в данный момент наиболее положит. напряжение, к фазе инверторного тр-ра Tr_2 с наиболее отрицат. напряжением. Цепь пост. тока I_d создается здесь периодически сменяющими друг друга в работе вентильями и фазными контурами [5]. Схема В. п. ч. с неявно выраж. цепью выпрямл. тока дана на рис. 2. Здесь 18 вентилей объединены в 6 групп, каждая из к-рых подключена к реактору, имеющему 3 обмотки на общем сердечнике. Ср. точки этих обмоток соединены с шинами выходной частоты и коммутирующими конденсаторами. Сеточное управление должно обеспечить такой порядок прохождения токов через вентили, чтобы закон изменения преобразов. напряжений и токов соответствовал 3-фазному их чередованию при любой частоте на выходе В. п. ч. [6]. Подобный же преобразователь может быть использован для преобразования 1-фазной системы тока в 3-фазную. В этом случае вместо 18 вентилей потребуется

12, также объединенных в 6 отдельных групп [7]. Эти схемы допускают коммутацию тока за счет напряжения питающей сети при относительно низких выходных частотах с переходом на конденсаторную коммутацию лишь

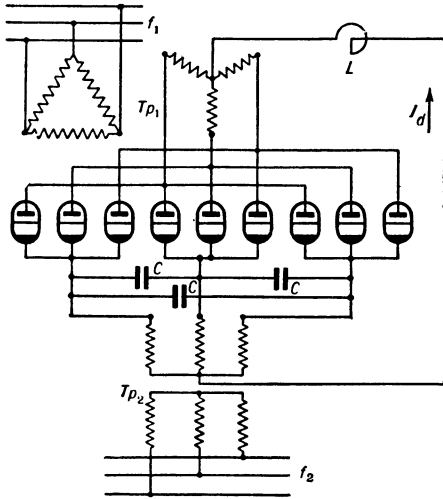


Рис. 1. Схема вентильного преобразователя частоты для преобразования 3-фазной системы тока частотой 50 гц в 3-фазную систему тока повыш. частоты (до 500 гц).

при больших частотах (более 20 гц). Для приближения формы кривой выходного напряжения В. п. ч. к синусоидальной можно отпирать одни вентили с нек-рым опережением, а др. — отставанием. Дополнит. регулирование углов зажигания позволяет также пропускать через В. п. ч. реактивную мощность.

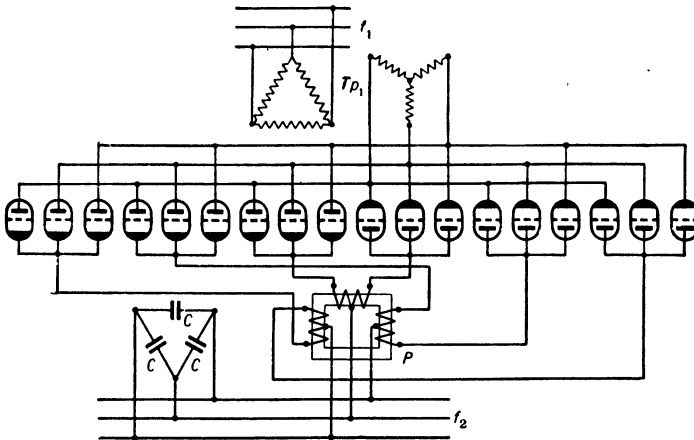


Рис. 2. Схема вентильного преобразователя частоты для преобразования 3-фазной системы перем. тока повыш. частоты (400—800 гц) в 3-фазную систему регулируемой в широких пределах низкой частоты.

В. п. ч., непосредственно осуществляющие преобразование частоты перем. тока и числа фаз (рис. 3), в простейшем виде можно представить как комбинацию 2 выпрямителей, периодически действующих в противоположных направлениях. При этом частота на выходе В. п. ч. составляет дробную часть от частоты питающей сети. Схемы соединения вентилей и обмоток тр-ра могут быть различными

[8—10]. Кривая напряжения низкой частоты в таких преобразователях образуется как огибающая из отдельных участков кривых

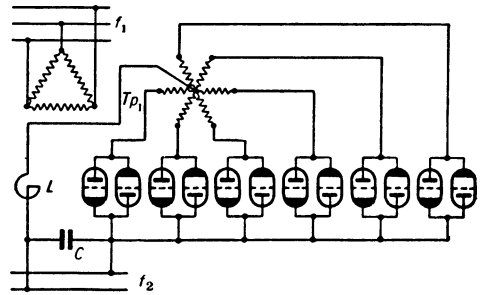


Рис. 3. Схема вентильного преобразователя частоты, непосредственно преобразующего 3-фазную систему заданной частоты в 1-фазную систему более низкой частоты.

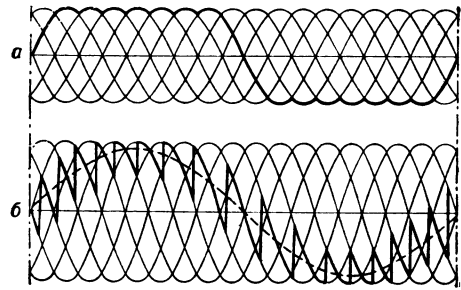


Рис. 4. Кривые напряжения низкой частоты для вентильных преобразователей частоты.

вторичных напряжений тр-ра (рис. 4, а) и имеет трапецеидальную форму. Сеточное управление выполняет здесь единственную задачу — отпирания и запирает с заданной низкой частотой ту или иную группу вентилей без дополнит. регулирования угла зажигания вентилей. Преобразование частоты в этом случае — дискретное, причем интервалы между смежными частотами уменьшаются по мере уменьшения выходной частоты. Реактивная мощность частично передается непосредственно из питающей сети, а недостающая мощность должна компенсироваться конденсаторами в цепи нагрузки. Дополнит. регулирование угла зажигания вентилей позволяет полностью передавать реактивную мощность из питающей сети, но при этом усложняется система сеточного управления, т. к. на

интервалах, где ток и напряжение низкой частоты имеют разные знаки, необходимо осуществлять инверторный режим преобразования.

В В. п. ч. такого типа кривую напряжения низкой частоты можно также получать не как огибающую кривых вторичных фазных напряжений, а выбором в качестве рабочих участков разных отрезков синусоид вторичных

напряжений (рис. 4, б). Такие преобразователи не связаны жестким соотношением частот и применяются для гибкой связи двух систем.

Приведенные выше схемы В. п. ч. предназначены для установок с ионными вентилями. Новые возможности в создании В. п. ч. открываются при внедрении управляемых ПП вентилях.

Лит.: 1) Шиллинг В., Схемы выпрямителей, инверторов и преобразователей частоты, пер. с нем., М.—Л., 1950; 2) Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 3, М.—Л., 1956; 3) Хамудханов М. З., Частотное управление асинхронным электроприводом при помощи автономного инвертора, Ташкент, 1959; 4) Завалишин Д. А., Шукалов В. Ф., Вентильные преобразователи частоты, предназначенные для частотного регулирования скорости асинхронных двигателей, «ВЭ», 1961, № 6; 5) Шевченко Г. И., Стабилизация выходного напряжения ионного преобразователя частоты, «Э-но», 1953, № 5; 6) Завалишин Д. А., Ионный преобразователь частоты для регулирования скорости асинхронных двигателей, там же, 1939, № 4; 7) его же, Новые системы преобразования частоты переменного тока при помощи электронно-ионных преобразователей и генераторов с ионным коллектором, «ИАН СССР ОТН», 1958, № 8; 8) Глинтнер С. Р., Соотношения между напряжениями и токами в ионных преобразователях частоты, там же, 1953, № 11; 9) его же, Трехфазная мостовая схема ионного преобразователя частоты, там же, 1954, № 10; 10) его же, Обзор и сравнение схем ионных преобразователей частоты, «Гр. Ленингр. политехн. ин-та», 1953, вып. 3. С. Р. Глинтнер.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МАШИНА (probabilistic machine; machine probabilistique; Wahrscheinlichkeitsmaschine) — конечный автомат, вероятность перехода которого в другое состояние зависит от последовательности предшествующих состояний. Пусть задана система с множеством состояний $\{x\}$, входных символов $\{q\}$ и выходных символов $\{s\}$, и пусть указано правило, дающее вероятность $p(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_n}, q_e, x_k, s_m)$ перехода системы в состояние x_k , если она прошла последовательность состояний $x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_n}$ и восприняла входной сигнал q_e . Такая система наз. В. м. Если выходной символ однозначно определяется состоянием В. м., а вероятность перехода зависит лишь от предыдущего состояния и входного сигнала, то В. м. наз. марковской. Всякая В. м. эквивалентна нек-рой марковской В. м. Удобным способом задания марковской В. м. служит матрица вероятностей переходов от одного состояния (при данном входном сигнале) к другому. В частном случае, когда каждое состояние однозначно определяет последующее, В. м. превращается в детерминированную машину. Следует отметить, что по отношению к реальным системам различие между В. м. и детерминированной машиной не является абсолютным. Так, ЦВМ, в к-рую введена таблица случайных чисел, может рассматриваться как В. м., если мы не знаем, какое число в данный момент считывается, и как детерминированная машина, если мы знаем это. При изучении систем со сложным поведением (в биологии, психологии и т. д.) понятие В. м. играет большую роль. Пример В. м. — гомеостат Эшби. Новым перспективным методом использования ЦВМ является Монте-Карло метод, при к-ром ЦВМ работает как В. м., используя либо датчики случайных чисел, либо алгоритмы для их получения. Играющие и обучающиеся машины также представляют собой гл. обр. В. м.

Лит.: К. де Леу [и др.], Вычислимость на вероятностных машинах, в сб.: Автоматы, пер. с англ., М., 1956; Эшби У. Р., Введение в кибернетику, пер. с англ., М., 1959; Бусленко Н. П.

и Шрейдер Ю. А., Метод статистических испытаний, М., 1961; Первин Ю. А., Об алгоритмизации и программировании игры в домино, в сб.: Проблемы кибернетики, вып. 3, М., 1960. Л. Б. Левитин.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПРОЦЕСС, стохастический, случайный (random process; processus aléatoire; Wahrscheinlichkeitsprozeß), — изменения во времени физич. системы, к-рые заранее точно предсказать невозможно, в отличие от детерминированных процессов, течение которых определено однозначно. Теория В. п. с успехом применяется для решения многих задач техники связи, автоматич. управления, электронных вычислит. машин, радиолокации — везде, где производятся преобразования стохастич. сигналов и шумов или имеются каналы со случайно изменяющимися параметрами.

В системах передачи информации сигналы на входе приемных устройств являются случайными процессами. Непредсказуемый, стохастич. характер этих сигналов связан с тем, что полезные сигналы, при помощи к-рых передаются сообщения, искажаются различного рода случайными помехами: атмосферными, космическими, искусственно создаваемыми, флуктуац. шумами, связанными с тепловым движением электронов, и др. Теория В. п. указывает оптимальные способы обработки принятого сигнала с целью извлечения информации из сообщения, к-рое несет полезный сигнал, замаскиров. помехами. Простейшим примером может служить система, в к-рой источник производит 2 сообщения — «да» или «нет», передающиеся двумя сигналами — импульсом и паузой. В канале, по к-рому проходят сигналы, действуют помехи; они могут либо разрушать передаваемые импульсы, либо создавать ложные импульсы. Статистич. методы позволяют заранее установить для оператора правило, к-рым следует руководствоваться при расшифровке передачи, и вычислить качество системы передачи данных, т. е. относит. долю правильно расшифров. сообщений.

Различают два вида задач по установлению эффективной процедуры обработки принятого сигнала: 1) обнаружение полезного сигнала при наличии помех. В этом случае по результатам обработки принятого сигнала (он может быть либо только помехой, либо суммой полезного сигнала и помехи) решают, содержится полезный сигнал в принятом или нет; 2) выделение полезного сигнала, когда априори известно, что он послан и содержится в принятом. Для этого определяют нек-рое число информ. параметров полезного сигнала по результатам обработки принятого сигнала.

Одной из актуальнейших в совр. технике является проблема обеспечения надежности сложных систем, состоящих из большого числа ненадежных элементов. Надежность работы элементов и системы в целом, равно как и длительность восстановления системы после отказа, зависит от многих случайных факторов (качества изготовления, производств. допусков, режимов работы, внешних условий и др.). Эти два состояния системы — функционирования и отказа — описываются дискретным В. п.

Теория В. п. служит аналитич. аппаратом кибернетики и информатики теории в широком смысле этих терминов и, в частности, в теории кодирования и в теории помехоустойчивости технич. систем.

Количественно В. п. описывается случайной ф-цией времени $\xi(t)$, к-рая в любой момент времени t может принимать различные значения с заданным распределением вероятностей. В. п. (случайная ф-ция времени) определяется совокупностью ф-ций времени и законами, характеризующими статистич. свойства совокупности. Каждая из ф-ций этой совокупности наз. реализацией случайной ф-ции. В зависимости от того, принадлежат ли возможные значения времени t и реализации $\xi(t)$ дискретному множеству чисел или отрезку (а может быть и всей) действит. оси, различают 4 типа В. п.: 1) непрерывный В. п. — t и $\xi(t)$ могут принимать любые значения на отрезке (или на всей) действит. оси; 2) дискретный В. п. — t непрерывно, а величины $\xi(t)$ дискретны; 3) непрерывная случайная последовательность — t дискретно, а $\xi(t)$ может принимать любые значения на отрезке (или на всей) действит. оси; 4) дискретная случайная последовательность — t и $\xi(t)$ оба дискретны.

Реализациями непрерывного В. п. являются непрерывные ф-ции времени (рис. 1). Непрерывный В. п. применяется, напр., в электронике для макроскопич. описания флуктуац. шумов. Реализациями дискретного В. п. являются ступенчатые ф-ции времени (рис. 2), к-рые

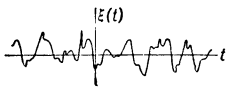


Рис. 1. Непрерывные ф-ции времени.

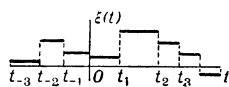


Рис. 2. Ступенчатые ф-ции времени.

имеют место, напр., на выходе релейной системы автоматич. регулирования счетчика и устройства, осуществляющего квантование сигнала при импульсно-кодовой модуляции.

В. п., представляемые случайными ф-циями от непрерывно изменяющегося аргумента t , не исчерпывают полностью статистич. модели реальных физич. явлений. Иногда В. п. мыслится разложенным на последоват. шаги, т. е. представляется случайными ф-циями от дискретного времени. Пример непрерывной случайной последовательности дает известная задача о случайных блужданиях (броуновское движение, отражение от неоднородностей, многолучевое распространение и др.), в к-рой каждый «шаг» (перемещение) может быть любой (ограниченной) действит. величиной, но эти «шаги» совершаются только в дискретные моменты времени. Если «шаги» образуют лишь дискретное множество, то реализуется дискретная последовательность, простейшим примером к-рой является серия возможных исходов («1» = герб или «0» = надпись) при бросании монеты в дискретные моменты времени.

Рассмотрим N реализаций случайной ф-ции. Выделим из этого числа те n_1 реализаций, значения к-рых в определ. момент $t=t_1$ меньше, чем нек-рое число x_1 . При достаточно большом числе N относит. доля $\frac{n_1}{N}$ реализаций, находящихся в момент времени $t=t_1$ ниже уровня x_1 будет оставаться приблизительно постоянным числом. Это число наз. вероятностью того, что при $t=t_1$ случайная ф-ция $\xi(t)$ находится ниже уровня x_1 и обозначается $P\{\xi(t) \leq x_1\}$. Указанная вероятность зависит как от фиксированного момента времени, так и от выбранного уровня, т. е. является ф-цией двух пере-

менных t и x_1 . Эта функция

$$F_1(x_1, t_1) = P\{\xi(t_1) \leq x_1\}$$

наз. одномерной интегральной функцией распределения вероятностей случайного процесса. Если интегр. ф-ция распределения имеет частную производную по x_1

$$\frac{\partial F_1(x_1, t_1)}{\partial x_1} = w_1(x_1, t_1),$$

то эта производная наз. плотностью вероятности В. п. Ф-ции $F_1(x_1, t_1)$ и $w_1(x_1, t_1)$ — простейшие статистич. хар-ки В. п. Эти хар-ки дают представление о процессе лишь в отдельные фиксированные моменты времени.

Для более полной хар-ки В. п. необходимо знать связь между вероятными значениями случайной ф-ции при 2 произвольных моментах времени t_1 и t_2 . Для этого из N реализаций случайной ф-ции выделим те n_2 реализаций, значения к-рых в момент времени $t=t_1$ меньше x_1 , а в момент времени $t=t_2$ меньше x_2 . При достаточно большом N относит. доля $\frac{n_2}{N}$ реализаций, находящихся при $t=t_1$ ниже уровня x_1 и при $t=t_2$ ниже уровня x_2 , будет оставаться приблизительно пост. числом. Это число наз. вероятностью того, что случайная ф-ция $\xi(t)$ при $t=t_1$ находится ниже уровня x_1 и при $t=t_2$ ниже уровня x_2 . Указанная вероятность $P\{\xi(t_1) \leq x_1, \xi(t_2) \leq x_2\}$ является ф-цией 4 переменных x_1, x_2, t_1, t_2

$$F_2(x_1, x_2, t_1, t_2) = P\{\xi(t_1) \leq x_1, \xi(t_2) \leq x_2\}$$

и наз. двумерной интегральной функцией распределения вероятностей случайного процесса.

Если ф-ция $F_2(x_1, x_2, t_1, t_2)$ имеет производную

$$\frac{\partial^2 F_2(x_1, x_2, t_1, t_2)}{\partial x_1 \partial x_2},$$

то эта производная наз. двумерной плотностью вероятности В. п. Подобным образом можно определить вероятность того, что случайная ф-ция $\xi(t)$ при n моментах t_1, t_2, \dots, t_n будет находиться ниже уровней x_1, x_2, \dots, x_n соответственно

$$P\{\xi(t_1) \leq x_1; \xi(t_2) \leq x_2; \dots; \xi(t_n) \leq x_n\} = F_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n).$$

Указанная вероятность является ф-цией 2 n переменных и наз. n -мерной интегральной функцией распределения вероятностей случайного процесса. Если $F_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n)$ имеет производную

$$\frac{\partial^n F_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n)}{\partial x_1 \partial x_2 \dots \partial x_n} = w_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n),$$

то эта производная наз. n -мерной плотностью вероятности В. п.

Последовательности ф-ций

$$F_1(x_1, t_1), F_2(x_1, x_2, t_1, t_2), \dots, F_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n) \text{ или } w_1(x_1, t_1), w_2(x_1, x_2, t_1, t_2), \dots, w_n(x_1, x_2, \dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n)$$

представляют своеобразную лестницу, поднимаясь по к-рой удается более подробно характеризовать статистич. свойства В. п.

Иногда достаточно знать о В. п. меньше, чем дают ф-ции распределения: можно ограничиться, напр., такими суммарными числовыми характеристиками процесса, как моменты распределения, к-рые в общем виде определяются след. образом:

$$\begin{aligned} m_{k_1, k_2, \dots, k_n}(t_1, t_2, \dots, t_n) &= \\ &= m_1 \{ [\xi(t_1)]^{k_1} [\xi(t_2)]^{k_2} \dots [\xi(t_n)]^{k_n} \} = \\ &= \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty}}_{n \text{ раз}} x_1^{k_1} x_2^{k_2} \dots x_n^{k_n} w(x_1, x_2, \dots, \\ &\dots, x_n, t_1, t_2, \dots, t_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n, \end{aligned}$$

где m_1 — символ усреднения по множеству реализаций.

Некоторые свойства В. п. описываются небольшим количеством числовых хар-к. Среди них наиболее распространенными являются: среднее значение В. п. (или 1-й момент)

$$m_1 \{ \xi(t) \} = \int_{-\infty}^{\infty} x w_1(x, t) dx = a(t);$$

дисперсия В. п. (или 2-й момент отклонения от среднего)

$$\begin{aligned} m_1 \{ [\xi(t) - a]^2 \} &= \int_{-\infty}^{\infty} (x - a)^2 w_1(x, t) dx = \\ &= \sigma^2(t); \end{aligned}$$

корреляционная функция В. п. (или смешанный 2-й момент)

$$\begin{aligned} m_1 \{ \xi(t_1) \xi(t_2) \} &= \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x_1 x_2 w_2(x_1, x_2, t_1, t_2) dx_1 dx_2 = B(t_1, t_2). \end{aligned}$$

В. п. наз. стационарным (строго), если его статистич. свойства, т. е. характеризующие эти свойства ф-ции распределения любого порядка, не зависят от положения начала отсчета времени. В. п. — нестационарный, если его статистич. свойства не инвариантны по отношению к произвольному смещению начала отсчета времени. Среднее значение и дисперсия стационарного В. п. — постоянные величины, не зависящие от времени, а корреляц. ф-ция такого процесса зависит только от одной переменной — разности двух моментов времени.

Для очень большого числа практич. задач корреляц. ф-ция является достаточно полной статистич. хар-кой стационарного В. п. Раздел теории, посвящ. изучению лишь тех свойств В. п., к-рые определяются их моментами первых двух порядков, наз. корреляц. теорией В. п. (см. *Корреляция*). Естественно в рамках этой теории считать стационарными В. п., у к-рых среднее значение и дисперсия не зависят от времени, а корреляц. ф-ция зависит только от разности двух моментов времени. В. п., удовлетворяющие этим условиям, наз. стационарными в широком смысле (или стационарными в смысле А. Я. Хинчина). Стационарность в широком смысле не тождественна строгой стационарности. В. п., стационарные строго, будут, конечно, всегда стационарны в широком смысле, но не наоборот.

Следует отметить, что корреляц. ф-ция не характеризует В. п. так подробно, как многомерные ф-ции распределения. Более того, различным процессам могут соответствовать одинаковые корреляц. ф-ции; др. словами, равенство корреляц. ф-ций не означает тождественности процессов. Однако практич. ценность корреляц. теории возрастает в связи с тем, что из этого общего положения существует важное исключение: для распространенного класса стационарных В. п. — т. н. нормальных В. п., задание только корреляц. ф-ции полностью определяет многомерные распределения. Для нормальных процессов понятия стационарности в строгом и широком смысле совпадают.

Дальнейшим обобщением стационарных В. п. являются В. п. со стационарными приращениями. В. п. $\xi(t)$ наз. процессом со стационарными приращениями, если при любом фиксированном τ

$$\Delta \xi(t) = \xi(t) - \xi(t - \tau)$$

представляет стационарный В. п. Очевидно, что любой стационарный процесс является одновременно В. п. со стационарными приращениями, но не наоборот. Можно ввести более общее понятие В. п. $\xi(t)$ со стационарными n -ми приращениями, как процесса, для к-рого

$$\begin{aligned} \Delta^n(t) &= \xi(t) - \binom{n}{1} \xi(t - \tau) + \\ &+ \binom{n}{2} \xi(t - 2\tau) - \dots + (-1)^n \xi(t - n\tau) \end{aligned}$$

представляет стационарный В. п. Хотя во многих практич. ситуациях допущение стационарности исследуемого В. п. можно считать достаточно точным, имеется очень большое число задач, для решения к-рых необходимо исследовать нестационарные В. п. Простейший пример нестационарного процесса — сумма стационарного и детерминированного процессов. Др. примером нестационарного процесса является процесс, описываемый во времени полиномами со случайными коэфф. ξ_k ,

$$\xi(t) = \sum_{k=0}^n \xi_k t^k.$$

Нестационарными являются импульсные В. п., т. е. последовательность импульсов, параметры к-рых (амплитуда, длительность, момент возникновения и др.) случайны. Нестационарны в статистич. смысле и модулированные колебания, даже в предположении, что несущая частота модулируется стационарным В. п. Принципиально нестационарность изучаемых процессов имеет место всегда вследствие ограниченности времени наблюдения.

В. п. наз. эргодическим, если любая статистич. хар-ка, полученная усреднением по множеству возможных реализаций, с вероятностью, сколь угодно близкой к единице, может быть получена усреднением за достаточно большой промежуток времени из одной единственной реализации В. п. Так, для эргодич. стационарного процесса моменты распределения и корреляц. ф-ция (к-рые являются средними по множеству реализаций) равны пределам соответствующих средних по времени наблюдаемой реализации, а именно:

$$m_k \{ \xi(t) \} = m_1 \{ [\xi(t)]^k \} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \xi^k(t) dt,$$

$$B(\tau) = m_1 \{ \xi(t) \xi(t + \tau) \} = \\ = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \xi(t) \xi(t + \tau) dt.$$

Среднее значение стационарного В. п. можно трактовать как постоянную составляющую этого процесса

$$a = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \xi(t) dt.$$

Момент второго порядка, равный значению корреляц. ф-ции при $\tau=0$, имеет вид

$$m_2 = m_1 \{ \xi^2(t) \} = B(0) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \xi^2(t) dt.$$

Если $\xi(t)$ представляет изменение напряжения или тока, рассматриваемое как стационарный эргодич. В. п., то величина $m_2=B(0)$ равна средней мощности процесса, выделяемой на нагрузке в 1 ом.

Из эквивалентности двух способов усреднения стационарных эргодич. В. п. по множеству и по времени следует, что нет необходимости изучать большую совокупность реализаций, к-рой исследователь, как правило, не располагает, а достаточно одной единств. реализации, наблюдаемой в течение длит. промежутка времени. Т. к. реальные наблюдения ограничены по времени, то равенство средних по совокупности и по времени может приниматься лишь с определенной степенью достоверности и точности.

Лит.: Давенпорт В. Б., Рут В. Л., Введение в теорию случайных сигналов и шумов, пер. с англ., М., 1960; Дуб Дж., Вероятностные процессы, пер. с англ., М., 1956; Колмогоров А. Н., Об аналитических методах в теории вероятностей, «УМН», 1938, вып. 5, Левин Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960; Миддлтон Д., Введение в статистическую теорию связи, пер. с англ., т. 1, М., 1961; Лэнинг Дж. Х., Баттин Р. Г., Случайные процессы в задачах автоматического управления, пер. с англ., М., 1958; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 2 изд., М., 1960; Яглом А. М., Введение в теорию стационарных случайных функций, «УМН», 1952, т. 7, вып. 5; Хинчин А. Я., Теория корреляции стационарных стохастических процессов, там же, 1938, вып. 5, Б. Р. Левин.

ВЕРОЯТНОСТЬ (probability; probability; Wahrscheinlichkeit) (основные понятия теории вероятностей). Теория В. изучает закономерности массовых явлений, носящих случайный характер. Пусть производится нек-рый эксперимент при определ. условиях s . Предположим, что такой эксперимент может быть, по крайней мере в принципе, воспроизведен неогранич. число раз последовательно или одновременно. Напр., если эксперимент состоит в наблюдении за поведением броуновской частицы за промежутки времени длительности T , то воспроизведение эксперимента может заключаться в том, что наблюдается одна частица в промежутки времени от $t=0$ до $t=T$, от $t=T$ до $t=2T$ и т. д., или в том, что наблюдается сразу много частиц одинаковых размеров и массы в промежутке времени от $t=0$ до $t=T$. Пусть, далее, каждое испытание, т. е. осуществление эксперимента, может привести или не привести к нек-рому исходу A — случайному событию (или просто событию) по принятой в теории В. терминологии (в рассмотренном выше при-

мере событием A может быть, напр., попадание броуновской частицы из одной точки в другую, заранее отмеченную, за T сек.). Опыт показывает, что весьма часто событие A в условиях s присуща простейшая статистич. закономерность, к-рая состоит в том, что частота события A в испытаниях [т. е. дробь $n_N(A)/N$, где $n_N(A)$ — число испытаний, в к-рых A произошло] обнаруживает при больших N свойство стабильности: различные серии испытаний, по N испытаний каждая, дают весьма близкие значения частоты $n_N(A)/N$, и в каждой серии $n_N(A)/N$ мало изменяется с ростом N . Наличие такой закономерности свидетельствует о том, что частоты $n_N(A)/N$ представляют собой результаты измерений нек-рой физич. постоянной $P(A)$, к-рая и наз. В. события A в условиях s . Вероятность $P(A)$, как ф-ция события A , должна обладать рядом свойств, поскольку подобными свойствами обладают частоты событий. При формулировке этих свойств рассматриваются различные события A, B, \dots , могущие произойти при одних и тех же условиях эксперимента s ; поэтому слова «при условиях s » здесь опускаются; в конкретных задачах эти слова также принято опускать, хотя $P(A)$ всегда выражает нек-рую связь, существующую между событием A и условиями эксперимента.

Свойства вероятности: 1) В. любого события A удовлетворяет неравенствам $0 \leq P(A) \leq 1$; 2) если E — достоверное событие, т. е. неизбежно происходящее при каждом испытании, то $P(E)=1$; если O — невозможное событие, т. е. заведомо не могущее произойти ни при одном испытании, то $P(O)=0$; 3) если событие A происходит только в виде одного из своих частных случаев A_1, A_2, \dots, A_k , попарно несовместимых [т. е. никакие 2 из них, A_i и A_j (при $i \neq j$), не могут произойти совместно в одном и том же испытании], то $P(A)=P(A_1)+P(A_2)+\dots+P(A_k)$; это свойство наз. законом сложения вероятностей. Следует заметить, что из равенств $P(B)=1$ и $P(C)=0$, вообще говоря, не вытекает, что событие B достоверно, а событие C невозможно; можно, однако, утверждать, что при единичном испытании B наверняка произойдет, а C наверняка не произойдет. Впрочем, то же можно утверждать и тогда, когда $P(B)$ очень близко к единице, а $P(C)$ очень близко к нулю, с тем большей уверенностью, чем меньше числа $1-P(B)$ и $P(C)$.

Событие, состоящее в том, что события A и B происходят совместно, обозначают AB ; тогда дробь $P(AB)/P(B)$ [при $P(B) \neq 0$] соответствует отношению частот

$$[n_N(AB)/N] : [n_N(B)/N] = n_N(AB)/n_N(B),$$

а последнее выражает частоту события A в тех испытаниях серии из N испытаний, в к-рых B произошло; поэтому число $P(A|B) = P(AB)/P(B)$ наз. условной вероятностью события A при условии B ; в отличие от условных B , $P(A)$ наз. иногда абсолютной (безусловной) В. события A . Из определения $P(A|B)$ вытекает закон умножения вероятностей: $P(AB) = P(A|B)P(B)$. Если B происходит только в виде одного из своих частных случаев B_1, B_2, \dots, B_k , попарно несовместимых, то $P(AB) = P(A|B_1)P(B_1) + P(A|B_2)P(B_2) + \dots + P(A|B_k)P(B_k)$. Это т. н. теорема о полной вероятности. Если $P(AB) = P(A)P(B)$, то события A и B наз. независимыми; этот

термин оправдывается тем, что последнее соотношение [при $P(A) \neq 0$ и $P(B) \neq 0$] эквивалентно таким: $P(A|B) = P(A)$, $P(B|A) = P(B)$, и, заменив B их приближ. значениями (частотами соответствующих событий), мы заметим, что в тех испытаниях, в к-рых произошло одно из событий (напр. A), другое (событие B) происходит не чаще и не реже, чем в полной серии N испытаний.

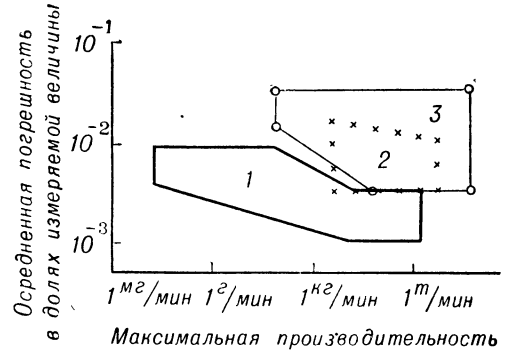
Отметим 2 простых частных случая, когда для различных A значения $P(A)$ определяются достаточно просто. Пусть среди событий, могущих произойти в результате рассматриваемых испытаний, можно выделить конечную систему «элементарных событий» E_1, E_2, \dots, E_n , обладающую такими свойствами: 1) в результате каждого испытания непременно происходит одно из E_k , 2) E_1, E_2, \dots, E_n попарно несовместимы, 3) E_1, E_2, \dots, E_n равновероятны, т. е. в силу каких-то особенностей условий s каждое из E_k должно происходить примерно с одной и той же частотой. Тогда мы должны принять $P(E_k) = \frac{1}{n}$ ($k=1, 2, \dots, n$), откуда событие A , состоящее в том, что происходит одно из m элементарных событий $E_{k_1}, E_{k_2}, \dots, E_{k_m}$, согласно закону сложения, получит вероятность $P(A) = m/n$. Часто встречается др. случай, когда исходы испытаний могут быть описаны указанием точки M , в нек-рой огранич. области D (на прямой, на плоскости, в пространстве трех или большего числа измерений). Это имеет место, напр., тогда, когда само испытание состоит в фиксации положения к.-л. частицы, блуждающей в нек-ром огранич. объеме. Пусть G — к.-л. часть области D . Если условия s таковы, что частота попадания точки M в G зависит только от меры G (т. е. от длины, площади, объема обычного или многомерного) и не зависит от формы G и от ее расположения в D , то V попадания M в G приписывается значение, равное отношению меры G к мере D . В конкретных задачах V нек-рых событий часто определяются элементарно или с помощью простейших законов сложения и умножения, отмеченных выше, тогда как отыскание V других событий требует применения более тонких теорем теории V .

Лит.: Гнеденко Б. В., Курс теории вероятностей, 2 изд., М., 1954; Феллер В., Введение в теорию вероятностей и ее приложения (Дискретные распределения), пер. с англ., М., 1952, А р л е й Н. и Б у х К. Р., Введение в теорию вероятностей и математическую статистику, пер. с англ., М., 1951; Ч а н д р а с е к а р С., Стохастические проблемы в физике и астрономии, пер. с англ., М., 1947.

ВЕСОВАЯ ФУНКЦИЯ (weight function; fonction de poids, fonction de pondération; Impulsübergangsfunktion, Gewichtsfunktion) — см. Импульсная переходная функция.

ВЗВЕШИВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ (automatic weighing; pesage automatique; automatisches Wiegen) — обобщающий термин, охватывающий операции определения: значения массы (веса) тел; изменений массы во времени; отклонений значений массы от заданной величины; суммарного значения массы транспортируемых грузов, а также отвешивания заданных порций (доз). В. а. производится посредством автоматич. весовых устройств, к-рые по степени автоматизации подразделяются на: весы с автоматич. уравниванием; весы с дистанц. передачей и регистрацией показаний; автоматич. порционные весы; автоматич. порционные дозаторы; автоматич. весы непре-

рывного действия; автоматич. весовые дозаторы непрерывного действия и автоматич. сортировочные весы. У весов с автоматич. уравниванием автоматизирован только процесс определения (уравнивания) нагрузки. Это достигается за счет отклонения маятниковых противовесов «квадрантов» (циферблатные весы)



Пределы измерений и погрешности нек-рых автоматич. весовых устройств: 1 — порционные суммирующие весы; 2 — конвейерные весы; 3 — весовые дозаторы непрерывного действия.

или деформации упругих измерит. элементов (пружинные весы). Весы с автоматич. уравниванием имеют предельные нагрузки в диапазоне 100 г — 400 т (в зависимости от рычажной системы) и классы точности (по ГОСТ 79Е-53): 1а (и ниже) — для циферблатных весов и 1б (и ниже) — для пружинных весов. Лабораторные весы с автоматич. уравниванием имеют меньшие нагрузки и более высокие классы точности.

Весы с дистанц. передачей и регистрацией показаний представляют собой весы с автоматич. уравниванием, у к-рых перемещение измерит. органов преобразуется в сигнал (чаще всего электрич.). Для преобразования показаний циферблатных и пружинных весов с большой (порядка миллиметров) деформацией упругого органа весов используются сельсинсы (недостаток — увеличение погрешности из-за обратного влияния на измерит. систему и погрешностей передачи), потенциометры (недостаток — увеличение погрешности из-за трения), импульсные считывающие устройства (фотоэлектрические, магнитные головки и др.), кодирующие устройства, а также следящие системы. Для преобразования показаний пружинных весов с малой (десятые доли мм и менее) деформацией упругого органа применяются проволочные тензопреобразователи (электротензометрич. весы) и используется прямой и обратный эффект магнитострикции. В качестве весов с дистанц. передачей и регистрацией показаний применяются также автоматич. (пневматич. и электромагнитные) устройства с силовой компенсацией, состоящие из датчиков и системы обратной связи, компенсирующей изменение нагрузки на датчик. Ток (давление) в цепи обратной связи является аналогом веса действующего на датчик груза. Весы с дистанц. передачей и регистрацией показаний имеют предельные нагрузки в диапазоне от неск. г до сотен т и классы точности 2в и ниже.

Автоматич. порционные весы применяются для взвешивания равными порциями сыпучих и жидких материалов гл. обр. при суммарном учете или фасовке. В таких весах автоматизированы процессы подачи, взвешивания и выгрузки материалов. Обычно эти весы представляют собой коромысло, к которому подвешены противовес с гириями и грузоприемный ковш. Материал подводится в ковш самотеком или посредством питателя. При достижении заданного веса материала в ковше коромысло отклоняется, подача материала прекращается и ковш разгружается. Реже в качестве автоматич. порционных весов используются весы с автоматич. уравновешиванием или с дистанц. передачей и регистрацией показаний, снабженные датчиками, срабатывающими при достижении заданного веса и отключающими дальнейшую подачу материала. Автоматич. порционные весы имеют предельные нагрузки от неск. г до 5 т. Их погрешности существенно зависят от вида отвешиваемого материала и устройства исполнит. органов, управляющих подачей материала. Класс таких весов (определенный по среднему значению для 10 отвесов) соответствует 1а и ниже.

Автоматич. порционные дозаторы применяются для составления смесей заданного состава и представляют собой обычные весы с автоматич. уравновешиванием или с дистанц. передачей и регистрацией показаний, снабженные релейной системой автоматизации, управляющей подачей материала. Предельная нагрузка порционных дозаторов от неск. г до неск. т. Класс точности 1б и ниже.

Автоматич. весы непрерывного действия служат для определения суммарного количества сыпучих материалов, транспортируемых ленточными транспортерами (конвейерные весы) или самотеком (динамич. весы). Для взвешивания грузов на ленточных транспортерах участок ленты опирается на роlikоопоры, смонтированные на весовой платформе или на датчиках (электротензометрич., пневматических и др.). Суммарное значение массы прошедшего через весы груза определяется интегрированием произведения сигнала, пропорционального мгновенному значению нагрузки, на сигнал, пропорциональный скорости ленты (напр., напряжение тахогенератора). Применяются механич. (конусные, дисковые и роликовые) и электрич. интегрирующие устройства. Производительность конвейерных весов от неск. г до неск. т в минуту. Их класс 1б и ниже. Для суммарного определения массы грузов, транспортируемых по вертикали самотеком, используется принцип измерения реакции струи материала на наклонную пластинку или реакции электродвигателя, вращающего в горизонтальной плоскости крыльчатку (по типу центробежного вентилятора), установленную поперек струи материала. Для измерения реакции применяется метод силовой компенсации.

Автоматич. весовые дозаторы непрерывного действия служат для автоматич. регулирования потока материала с целью получения заданной производительности (или заданного соотношения производительности при одноврем. работе неск. дозаторов). Они представляют собой автоматич. весы непрерывного действия, снабженные системой автоматич. управления пи-

тателями, регулирующими расход материала. Чаще всего применяются непрерывные дозаторы в виде короткого ленточного транспортера, опертного на весовую рычажную систему или на датчики (электротензометрич., пневматические), и управляющего вибропитателем. Применяются также дозаторы в виде резервуара (ковша), опирающегося на весовое устройство, регулирующее расход материала так, чтобы скорость уменьшения веса ковша соответствовала заданной.

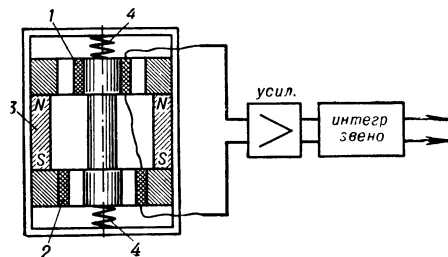
Автоматич. сортировочные весы служат для разбраковки изделий (упаковок) по весу. Для повышения точности и производительности обычно измеряют отклонения веса контролируемого изделия от эталонного. Величина отклонения измеряется электродинамич. системой с силовой компенсацией. Для разбраковки легких (порядка неск. г) изделий создают искусственное (центробежное) поле ускорений (центробежные сортировочные весы). Пределы измерений и погрешности некоторых типов автоматич. весовых устройств даны на рис.

Лит.: Щедровицкий С. С., Техника измерения массы, М., 1961; Альянки П. Я. [и др.], Весонамерительные приборы, М., 1950; Карпин Е. Б., Огиевич В. А., Щедровицкий С. С., Автоматические весы и весовые дозаторы, М., 1959; Карпин Е. Б., Весонамерительные автоматы, М., 1958. В. А. Огиевич.

ВИБРОМЕТР (vibrometer; vibromètre, enregistreur de vibrations; Erschütterungsmesser, Schwingungsmesser, Vibrationsmesser) — прибор для измерения вибрационных перемещений, ускорения и частоты вибраций. Обычно под В. понимают измеритель вибрац. перемещений. В. состоит из корпуса, сейсмич. массы, упругого элемента и выходного преобразователя. Перемещение y массы относительно корпуса связано с величиной перемещения корпуса x выражением:

$$\frac{y}{x} = \frac{(f/f_0)^2}{\sqrt{[1 - (f/f_0)^2]^2 + (f/f_0)^2 \varepsilon^2}},$$

где f — частота контролируемых вибраций, $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}}$ — частота собств. колебаний системы, M — масса, k — жесткость пружины, $\varepsilon = \theta/\theta_{кр}$ — относит. коэфф. демпфирования,



Индукционный виброметр: 1 — рабочая обмотка; 2 — обмотка, компенсирующая влияние перем. магнитных полей; 3 — кольцевой пост. магнит; 4 — пружины.

$\theta_{кр}$ — критич. декремент затухания колебаний. При $f/f_0 > 3$ и $\varepsilon \approx 1,4$ $y = x$ с точностью до 0,3%. Физически это означает, что при колебаниях корпуса с частотой $f > 3f_0$ масса практически остается неподвижной и может служить системой отсчета. При измерении низкочастотных вибраций ($f < 10$ гц) необходимо обеспечить малую жесткость пружины при большой массе.

Используются 3 типа низкочастотных В.: В. с жидкостной массой, В. с обратной связью, снижающей собств. частоту системы, и В. в виде акселерометра с устройством двойного интегрирования сигнала.

В зависимости от способа преобразования смещения массы y в выходной сигнал, В. могут быть электрич., механич., оптич. и др. типов. Наиболее часто применяются В. электрич. типа (индукционные, омич., емкостные, индуктивные и др.). Типичный В. индукц. типа для измерения амплитуды вибраций показан на рис. Диапазон измеряемых частот от 10 до 150 гц, амплитуда измеряемых вибраций от 1 до 300 мк. В. применяются для измерения колебаний машин и сооружений.

Лит.: Стрелков С. П., Введение в теорию колебаний, М.—Л., 1950; Рудашевский Г. Е., Пьезоэлектрические вибродатчики, М., 1956; Субботин М. И., Исследование жидкостного демпфирования в виброизмерительных приборах, в кн.: Вторая научно-технич. конференция аспирантов и младших научных сотрудников, т. 1, М., 1959; Нешуйский В. В. и Валтерис С. Э., Низкочастотный виброметр с жидкостной сейсмической массой, «ИТ», 1961, № 6. М. И. Субботин.

ВИБРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

(chopper, vibropack, vibrator inverter; convertisseur à vibreur, vibreur; Kontaktzerhacker, Pendelgleichrichter, Schwinggleichrichter, Pendelwechselrichter, Schwingkontaktgleichrichter) — электромеханическое устройство для преобразования пост. тока (б. ч. низкого напряжения) в переменный или пост. ток более высокого напряжения при помощи электромагнитного прерывателя-вибратора. До недавнего времени В. широко применялись гл. обр. для питания анодных цепей транспортной и переносной радиоаппаратуры небольшой мощности (автомобильных радиопередат. приемников, портативных радио-передаточных станций и т. п.). Разработка радиоламп с низким анодным напряжением (12 в) и особенно III приборов сузили область применения В., к-рые теперь используются в усилителях пост. тока

как резервное питание маломощных потребителей, в нек-рых схемах умножителей напряжения и частоты, в системах сервоуправления, в регистрирующих приборах и т. п. (см. Входной преобразователь для решающих усилителей).

Осн. узлом В. является вибратор. При подаче пост. напряжения на штырьки II и VIII цоколя вибратора (рис. 1, б) его якорь I (рис. 1, а) вибрирует, т. к. при смещении якоря (под влиянием магнитного поля в сердечнике катушки возбуждения 2) размыкаются пусковые контакты 3, прерывая ток возбуждения. Вместе с якорем вибрируют прикрепленные к нему держатели 4 рабочих подвижных контактов. Благодаря этому рабочие контактные пары, связанные со штырьками I—VII и III—V цо-

коля 5, периодически, с частотой, задаваемой вибрацией якоря, замыкаются и размыкаются. Для уменьшения шума и защиты механизма от толчков, а также от воздействия вибраций на панель, механизм вибратора отделяется от кожуха амортизаторами 6 и 7 из губчатой резины.

Вибраторы подразделяются на несинхронные с 2 парами и синхронные — с 4 и более парами рабочих контактов, на вибраторы с самопрерыванием (катушка возбуждения включается параллельно одной из пар рабочих контактов или последовательно с рабочим контактом) и на вибраторы с пусковым контактом.

Вибраторы выполняются для питания от аккумуляторных батарей (напряжением от 2,5 до 24 в на мощность до 250 вa) и от сети переменного тока (110 или 220 в на мощность до 750 вa). Чаще всего вибраторы изготавливаются на частоту 100 гц, но в ряде случаев — и на пром. частоту 50 или 60 гц, а также на повыш. частоту (200—400 гц). Гарантийный срок службы вибраторов невелик — 500—1000 час., но фактически они работают до 3—5 тыс. час. Для особо высококачеств. вибраторов срок службы — 10 тыс. час.

Чтобы вибратор не вызывал в лампах, укрепленных на том же шасси, микрофонного эффекта, желательна упругая подвеска ламп или установка вибратора на наиболее жестком месте шасси (в углу). Кроме типовой конструкции (рис. 1), имеется множество спец. конструкций вибраторов.

По назначению В. делятся на: виброинверторы, преобразующие пост. напряжение в переменное, и собственно В., преобразующие пост. ток низкого напряжения в пост. ток более высокого напряжения. В виброинверторах (рис. 2) используются обычно несинхронные вибраторы, но иногда для увеличения напряжения или мощности — синхронные вибраторы с 4 или 6 парами рабочих контактов и,

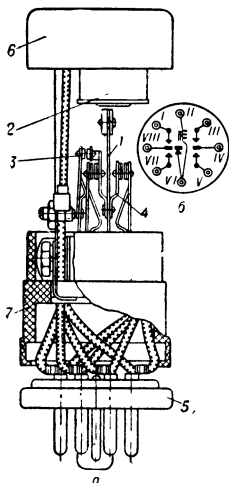
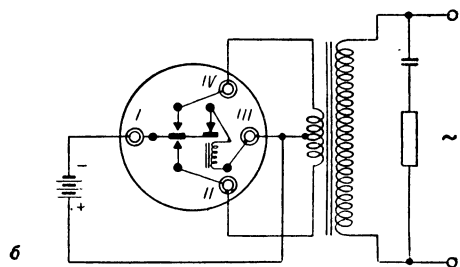


Рис. 1. Вибратор: а — общий вид (со снятым кожухом); б — цоколевка.



а



б

Рис. 2. Виброинвертор: а — структурная схема; б — упрощенная принципиальная схема.

соответственно, 2 или 3 первичными обмотками тр-ра. Возможно параллельное включение неск. синхронных вибраторов; синхронность и синфазность их работы достигаются тем, что один вибратор является пусковым для всей группы, а пусковые контакты в остальных отключаются. Схемы с самовозбуждением менее благоприятны, т. к. катушка возбуждения нагружает несимметрично первичную обмотку тр-ра, создает пост. подмагничивание его сердечника и увеличивает нагрузку од-

ной пары контактов. Недостаток схем вибринверторов, в к-рых первичная обмотка тр-ра питается от источника пост. тока через вибратор,— наличие большого числа гармоник тока и напряжения. Для смягчения этого используют многоконтактные вибраторы с последовательным во времени замыканием пар контактов; при этом между неподвижными контактами каждой стороны включаются сопротивления или индуктивности. Подбором параметров схемы и регулировкой вибратора можно получить приближение к синусоид. форме кривой тока.

В собственном В. (рис. 3) 2 пары рабочих контактов (штырьки I, VII и VIII) вибратора используются для поперемен. присоединения к зажиму питания концов первичной обмотки гр-ра, а 2 другие пары (штырьки III, IV и V)— для механич. выпрямления вторичного напряжения. Имеются также схемы В. с ламповым выпрямителем (двойным диодом), или полупроводниковыми (селеновыми, германиевыми и т. п.) диодами, соединенными по схеме моста. Большое внимание при расчете схем В.

альную, пилообразную, колокольную и др. Основными хар-ками В. являются: амплитуда U ; длительность τ , определяемая на уровне $0,1 U$; активная длительность τ_a (на уровне $0,5 U$); длительность нарастания (переднего фронта импульса) t_n и длительность спада (заднего фронта импульса) t_c , определяемые в интервале от $0,1 U$ до $0,9 U$.

В зависимости от формы В. и его длительности полоса частот (видеочастота), необходимая для его неискаженной передачи через усилит. тракт (см. *Усилитель широкополосный*), должна быть различной. Наибольшим спектром частот, при одинаковой длительности τ , обладает В. прямоугольной формы. В этом случае для передачи 80% энергии В. наивысшая частота пропускания усилителя должна быть равна $1/\tau$. В телевидении и импульсных радиолакац. станциях высокой точности необходимо при усилении В. сохранить его форму, обеспечив в основном передачу крутизны переднего фронта В. Для выполнения этого условия верхняя частота полосы пропускания должна быть выше порядка $(3-6)\tau$. Низшая

частота полосы пропускания усилит. тракта определяется частотой повторения В. Генерируются В. генераторами импульсов.
Лит.: Ицхоки Я. С., Импульсные устройства, М., 1959. К. С. Ржевский.

ВИДЕОУСИЛИТЕЛЬ (video amplifier; amplificateur vidéo; Bildverstärker, Sichtverstärker, Videoverstärker) — см. *Усилитель широкополосный*.

ВИДЕОЧАСТОТЫ (video frequency; vidéofréquence, fréquence d'image; Bildfrequenz, Videofrequenz) — условное наименование спектра частот, необходимых для передачи без искажений коротких импульсов (видеосигналов). Для передачи импульсов длительностью порядка единиц мксек и менее требуется полоса частот от сотен кГц до десятков МГц.

К. С. Ржевский.

ВИДИКОН (vidicon; vidicon; Vidikon, Bildspeicherröhre mit Photowiderstandschichten) — передающая ЭЛТ, действие к-рой основано на изменении сопротивления фоточувствит. слоя под влиянием света (внутр. фотоэффект).

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ (sound image visualisation; visualisation des champs soniques; Sichtbarmachung von Schallfeldern) — получение видимой картины распределения к.-л. величины, характеризующей звуковое поле. Применяется для визуализации УЗ изображений, получаемых при помощи фокусирующих УЗ систем в ультразвуковой дефектоскопии и медицинской УЗ диагностике, а также для изучения сложных звуковых полей. Совр. методы В. з. п. можно разделить на 3 основные группы в зависимости от характера используемого явления: 1) основные (линейные) величины звукового поля (изменения звукового давления, смещения, плотности, поляризуемости среды); 2) пондеромоторные (квадратичные) эффекты (см. *Нелинейные эффекты в акустическом поле*), такие, как эффект диска Релея, деформация свободной поверхности жидкости, звуковой ветер и др.; 3) всякого рода вторичные эффекты, возникающие при распространении интенсивных УЗ волн в жидкости (тепловой эффект, ускорение процессов диффузии, дегаза-

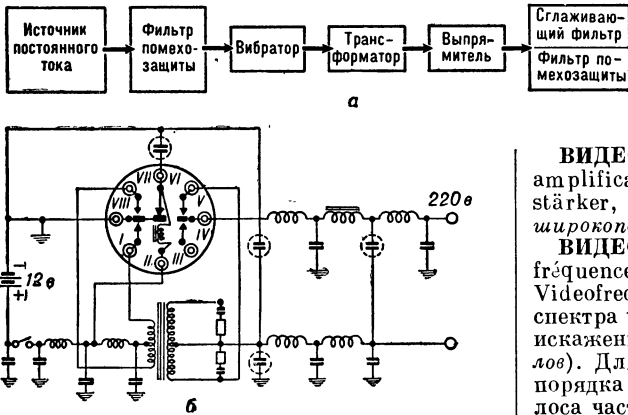


Рис. 3. Вибропреобразователь: а — структурная схема; б — принципиальная схема.

уделяется гашению искрения на контактах вибратора. Контакты шунтируются конденсаторами, сопротивлениями или, лучше всего, звеньями RC . Необходимо подобрать средства подавления радиопомех (фильтры и блокировочные конденсаторы) так, чтобы они не увеличивали искрения. Тр-ры В. рассчитываются иначе, чем тр-ры вентиляльных источников питания. В частности, при макс. напряжении питания индукция в сердечнике тр-ра выбирается в пределах от 4600 до 5400 гс. Число витков на 1в рекомендуется брать небольшим (4—5) для уменьшения индуктивного сопротивления рассеяния.

Лит.: Линенберг Г. Г., Вибропреобразователи, М.—Л., 1955; Гершгал Д., Расчет и конструирование вибропреобразователей, М., 1956. Г. И. Гольдберг.

ВИБРОТРОН (vibrottron; triode à anode mobile; Vibrottron) — см. *Механотрон*.

ВИДЕОСИГНАЛ (video signal; signal d'image, signal-vidéo; Bildsignal, Videosignal), видеоимпульс,— кратковрем. (от долей секунды до 10^{-9} сек) изменение величины напряжения или тока любой полярности. В телевидении с помощью В. передаются сигналы изображения (видео — от лат. video — вижу). В. могут иметь различную форму: прямоугольную, трапециoidalную, экспоненци-

ция жидкости, кавитация, воздействие на фотослой и др.). Кроме того, все методы могут быть разбиты на две группы: обратимые (с наличием видимого изображения лишь во время существования звукового поля) и необратимые (видимое изображение сохраняется неопределенно долгое время после снятия возбуждающего поля). Получить картину распределения звукового давления удобнее всего при помощи небольшого приемника ультразвука, сканируя им исследуемое поле (см. *Сканирование*); для В. з. п. можно использовать синхронное перемещение точечного источника света. Можно сканировать не само поле, а его изображение в фокальной плоскости зеркала или звуковой линзы; наряду с механич. сканированием применяют и электронное. Напр., в электронно-акустическом преобразователе изображений (на рис. 1 — *Эан.*) картина звукового поля преобразовывается при помощи тонкой пьезоэлектрич. пластинки в соответствующий этой картине рельеф электр. потенциала; последний считывается тонким электронным пучком и далее обычными телевизионными приемами преобразует-

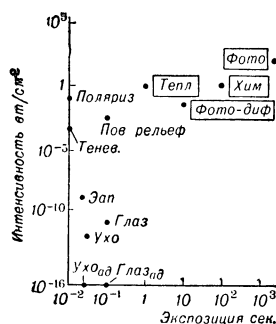


Рис. 1.

Рис. 1. Сравнение различных методов визуализации с чувствительностью органов чувств. Рамкой обведены необратимые методы.

Рис. 2. Схема метода поверхностного рельефа (а) и образец изображения: 1 — источник звука; 2 — объект; 3 — вогнутое зеркало (объект); 4 — жидкость; 5 — сосуд; 6 — экран; б — изображение ключа, полученное методом поверхностного рельефа.

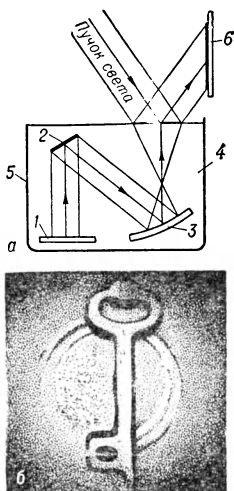


Рис. 2.

ся на экране кинескопа в видимое изображение. Изменение плотности среды в звуковом поле приводит к изменению показателя преломления для световых лучей и может быть выявлено чисто оптич. приемами (напр., теневой метод, дифракция света на УЗ и др.). Все эти способы широко применяются для исследования УЗ полей сложной формы и имеют чувствительность порядка 10^{-4} вт/см². Метод поверхностного рельефа (рис. 2) получил практич. применение в УЗ дефектоскопии. Он основан на свойстве свободной поверхности жидкости слегка вспучиваться под действием падающих изнутри жидкости звуковых лучей. Получающийся при этом рельеф хорошо виден при косом освещении. Из вторичных эффектов следует отметить тепловое действие и ускорение процессов диффузии. При тепловом методе в исследуемое поле помещают тонкий экран из хорошо поглощающего звук материала, напр. прорезиненной ткани. Неравномерный нагрев этого экрана под действием погло-

щаемых УЗ лучей может быть визуализирован различными способами: применением термометров, красок, тепловым гашением или, наоборот, возбуждением люминесцентного экрана, использованием чувствит. к инфракрасным лучам *электроннооптического преобразователя* и др. На ускорении фотографий проявления основан фотодиффузионный способ В. з. п., при к-ром обычная, предварительно засвеченная фотобумага погружается в разбавленный раствор проявителя; в местах действия УЗ сильно ускоряется диффузия проявителя в желатину и бумага быстро чернеет. Время экспозиции составляет ок. минуты, при пороговой интенсивности звука $0,3$ вт/см². Известно видоизменение этого способа, использующее ускорение выцветания красителя под действием диффузии отбеливающего раствора. На рис. 1 приведено сравнение основных известных методов В. з. п. по пороговой чувствительности и по времени миним. экспозиции, отложенным в логарифмич. масштабе по координатным осям. Здесь же для сравнения приведены соответствующие ориентировочные данные для уха и глаза в обычных и в адаптированных условиях. Из этого сравнения видно, что чувствительность всех известных сейчас методов В. з. п. существенно ниже чувствительности наших органов чувств.

Лит.: Розенберг Л. Д., Обзор методов визуализации ультразвуковых полей, «АЖ», 1955, т. 1, вып. 2, с. 99; Розенберг Л. Д., Визуализация ультразвуковых изображений, «ВАН», 1958, № 3, с. 33; Ощепков П. К., Розенберг Л. Д., Семеников Ю. Б., Электронно-акустический преобразователь для визуализации звуковых изображений, «АЖ», 1955, т. 1, вып. 4, с. 348; Архангельский М. Е. и Афанасьев В. Я., Исследование фотодиффузионного метода визуализации ультразвуковых полей, «АЖ», 1957, т. 3, вып. 3. Л. Д. Розенберг.

ВИСКОЗИМЕТР ИСТЕЧЕНИЯ (efflux viscometer; viscosimètre d'écoulement; Ausflussviskosimeter) — вискозиметр, основанный на зависимости средней скорости установившегося потока жидкости (или газа), истекающей из калиброванной трубки или отверстия, от ее вязкости. Определение вязкости производится при определенном расходе жидкости (или газа) или по времени истечения заданного ее объема, или по перепаду давления на измерит. капилляре (трубке). В. и. подразделяются на: 1) капиллярные (с истечением через капиллярную трубку); 2) эффузионные (с истечением через отверстие или некапиллярную трубку). В зависимости от устройства В. и. вещество может истекать либо под действием внешнего давления, либо без него, только под действием собств. веса. За исключением капиллярных без давления все типы В. и. выполняют и как лабораторные приборы спорадич. действия и как автоматич. приборы повторно-цикл. или непрерывного действия, самопишущие и регулирующие.

Капиллярные В. и. позволяют проводить абсолютные и относительные измерения вязкости (см. *Вискозиметрия*). В зависимости от устройства они измеряют или динамич. или кинематич. вязкость. На рис. 1 схематически показан автоматич. относит. капиллярный В. и. непрерывного действия. Из трубопровода 1 отбирается проба жидкости, к-рая дозируется насосом 6, прогоняется через теплообменник 5 и капиллярную трубку 4 и сливается через трубку 3. Посредством манометра 2 измеряется перепад давления Δp , пропорц. динамич. вязкости контролируемой жидкости. Для исключения

температурной погрешности весь вискозиметр термостатируется (помещается в масляный термостат 7). Пределы измерений можно устанавливать посредством сменных капилляров различного сечения и регулирования производительности насоса. Прибор применим и для неньютоновых жидкостей; он измеряет, в этом случае, кажущуюся вязкость.

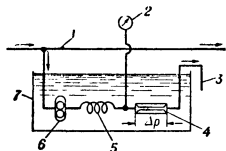


Рис. 1.

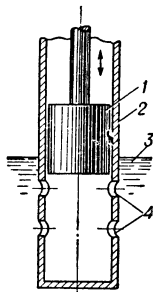


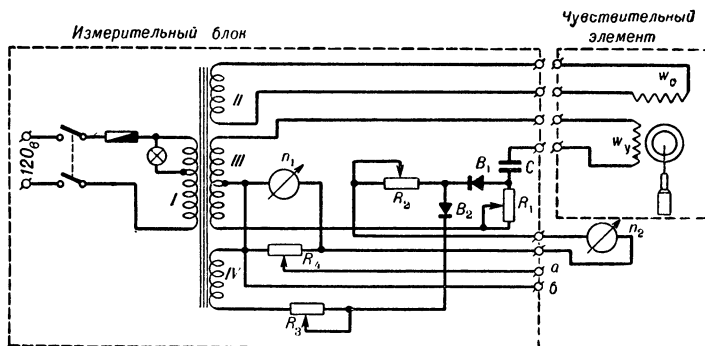
Рис. 2.

В отличие от капиллярных, эффузионные В. и. не могут быть проградуированы в абс. единицах вязкости. Результаты измерений, проведенных посредством эффузионных В. и., выражаются в условных единицах вязкости («градусах»), различных для приборов различной конструкции. Эти единицы характеризуют длительность истечения пробы. Ввиду простоты работы с эффузионными В. и. и их надежности они широко применяются в промышленности. На рис. 2 представлен автоматич. эффузионный В. и. циклич. действия. Поршень 1, двигающийся в цилиндре 2, погруженном в контролируемую жидкость 3, 1—2 раза в минуту поднимается и затем, под действием собств. тяжести, опускается вниз. В нижней части цилиндра имеются калиброванные отверстия 4, через к-рые при ходе поршня вверх в цилиндр поступает контролируемая жидкость, а при ходе вниз — вытесняется наружу. Продолжительность опускания поршня, служащая мерой вязкости, регистрируется самописцем. Прибор имеет широкий диапазон измерения, однако уступает капиллярным В. и. по точности.

Лит. см. при ст. Вискозиметрия. Д. Л. Оршанский.

ВИСКОЗИМЕТР РОТАЦИОННЫЙ (rotational viscometer; viscosimètre rotatif; Rotationsviskosimeter, Rotationsflüssigkeitsgradmesser) — вискозиметр, принцип действия которого основан на измерении момента сопротивления, создаваемого жидкостью при вращении в ней цилиндрич. (или иной формы) тела. В. р. применяются в лабораторных условиях и для производственного контроля. Чувствит. элемент вращается в исследуемой жидкости электродвигателем; измерение вязкости сводится к измерению момента сопротивления на валу двигателя. Момент измеряют: 1) по углу поворота статора, момент вращения к-рого уравнивается пружиной; 2) путем измерения в электрич. цепях двигателя параметров, зависящих от момента на его валу. Наиболее просто это решается в случае применения электродвигателей пост. тока, однако наличие трения щеток о коллектор отрицательно сказывается на стабильности показаний В. р.

Более распространены на практике В. р. с асинхронными двигателями, напр. В. р. типа РВ-2. Часть общего потока жидкости или весь поток непрерывно по трубе подается в нижнюю часть бака и, переливаясь через его край, идет в дальнейшее произ-во. Алюминиевый полый цилиндр погружен сверху в бак и связан валом с электродвигателем, установленным вертикально над баком. При этом вес погруж. в жидкость цилиндра вместе с его валом почти полностью компенсируется действующей на него выталкивающей силой, что сводит к минимуму осевое усилие, испытываемое подшипниками двигателя. К обмотке тр-ра (рис.) подводится стабилизиров. напряжение от феррорезонансного стабилизатора. Обмотка W_c двигателя является сетевой и подключается непосредственно к тр-ру. Управляющая обмотка двигателя W_y вместе с конденсатором C составляет одно из плеч мостовой схемы, в диагональ к-рой включен показывающий прибор n_2 . Величина емкости C соответствует условию резонанса с индуктивностью обмотки W_y двигателя. Нуль прибора устанавливается



и уравнивается мостовой схемой при вращении цилиндра чувствит. элемента в воде, вязкость к-рой условно принята за нулевую. Нуль прибора можно устанавливать и по вязкости воздуха, однако в этом случае рабочая часть шкалы сужается. Остаточный небаланс моста компенсируется цепью, состоящей из обмотки IV тр-ра, сопротивления установки нуля R_3 и кулупроского выпрямителя B_2 . При вращении цилиндра в исследуемой жидкости, в зависимости от вязкости последней, изменяется момент на валу двигателя, а следовательно, и эквивалентное сопротивление в цепи обмотки W_y , что приводит к разбалансу моста. Т. о., с изменением вязкости жидкости изменяется ток, протекающий через показывающий прибор, включенный в диагональ моста. Для регистрации вязкости к В. р. может подключаться (зажимы а — б) автоматич. потенциометр. Сопротивление R_4 служит для согласования шкалы потенциометра со шкалой прибора n_1 . Описанный ротационный вискозиметр выпускается серийно и предназначен для контроля вязкости шлама при производстве цемента. Он может применяться и в других отраслях как прибор для непрерывного контроля вязкости.

Лит.: Иванов П. А., Родина В. М., Сухарева Ф. Е., Ротационный вискозиметр, работающий от сети переменного тока, «ЗД», 1951, т. 17, № 3. Я. Е. Гельфанд.

ВИСКОЗИМЕТР УЛЬТРАЗВУКОВОЙ (supersonic viscometer; viscosimètre ultrasonore; Ultraschallviskosimeter) — вискозиметр с

ультразвуковым чувствит. элементом; применяется для непрерывного автоматич. контроля в производств. и лабораторных условиях. В. у. состоит из погружного датчика-зонда, электронного блока с индикатором и соединит. кабеля. Чувствит. элементом датчика служит плоская магнитострикт. пластинка ($100 \text{ мм} \times 3 \text{ мм} \times 0,3 \text{ мм}$), висящая посередине в дне цилиндрич. корпуса так, что одна ее половина выступает наружу, а др., находящаяся внутри корпуса, охватывается смонтированной в нем обмоткой (рис.). Электронный блок, посылая



Схематич. устройство зонда: 1 — магнитострикт. пластинка; 2 — дно корпуса; 3 — корпус; 4 — обмотка.

через эту обмотку кратковременные импульсы тока, периодически вызывает ударное возбуждение пластинки (прямой магнитострикт. эффект), вследствие чего в ней возникают продольные собств. колебания с частотой (обычно 30 кгц), зависящей от свойств материала пластинки и ее длины. Демпфирующее действие окружающей жидкости, а также сравнительно небольшие собственные потери в механич. системе зонда приводят к тому, что колебания пластинки в промежутках между импульсами тока экспоненциально затухают. Затухающие колебания пластинки индуцируют в охватывающей ее обмотке перем. эдс (обратный магнитострикт. эффект) той же частоты и формы. Эта эдс поступает на вход электронного блока, где подвергается ряду преобразований, в результате к-рых образуется выходной сигнал постоянного тока i_Σ , пропорцион. суммарному коэфф. затухания. В силу аддитивности указанных выше потерь пластинки, ток $i_\Sigma = i_0 + i$, где i_0 — нач. ток, обусловл. собств. потерями зонда, а i — ток, вызванный демпфирующим действием вязкой жидкости. Зонд характеризуется вполне определ. начальным током i_0 , к-рый поэтому можно скомпенсировать; тогда стрелочный прибор электронного блока измеряет ток $i = KV/\rho\mu$, где ρ — плотность, а μ — вязкость исследуемой жидкости; K — постоянная В. у. шкала к-рого калибруется в желаемых единицах вязкости, умноженной на плотность. Основные параметры стандартного В. у.: диапазоны измерений $0-50$, $0-500$, $0-5000$ и $0-50000$ сантипуаз $\cdot \text{г/см}^2$; точность 5% полной шкалы соответствующего диапазона; температурный диапазон до 340°C ; возможно дистанц. измерение; предусмотрен выход $0-50 \text{ мв}$ для подачи сигнала на вторичный прибор (самописец, регулятор и др.); миним. количество вещества, необходимое для измерений, — 2 см^3 ; измерения возможны как в покоящейся жидкости, так и в потоке. Малые размеры зонда (диаметр 14 мм), герметичность и отсутствие в нем макроскопически движущихся деталей позволяют устанавливать его непосредственно в реакционный аппарат или трубопровод.

Лит.: Коган И. Н., Рубинштейн В. В., Вурвель Ф. Б., Май А. В., Вискозиметр непрерывного действия. Сообщение 1, Теория зонда, «ПМ», 1960, № 11, с. 42—46; Коган И. Н., Вурвель Ф. Б., Рубинштейн В. В., Май А. В., Вискозиметр непрерывного действия. [Сообщение 2], Устройство и действие прибора, там же, 1961, № 3, с. 49—53; Roth W., Rich S. R., A new method for continuous viscosity measurement. General theory of the ultra-viscoson, «J. Appl. Phys.», 1953, v. 24, July, p. 940. И. Н. Коган.

ВИСКОЗИМЕТРИЯ (viscosity measurement; mesure de viscosité; Zähigkeitsmessung) — измерения вязкости жидкостей. Различают 2 группы методов В.: 1) методы, основ. на измерении ср. скоростей установившегося ламинарного течения в потоке заданной формы (напр., в капилляре) или скорости установившегося движения (падения) твердого тела определ. формы в вязкой среде, а также на измерении касат. напряжения τ при заданном пост. градиенте скорости; 2) методы, основ. на измерении скоростей неустановившегося движения (напр., измерение коэфф. затухания колебаний диска, цилиндра или пластинки, помещенных в вязкую среду). К 1-й группе относятся: а) Метод истечения — пропускание испытуемой жидкости через капилляр постоянного круглого сечения и измерение ее объема Q , протекающего в единицу времени. Вязкость μ вычисляется исходя из ф-лы Пуазейля. С поправкой на нестрогую ламинарность потока на концах капилляра и расход энергии на создание скорости потока

$$\mu = \frac{\pi \Delta P r^4}{8Q(L+\lambda)} - \frac{mQ\rho}{8\pi(L+\lambda)},$$

где ΔP — разность давлений на концах капилляра; L — длина и r — радиус капилляра; λ — условная поправка к длине капилляра, учитывающая изменение характера потока на концах капилляра; m — коэфф., равный $0,74 - 1,76$; ρ — плотность жидкости. б) Метод падающего шарика, основ. на измерении скорости v установившегося движения твердого шарика в вязкой среде под действием внешних сил (напр., силы тяжести). При падении шарика в сосуде цилиндрич. формы, заполненном вязкой жидкостью, вязкость вычисляется по ф-ле Стокса (с поправкой Ладенбурга)

$$\mu = \frac{2}{9} \frac{(\rho_1 - \rho_2) g}{(1 + 2,4 r_1/r_2) v} r_1^2,$$

где r_1 и r_2 — радиусы шарика и цилиндра; ρ_1 и ρ_2 — плотности шарика и вязкой жидкости; g — ускорение силы тяжести. Ф-ла применима при числе Рейнольдса

$$Re = \frac{2r_1 v}{\nu} \leq 1,0, \text{ где } \nu = \frac{\mu}{\rho_2}$$

кинематич. вязкость жидкости. в) Метод вращающихся коаксиальных цилиндров (ротационный метод) — измерение вязкости по величине момента M , возникающего между двумя вращающимися с различной угловой скоростью коаксиальными цилиндрами, в пространстве между к-рыми помещена вязкая жидкость. Обычно один из цилиндров неподвижен, а др. вращается с угловой скоростью ω . При ламинарном установившемся движении жидкости и полном ее прилипании к стенкам цилиндра вязкость вычисляется по ф-ле

$$\mu = \frac{M}{4\pi\omega L} \cdot \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_1^2 r_2^2},$$

где r_1 и r_2 — радиусы внутреннего и внешнего цилиндров; L — длина цилиндров. В этой ф-ле не учитывается момент, создаваемый торцевой поверхностью цилиндра конечной длины, поэтому погрешность ее тем меньше, чем больше отношение L/r_1 . Ф-ла применима при $\omega < 1900 \frac{v}{r_2 - r_1}$, т. к. при большей скорости течение теряет ламинарный характер. Измере-

ние вязкости может производиться и по величине установившейся угловой скорости при заданном моменте M , создаваемом, напр., грузом.

Ко 2-й группе методов относятся: а) Ультразвуковой метод, основ. на непрерывном измерении коэфф. затухания продольных колебаний тела (напр., магнитострикционного вибратора), помещенного в контролируемую среду, причем колебания пластинки периодически возбуждаются импульсами от генератора. Коэфф. затухания колебаний в первом приближении пропорционален величине $\sqrt{\eta \rho \omega}$, где ω — угловая частота колебаний тела, а ρ — плотность среды. Приборы, основанные на этом методе, измеряют фактически не вязкость, а величину произведения $\eta \rho$.

б) Метод, основ. на измерении степени затухания крутильных колебаний диска (или цилиндра), подвешенного на упругой нити и помещенного в контролируемую среду. В случае применения диска зависимость между вязкостью и логарифмич. декрементом затухания $\lambda = \ln \frac{a_n}{a_{n-1}}$ (где a_n и a_{n-1} — амплитуды двух последоват. колебаний) выражается ф-лой

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{\pi r^4}{2J} \sqrt{\frac{\pi}{2} T \eta \rho},$$

где λ_0 — логарифмич. декремент затухания в воздухе; T — период колебаний диска в среде, вязкость к-рой измеряется; r и J — радиус и момент инерции диска относительно оси вращения. Приборы, основ. на этом методе, также измеряют величину произведения $\eta \rho$.

Наибольшее распространение получили вискозиметры 1-й группы. Большая часть этих приборов служит для относит. измерений; они градуируются по эталонным жидкостям (глицериноводные растворы, растворы тростникового сахара, минеральные масла и их смеси и др.), вязкость к-рых определена абс. методами. Погрешность капиллярных вискозиметров $\pm 0,5 - \pm 1,0\%$, ротационных вискозиметров $\pm 1,0 - \pm 3,0\%$; погрешность образцовых вискозиметров с падающим шариком (вискозиметр Гейслера) $\pm 0,5 - \pm 2,0\%$. В приборах для автоматич. измерения вязкости наибольшее применение получили ротац. метод (дающий возможность построения датчиков, преобразующих величину измеряемой вязкости в момент силы, измеряемый электр. методами) и метод падающего шарика (позволяющий преобразовать величину измеряемой вязкости в длительность интервалов времени прохождения периодически падающим шариком фиксированного отрезка пути в вязкой среде), а также УЗ метод.

Лит.: Гатчек Э., Вязкость жидкостей, пер. с англ., 2 изд., М.—Л., 1934; Голубев И. Ф., Вязкость газов и газовых смесей, М., 1959; Алфрейт Т., Механические свойства высокополимеров, пер. с англ., М., 1952; Сопенин В. В., Вязкость жидкостей и коллоидных растворов, ч. 1—2, М.—Л., 1941—44; Чесноков Н. А. и Тарасов Б. Г., Приборы для определения физико-химических величин нефтепродуктов и состава газов, М., 1951; Константинов А. А. и Виноградов Г. В., Исследование высоковязких дисперсных систем на автоматическом капиллярном вискозиметре, «ЗЛ», 1953, т. 19, № 6; Андриевский А. И. и Карелин Н. Н., Об измерении вязкости непрозрачных жидкостей, «П», 1956, № 4; Иванов П. А. и Крутоголов В. Д., Приборы непрерывного измерения вязкости, «П. ИВУЗ», 1958, № 2; Степанов Л. П. и Чесноков Н. А., Современное состояние техники измерения вязкости, М., 1959.

С. С. Швырев.

ВЛАГОМЕР ГАЗОВ ГИГРОСКОПИЧЕСКИЙ ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЙ, дефо-м а ц и о н н ы й [hygroscopic dilatometric gas moisture (humidity) meter; appareil hygrosco-que dilatometrique à mesurer l'humidité des gaz; hygroskopischer dilatometrischer Gasfeuchtemesser], — прибор для измерения влажности газов (в частности, воздуха), в к-ром используется зависимость линейных размеров (деформации) тела из гигроскопич. вещества от измеряемой влажности; тело при этом должно находиться в гигротермич. равновесии с парогазовой смесью. Из всех В. г. г. д. наиболее распространен в о л о с н о й г и г р о м е т р — прибор, в к-ром рабочим телом является человек. обезжиренный волос. Изменение длины человек. волоса при изменении относит. влажности воздуха от 0 до 100% составляет 2,0—2,5%. Удлинение волоса (одиночного или пряди) передается через рычажный механизм, увеличивающий абс. величину отклонения, на стрелочный указатель или на регулирующее устройство. Линейный коэфф. теплового расширения человек. волоса ок. $34 \cdot 10^{-6}$ ($град^{-1}$). Поэтому темп-ра мало влияет на показания волосного гигрометра. Шкала прибора неравномерна, поскольку чувствительность с увеличением влажности падает. Обычно шкала нанесена от 0 до 100% относит. влажности, однако рабочей ее частью является участок от 15—20% до 85—95%. Температурный интервал применимости ограничен —30° (при спец. обработке волоса —60°) и 50—70°, кратковременно 85°. Основная погрешность волосного В. г. г. д. при применении пряди волос больше, чем при одиночном волосе, т. к. наиболее короткие и наиболее тонкие волосы в этом случае оказываются механически перегруженными. В условиях эксплуатации при тщательном уходе и периодич. проверке прибора основная погрешность хорошего волосного гигрометра составляет ок. $\pm 3\%$ относит. влажности. Инерционность волосных гигрометров значительна и при средних значениях темп-р составляет от 3 до 10 мин. (постоянная времени отдельно взятого волоса ок. 40 сек.). С понижением темп-ры инерционность увеличивается. При длит. пребывании волосного гигрометра в атмосфере со средней и особенно низкой влажностью его градуировка нарушается и показания становятся завышенными. Восстановление градуировки (т. н. регенерация) достигается временным помещением прибора в атмосферу водяного пара, насыщающего пространство. Основная область применения волосных В. г. г. д. — метеорология; в пром-сти их используют чаще как дешевые и простые чувствит. элементы автоматич. регуляторов влажности воздуха в помещениях.

Наряду с волосом в качестве чувствит. элементов могут служить животные пленки толщиной 5—30 мк, изготовленные из оболочки кишок крупного рогатого скота. Пленка используется в виде полосок или круглых мембран с жестким центром (т. н. мембранные В. г. г. д.). Полное удлинение животной пленки при изменении относит. влажности окружающего воздуха от 0 до 100% больше, чем волоса примерно в 2 раза. Достоинство В. г. г. д. с животной пленкой — меньше, нежели у волосных гигрометров, инерция (при +20°C постоянная времени порядка 5—12 сек), обеспечивающая возможность удовлетворит. работы при низких темп-рах, напр., на аэрологич.

радиозондах; их недостаток — гистерезис деформации, составляющий от 4—5% до 10—12% при изменении влажности от 10 до 100%.

Иногда, в основном в качестве чувствит. элементов пром. регуляторов влажности воздуха, применяют бруски из дерева, заметно изменяющего свои размеры в направлении поперек волокна с изменением влажности. Инерционность этих элементов весьма значительна. Наряду с деревом для регулирования влажности воздуха в качестве чувствит. элементов применяют жилые струны, целлофановые пленки толщиной 0,08 мм (чувствительность к влажности на $\approx 40\%$ меньше, чем волоса, но гистерезисные явления отсутствуют практически полностью) и др. гигроскопич. материалы.

Нек-рое применение получили комбинированные чувствительные элементы, состоящие из склеенных между собой двух слоев пластич. материалов, один из к-рых удлиняется от влажности, другой нейтрален. Такой чувствит. элемент (бипластик) при изменении влажности изгибается.

Лит.: Варжневский Н. С., Пленочные датчики влажности, «Тр. НИИГМП», 1957, вып. 5; Дьяченко П. В., О причине неоднозначности показаний волосного гигрометра, «Тр. Гл. геофиз. обсерв.», 1961, вып. 116; Spenner-Gregory H. and Rourke E., Hygrometry, L., 1957; а также при ст. Влажности газов измерение. Д. Л. Оршанский.

ВЛАГОМЕР ГАЗОВ ГИГРОСКОПИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ [hygroscopic electrochemical gas moisture (humidity) meter; appareil hygroscopique électrochimique à mesurer l'humidité des gaz; hygroskopischer elektrochemischer Gasfeuchtemesser] — прибор для измерения влажности газов, в к-ром используется зависимость от измеряемой влажности электрохимич. свойств поверхностного слоя гигроскопич. вещества, находящегося в гигротермич. равновесии с парогазовой смесью. В. г. г. э. разделяются на два вида: с гигроскопич. веществом практически нерастворимым в воде и с веществом водорастворимым. И те и др. выполняются и как полуавтоматич. приборы для разовых измерений и как непрерывно действующие автоматич. приборы.

Действие В. г. г. э. с нерастворимым гигроскопич. веществом основано на зависимости сорбции и десорбции твердым диэлектриком влаги газа от упругости водяного пара и темп-ры парогазовой смеси. При применении тел из непористых диэлектриков с гладкой поверхностью (стекло, глазурированный фарфор и т. п.) имеет место чисто поверхностная адсорбция, а тел с развитой поверхностью (оксидные пленки, порошки, микропористые диэлектрики, волокна и ткани и др.) — поверхностно-объемная абсорбция влаги. Количество сорбируемой влаги определяет поверхностное или, соответственно, смешанное поверхностно-объемное электр. сопротивление чувствительного элемента влагомера, к-рое и служит мерой влажности газа. Хар-ки В. г. г. э. этого вида, обычно именуемых электр. химическими сорбционными, не вполне стабильны, мало воспроизводимы и подвержены большому влиянию темп-ры. Поэтому, несмотря на очень большое число предложенных моделей, эти В. г. г. э. применяются практически мало.

Напротив, большое значение приобрели серийно выпускаемые В. г. г. э. с водорастворимым гигроскопич. веществом. Таковым, как

правило, служит обладающий надлежащими свойствами электролит, образующий с влагой окружающего газа водный раствор, концентрация которого является ф-цией влажности газа. Поэтому В. г. г. э. этого вида наз. также электролитическими. Электролит применяют или в форме осажженной на электроизоляции, подложку поликристаллич. пленки, или в виде слоя вязкой пасты из порошка кристаллизованного электролита и пленкообразующей связки (напр., растворов поливинилацетата). Существуют три группы электролитич. В. г. г. э. 1) Кондуктометрические, в которых используется зависимость электропроводности раствора от его концентрации. Электропроводность измеряется в схеме моста перем. тока (во избежание электролиза раствора электролита). Электролитом, как правило, служит хлористый литий, слой к-рого нанесен или на полый цилиндр из диэлектрика, или на плоскую пластину. Измерит. электродами при цилиндрич. основании служат две золотые или платиновые проволоки, уложенные на нек-ром расстоянии параллельно друг другу, а при плоском — две входящие друг в друга гребенки, выполненные по типу печатной схемы. Проволоки или, соответственно, гребенки разделены дорожками из слоя электролита, сопротивление к-рых является мерой влажности. Вследствие очень большого изменения электр. сопротивления от влажности (в 100 раз при изменении относит. влажности на 15—25%) чувствит. элементы кондуктометрич. В. г. г. э. не могут без увеличения погрешностей перекрыть широкий диапазон значений влажности: поэтому их выполняют для определенных огранич. интервалов значений влажности (напр., от 1,2 до 6% относит. влажности, или от 81 до 99% и т. п.). Для перекрытия широкого диапазона измерит. преобразователи составляют из набора нек-рых чувствит. элементов. Основной недостаток кондуктометрич. В. г. г. э. — большая зависимость электропроводности электролита от темп-ры (порядка 2%/град). Ее влияние может быть снижено применением электр. схем температурной коррекции.

2) Температурно-равновесные В. г. г. э., именуемые также электролитическими подогревными, действие к-рых основано на том, что упругость водяного пара над раствором всегда ниже, чем над чистой водой (при неизменной темп-ре). Нагревая раствор, можно повысить упругость водяного пара над ним, а следовательно, довести ее до значения упругости водяного пара окружающего газа (воздуха). По достижении равенства упругостей пара концентрация раствора перестает изменяться, т. е. устанавливается равновесие между кристаллизацией и растворением электролита (обычно хлористого лития). Соответственная темп-ра подогрева раствора наз. равновесной; она является однозначной мерой упругости водяного пара в газе, т. е. влажности последнего. Конструктивно измерительный преобразователь температурно-равновесного В. г. г. э. отличается от кондуктометрич. только тем, что внутри его чувствит. элемента смонтирован термометр (электр. сопротивления или манометрический), служащий для измерения равновесной темп-ры, а измерит. электроды используются как нагревательные

(рис. 1). К ним прикладывается относительно большое напряжение перем. тока (≈ 24 в), вследствие чего через концентрированный раствор хлористого лития проходит ток, нагревающий раствор и испаряющий из него воду. При нагреве раствора сверх равновесной темп-ры, в результате быстрого испарения из него остатков влаги, электролит высыхает и его электропроводность резко уменьшается. В результате этого, в свою очередь, уменьшается ток и электролит остывает. При этом он вновь начинает сорбировать водяной пар из воздуха, его электропроводность вновь увеличивается, ток возрастает и т. д. Таким обр., в температурно-равновесном В. г. г. э. возникает естеств. процесс автоматич. поддержания темп-ры подогрева, равной равновесной для данной влажности газа. Достоинствами В. г. г. э. этого типа являются его малая инерционность (время начала реагирования при быстрых колебаниях влажности ≈ 2 сек); хорошая точность: $\pm 2\%$ (относит.) при измерении относит. влажности и $\pm 1,5\%$ (относит.) при измерении абс. влажности; абс. градуировка; простота монтажа и обслуживания; малое влияние загрязнений и пыли; пригодность для работы при повыш. давлениях до 10 атм и более. Пределы измерения серийных конструкций этих В. г. г. э.: от 2 до 150 мм рт. ст. упругости водяного пара при измерении абс. влажности (что соответствует значениям точки росы от -10° до $+60^\circ\text{C}$) и от 10 до 100% при измерении относит. влажности (при колебаниях темп-ры воздуха в диапазоне минимально от -10° до $+20^\circ\text{C}$ и максимально от -40° до $+100^\circ\text{C}$).

3) Кулонометрические В. г. г. э., в к-рых количество сорбированной воды определяется в соответствии с законами Фарадея по количеству электричества, затрачиваемого на ее электролиз. Достоинством этих приборов является их абс. гра-

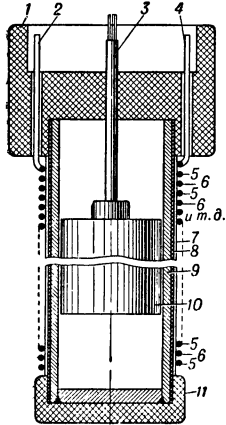


Рис. 1.

Рис. 1. Измерит. преобразователь температурно-равновесного влагомера: 1 — верхняя втулка; 2 и 4 — вывод первой и второй нитки нагреват. обмотки; 3 — выводной проводник измерит. преобразователя электрич. термометра сопротивления; 5 и 6 — первая и вторая нитки нагреват. обмотки; 7 — чулок из стекловолокна, пропитанный раствором хлористого лития; 8 — слой электроизоляц. лака; 9 — трубчатый металлич. каркас; 10 — измерит. преобразователь (датчик) электрич. термометра сопротивления; 11 — нижняя втулка.

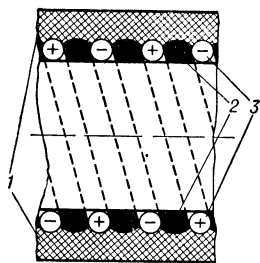


Рис. 2.

Рис. 2. Установка кулонометрич. ячейки (в разрезе): 1 — фторопластовая оболочка (трубка); 2 — гигроскопич. слой концентрированного водного раствора P_2O_5 ; 3 — платиновые проволоки (электролизерные электроды).

мерении влажности кулонометрич. методом он превращается в амперометрический, условием применимости к-рого является строгое постоянство расхода газа через прибор. Т. к. эти В. г. г. э. предназначены в основном для контроля малых влажностей технологич. газов, а не высокой влажности атм. воздуха, конструкции чувствит. элемента (кулонометрич. ячейки) отличаются от устройства соответствующих элементов кондуктометрич. В. г. г. э. тем, что в них гигроскопич. слой и электроды расположены внутри проточной трубки, чтобы отделить контролируемый газ от окружающего воздуха (рис. 2). Гигроскопич. веществом служит фосфорный ангидрид, полностью поглощающий по ур-нию $\text{P}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HPO}_3$ всю влагу из воздуха [при ее концентрации не более 0,1% (объемн.), потоке 100 мл/мин, длине ячейки ≈ 1 м и внутр. диаметре ячейки от 0,5 до 2,5 мм]. Для компактности измерит. преобразователя ячейка свертывается в спираль (рис. 3). К платиновым электродам прикладывается напряжение постоянного тока от 45 до 2 в в зависимости от предела измерения. Серийно выпускаемые переносные и стационарные модели этих приборов изготавливаются с пределами измерения: минимум от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}\%$ H_2O (объемн.) и максимум от 0,02 до 2% H_2O (объемн.), что соответствует темп-рам точки росы от -75° до $+20^\circ\text{C}$. Пределы измерения вверх могут быть расширены раз-

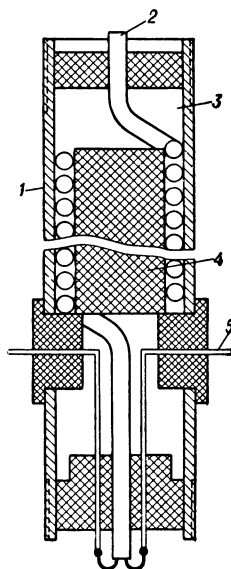


Рис. 3. Измерит. преобразователь кулонометрич. влагомера: 1 — металлич. корпус; 2 — кулонометрич. ячейка; 3 — заполнение заливающим компаундом; 4 — пластмассовый несущий сердечник; 5 — выводы электролизерных электродов.

разбиением контролируемого влажного газа сухим (напр., азотом). Погрешности серийных моделей кулонометрич. В. г. г. э. составляет $\pm 5\%$ от номин. значения шкалы данного предела измерения. Постоянная времени — не более 30 сек. Срок службы кулонометрич. ячейки принципиально неограничен, т. к. в процессе электролиза происходит регенерация фосфорного ангидрида. В сочетании с редукторами и обогревателями кулонометрич. В. г. г. э. могут служить для измерения влажности сжатых газов под давлением до 700 ат. Они находят также применение для измерения влажности жидкостей (см. *Влажность жидкостей измерение*). Кулонометрич. и температурно-равновесные приборы являются наиболее прогрессивными из В. г. г. э.

Лит.: Keidel F. A., Determination of water by direct amperometric measurement, «Anal. Chem.», 1959, v. 31, № 12, p. 2043—48; Spencer-Gregory H. and Rourke E., Hygrometry, L., 1957, а также при ст. *Влажность газов измерение*. Д. И. Оушанский.

ВЛАГОМЕР ГАЗОВ ТЕМПЕРАТУРНО-КОНДЕНСАЦИОННЫЙ, влагомер по точке росы [temperature of condensation

дуировка и чрезвычайно высокая чувствительность. При непрерывном автоматич. из-

gas moisture (humidity) meter, dew point gas moisture (humidity) meter; appareil à mesurer l'humidité des gaz d'après le point de rosée; Taupunkt-gasfeuchtemesser], — прибор для определения точки росы газа путем измерения темп-ры соприкасающейся с газом поверхности искусственно плавно охлаждаемого зеркала в момент выпадения на нем конденсата, т. е. в момент, когда устанавливается подвижное гигротермич. равновесие между паробразной и конденсированной фазами. Во В. г. т.-к. определение абс. влажности газа сводится к измерению темп-ры росы без учета давления газа и др. факторов. Поскольку эта темп-ра при неизменном давлении парогазовой смеси не зависит от значения начальной темп-ры смеси, В. г. т.-к. может быть отнесен на значит. расстояния от места отбора пробы. При условии одновремен. измерения темп-ры росы и влажного газа В. г. т.-к. пригоден и для измерения относит. влажности. В. г. т.-к. применимы как при положительных, так и при отрицат. значениях темп-ры росы, причем их погрешность лишь незначительно увеличивается с падением темп-ры. Погрешность определения темп-ры росы с помощью В. г. т.-к. с ручным регулированием темп-ры составляет в лабораторных условиях при учете всех влияний ок. $\pm 0,1^\circ\text{C}$, в полевых условиях до $\pm 3^\circ\text{C}$. В. г. т.-к. применимы для темп-р точки росы в интервале прикл. от $+50^\circ$ до -80°C . Их постоянная времени невелика (от 5 до 60 сек в зависимости от конструкции). Градуировка В. г. т.-к. абсолютная; они свободны от явлений гистерезиса при увеличении и уменьшении влажности и могут быть выполнены (при применении дистанц. термометров) как дистанционные. Вследствие быстрого увеличения погрешности измерения с ростом относит. влажности В. г. т.-к. применяют гл. обр. для определения малых влажностей сжатых и остаточных (при вакуумировании) газов и средних содержаний водяного пара в атмосфере и технологич. газах. При наличии в газе наряду с водяным др. конденсирующихся паров, напр. NH_3 , SO_2 и др., темп-ры росы возрастают, что обуславливает преувелич. значения определяемой влажности. При условии одновремен. определения точки росы водяного пара др. методом, не зависящим от присутствия в парогазовой смеси иных конденсирующихся паров, может быть определено содержание последних. Этим путем осуществляется весьма важный для борьбы с коррозией топочных устройств контроль содержания SO_2 порядка сотых и тысячных долей % в дымовых газах топок, работающих на сернистом топливе.

Простейшие В. г. т.-к. ручного эпизодич. действия состоят из зеркала с термометром и охлаждающего устройства; запотевание наблюдается визуально. Автоматич. приборы, в к-рых зеркало непрерывно поддерживается при изменяющейся темп-ре росы, содержат, кроме того, узлы подогрева зеркала и слежения за его запотеванием и отпотеванием: последний узел управляет попеременным охлаждением и нагревом. Поэтому В. г. т.-к. характеризуются: 1) Способом охлаждения и нагрева зеркала: а) испарением легкокипящих жидкостей, твердой углекислоты или сжиженного газа, охлаждающих теплопроводный хвостовик зеркала; б) охлаждением жидким хладагентом непосредственно или косвенно: охлажденным им вспомагат. газом, омываю-

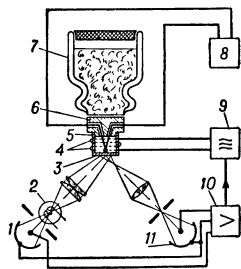
щим заднюю стенку зеркала; в) термоэлектрич. полупроводниковыми холодильниками [этот способ наиболее прост как в конструктивном, так и в эксплуатац. отношениях, но ограничен величиной макс. охлаждения ($20-40^\circ$ относительно темп-ры контролируемого газа)].

2) Способом нагрева зеркала: а) естеств. нагревом, имеющим место при прекращении охлаждения; б) электрич. подогревом непосредственно с помощью подогревающих сопротивлений или через жидкий теплоноситель; в) индукционным (высокочастотным) электронагревом непосредственно самого зеркала; г) нагревом посредством обращенного термоэлектрич. холодильника, т. е. холодильника, поставленного в нагреват. режим работы путем изменения полярности пропускаемого через него тока.

3) Способом обнаружения появления и исчезновения на зеркале конденсата: а) оптическим, основанным на изменении отражающей способности зеркала в момент появления на нем или исчезновения конденсата, наблюдаемых визуально или фотоэлектрически; б) электрокондуктометрическим, использующим изменение поверхностной электрич. проводимости непроводящей поверхности зеркала при появлении на ней или исчезновении с нее конденсата; в) колебательным, при к-ром конденсация влаги происходит на охлаждаемой пластине пьезокварца, включенного в цепь лампового генератора. Конденсация влаги приводит к изменению массы пьезокварца и режима колебаний.

4) Способом измерения температуры зеркала: а) жидкостным термометром расширения; б) манометрич. термометром; в) электрич. термометром сопротивления; г) термоэлектрич. термометром (с термопарой); д) пьезокварцевым термометром, основанным на температурной зависимости собственной частоты пьезокварца (этот метод применяется только при пьезокварцевом обнаружении конденсата; один и тот же кварц служит в этом случае и для индикации конденсата и для измерения темп-ры).

На рис. показана схема одного из современных автоматич. В. г. т.-к. для воздуха с пропорциональным регулятором толщины слоя конденсата. Постоянство толщины обеспечивает наивысшую точность измерения. Оптич. система индикации конденсата собрана на двух



Автоматич. влагомер для воздуха с пропорциональным регулятором толщины слоя конденсата: 1 — сравнит. фотоэлемент; 2 — осветит. лампа; 3 — охлаждаемое зеркало с термопарой, приваренной к задней его поверхности; 4 — обмотка нагреват. индуктора; 5 — стакан индуктора; 6 — обойма, обеспечивающая тепловой контакт между термостатом и индикатором; 7 — термостат с твердой углекислотой; 8 — измеритель темп-ры; 9 — генератор высокой частоты; 10 — усилитель разности фототоков; 11 — рабочий фотоэлемент.

фотоэлементах, работающих по дифференц. схеме без спец. стабилизации напряжения накала осветителя. Усиленный сигнал разности

фототоков управляет подачей мощности высокой частоты в обмотку индуктора, подогревающего зеркало. Охлаждение зеркала происходит через дно термостата, заполненного твердой углекислотой. Поддержание зеркала при темп-ре росы газа достигается изменением греющей мощности, знак к-рого определяется фазой сигнала, зависящей в свою очередь от знака изменения толщины слоя конденсата. Темп-ра зеркала измеряется термопарой. Пром. прибор, изготовленный по такой схеме, потребляет из сети мощность питания 70 *вт*; расход контролируемого воздуха от 10 до 40 *см³/сек*; емкость термостата 1 л обеспечивает (при заполнении на $\frac{3}{4}$) непрерывную работу в течение 4—6 час.; ср. квадратичная погрешность определения точки росы (над льдом) в диапазоне от 0 до -50°C не превышает в лабораторных условиях $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$. Скорость реагирования прибора при резком изменении темп-ры точки росы (над льдом) от -20° до -40°C достигает 4°C в сек.

Темп-ра росы может быть определена и без применения спец. поверхности для конденсации (зеркала, кварцевой пластины). Если влажный газ течет по трубопроводу, охлаждаясь равномерно по длине трубопровода до темп-ры росы, то в сечении, где начнется конденсация, кривая темп-ры трубопровода в функции его длины образует излом. Происходит это потому, что, напр., при 40°C и охлаждении на 1°C теплосодержание неконденсирующейся смеси водяного пара и воздуха в шесть раз меньше, чем при одновременной конденсации влаги. Поэтому локальный перепад темп-ры при заданных условиях теплоотвода составляет лишь $\frac{1}{6}$ часть перепада, имеющего место при сухом газе. Этот принцип, позволяющий определять темп-ру росы по излomu кривой, положен в основу построения одной модели простого производств. В. г. т.-к. для дымовых газов. К числу достоинств этого прибора относятся пригодность его для грязных газов, простота устройства и автоматичность действия. Однако точность такого прибора меньше точности обычных приборов.

Наряду с В. г. т.-к. существуют манометрические конденсационные влагомеры, в к-рых вместо темп-ры конденсации водяного пара из парогазовой (в частности, паровоздушной) среды при неизменном ее давлении определяется или давление в момент выпадения конденсата при адиабатич. расширении (адиабатический вариант метода, осуществляемый с применением камеры Вильсона), или минимальное избыточное давление, при к-ром на охлажденной поверхности зеркала образуется устойчивая пленка конденсата (компрессионный вариант). Оба эти метода обеспечивают высокую точность измерения, пригодны для автоматизации и перспективны. Достоинством адиабатич. метода является также отсутствие спец. охлаждающих устройств. Поэтому он успешно используется для построения переносных влагомеров для пром. газов с небольшим содержанием влаги.

Лит.: Rögner H., Ergebnisse von Taupunktmessungen an Rauchgasen, «Brennstoff-Wärme-Kraft», 1957, Bd 9, N. 3, S. 126—28; Spencer—Gregory H. and Rouke E., Hygrometry, L., 1957; а также при ст. Влажности газов измерение. Д. Л. Оршанский.

ВЛАЖНОСТИ ГАЗОВ ИЗМЕРЕНИЕ [gas moisture (humidity) measurement; mesure de l'humidité des gaz; Gasfeuchtemessung] — опре-

деление физич. величин, характеризующих содержание водяного пара в воздухе и иных газах. Каждая из этих величин находит преимуществ. применение в определенных областях техники. К наиболее употребительным в области пром. контроля относятся: 1) Абсолютная весовая влажность a — масса водяного пара, содержащегося в единице объема парогазовой смеси ($\text{г H}_2\text{O/м}^3_{\text{влажн}}$), или a_0 — в единице объема сухого газа при норм. условиях ($\text{г H}_2\text{O/м}^3_{\text{сух}}$). 2) Абсолютная объемная влажность a_v , выражаемая в % объемн. или, для весьма малых концентраций, в $\text{см}^3 \text{H}_2\text{O/м}^3_{\text{влажн}}$. Последнюю единицу в зарубежной лит-ре обозначают *ppm* (partes pro million) объемн., т. е. «миллионная доля по объему»; 1 *ppm* объемн. = $1 \cdot 10^{-4}$ объемн. 3) Температура точки росы t — темп-ра полного насыщения газа, расположенного над водой (при положит. темп-рах) или над льдом (при отрицательных), содержащимся в нем количеством водяного пара. 4) Упругость водяного пара (его парциальное давление) p_n , выражаемая обычно в мм рт. ст. (в метеорологии в миллибарах: 1 мбар = $1,02 \cdot 10^{-2} \text{ кг/см}^2$). 5) Относительная влажность φ — выраженное в процентах отношение факт. абсолютной весовой влажности газа к макс. возможной при той же темп-ре, т. е. к влажности насыщения a_n . В той мере, в к-рой водяной пар следует законам идеальных газов, $\varphi = p_n/p_n$, где p_n — упругость водяного пара, насыщающего пространство при темп-ре определения величины p_n (рис. 1).

Методы измерения влажности газов, весьма многочисленные и разнообразные, укрупненно могут быть подразделены на специфичные, т. е. применимые только для определения паров воды (иногда и паров др. веществ) в газах, и неспецифичные, т. е. модификации общих физич. методов газового анализа, предназначенные для решения частной

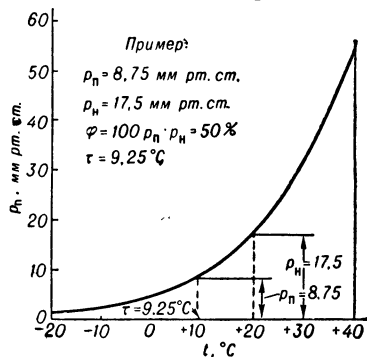


Рис. 1. Упругость водяного пара, насыщающего пространство.

задачи определения влажности газов. Наибольшее значение, особенно для пром. контроля, имеют специфичные методы. Для них характерно использование конденсированной фазы, по роду к-рого они делятся на два больших класса: 1) по образованию (или по условиям образования) конденсированной фазы из водяного пара газовой фазы и 2) по обратному воздействию (реакции) водяного пара газовой фазы на конденсированные системы.

К первому классу относятся 2 группы методов: Методы, основанные на пол-

ной конденсации водяного пара из пробы анализируемого газа. Водяной пар переводится из газовой фазы в конденсированную в результате химич. реакции со вспомогат. сорбентом, в результате образования раствора со вспомогат. реагентом, напр. крепкой H_2SO_4 , в результате хемосорбции (напр., $CaCl_2$ или P_2O_5) или путем вымораживания. О количестве сконденсировавшегося водяного пара судят, измеряя вызванные конденсацией: а) изменение объема газовой фазы при неизменных давлении и темп-ре; б) изменение давления газовой фазы при неизменных объеме и темп-ре; в) изменение веса сорбента при прочих неизменных условиях; г) тепловой эффект реакции сорбции или образования раствора; д) изменение физич. свойств образующего водный раствор вспомогат. реагента, напр. электропроводности водного раствора H_2SO_4 ; е) объем, давление или концентрацию газа, выделившегося в результате реакции влаги пробы анализируемого газа со вспомогат. реагентом (напр., ацетилена при использовании карбида кальция). Методы «а», «б», «в» и «е» обеспечивают огранич. точность не лучше 2—3% относит. влажности и пригодны лишь для небольших и средних значений влажности. Эти методы мало пригодны для автоматизации. Для измерения, особенно автоматич. и непрерывного, влажности

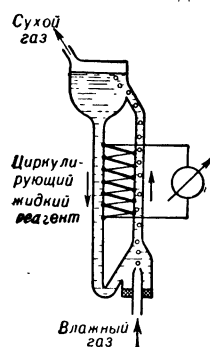


Рис. 2. Схема устройства сорбционно-термохимич. влагомера для газов.

пром. газов (в меньшей мере воздуха) применяются методы «г» и «д». Один из влагомеров типа «г» (рис. 2) состоит в основном из двух трубок, по к-рым протекают две параллельные струи потока жидкого сорбента влаги. По правой трубке противотоком барботирует анализируемый на влагу газ. Разность темп-р двух потоков, обусловленная поглощением влаги из газа, выходящего после этого наружу, измеряется дифференциальной термопарой. Пределы измерения прибора такого типа (модель «Термофлюкс», ФРГ) от 0 до 0,3% объемн. (минимум) и до 3,3% объемн. (максимум). Прибор не требует электрич. питания и взрывобезопасен. Аналогично устроен влагомер типа «д».

Методы, основанные на термодинамич. свойствах, характеризующих диаграммой «давление — температура» для водяного пара, в частности на зависимости парциального давления пара от темп-ры (рис. 1), разделяются на 2 подгруппы: 1) Измерение давлений пара и газа в двух различных точках диаграммы $p - T$ для водяного пара. Этот метод применим для высоких влажностей и для парогазовых смесей низкого давления (т. е. для высоких парциальных давлений водяного пара), он позволяет определить точку росы. Его недостаток — необходимость точного (до $\pm 0,2$ мм рт. ст.) измерения давлений и последующих графоаналитич. расчетов. Метод представляет интерес для измерения влажности сильно запыленных газов. 2) Температурно-конденсационный метод, или метод определения темп-ры точки росы. Он имеет

большое практич. значение, в частности для измерения невысоких влажностей газов. Осуществляется с помощью аппаратуры ручного и автоматич. действия (см. Влагомер газов температурно-конденсационный).

Ко 2-му классу относятся методы: а) психрометрический, основанный на зависимости охлаждения чистой воды, испаряющейся в газовое пространство, от влажности последнего; б) температурно-равновесный, основанный на зависимости разности упругостей водяного пара над насыщенным водным раствором гигроскопической соли и над чистой водой от влажности объема газа, соприкасающегося с раствором (см. Влагомер газов гигроскопический электрохимический); в) методы, основанные на зависимости физич. свойств твердых гигроскопич. тел от влажности газа (воздуха), с к-рыми они находятся в состоянии динамич. гигротермич. равновесия. Наиболее широкое применение из этой группы получили методы dilatометрические (основанные на изменении линейных размеров; см. Влагомер газов гигроскопический dilatометрический) и электрохимические (основанные на изменении или электропроводности или количества электричества, потребного для количественного электролиза сконденсированной влаги; см. Влагомер газов гигроскопический электрохимический). Эти методы поддаются автоматизации и наряду с температурно-конденсационными позволяют решать подавляющее большинство задач измерения влажности газов в пром-сти. Меньшее применение получили методы, основанные на измерении диэлектрич. проницаемости и изменении цвета гигроскопич. материалов.

Методы, основанные на непосредственном измерении физич. свойств влажного газа. Количество предложенных, опробованных, но применяемых лишь в редких случаях неспецифичных методов измерения влажности газов весьма значительно. Некоторые интерес представляют методы поглощения влажным газом ИК радиации (см. Газоанализатор оптико-акустический; Спектроскопия инфракрасная); поглощения энергии электромагнитных волн ВЧ и СВЧ диапазонов (см. Радиоспектроскопия); поглощения энергии β -излучений; методы измерения теплопроводности (см. Газоанализатор термокондуктометрический), плотности (см. Плотности измерение), скорости диффузии сквозь полупроницаемые перегородки и др. Большинство этих методов поддается автоматизации, что, однако, не компенсирует их огранич. избирательность к воде, являющуюся причиной многих неучитываемых погрешностей и помех.

Лит.: Берлинер М. А., Электрические методы и приборы для измерения и регулирования влажности, М.—Л., 1960; Масленников М. С., Контроль влажности топлива, дымовых газов и точки росы, М.—Л., 1951; Усольцев В. А., Измерение влажности воздуха (методы и приборы), Л., 1959; Cusker L. E., Moisture-measuring instruments, в кн.: Process instruments and controls handbook, N. Y.—Toronto—L., 1957, p. 7—150—7—163; Diehl F. und Mennicken K., Feuchtemessung, в кн.: Messen und Regeln in der chemischen Technik, hrsg. von J. Hengstenberg, B. Sturm, O. Winkler, B.—Gött.—Hdlb., 1957, S. 551—83; Grüss H., Hygrometrische Verfahren, в кн.: Handbuch der technischen Betriebskontrolle, hrsg. von J. Krönert, Bd 3—Physikalische Messmethoden, Lpz., 1959, S. 401—79; Hicks W. F., Psychrometers, hygrometers and dewpoint meters, в кн.: Process instruments and controls handbook, N. Y.—Toronto—L., 1957, p. 7—60—7—72. Д. Л. Орланский.

ВЛАЖНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЕ

[liquids moisture (humidity) measurement; mesure de l'humidité des liquides; Feuchtemessung von Flüssigkeiten] служит для спорадич. и непрерывного определения содержания воды в жидкостях во всех тех случаях, когда вода не является основным компонентом, а только примесью (напр., в нефти, трансформаторном масле, спирте, в органич. растворителях и др.). Содержание воды в жидкостях выражают в весовых процентах, отнесенных или к полному весу жидкости (влажность), или к весу P_0 безводной ее части (влажосодержание), а также в абс. единицах грамм или, чаще, миллиграмм воды в 1 л жидкости (мг/л). В иностр. лит-ре последнюю единицу, для воды практически равную одной миллионной доле содержания воды в жидкости по объему, обозначают также *ppt* (partes promillion); $1 \text{ ppt} = 1 \cdot 10^{-4} \%$ объемн. В ж. и. подразделяются на 5 основных групп. 1) Р а в н о в е с н ы е, в к-рых В. ж. и. сводится к определению влажности газовой фазы, находящейся в подвижном гигротермич. равновесии с жидкостью, содержащей влагу. Практически используется электрохимический влагомер газов и влагомер газов гигроскопический dilatометрический. Недостаток метода — большая инерционность и невысокая точность. 2) И с п а р и т е л ь н ы е, в к-рых определение содержания влаги в жидкости подменяется определением ее в газе, для чего пробу влажной жидкости полностью выпаривают. Этот метод позволяет пользоваться любым типом влагомера для газов; он пригоден для измерения влажности низкокипящих жидкостей, упругость паров к-рых при темп-ре окружающего прибор воздуха не превышает рабочего давления данного влагомера ($0,7$ до 10 кг/см^2) — фторированных углеводородов (фреона), сжиженного нефтяного газа, жидкого пропана и др. Если это давление значительно (десятки и сотни атм), применяют редуктор давления и обогреваемый паром или электричеством испаритель. Известны конструкции полуавтоматических и автоматических кулонометрических универсальных влагомеров (см. Влагомер газов гигроскопический электрохимический) со встроенным испарителем, обеспечивающим возможность их применения и для газов и для жидкостей. 3) В ы д е л и т е л ь н ы е, в к-рых влагу сначала выделяют из контролируемой жидкости тем или иным способом (дистилляция, экстрагирование жидкостью, вымывание газом), после чего прямо или косвенно определяют содержание воды в отгоне или экстракте. При работе по методу экстрагирования (чаще всего диоксаном) нужно, чтобы экстрагирующее вещество не взаимодействовало с безводной частью контролируемой жидкости. Дистилляц. метод в прямом виде применим только к жидкостям с относительно низкой упругостью паров (напр., трансформаторное масло) и недиссоциирующим термически при темп-ре перегонки. Пары воды захватывают током сухого инертного газа и направляют или в осушитель, по привесу к-рого судят о содержании влаги в жидкости, или во влагомер для газов. При малых концентрациях воды (10^{-1} до $10^{-4} \%$ объемн.) ее предпочтительно выделяют промыванием жидкости в колонке током тщательно осушенного (остаточное содержание влаги менее $1 \cdot 10^{-4} \%$ объемн.) нейтрального газа, напр. азота, в количестве не

менее 1000 объемов на 1 объем H_2O , направляемого затем во влагомер для газов, чаще всего кулонометрический (рис.). В отличие от др., этот вариант выделяет. метода поддается полной автоматизации: известно неск. вариантов

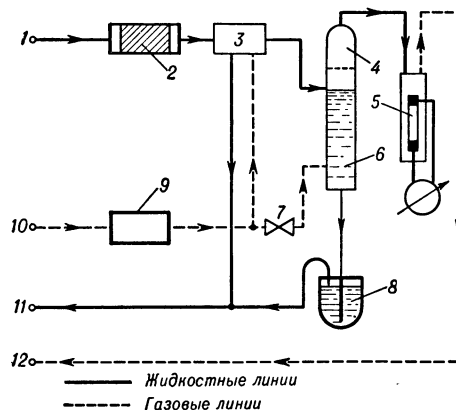


Схема выделительного влагомера для жидкостей с гигроскопич. кулонометрич. влагомером для газов: 1 — вход жидкости; 2 — фильтр; 3 — дозирующий насос; 4 — сепаратор захваченной влаги; 5 — электролитич. измерит. ячейка; 6 — колонна для вымывания влаги газом; 7 — регулятор потока газа; 8 — отстойник (жидкостный затвор); 9 — осушитель газа; 10 — вход газа; 11 — выход жидкости; 12 — выход газа.

конструкций непрерывно действующих автоматич. кулонометрич. влагомеров для органич. жидкостей. При вязких жидкостях промывание газом ведут при повышенной темп-ре (до 100°C). Определяемая влажность жидкости от $1 \cdot 10^{-4}$ до 1% вес. Расхождение результатов с контрольным определением по Фишеру (см. ниже) при абс. влажности от 2 до $30 \cdot 10^{-3} \%$ вес. составляет для различных жидкостей $3\text{--}5 \cdot 10^{-4} \%$ максимум до $10 \cdot 10^{-4} \%$ вес. Постоянная времени влагомера в целом (с промывной колонкой) $\approx 1 \text{ мин}$ при увеличении влажности и $\approx 2 \text{ мин}$ при ее уменьшении. 4) Х и м и ч е с к и е, в к-рых вода контролируемой жидкости вступает количественно в хим. реакцию со вспомогат. реагентом, вводимым в жидкость, и в к-рых мерой определяемого содержания воды является количество продуктов реакции или ее тепловой эффект. Эти методы получили значит. распространение как образцовые в широком интервале значений концентраций влаги в жидкостях, начиная с $5 \cdot 10^{-3}$ — $1 \cdot 10^{-2} \%$ вес. H_2O и больше, и как методы лабораторного и производств. спорадич. экспресс-анализа. Важнейшим из числа многих химич. методов определения воды является метод К. Фишера, назыв. также методом акваметрии. Он сводится к иодометрич. титрованию содержащей влагу жидкости реактивом Фишера — раствором двуокиси серы и йода в жидкой безводной смеси метанола и пиридина. Используются как ручные приборы, так и *титраторы автоматические*. 5) Ф и з и ч е с к и е (прямые), характеризующиеся тем, что содержание воды в контролируемой жидкости определяют измерением значений к-л., однозначно зависящих от влажности, физич. свойств непосредственно самой жидкости, без выделения из нее влаги. К числу свойств, используемых для этой цели, относятся диэлектрич. потери и проницаемость, электропроводность, показатель

преломления, плотность, темп-ры фазовых переходов, поглощение электромагнитных и корпускулярных излучений и др. Наибольшее значение среди них, так же как и для измерения влажности твердых тел, получили методы емкостные, основанные на определении диэлектрич. проницаемости и диэлектрич. потерь, и кондуктометрические, основанные на измерении электропроводности (см. *Влажность твердых тел измерение, Концентрации жидкостей измерение*).

Емкостные и кондуктометрич. влагомеры для жидкостей отличаются от аналогичных влагомеров для твердых тел только конструкцией измерит. преобразователей, выполняемых чаще всего в виде 2 коаксиальных электродов. Их метрологич. и эксплуатац. качества также практически совпадают с таковыми влагомеров для твердых тел. Большое практич. значение для В. ж. и. имеет измерение плотности (см. *Плотности измерение*) — один из старейших физич. методов, обеспечивающий для бинарных смесей (напр., вода в спирте) высокую точность. Влажность жидкостей, в составе к-рых водород составляет небольшой процент, может быть измерена методом ядерного резонанса (см. *Радиоспектроскопия*).

Лит.: Бр д л и к П. М., Влажность, ФЭС, т. 1, М., 1960, с. 283; Б е р л и н е р М. А., Электрические методы и приборы для измерения и регулирования влажности, М.—Л., 1960; В а р г а ф т и Н. Б., Г о л у б о в В. А., Степаненко Н. Н., Электрический метод определения влажности нефтепродуктов, М.—Л., 1947; М и т ч е л Д. ж. и С м и т Д., Акваметрия, пер. с англ., М., 1952; C u c k l e r L. E., Moisture-measuring instruments, в кн.: Process instruments and controls handbook, N. Y.—Toronto—L., 1957, p. 7—150—7—163; G r ü s s H., Hygrometrische Verfahren, в кн.: Handbuch der technischen Betriebskontrolle, hrsg. von J. Krönert, Bd 3—Physikalische Messmethoden, Lpz., 1959, S. 401—79; F r ü n g e l F., Die Technik stroboskopischer Meßgeräte, «Arch. techn. Messen und industrielle Messtechnik», 1959, Lfg. 277, Febr., S. R14—R15. Д. Л. Оршанский.

ВЛАЖНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ИЗМЕРЕНИЕ [solids moisture (humidity) measurement; mesure du degré d'humidité des corps solides; Festkörper-Feuchtigkeitsgradmessung] зависит от вида и состояния материала (кусковой, листовой, сыпучий, липкий и др.), его физ.-хим. свойств, от требований к измерению по времени и точности. Наиболее простой и надежный метод — высушивание образца (навески) материала с определением влажности по разности веса до и после сушки. Однако этот метод требует значит. времени для измерения (от 5 до 30 мин., в зависимости от величины навески, свойств материала, способа взвешивания и просушки), что делает его малопригодным для автоматич. контроля и регулирования технологич. процессов. Для быстрого, а также непрерывного измерения влажности материала в технологич. потоке пользуются косв. методами, основанными на измерении к.-л. физич. параметра, зависимость к-рого от влажности известна. Наибольшее применение получили электрич. и радиоизотопные методы.

Э л е к т р и ч. и з м е р е н и е в л а ж н о с т и б. ч. основано на зависимости электропроводности, диэлектрич. проницаемости и диэлектрич. потерь от влажности. Контролируемый материал помещается между электродами, при этом его можно рассматривать как параллельное соединение активного сопротивления и емкости. Если для данного материала при выбранной частоте источника пита-

ния ток проводимости значительно больше емкостного, то для измерения влажности применяется метод измерения электропроводности, и наоборот. Зависимость сопротивления R твердых тел от влажности W в процентах к весу сухого материала выражается ф-лой $R=A \cdot W^{-n}$, где A и n — постоянные, зависящие от размеров, формы, структуры и физико-химич. свойств объекта измерения. Метод электропроводности обладает значит. чувствительностью. Напр., для хлопчатобумажных тканей n равно 8—10, что соответствует изменению сопротивления более чем в два раза при изменении влажности на 10%. При изменении влажности дерева от 10 до 25% значение сопротивления между иглами, вдавненными в дерево на определенную глубину, меняется от десятков тысяч до долей *Мом*. Сопротивление твердых тел зависит также от темп-ры. Напр., для фрезерного торфа температурный коэфф. изменяется в пределах от 0,2 до 0,7% на 1°C. Сопротивление обычно измеряют мостовыми схемами на пост. токе или на перем. токе низкой частоты с автоматич. уравниванием моста. Основное достоинство метода электропроводности — простота схем и конструкции влагомеров. Однако зависимость показаний прибора от изменения концентрации примесей (кислот, солей, щелочей), структуры, плотности, темп-ры и др. параметров контролируемых материалов значительно сужает область применения этого метода.

Более широко применяется емкостный метод измерения влажности. Он основан на использовании большого различия между значением диэлектрич. проницаемости ϵ сухих материалов ($\epsilon=2-10$) и ϵ воды ($\epsilon=81$). Примеси, содержащиеся в воде, значительно меньше влияют на ϵ , чем на проводимость материала. На ϵ воды в сильной степени сказывается способность материала адсорбировать ее на поверхности твердых частиц, ϵ адсорбированной воды значительно меньше ϵ свободной. Напр., для воды, адсорбированной на поверхности ткани, $\epsilon=15-25$. Для большинства сухих материалов ϵ незначительно меняется с темп-рой (температурный коэфф. сухих материалов, порядка $10^{-2}\%$ на 1°C); ϵ влажных материалов изменяется с темп-рой в более широких пределах. Практически зависимость ϵ от темп-ры приводит к введению незначит. поправки от 0,04 до 0,10% на 1°C в диапазоне от 0° до 40°C.

На величину ϵ влажных, рыхлых материалов влияют их структура, степень уплотнения и количество воздуха в них. Однако эти факторы влияют на ϵ меньше, чем на электропроводность. Для снижения влияния степени уплотнения материала на результат измерения принимаются меры, обеспечивающие неизменность его плотности. Выбор рабочей частоты емкостных влагомеров определяется свойствами контролируемого материала и зависит от величины потери энергии в материале и требуемой степени снижения влияния электропроводности на результат измерения. Обычно применяется частота от 20 *Мгц* до 500 *кГц* и ниже. Более низкие частоты выбирают в тех случаях, когда электропроводность материала мала (напр., для кварцевого песка) или имеется четкая зависимость ϵ от влажности (напр., для зерна). Измерение влажности этим методом сводится к измерению емкости одним из общепринятых способов. При изменении емкости в пределах от 10 до 100 *мкмкф* пользуются из-

мерит. схемами, основанными на явлении резонанса, сравнении частот двух генераторов (метод биений и деления сигналов), измерении емкостного (полного) сопротивления переменному току, и мостовыми схемами. Для повышения точности определения влажности целесообразно пользоваться методами измерения емкости, не чувствительными к изменению величины активного сопротивления, напр. измерением комплексного сопротивления с помощью моста на двух различных частотах с последующим вычислением величины C ; измерением емкости с помощью мостов с уравниванием двумя параметрами.

К электрич. методам измерения влажности может быть также отнесен метод, основанный на резонансном поглощении радиоволн ядрами водорода (протонами), входящими в состав воды (явление ядерного магнитного резонанса). Для этого контролируемый материал, находящийся в катушке колебат. контура радиочастотного генератора, помещают в магнитное поле H , направленное перпендикулярно оси катушки. Поле H создается электромагнитом или пост. магнитом и модуляционной катушкой, помещаемой на одном из его полюсов. Когда частота прецессии магнитного момента протонов вокруг направления поля H совпадает с частотой радиочастотного генератора, наступает ядерный магнитный резонанс, сопровождаемый резким поглощением энергии поля колебат. контура. Влажность материала определяется по снижению уровня генерации в контуре. Влагомеры, основанные на этом явлении, позволяют определять влажность материалов, содержащих кристаллизы. воду, используя значит. разницу в ширине резонансных линий свободной и кристаллизов. воды.

Радиоизотопные методы измерения влажности основаны на различии количеств. хар-к процессов взаимодействия ядерных излучений с атомами водорода, входящего в состав воды, и атомами др. элементов. Измеряя интенсивность ядерного излучения, прошедшего через контролируемый материал или рассеянного им, определяют его влажность. В основном используют явления поглощения γ -лучей и замедления нейтронов. Методы, основанные на поглощении γ -лучей, применяются в тех случаях, когда не требуется высокая точность измерения влажности и когда плотность и химич. состав контролируемого материала меняются незначительно (напр., влажность почвы в стационарных полевых условиях). Ослабление потока γ -лучей при просвечивании контролируемого материала зависит от содержания в нем воды, поскольку массовый коэфф. ослабления для водорода значительно больше массового коэфф. для др. атомов (в единице массы водорода содержится примерно в два раза больше электронов, чем в единице массы любого др. элемента). При использовании нейтронов измерение основано на том, что водород во много раз эффективнее замедляет быстрые нейтроны, чем любой др. элемент. Число выходящих из контролируемого материала медленных, тепловых нейтронов или уменьшение числа быстрых нейтронов после прохождения ими контролируемого материала является ф-цией его влажности. Высокая чувствительность нейтронного метода и слабая зависимость результатов измерения от физико-химич. свойств контролируемой среды позволяют применять его для широкого клас-

са материалов и особенно для контроля влажности непосредственно в технологич. потоке. Этот метод дает наилучшие результаты при контроле влажности металлургич. шихт и кеков, рудных концентратов и др. Методы с регистрацией медленных нейтронов пригодны в тех случаях, когда контролируемый материал не содержит или содержит неизменное количество элементов с аномально большим сечением захвата (поглощения) тепловых нейтронов (кадмий, бор, индий, самарий и др.). Методы с регистрацией быстрых нейтронов позволяют измерять влажность материалов при наличии указанных элементов. Нейтронные влагомеры применяются тл. обр. для контроля влажности неорганич. веществ и сред, не содержащих кристаллизац. воду, поскольку замедление нейтронов селективно по отношению к водороду независимо от того, в какое химич. соединение он входит.

Лит.: Туричин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, 3 изд., М.—Л., 1959; Берлинер М. А., Электрические приборы для измерения влажности зерна, М., 1949; Черняк Г. Я., Высококачественный прибор для измерения диэлектрической проницаемости влажных рыхлых горных пород, М., 1955; Таточенко Л. К., Радиоактивные изотопы в приборостроении, М., 1960. Е. Я. Овчаренко.

ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ (photoelectric emission; effet photoélectrique externe, emission photoélectronique; äusserer Photoeffekt, äussere lichtelektrische Erscheinung) — испускание электронов веществом под действием света. В. ф. открыт Г. Герцем в 1887. В 1888 А. Г. Столетов впервые изучил связь между силой фототока и интенсивностью падающего света и доказал практич. безынерционность явления. Существенный вклад в развитие представлений о механизме В. ф. был сделан опытами Ф. Ленардо, доказавшими электронную природу фототока (1888) и зависимость энергии электронов от длины волны падающего света (1889). Законы В. ф. нельзя объяснить на основе классич. физики; они оставались загадкой до тех пор, пока не были разъяснены в общих чертах А. Эйнштейном на основе квантовых представлений о природе света (1905). Механизм В. ф. схематически иллюстрируется рис. 1. Кванты света (фотоны), падая на поверхность тела (эмиттера), возбуждают электроны из заполненной энергетической полосы. Электрон, обладающий внутри эмиттера полной энергией \mathcal{E} , при поглощении кванта света $h\nu$ (h — постоянная Планка, равная $6,62 \cdot 10^{-27}$ эрг·сек, ν — частота падающего излучения) переходит в состояние с полной энергией $\mathcal{E} + h\nu$. Такой возбужденный электрон может выйти из эмиттера лишь, если

$$\mathcal{E} + h\nu > \mathcal{E}_1 + \Phi, \quad (1)$$

где \mathcal{E}_1 — энергия, соответствующая наивысшему состоянию в заполненной зоне, и Φ — фотоэлектронная работа выхода, т. е. наименьшая работа, которую нужно затратить, чтобы при помощи света перевести электрон из этого состояния за пределы эмиттера.

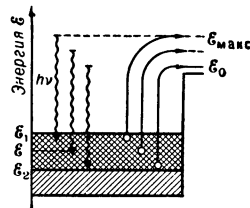


Рис. 1. Схематич. изображение механизма внешнего фотоэффекта.

Возбуждение электронов фотонами происходит независимо друг от друга, поэтому в соответствии с неравенством (1) число электронов, покидающих поверхность эмиттера при его освещении, строго пропорционально числу падающих фотонов, обладающих энергией $h\nu$. В этом состоит объяснение первого закона В. ф., экспериментально установленного Столетовым: фотоэлектрич. ток насыщения (т. е. ток, не зависящий от разности потенциалов между анодом и эмиттером) при неизменном спектральном составе облучения пропорционален падающему лучистому потоку Φ , где

$$i = k\Phi, \quad (2)$$

коэфф. пропорциональности k наз. чувствительностью или квантовым выходом (для монохроматич. излучения).

Эмиссия электронов, как это следует из соотношения (1) и рис. 1, возможна только, если энергия фотона превышает фотоэлектрич. работу выхода эмиттера $\varphi_{\text{ф}}$. Поэтому для каждого эмиттера существует макс. граничная длина волны λ_0 (т. н. красная граница фотоэффекта), при которой В. ф. еще возможен

$$\lambda_0 = \frac{hc}{\varphi_{\text{ф}}}, \quad (3)$$

где c — скорость света. Заполненные состояния, для к-рых при данной энергии фотонов $h\nu$ возможен процесс фотоэмиссии, заштрихованы на рис. 1 крестом. Им соответствует полосу энергии $\xi_2 - \xi_1$. Т. о., при определенной частоте возбуждающего света ν эмиттируемые электроны будут иметь всевозможные значения кинетич. энергии, лежащие в пределах от $\xi = 0$ (в случае, когда полная энергия электрона ξ до поглощения фотона равна ξ_1) до $\xi = \xi_{\text{макс}}$ (в случае, когда $\xi = \xi_2$), причем $\xi_{\text{макс}} = h\nu - \varphi_{\text{ф}} = h(\nu - \nu_0)$. (4)

Уравнение (4) носит назв. ур-ния Эйнштейна и выражает 2-й закон В. ф.: макс. энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой падающего света и не зависит от его интенсивности. Соотношение Эйнштейна используется для определения фотоэлектрич. работы выхода у металлов, где она совпадает с термоэлектронной работой выхода, к-рая равна разности энергии между уровнем Ферми и энергией покоящегося электрона за пределами поверхности металла. Для различных металлов работа выхода лежит в пределах от 2 до 5 эв. Это означает, что порог фотоэффекта для металлов с малой работой выхода (щелочные металлы) лежит в видимой области спектра, а для металлов с большой работой выхода (серебро, никель, платина) — в ультрафиолетовой области. У не содержащих примеси ПП, в отличие от металлов, фотоэлектрич. и термоэлектронная работы выхода не совпадают, поскольку в чистых ПП и диэлектриках уровень Ферми проходит в запрещенной зоне. Наиболее полно теория В. ф. разработана для металлов. На рис. 2 приведены спектральные хар-ки квантового выхода для ряда чистых металлов. Ф-ла, выражающая зависимость фототока i от частоты ν при 0°K , имеет простой вид

$$i = A(\nu - \nu_0)^2 \quad (5)$$

(здесь A — постоянная). Повышение темп-ры в целом мало изменяет характер распределения электронов по энергиям внутри металла, а поэтому слабо сказывается на форме спек-

тральной хар-ки в области спектра вдали от красной границы. Однако ее повышение приводит к исчезновению резкой красной границы фотоэффекта. Влияние темп-ры на В. ф. с ПП и диэлектриков более существенно, но недостаточно изучено.

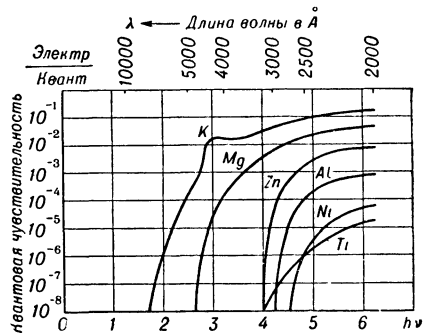


Рис. 2. Спектральные хар-ки фототока для чистых металлов.

Для изготовления катодов фотоэлементов особый интерес представляют сложные эмиттеры ПП природы, обладающие небольшой работой выхода и высокой фоточувствительностью. Наиболее важными из них являются сурьмяно-цезиевый, кислородно-цезиевый, а также мультищелочной катод, представляющий собой пленку сурьмы, обработанную последовательно парами натрия, калия и цезия. Изучение В. ф. ПП может дать полезные сведения об энергетич. спектрах электронов и помочь выяснению механизма явлений, имеющих место при вторичной эмиссии и фотоэмиссии со сложных катодов, и влияния на эти явления различных физич. факторов.

Лит.: Юз А. Л. и Дюбринж Л. А., Фотоэлектрические явления, пер. с англ., под ред. П. И. Лукирского, Л.—М., 1936; Лукьянов С. Ю., Фотоэлементы, М.—Л., 1948; Арсениева-Гейль А. Н., Внешний фотоэффект в полупроводниках и диэлектриках, М., 1957. В. А. Горохов.

ВНУТРЕННИЙ ФОТОЭФФЕКТ (intrinsic photoeffect, photoconductive effect; effet photoélectrique interne, photoconduction; innerer Photoeffekt, innere lichtelectrische Erscheinung) — происходящее при поглощении света перераспределение электронов по энергетич. состояниям в твердых телах и жидкостях. В противоположность *внешнему фотоэффекту*, к-рый обнаруживается и измеряется по току электронов, выходящих из исследуемой среды наружу, В. ф. обнаруживается, как правило, по изменению концентрации носителей тока внутри среды, т. е. по появлению т. н. фотопроводимости или фотоэдс. Как и при внешнем фотоэффекте, поглощение одного фотона приводит при В. ф. к возбуждению одного электрона.

В. ф. и фотопроводимость (неощутимые в металлах) широко исследуются в ПП (см. *Фотоэлектрические свойства полупроводников*) и диэлектриках, где они могут быть связаны со свойствами как основного вещества, так и содержащихся в нем примесей. В первом случае при поглощении фотонов, соответствующих собств. полосе поглощения вещества, совершаются переходы электронов из валентной зоны в зону проводимости, что приводит к появлению добавочных (неравновесных) дырок в валентной зоне и добавочных (неравновесных) электронов в зоне проводимости. В результате

возникает биполярная (электронная и дырочная) фотопроводимость. Во втором случае в результате поглощения света на примесных центрах электроны с примесных энергетич. уровней переводятся в зону проводимости или электроны из валентной зоны переходят на примесные уровни. В итоге возникает монополярная (электронная или дырочная) фотопроводимость. В. ф. и фотопроводимость, связанные с переходами электронов между зонами, наз. «собственными», а между примесными уровнями и зоной — «примесными».

Поскольку импульс фотона, как правило, очень мал по сравнению с импульсом электрона, требование одновременного выполнения законов сохранения энергии и импульса приводит к тому, что переходы электронов с участием только одного фотона оказываются возможными лишь между состояниями, в к-рых импульс электрона практически один и тот же (т. н. «прямые» или «вертикальные» переходы). Однако этот запрет может нарушаться за счет взаимодействия электронов или дырок с тепловыми колебаниями решетки вещества. Последнее приводит к т. н. «непрямым» переходам с изменением как энергии, так и импульса электрона и испусканием или поглощением кванта колебаний решетки. Эксперимент. исследования зависимости В. ф. от энергии фотонов позволяют по их миним. энергии $h\nu_{\min}$, еще вызывающей В. ф., определять «оптическую» величину энергетич. зазоров между уровнями или зонами, между к-рыми исследуются переходы. При достаточной интенсивности «непрямых» переходов определяемая величина энергетич. зазоров обычно совпадает с полученной из опытов по термич. возбуждению электронов или дырок.

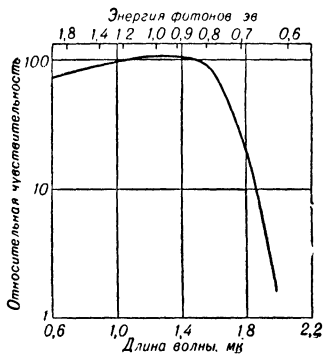


Рис. 1.

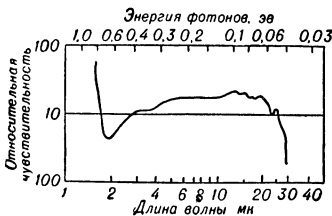


Рис. 2.

В связи с этим определение $h\nu_{\min}$ используется как один из основных методов нахождения величины энергетич. зазоров и, в частности, ширины запрещ.

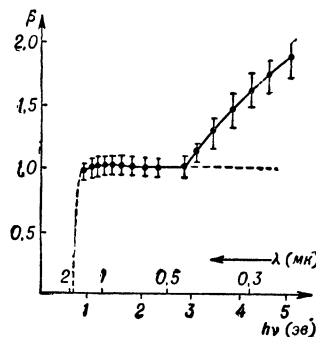


Рис. 3.

Рис. 1. Спектральное распределение собств. фотопроводимости в Ge.
Рис. 2. Спектральное распределение примесной фотопроводимости в Ge (с примесью Cu).
Рис. 3. Зависимость квантового выхода в Ge от энергии фотонов.

энергетич. зоны в ПП и диэлектриках.

На рис. 1 и 2 в качестве примера изображены кривые зависимости фотопроводимости от длины волны света для Ge. Кривая на рис. 1 соот-

ветствует собственной фотопроводимости, а на рис. 2 — фотопроводимости, связанной с примесью Cu. В обоих случаях на кривых отчетливо проявляется резкий длинноволновый спад фотопроводимости, по положению к-рого может быть определена величина энергетич. зазора.

С ростом энергии фотонов, соответствующих собств. полосе поглощения, возможно кажущееся увеличение отношения числа переведенных из зоны в зону элементарных зарядов к числу фотонов (т. е. т. н. квантового выхода). Сказанное иллюстрируется, напр., кривой на рис. 3, где начиная с $h\nu=2,8$ эв измер. квантовый выход в Ge растет. Это связано с тем, что при достаточно большой энергии фотонов освобождаются электроны проводимости или дырки с такой большой кинетич. энергией, что они сами приобретают способность создавать новые пары «электрон-дырка» путем ударной ионизации.

Наряду с рассмотренными выше переходами между зонами, а также между примесными уровнями и зонами, при поглощении света имеют место и внутризонные переходы. Кроме того, возможен процесс образования экситонов. При нек-рых условиях все эти процессы также могут приводить к изменению проводимости вещества. Однако любые процессы В. ф., в т. ч. и те, к-рые связаны с переходом электронов или дырок в разрешенные зоны, могут практически не обнаруживаться в виде появления ощутимой фотопроводимости, если время жизни добавочных электронов или дырок в зонах достаточно мало. Указанное обстоятельство является основной причиной весьма часто наблюдаемого «неактивного» поглощения света.

Явление В. ф. широко используется на практике. Оно определяет работу таких приборов, как фотоэлементы с запирающим слоем и преобразователи световой энергии в электрическую, фотосопротивления, фотодиоды, фототранзисторы и т. д.

Лит.: Полупроводники в науке и технике, [под ред. А. Ф. Иоффе], т. 1—2, М.—Л., 1957—58; Фотоэлектрические и оптические явления в полупроводниках, Киев, 1959 (Тр. Первого Всес. сов. по фотоэлектрическим и оптическим явлениям в полупроводниках, Киев, 1957); Полупроводниковые преобразователи энергии излучений, М., 1959, с. 64 и 69; Moss T. S., Photoconductivity in the elements, L., 1952.

ВОБУЛЯЦИЯ (wobulation; wobulation; Durchwobbelung, Wobbelaufstausung) — см. Модуляция частотная.

ВОЗБУЖДЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ (oscillations excitation; excitation des oscillation, amorçage d'oscillations; Schwingungserregung) — см. Генератор с самовозбуждением, Генератор с независимым возбуждением.

ВОЗБУЖДЕНИЯ СИСТЕМА (excitation system; système d'excitation; Erregungssystem) — совокупность агрегатов и аппаратов, предназначен. для получения и регулирования тока возбуждения синхронных машин (СМ). Пост. ток, протекая по обмотке возбуждения СМ, образует вращающееся электромагнитное поле, создающее эдс на выводах статорной обмотки. В. с. включает: 1) обмотку возбуждения, располагающуюся либо в пазах ротора, либо на его полюсах в виде

катушек. Концы ее выводятся через вал к контактным кольцам, к к-рым через щетки от возбудителя подается пост. напряжение;

элементов СМ, оказывает существ. влияние на надежность работы электрич. станции и потребителей, на устойчивость параллельной

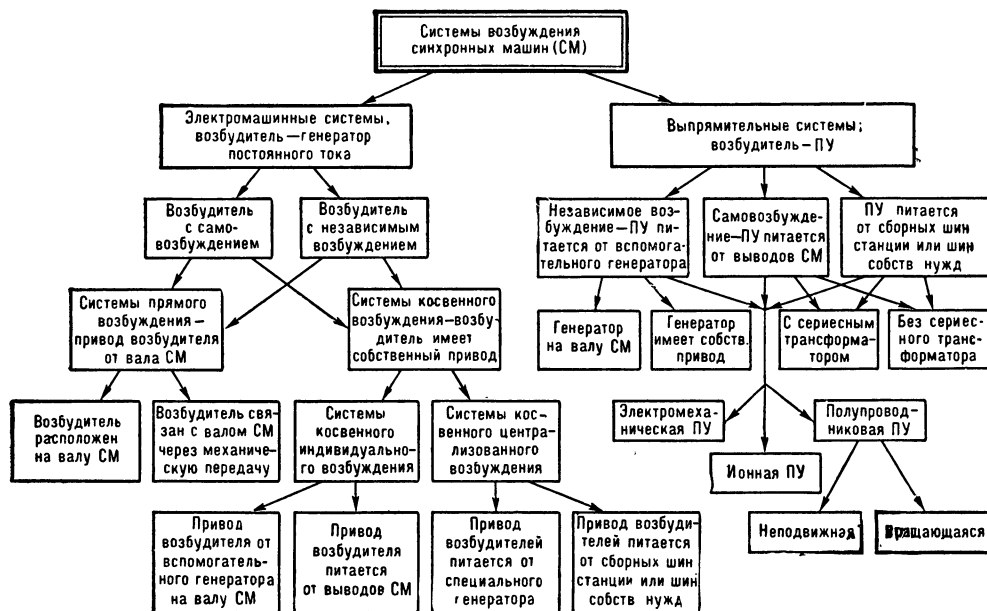


Рис. 1. Классификация систем возбуждения.

2) возбудитель — источник питания пост. тока [генератор пост. тока (ГПТ) или преобразоват. установка (ПУ) перем. тока в постоянный] и вспомогат. оборудование к нему; 3) автоматич. регулятор возбуждения (АРВ), изменяющий ток возбуждения СМ в соответствии с выбранным законом регулирования возбуждения. По принципу действия различают регуляторы, работающие с зоной нечувствительности (напр., электромехан. реостатный регулятор напряжения ХЭМЗ типа СН-91), и регуляторы без зоны нечувствительности (регуляторы пропорцион. и сильного действия). Электронные регуляторы напряжения с гибкой обратной связью и устройством компаундирования с коррекцией напряжения (см. *Компаундирование*) регулируют возбуждение пропорционально отклонению режимного параметра — напряжения или тока. Эти АРВ наиболее широко применяются на СМ. Регуляторы сильного действия регулируют не только по отклонению, но и по скорости и ускорению изменения одного или двух режимных параметров (ток, напряжение, частота, угол δ сдвига между напряжением в нек-рой точке системы и эдс СМ); 4) автоматич. устройство для гашения поля, к-рое снижает эдс СМ до миним. величины с целью уменьшения размера повреждения от токов кз. Гашение поля осуществляется введением активных сопротивлений в цепь обмотки возбуждения генератора или возбудителя, включением в цепь ротора решеток магнитного дутья, переводом ионных выпрямителей в инверторный режим (в выпрямительных В. с.). На рис. 1 дана классификация В. с. по типу возбудителя (ГПТ или ПУ), способу возбуждения ГПТ и его привода, по схеме питания и типу ПУ. Схемы рис. 2 иллюстрируют нек-рые типы В. с.

В. с., являясь одним из наиболее ответств.

работы СМ в электрич. системе. Среди электромашинных В. с. наиболее надежны системы, со-

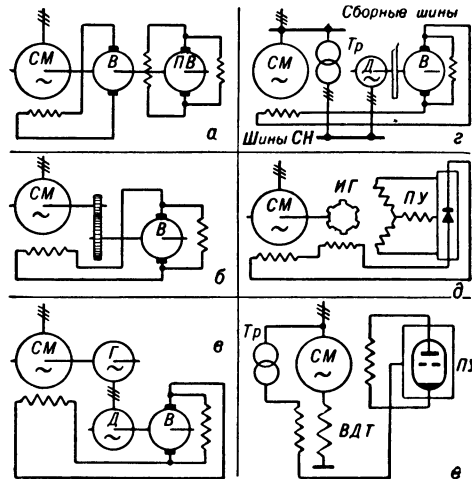


Рис. 2. Примеры систем возбуждения мощных синхронных машин: а — система прямого возбуждения с независимым возбудителем на валу СМ; б — система прямого возбуждения с приводом возбудителя, имеющего самовозбуждение, от вала СМ через редуктор; в — система косв. возбуждения с питанием двигателя Д привода возбудителя от вспомогат. генератора, расположен на валу СМ; г — система косв. возбуждения с питанием двигателя привода возбудителя от шин собств. нужд; д — выпрямит. система независимого возбуждения с ПУ установкой на ПП выпрямителей, питаемых от ВЧ индукц. генератора ИГ; е — выпрямит. система самовозбуждения с вольтодобавочными тр-рами ВДТ, ПУ на ртутных выпрямителях.

державшие наименьшее число машин, ибо осн. источник повреждений — коллектор генератора пост. тока. Система прямого возбуждения с

возбудителем, имеющим самовозбуждение, удовлетворяет этим требованиям, и поэтому ГОСТ № 5616—50, 533—51, 609—54 для гидрогенераторов, турбогенераторов и синхронных компенсаторов рекомендует систему прямого возбуждения с расположением возбудителя непосредственно на валу СМ.

Мощность, потребляемая обмоткой возбуждения, — 0,2—0,8% от номин. мощности СМ. Для турбогенераторов мощностью св. 100 Мвт необходимая для возбуждения мощность превышает предельную мощность быстроходных ГПТ ($n=3000$ об/мин), что препятствует применению для них систем прямого возбуждения с возбудителем на валу синхронного генератора. Для таких турбогенераторов рекомендуются электромашинные системы прямого возбуждения с приводом ГПТ от вала СМ через редуктор или индивидуального косв. возбуждения с маховиком, а также выпрямит. системы независимого возбуждения с ВЧ генератором и преобразоват. установкой на ПП выпрямителях, отдельно стоящей или встроенной в вал генератора (контактных колец нет). У мощных тихоходных гидрогенераторов удаленных ГЭС иногда применяются электромашинные системы индивид. косвенного возбуждения или выпрямит. системы возбуждения, т. к. возбудители, расположен. на валу таких гидрогенераторов, получают очень громоздкими.

Предельно передаваемая мощность по линии электропередачи по условию статич. и динамич. устойчивости в значит. мере определяется параметрами В. с. Статич. устойчивость зависит от чувствительности В. с. к изменению режима, что связано с типом и настройкой АРВ и постоянными времени элементов В. с. (АРВ, возбудителя и обмотки возбуждения). Наиболее чувствителен АРВ сильного действия в сочетании с выпрямительной В. с. или же электромашинной — с малой постоянной времени возбудителя T_e .

Динамич. устойчивость зависит от скорости подъема напряжения на кольцах ротора (измеряется кратностью увеличения напряжения возбуждения по отношению к номинальному за 1 сек.), определяемой потолком возбуждения и постоянной времени T_e , а также типом АРВ и типом В. с. Потолком возбуждения по напряжению наз. отношение макс. возможного напряжения на кольцах ротора к номин. напряжению (в режиме номин. нагрузки генератора). ГОСТ № 5616-50, 533-51, 609-54 требует для турбогенераторов и синхронных компенсаторов потолок возбуждения не менее 2, а для гидрогенераторов — не менее 1,8. Дальнейшее увеличение кратности потолка связано с трудностями конструирования надежных высоковольтных ГПТ, с утяжелением изоляции ротора и удорожанием СМ и может быть оправдано лишь необходимостью повышения предела динамич. устойчивости. Наибольший потолок возбуждения, осуществл. на гидрогенераторах, равен 4.

Постоянная времени T_e , равная отношению коэфф. самоиндукции (при отсутствии насыщения) обмотки возбуждения ГПТ к ее активному сопротивлению, зависит от скорости вращения ГПТ (обратно пропорциональна) и от его конструкции и составляет для обычных машинных возбудителей ~ 0,5 сек. Получение $T_e < 0,5$ сек. связано с увеличением габаритов тихоходных возбудителей, созданием быстро-

ходных возбудителей спец. конструкции, установкой добавочного активного сопротивления в цепь возбуждения и имеет смысл лишь при спец. требованиях к устойчивости параллельной работы. У возбудителей, выполненных в виде ПУ, строгого понятия «постоянная времени» не существует. Однако при расчетах устойчивости условно вводится значение $T_e = 0,02$ сек.

Наибольшую скорость нарастания напряжения на кольцах ротора СМ обеспечивает АРВ сильного действия, на выходе к-рого мгновенно устанавливается потолочное значение напряжения при появлении ускорения угла δ . АРВ пропорцион. действия обеспечивают меньшую скорость подъема напряжения на кольцах ротора, и для ее увеличения системы возбуждения дополнительно снабжаются релейными устройствами форсировки возбуждения.

В системах косв. возбуждения, когда двигатель привода возбудителя питается от шин или выводов возбуждаемой СМ, при авариях в сети, приводящих к понижению напряжения питания двигателя, скорость нарастания напряжения на кольцах ротора падает и зависит от скорости восстановления напряжения у двигателя. Поэтому при необходимости повышения динамич. устойчивости ГПТ косвенной В. с. снабжается маховиком, увеличивающим постоянную инерции агрегата, а в выпрямит. системах самовозбуждения вводят серийные вольтодобавочные тр-ры.

В качестве примера даны две схемы В. с., спроектированные для достижения высокого предела статич. и динамич. устойчивости

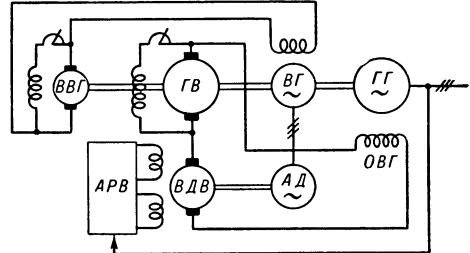


Рис. 3. Электромашинная смешанная система возбуждения гидрогенераторов Волжской ГЭС им. В. И. Ленина: ГГ — гидрогенератор (115 Мвт; 13,8 кВ; $\cos \varphi = 0,85$; 68,2 об/мин); ОВГ — обмотка возбуждения гидрогенератора; ГВ — главный возбудитель (1600 кет; 800 в; 68,2 об/мин); ВДВ — вольтодобавочный возбудитель (900 кет; ± 800 в; 745 об/мин); ВГ — вспомогат. синхронный генератор (2500 кет; 3,15 кВ; ВВГ — возбудитель вспомогат. синхронного генератора (84 кет; 210 в; АД — асинхронный двигатель (900 кет; 3 кВ; 745 об/мин).

дальней электропередачи. Электромашинная смешанная В. с. для возбуждения гидрогенераторов Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (рис. 3) состоит из двух последовательно включ. возбудителей — главного (имеет самовозбуждение и располагается на валу гидрогенератора) и вольтодобавочного — быстроходного, с приводом от асинхронного двигателя, питаемого от вспомогат. синхронного генератора, располож. на валу гидрогенератора. Вспомогат. генератор возбуждается от генератора пост. тока с самовозбуждением (на рис. ВВГ), также располож. на валу гидрогенератора. Гл. возбудитель работает все время с неизменным напряжением, равным

$2U$. Регулирование возбуждения в норм. и аварийном режимах осуществляется вольтодобавочным возбудителем, к-рый имеет две обмотки независимого возбуждения — форсировочную и развозбуждения, питаемые от АРВ сильного действия. В норм. режиме напряжение вольтодобавочного возбудителя составляет U и направлено встречно напряжению главного возбудителя (результатирующее напряжение, т. о., U). При форсировке полярность вольтодобавочного возбудителя изменится и его напряжение увеличивается до потолочного значения, равного $2U$, что обеспечивает 4-кратный потолок возбуждения СМ. Постоянная времени T_e вольтодобавочного возбудителя $\sim 0,04$ сек., что достигнуто включением добавочного активного сопротивления в цепь его обмотки возбуждения и охвата возбудителя жесткой отрицат. обратной связью. Дальнейшего применения эта система возбуждения не нашла ввиду недостаточной надежности (требуется установка пяти машин). Выпрямит. система возбуждения генераторов Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС (рис. 4) включает ПУ, собранную по мостовой 3-фазной

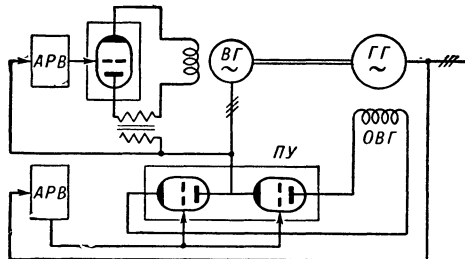


Рис. 4. Выпрямит. система независимого возбуждения гидрогенераторов Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС: ГГ — гидрогенератор (115 Мвт; 13,8 кВ; $\cos \varphi = 0,85$; 68,2 об/мин); ОВГ — обмотка возбуждения гидрогенератора; ВГ — вспомогат. синхронный генератор (3,2 Мвт; 1,3 кВ; $\cos \varphi = 0,35$).

схеме из управляемых игнитронов, вспомогат. синхронный генератор пром. частоты с самовозбуждением от управляемого игнитрона и АРВ сильного действия с выходом на магнитных усилителях. АРВ воздействует на изменение момента зажигания игнитронов, что приводит к изменению тока возбуждения синхронного генератора. Система обеспечивает 4-кратный потолок возбуждения.

Лит.: Глебов И. А., Системы возбуждения синхронных генераторов с управляемыми преобразователями, М., 1960; Поляк Н. А., Системы возбуждения крупных турбогенераторов нового типа, «ЭС», 1961, № 8; Берковский А. М., Возбуждение современных крупных турбогенераторов, «Энергохозяйство за рубежом», 1961, № 3.

И. В. Липцен, Г. Г. Зарудский.

ВОЗВРАТА РЕЛЕ КОЭФФИЦИЕНТ [reset coefficient (relay); coefficient de retour de relais; Rückgangsverhältnis] — отношение значения параметра отпущения к параметру срабатывания реле. В реле тока В. р. к. определяется отношением тока отпущения к току срабатывания, в реле напряжения — отношением напряжения отпущения к напряжению срабатывания и т. д. В. р. к. всегда меньше единицы (обычно 0,4—0,98). В электромехан. реле увеличение В. р. к. достигается уменьшением разности между тяговой (при токе срабатывания) и противодействующей силами в притянutom положении якоря; в бесконтакт-

ных реле на базе магнитных, транзисторных или электронных усилителей с положит. обратной связью — уменьшением ширины петли гистерезиса в хар-ке усилителя или введением смещения.

Е. Л. Львов.

ВОЗДЕЙСТВИЕ (action, response, input; *essai*, action; Einwirkung, Eingriff, Einfluß, Beeinflussung, Bewirkung) — любой фактор, приводящий к изменению положения или состояния к.-л. элементов САР. В. может быть сила, момент, положение движка потенциометра, напряжение и т. д. Различают: задающее воздействие, определяющее требуемый закон изменения регулируемой величины; *управляющие воздействия*, или регулирующие В., необходимые для выполнения основного целевого назначения САР; *возмущающие воздействия*, приводящие к ухудшению точности и иногда к потере работоспособности САР. По форме и величине в основном различают В., представляющие собой непрерывно изменяющиеся ф-ции времени, точные законы изменения к-рых неизвестны, и заданные ф-ции времени — *типовые воздействия* — ограниченные по модулю В.

Б. И. Андрейчиков.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПО НАГРУЗКЕ (load action; action par charge, *essai par charge*; Belastungseingriff, Belastungseinwirkung) — воздействие регулятора на объект регулирования, величина к-рого находится в определенной функцион. зависимости с нагрузкой, действующей на объект. В. по н. используется в замкнутых САР как дополнит. стабилизирующее воздействие, а в разомкнутых — как осн. регулирующее воздействие.

Лит. см. при ст. Воздействие по отклонению.

С. Н. Дилигенский.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПО ОТКЛОНЕНИЮ (deviation action, deflection action; action par deviation; Nachstellungseinwirkung, *Überschwingseingriff*, Abweichungseingriff) — воздействие регулятора на объект регулирования, к-рое находится в определенной функцион. зависимости от отклонения регулируемой величины. Напр., при пропорциональном регулировании величина В. по о. пропорциональна отклонению регулируемой величины. В. по о. может реализоваться как самостоят. закон регулирования или как компонент более сложного закона (например, изодромного закона регулирования).

Лит.: Айзерман М. А., Лекции по теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1958; Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958; Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т. 2, М., 1959.

С. Н. Дилигенский.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПО ПРОИЗВОДНОЙ (rate response; action par dérivation, action dérivée; D-Einfluss, Vorhaltwirkung) — воздействие регулятора на объект регулирования, величина к-рого находится в определенной функцион. зависимости от производной по времени от управляющей величины или др. к.-л. промежуточной координаты. В. по п. широко используется в качестве стабилизирующего средства. В САР В. по п. часто сочетаются с воздействиями по отклонению и др. Устройства, создающие В. по п., могут быть включены в различные места контура регулирования. Если величина В. по п. линейно зависит от производной по времени от данной величины, то эффективность ее оценивается по коэфф. пропорциональности (коэфф. В. по п.). Коэфф. В. по п. имеет размерность времени. Величина

его обычно определяется из анализа устойчивости или качества процесса регулирования.

Лит. см. при ст. *Воздействие по отклонению*.

С. Н. Дилиженский.

ВОЗДУХОПОДГОТОВКА ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ (air cleaning for pneumatic devices; preparation de l'air pour les appareils pneumatiques; Luftvorbehandlung für Druckluftanlagen) — очистка воздуха от пыли, влаги и масла, сжатие его и бесперебойная подача к устройствам пневмоавтоматики. Пыль и твердые частицы, засоряя дросселирующие органы пневматич. приборов, понижают их точность, а нередко и выводят их полностью из строя. Влага, конденсируясь на ответств. деталях, вызывает их коррозию, а при минусовой темп-ре образует ледяные пробки, прекращающие поступление воздуха и вызывающие примерзание подвижных частей. Под действием масла разрушаются резиновые мембраны и засоряются дроссели.

Снабжение пневматич. приборов сжатым воздухом без глубокой его осушки (рис. 1) возможно при отсутствии минусовых темп-р в месте расположения аппаратуры для воздухоподготовки и системы автоматизации [1]. 70—80% влаги воздух теряет в холодильнике 3,

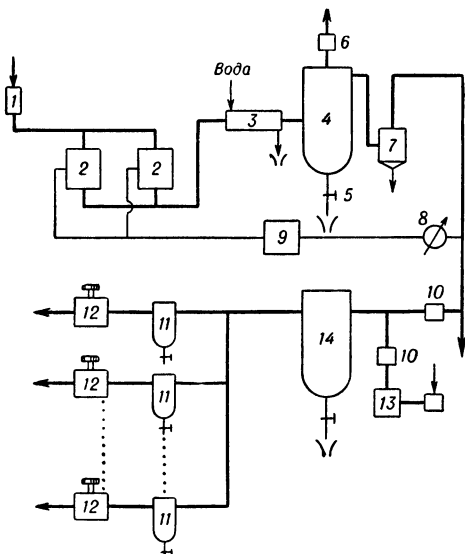


Рис. 1. Схема снабжения пневматич. приборов сжатым воздухом: 1 — воздушный фильтр; 2 — компрессоры; 3 — холодильник; 4 — ресивер; 5 — кран; 6 — предохранит. клапан; 7 — маслоотделитель; 8 — электроконтактный манометр; 9 — блок управления компрессорами; 10 — обратные клапаны; 11 — пылевые фильтры; 12 — редукторы; 13 — аварийный компрессор; 14 — ресивер.

из к-рого он выходит, имея относит. влажность 100%. После холодильника воздух обычно неск. нагревается, а давление его за редуктором значительно уменьшается, поэтому и относит. влажность снижается до величины порядка 30% при 20°C. Масло попадает в воздух [2] в результате смазки поршня компрессора. Большая часть его конденсируется в водяном холодильнике, меньшая часть остается в маслоотделителе 7. Давление воздуха поддерживается в заданных пределах (обычно 3—6 *атм*) системой автоматич. управления компрессорами 2, содержащей электроконтактный манометр 8 и блок 9 из электрич. реле и магнитных пускателей.

В случае работы системы автоматики при минусовых темп-рах, а также для питания точных пневматич. вычислит. приборов необходимо, чтобы воздух имел относит. влажность порядка 2—3% при 15—20°C, что предотвращает выпадение влаги при темп-ре окружающего воздуха до —30—40°C. Для такой глубокой осушки воздуха обычно применяют двухступенчатые дегидраторы. Для питания пневматич. приборов, работающих при давлениях 1 *атм* и выше, все чаще применяют автоматич. установки для полной подготовки воздуха, включая его глубокую осушку. Такой установкой является, напр., АД-220 (рис. 2). Макс. ее производительность невелика (22 *л/мин*

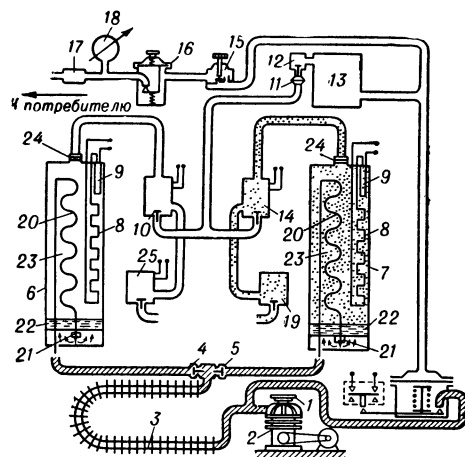


Рис. 2. Автоматич. установка воздухообеспечения АД-220: 1 — фильтр; 2 — мембранный компрессор; 3 — воздушный холодильник; 4, 5, 12 — обратные клапаны; 6, 7 — адсорбционные колонки; 8 — нагреват. спирали; 9 — температурные реле; 10, 14, 19, 25 — солеинные клапаны; 11 — фильтр; 13 — ресивер; 15 — игольчатый клапан; 16 — редуктор; 17 — индикатор влажности; 18 — манометр; 20 — спиральные змеевики; 21, 24 — фильтры; 22 — слой прессованной металл. тружки; 23 — силикагель.

при давлении воздуха 2,5—3 *атм*). Атм. воздух засасывается мембранным компрессором 2, к-рый выгодно отличается от поршневого тем, что не загрязняет воздух маслом. В воздушном холодильнике 3 сжатый воздух охлаждается и из него выпадает конденсат. Глубокую осушку воздух проходит в адсорбционной колонке — полом цилиндра 6, 7, заполненном адсорбентом (силикагелем SiO_2 в виде зерен диаметром 3—4 *мм*). Процесс поглощения влаги адсорбентом прекращают задолго до его полного насыщения, после чего колонка вступает в фазу регенерации, в то время как на ее место подключается др. колонка, уже прошедшая регенерацию и остывшая. Для регенерации адсорбента силикагель в колонке нагревают электрич. спиралью 8 и продувают через него воздух, нагретый в спиральном змеевике 20 этой же колонки. Во время регенерации одной из колонок производительность АД-220 резко сокращается. Регенерация длится 7 час., остывание колонок — 5 час., работа колонки как осушителя — 12 час., т. е. полный рабочий цикл длится 24 часа. Влажность воздуха, поступающего к потребителю, контролируется по цвету, принимаемому индикаторным веществом (силикагелем, обработанным 10%-ным раствором хлористого кобальта) в стекл. трубке индикатора 17.

Автоматические установки большой производительности (УВСА-5, УВСА-12,5, УВСА-25, УВСА-50, УВСА-100 и УВСА-200) с расходом воздуха соответственно 5, 12,5 и т. д. $\text{м}^3/\text{час}$ [3] не отличаются по принципу действия от АД-220; их преимущество в том, что воздух, пошедший на регенерацию, снова попадает на вход установки, благодаря чему во время регенерации силикагеля производительность не уменьшается. Воздух из регенерируемой колонки засасывается снова на вход дегидрататора газоструйным насосом, представляющим собой трубу Вентури, в наиболее узком сечении к-рой создается разрежение порядка 300 мм рт. ст.

Автоматизированные установки с холодной регенерацией силикагеля [4] отличаются конструктивной простотой и надежностью. Для холодной регенерации силикагеля при равенстве периодов осушки и регенерации должно быть соблюдено равенство объемов осушаемого и регенерирующего воздуха. Потеря воздуха при этом составляет 20—25% от общего количества осушенного и очищенного воздуха. Увеличение объема воздуха, идущего на регенерацию силикагеля, выгодно осуществлять за счет понижения его давления путем дросселирования. В этой установке воздух, после прохождения через регенерирующий адсорбер, выбрасывается в атмосферу, понижая тем самым экономичность установки.

В пневмоавтоматике наряду с приборами, работающими при нормальном (1,2—1,4 атм) давлении питающего воздуха, все чаще начинают применять вычислит. приборы, работающие на низком (порядка 250—120 мм вод. ст.) давлении питающего воздуха при рабочем диапазоне давлений в 0—100 мм вод. ст. [5]. Требования к качеству воздуха и к установкам воздухообеспечения для питания этих приборов неск. иные, чем в случае применения приборов, работающих в нормальном диапазоне давлений. Так, дроссели приборов, работающие в низком диапазоне давлений, ввиду применения сравнительно больших диаметров, мало подвержены засорению. Поэтому для этих приборов нет необходимости очищать воздух от пыли. Потребление воздуха такими приборами очень мало, что позволяет для их питания применять помпы и воздуходувки небольшой мощности. Кроме того, пневматич. приборы, работающие на низком давлении, не требуют осушки воздуха, т. к. увеличение его влажности после сжатия ничтожно и практически роли не играет. Питая пневматич. вычислит. устройства, работающие на низком давлении, от компрессоров высокого давления нецелесообразно, т. к. из-за применения редукторов возможны значит. потери мощности, а также необходима очистка воздуха от масла и влаги. Эти приборы лучше всего питать от отдельной линии низкого давления. Основной узел (насос) помпы (рис. 3), питающей линию низкого давления, работает след. образом: при ходе мембраны 1 влево воздух засасывается через боковое отверстие 2 и при нагнетании выталкивается в виде направл. струи из сопла 3 в приемное сопло 4. В камере между соплами в момент прохождения струи создается разрежение и дополнительно засасывается еще порция воздуха из атмосферы. При ходе мембраны влево воздух засасывается из атмосферы через отверстие 2 благодаря тому, что в приемном сопле воздух продолжает по инерции движение

вперед. Кинетич. энергия движущейся струи в приемном сопле переходит затем в статич. давление. Помпа обычно объединяет в себе неск. таких насосов, соединенных параллельно. Мембраны отд. насосов помпы приводятся в колебат. движение муфтой, посаженной с перекосом

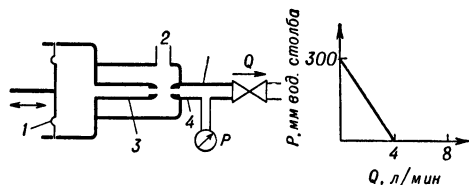


Рис. 3. Насос и его расходная хар-ка: 1 — резиновая мембрана; 2 — боковое отверстие; 3 — нагнетающее сопло; 4 — приемное сопло.

на ось электродвигателя. С помощью такой помпы может быть создано также и разрежение. Пульсации давления на выходе помпы в значит. мере сглаживаются благодаря применению 4 насосов. После такой помпы обычно ставят редуктор низкого давления, регулирующий давление в общей магистрали, и индивидуальные редукторы низкого давления для питания отд. приборов. Возможно также последоват. включение насосов помпы. При параллельном включении насосов суммируются их производительности, а при последовательном — давления.

Лит.: 1) Андерс В. Р., Пантаев Н. Ф., Автоматическое регулирование процессов переработки нефти, 2 изд., М., 1954, с. 250—57; 2) Б е ж а н о в Б. Н., Пневматические механизмы, М.—Л., 1957, с. 90; 3) П р у с е н к о В. С., Автоматизированные установки воздухообеспечения, «П», 1958, № 6, с. 11—16; 4) е г о ж е, Автоматические установки воздухообеспечения с холодной регенерацией силикагеля, там же, 1961, № 2, с. 10—12; 5) Ф е р н е р В., Элементы пневматических регуляторов, в кн.: Вопросы пневмо- и гидроавтоматики, М., 1960, с. 180—204.

В. Н. Дмитриев.

ВОЗМУЩАЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ (disturbance; grandeur perturbatrice; Störgrösse) — воздействие, стремящееся нарушить требуемую функциональную связь между задающим воздействием и регулируемой величиной. Так, при регулировании скорости вращения двигателя В. в. может быть момент нагрузки, приложенный к валу двигателя. САР должна свести к минимуму влияние В.в. на изменение регулируемых параметров. В. в. может быть приложено в любой точке системы. Б. А. Власюк.

ВОЗМУЩЕНИЕ (perturbation; perturbation; Störung) — 1) Отклонение координат и их производных от заданных значений. Всякая система дифференц. ур-ний, описывающая произвольную САР, может быть приведена к виду

$$\frac{dy_k}{dt} = Y_k(y_1, \dots, y_n), \quad (k=1, \dots, n).$$

Установившиеся значения переменных $y_1 = y_1^*, \dots, y_n = y_n^*$ есть очевидные решения системы. Они являются корнями ур-ний $Y_k(y_1, \dots, y_n) = 0, (k=1, \dots, n)$. Если произвести замену переменных $y_k = x_n + y_k^*$ так, чтобы новая система имела нулевые очевидные решения, то В. будут представлять собой начальные значения новых переменных x_k .

2) Возмущающее воздействие — см. Воздействие. Л. П. Сысов.

ВОЗМУЩЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ (disturbed motion; mouvement perturbé; gestörte Bewe-

gung) — движение системы под действием возмущающего или задающего воздействия, рассматриваемое относительно *невозмущенного движения*. Любой САР соответствует система дифференц. ур-ний $\frac{dx_k}{dt} = X_k(t, x_1, x_2, \dots, x_n)$, ($k=1, 2, \dots, n$), где x_1, x_2, \dots, x_n — координаты системы; X_k — известные ф-ции времени и координат. Каждой совокупности нач. условий $x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0}$ соответствует решение $x_k = x_k(t, x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0})$, ($k=1, 2, \dots, n$). Из всех x_k выбирается одно x_k^* , к-рое соответствует невозмущенному движению. Заменяя в исходном уравнении переменную $y_k = x_k - x_k^*$, получаем ур-ния В. д. $\frac{dy_k}{dt} = Y_k(t, y_1, y_2, \dots, y_n)$, ($k=1, 2, \dots, n$).

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Дубошин Г. Н., Основы теории устойчивости движения, М., 1952. В. Ю. Рутковский.

ВОЗМУЩЕННОЕ СОСТОЯНИЕ (disturbance state; état perturbé; gestörter Zustand) — состояние САР, при котором в результате *возмущающего воздействия* возникают отклонения координат и их производных от заданных значений и нарушается требуемая функциональная связь между задающим *воздействием* и *регулируемой величиной*.

Б. А. Власюк.

ВОЛНА БЕГУЩАЯ (traveling wave, progressive wave, moving wave; onde progressive; fortschreitende Welle) — электромагнитная волна, распространяющаяся без отражений вдоль *длинной линии* и переносящая энергию от источника к нагрузке. Режим В. б. устанавливается в длинной линии, когда она нагружена активным сопротивлением, равным по величине ее волновому сопротивлению, а также при распространении электромагнитной волны вдоль линии при полном затухании энергии в ней. В последнем случае волна затухает, не достигнув конца линии, и характер нагрузки не играет роли. Теоретически этот последний случай имеет место в т. н. бесконечной длинной линии. Режим В. б. является наиболее выгодным в используемых на практике линиях передачи. При подключении к концу линии передачи согласованной активной нагрузки в ней поглощается вся энергия, достигшая конца линии, что обеспечивает макс. кпд передачи. При наличии неоднородностей в линии или при несогласованной нагрузке часть энергии отражается, и в линии наряду с прямой В. б. возникает отраженная электромагнитная волна (см. *Волна стоячая*).

При распространении электромагнитной энергии вдоль линии между ее проводниками возникает перем. электромагнитное поле примерно такой же структуры, как и при распространении электромагнитной радиоволны в свободном пространстве. Линия только направляет волну, не изменяя механизма ее распространения, и обеспечивает передачу энергии в нужном направлении. Скорость распространения В. б. вдоль линии определяется свойствами среды, находящейся между ее проводниками. В воздушной линии она равна скорости распространения волны в свободном пространстве.

Лит.: Горелик Г. С., Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику, 2 изд., М., 1959. Ю. Б. Любченко.

ВОЛНА СТОЯЧАЯ (standing wave; onde stationnaire; stehende Welle, zusammengesetzte Welle) — электромагнитная волна, уста-

навливающаяся в длинной линии в результате сложения прямой (падающей) волны с волной, отраженной от нагрузки или неоднородностей, существующих в линии. Возникновение В. с. в линии передачи является признаком того, что в ней существуют отражения энергии или линия несогласована с нагрузкой. Наличие отражений приводит к уменьшению кпд передачи энергии вдоль линии, т. к. часть ее возвращается к источнику. Поэтому в линиях передачи электромагнитной энергии стремятся исключить возникновение В. с.

Когда длинная линия нагружается на конце на емкостное или индуктивное сопротивление, замыкается накоротко или не имеет никакой нагрузки (разомкнута на конце), в ней устанавливается В. с. В этих случаях электромагнитные волны, достигая конца линии, полностью отражаются от него и распространяются в обратном направлении. По линии навстречу друг другу распространяются две волны — прямая и отраженная. В результате величина напряжения (и тока) в любой точке линии будет определяться взаимодействием обеих волн. У линии без потерь амплитуды напряжения (и тока) обеих волн одинаковы. Поэтому в точках линии, где они совпадают по фазе, амплитуда суммарной В. с. будет равна удвоенной амплитуде прямой волны. Такая точка наз. п у ч н о с т ь ю напряжения (или тока). В точках линии, где обе волны находятся в противофазе, их амплитуды вычитаются, и амплитуда В. с. равна нулю. Такая точка наз. у з л о м напряжения (или тока). Соседние узлы (пучности) сдвинуты друг относительно друга на половину, а узел и пучность — на четверть волны. Когда линия нагружается на сопротивление, не равное ее волновому (см. *Длинная линия*), в ней устанавливается смешанный режим, при к-ром величины напряжения и тока в узлах не равны нулю. В этом случае В. с. характеризуется коэфф. стоячей волны (КСВ) напряжения (или тока) — отношением абс. величин напряжений (или токов) в пучности и узле. При отсутствии в линии В. с. величина КСВ=1, т. к. по всей линии устанавливается волна бегущая с пост. величиной амплитуды колебаний. При равенстве амплитуд прямой и отраженной волны (режим чистой В. с.) КСВ=∞(бесконечности), т. к. напряжение и ток в узле равны нулю.

Ю. Б. Любченко.

ВОЛНОВОД (waveguide; guide d'ondes; Hohlleiter, Hohlrohr, Wellenleiter, Rohrleiter) — канал электромагнитной энергии СВЧ в виде полый трубы с проводящими стенками. Наибольшее распространение получили металлич. В. с различными формами поперечного сечения, заполненные воздухом или инертным газом (напр., азотом). На практике применяются В. с прямоугольной, круглой, П- и Н-образной формами поперечного сечения. Структура электромагнитных волн в В. существенно отличается от структуры поля волн, распространяющихся в свободном пространстве. В В. могут распространяться два вида волн: электрич. (волны *E*) и магнитные (волны *H*), наз. также поперечными волнами (*ТМ* и *ТЕ* соответственно), т. к. они обладают поперечными составляющими магнитного и электрич. полей. Колебания электрич. и магнитного полей в В. происходят в плоскостях, перпендикулярных направлению их распространения. Волны *E* и *H* различаются расположением

силовых линий электрич. и магнитного полей. У поперечных электрич. волн (TE или H) силовые линии электрич. поля (E) располагаются в плоскости поперечного сечения B ., а у поперечных магнитных волн (TM или E) в плоскости поперечного сечения B располагаются силовые линии магнитного поля (H). Волны TE и TM в B . имеют различные структуры полей. В зависимости от вида структуры поля волны в B . подразделяются на типы, обозначаемые различными цифровыми индексами m и n . Величины этих индексов обозначают количество стоячих волн (см. *Волна стоячая*), укладываемых вдоль размеров поперечного сечения B . Т. о., индексы характеризуют степень равномерности распределения силовых линий поля в плоскости поперечного сечения B . Волны с наименьшими значе-

и H_{11} (TE_{11}), наз. также H_0 и H_1 , — в круглых B . Волна типа TE_{10} в прямоугольном B . наз. основным типом волны. Процесс распространения электромагнитных

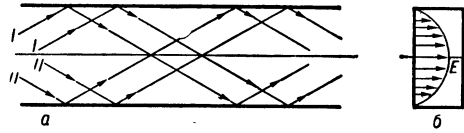


Рис. 1.

волн в B ., напр. волны типа TE_{10} в прямоугольном B ., может быть представлен как распространение двух поперечных электромагнитных волн (I и II) между узкими стенками B . под углом к его продольной оси (рис. 1,а). У

Т а б л и ц а

Тип волновода	Тип волны в волноводе	Структура поля в волноводе	Критич. длина волны ($\lambda_{кр}$)	Примечание
<p>Прямоугольный</p>	TE_{10} (H_{10})		$2a$	Основной тип
	TE_{20} (H_{20})		a	
	TE_{11} (H_{11})		$\frac{2a}{\sqrt{1+(\frac{a}{b})^2}}$	
	TM_{11} (E_{11})		$\frac{2a}{\sqrt{1+(\frac{a}{b})^2}}$	
<p>Круглый</p>	TE_{01} (H_{01})		$1,64r$	Применяется в вращающихся соединениях
	TE_{11} (H_{11})		$3,41r$	Основной тип
	TM_{01} (E_{01})		$2,61r$	Применяется в вращающихся соединениях
	TM_{11} (E_{11})		$1,64r$	

ниями m и n наз. простейшими. На практике получили наибольшее распространение только простейшие типы волн: магнитная типа H_{10} (TE_{10}) в прямоугольных B . и H_{01} (TE_{01})

обеих электромагнитных волн векторы электрич. E и магнитного H полей располагаются в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны: вектор E — перпен-

дикулярно широким стенкам В., а вектор H — перпендикулярно вектору E . При распространении внутри В. обе волны отражаются от его широких стенок и, складываясь, образуют внутри В. волну типа TE_{10} . У этой волны силовые линии электрич. поля располагаются в поперечной, а магнитного — в продольной плоскости В. (рис. 1, а). Напряженность электрич. поля убывает от середины поперечного сечения В. к его краям (узким стенкам). На узких стенках В. напряженность E -поля равна нулю (рис. 1, б). Поэтому высота узкой стенки В. определяется допустимой величиной макс. напряженности электрич. поля, обеспечивающей передачу электромагнитной энергии без возникновения пробоя между его широкими стенками. Тип волн H_{10} наиболее пригоден для практич. применения, в частности для возбуждения рупорных антенн, соединяемых с В. Для каждого типа волн в В. существует своя макс. длина волны, наз. предельной, или критической. В прямоугольном В.

$$\lambda_{кр} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}.$$

Структура поля и величины $\lambda_{кр}$ для нек-рых типов волн в прямоугольном и круглом В. приведены в табл. Волны большей длины распространяются в В. со значит. затуханием. Чем сложнее структура поля, т. е. чем выше тип волны, тем меньшей предельной длиной волны он обладает. Предельная длина волны для основного типа волны в прямоугольном волноводе $\lambda_{кр}$ равняется удвоенному наибольшему размеру его поперечного сечения. Для предотвращения возбуждения в В. волн высших типов величина большей стороны поперечного сечения у прямоугольных В. обычно выбирается равной 0,60—0,95 рабочей длины волны в свободном пространстве λ_0 . Наличие предельной частоты делает В. фильтром верхних частот, отфильтровывающим также волны нежелат. типов. Волноводный фильтр обладает высокой крутизной хар-ки затухания на частотах, ниже предельной. Для фильтрации волн нежелат. типов в В. применяются также металлич. вставки в виде различных решеток и диафрагм, образующих объемные фильтры. Длина волны, распространяющейся в В., λ_v больше длины в свободном пространстве. Величина ее определяется по ф-ле

$$\lambda_v = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{кр}}\right)^2}}.$$

Возбуждение и сьем электромагнитной энергии в В. производится при помощи штыря

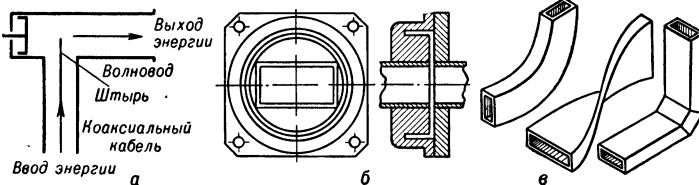


Рис. 2.

(вибратора), введенного внутрь В. и установленного параллельно силовым линиям электрич. поля (рис. 2, а) или петли, плоскость к-рой перпендикулярна линиям магнитного

поля. Штырь обычно является продолжением коаксиальной линии, образуя с ней и В. волноводно-коаксиальный переход. Отрезки В. соединяются фланцами (рис. 2, б). При проектировании высокочастотных волноводных трактов часто применяют изогнутые и скрученные отрезки В. (рис. 2, в). Для обеспечения миним. затухания в изогнутом В. внутр. радиус изгиба выбирается в два раза больше длины волны в свободном пространстве. Созданы конструкции вращающихся волноводных соединений. Замкнутые отрезки В. используются в качестве резонаторов объемных.

Для передачи электромагнитных волн без заметного затухания периметр поперечного сечения В. должен быть короче рабочей длины волны. Обычно пользуются прямоугольными В. с соотношением сторон 2,0:2,5. В. применяются в устройствах сантиметровых и миллиметровых волн, т. е. на волнах короче 10—15 см. В. связывают антенну с входными цепями приемника и передатчик с антенной. Но конструкции В. значительно проще коаксиальной линии и затухание энергии при распространении в В. много меньше, чем в последней, вследствие гораздо большей поверхности широких стенок В., по к-рым протекают токи ВЧ. Для снижения потерь внутр. поверхность В. обычно покрывается тонким слоем серебра. Кроме медных и алюминиевых труб прямоугольного и круглого сечения, находят применение В. из пластич. масс, металлизированные изнутри.

В последние годы начали широко применяться В., в к-рых используется поверхностная волна. Такой В. состоит из металлич. ленты или цилиндрич. провода с ребристой поверхностью или диэлектрич. покрытием. Вдоль В. с поверхностной волной могут распространяться различные типы волн. Энергия электромагнитного поля концентрируется в пространстве, окружающем такой В., затухая по мере удаления от него. Расстояние от В., на к-ром электромагнитное поле может еще быть обнаружено (т. н. радиус поля), зависит от диаметра провода В., его проводимости и рабочей длины волны, уменьшаясь при укорочении последней. В. с поверхностной волной по своей конструкции являются более простыми, чем обычные металлические В. Они обладают меньшим затуханием электромагнитной энергии. По ним можно передавать большую мощность. Эти В. достаточно широкополосны. Крупным недостатком В. с поверхностной волной является то, что у них электромагнитное поле находится в открытом пространстве, окружающем В. Поэтому наличие к.-л. предметов в поле поверхностной волны (напр., деталей крепления) приводит к возникновению паразитного излучения энергии. Этот тип В. применяется в линиях передачи электромагнитной энергии и в качестве излучателей антенн дециметровых и сантиметровых волн. Волноводные тракты могут достигать значительной протяженности. Проектируются, напр., междугородные

волноводные линии связи.
Лит.: Введенский Б. А. и Аренберг А. Г., Радиоволны, ч. 1, М.—Л., 1946; Справочник по волноводам, под ред. Я. Н. Фельда, пер. с англ., М., 1952. Ю. Б. Любченко.

ВОЛНОВОД УЛЬТРАЗВУКОВОЙ (supersonic waveguide; guide d'ondes ultrasoniques; Ultraschallhohlleiter, Ultraschallwellenleiter) — канал, по к-рому передается ультразвуковая энергия. Боковые граничные поверхности канала должны обеспечивать резкий перепад акустич. свойств среды, в результате чего через них не происходит заметной утечки энергии. Возможны 2 основных типа В. у. — твердые В. у., окруженные газовой или жидкой средой, и трубчатые, с твердыми стенками, наполненные жидкостью или газом. По твердым В. у. возможна передача не только продольных волн, т. е. волн типа сжатие — разрежение, но и волн др. типов — изгибных, крутильных и др. Наиболее распространены твердые В. у. для продольных волн; как правило, их поперечный размер меньше $1/2$ длины волны. При этом по В. у. распространяются гл. обр. одномерные или плоские волны. Однородные, т. е. с пост. поперечным сечением, В. у. могут применяться как для передачи УЗ энергии от излучателя в рабочую зону, напр. при УЗ резании одновременно неск. изделий на станке с одним излучателем (рис. 1), так и для связи между исследуемой точкой акустич. поля и приемным пьезоэлементом. Однако гораздо чаще используются неоднородные В. у. (стержневые концентраторы) — стержни перемен. сечения, резонансной длины, позволяющие, напр., увеличивать амплитуду колебаний.

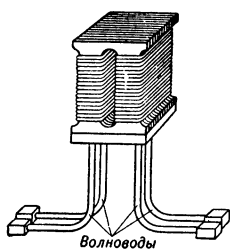


Рис. 1

Широко известны экспоненц., конич., катеноидальные, ступенчатые и др. концентраторы, различающиеся для случая продольных колебаний законом изменения площади S поперечного сечения вдоль оси концентратора (см. табл. стр. 153). Напр., при соотношении диаметров выходного и входного поперечных сечений круглого экспоненциального концентратора 1:10, амплитуда колебаний на выходном, узком конце в 10 раз больше, чем на входе. Стержневые концентраторы различных типов применяются в устройствах для УЗ резания, пайки, сварки и др., являясь по существу согласующим звеном между излучателем и рабочей зоной. При этом в концентраторе падающая волна всегда налагается на волну, отраженную от нагрузки, в результате чего устанавливаются стоячие и бегущие волны. С этой точки зрения различные типы концентраторов неравноценны: напр., хотя при соответствии равных площадей входных и выходных поперечных сечений коэфф. усиления по амплитуде ступенчатых концентраторов гораздо больше, чем экспоненциальных, при работе на одинаковую нагрузку экспоненц. концентраторы имеют существенно больший коэфф. бегущей волны, что улучшает их согласующие свойства и снижает критичность выбора места крепления концентратора к неподвижным деталям. Форму стержневых концентраторов выбирают в зависимости от технологич. назначения: круглые сужающиеся концентраторы (рис. 2, а) удобны для прорезания тонких отверстий, трепанообразные (рис. 2, б) — для прорезания по контуру, от-

верстий большого диаметра, ножевидные (2, в) — для УЗ обработки широкой струи протекающей жидкости и др.

Необратимые тепловые потери волновой энергии в материале концентратора обусловлены внутр. трением и теплопроводностью

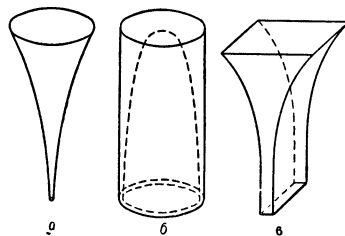


Рис. 2.

материала и нелинейно зависят от амплитуды акустич. поля. Св-ва резонансного концентратора с точки зрения потерь в нем могут быть выражены через его механич. добротность. Чем больше коэфф. поглощения в материале, тем ниже добротность, тем больше тепловые потери. В связи с этим в качестве материала для стержневых концентраторов обычно используются стали с высоким пределом упругости, обладающие минимальным поглощением.

Лит.: Меркулов Л. Г., Расчет ультразвуковых концентраторов, «АЖ», 1957, т. 3, вып. 3, с. 230—38; Макаров Л. О., Волноводные свойства стержневых ультразвуковых концентраторов, в сб.: Применение ультразвуковых колебаний для исследования свойств, контроля качества и обработки металлов и сплавов, Киев, 1960, с. 44—53; Теумин И. И., Ультразвуковые колебательные системы, М., 1959.

Л. О. Макаров.



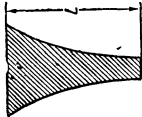


ВОЛНОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ (wave resistance; impédance d'onde, impédance caractéristique; Wellenwiderstand, Wellenimpedanz) — 1) В э л е к т р и ч . л и н и я х — величина, определяемая как отношение напряжения к току в режиме бегущей волны. В электрич. линиях без потерь В. с. вещественно и выражается в омах; в электрич. линиях с потерями В. с. комплексно. При отсутствии потерь в линии В. с. равно омич. сопротивлению, на к-рое следует нагрузить линию для осуществления режима бегущей волны, т. е. для того, чтобы не иметь отражений волны от нагрузки. Генератор, возбуждающий колебания в линии, отдает в нее макс. мощность, если его внутр. сопротивление равно волновому. Процесс уравнивания внутр. сопротивления генератора с В. с. линии наз. согласованием.

В. с. W линии без потерь может быть определено, как $W = \sqrt{L/C}$, где L — погонная индуктивность линии, а C — погонная емкость. Это определение особенно удобно для искусств. длинных линий. Для линий передач с простой геометрич. формой выражение $W = \sqrt{L/C}$ может быть преобразовано к простому расчетным ф-лам. Напр., для коаксиального кабеля

$$W = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \lg \frac{R}{r} \text{ ом},$$

здесь R — радиус оболочки коаксиального кабеля, r — радиус внутр. проводника, ϵ — диэлектрич. проницаемость изолирующего материала. Для двухпроводной симметричной открытой линии

$$W = 276 \lg \frac{d}{r} \text{ ом},$$

Тип концентратора	Закон изменения площади поперечного сечения	Условие резонанса	Коэффициент усиления по амплитуде смещения
<div>Экспоненциальный</div> 	$S = S_0 \cdot e^{-\alpha x},$ <div>где $\alpha = \frac{2 \ln N}{L}$</div>	$\sin \left(2\pi \cdot \frac{f}{c} \sqrt{1 - \frac{\alpha^2 \cdot c^2}{4\omega^2}} \cdot L \right) = 0$	$k = N$
<div>Конический</div> 	$S = S_0 \cdot (1 - \alpha x)^2,$ <div>где $\alpha = \frac{N-1}{N \cdot L}$</div>	$\frac{2\pi f L}{c} \cdot \left[\operatorname{ctg} \frac{2\pi f L}{c} - \left(\frac{N}{1-N} \right)^2 \cdot \frac{2\pi f L}{c} \right] = 1$	$k = \left N \left(\cos \frac{2\pi f L}{c} - \frac{c}{2\pi f L} \cdot \frac{N-1}{N} \times \sin \frac{2\pi f L}{c} \right) \right $
<div>Катеноидальный</div> 	$S = S_0 \cdot \operatorname{ch}^2 \left[\gamma \cdot (L - x) \right],$ <div>где $\gamma = \frac{\operatorname{Arch} N}{L}$</div>	$k'_1 \cdot L \cdot \operatorname{tg} k'_1 L = - \sqrt{1 - \frac{1}{N^2}} \cdot \operatorname{Arch} N,$ <div>где $k'_1 = \sqrt{\left(\frac{2\pi f}{c} \right)^2 - \left(\frac{\operatorname{Arch} N}{L} \right)^2}$</div>	$k = \left \frac{N}{\cos k'_1 L} \right $
<div>Ступенчатый (симметричный)</div> 	<div>При $0 \leq x \leq \frac{L}{2}$ $S = S_0$</div> <div>При $\frac{L}{2} \leq x \leq L$ $S = S_1$</div>	$L = \frac{c}{2f}$	$k = N^2$
<div>Ступенчатый (несимметричный)</div> 	<div>При $0 \leq x \leq L_1$ $S = S_0$</div> <div>При $L_1 \leq x \leq L_1 + L_2$ $S = S_1$</div>	$\operatorname{tg} \frac{2\pi f L_2}{c} = -N^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{2\pi f L_1}{c}$	$k = N^2 \cdot \frac{\sin \frac{2\pi f L_1}{c}}{\sin \frac{2\pi f L_2}{c}}$

Примечание: c — скорость звука в материале концентратора; f — частота звука; S_0 и S_1 — входная и выходная площади поперечного сечения концентратора;
 $N = \sqrt{\frac{S_0}{S_1}}$ — коэфф. площади.

здесь d — расстояние между проводами, r — радиус провода. Величина V с. для обычных линий передач изменяется от нескольких $ом$ до сотен $ом$.

2) В теории электромагнитного поля V с. наз. отношение амплитуд векторов напряженности электр. и магнитного полей, равное $\sqrt{\mu/\epsilon}$, где μ и ϵ — магнитная и диэлектрич. проницаемости среды. В радионализированной практич. системе единиц V с. для плоской волны равно $120 \pi \text{ ом}$. Как отношение амплитуд напряженностей электр. и магнитного полей термин « V с.» иногда применяется для волноводных линий передач. В этом случае V с. зависит от типа волны и от отношения частоты сигнала к критической.

Лит.: Пистолькорс А. А., Антенны, М., 1947; Белоруссов Н. И. и Гроднев И. И., Радиочастотные кабели, 2 изд., М.—Л., 1959; Страттон Дж. А., Теория электромагнетизма, пер. с англ., М.—Л., 1948. В. Б. Брагинский.

ВОЛНОМЕР (wavemeter, ondometer; onde-mètre, cymomètre, contrôleur d'ondes; Wellenmesser) — прибор для измерения длины волны электромагнитных колебаний и их частоты, связанной с длиной волны зависимостью:

$\lambda = \frac{v}{f}$, где λ — длина волны колебаний в данной среде, v — фазовая скорость распространения колебаний в среде, f — частота. Для свободного пространства фазовая скорость распространения электромагнитных колебаний равна скорости света. В волноводах фазовая скорость распространения больше скорости света и, следовательно, при равной частоте длина волны больше, чем в свободном пространстве. Т. к. значения скорости распространения колебаний и длины волны зависят от условий распространения, а частота определяется только источником колебаний, то во многих случаях правильнее говорить не об измерении длины волны, а об измерении частоты колебаний. Понятием «длина волны» удобно пользоваться при измерении СВЧ, т. к. в этом случае размеры колебат. систем сравнимы с длиной волны, что позволяет свести измерение длины волны к измерению линейных размеров. По принципу работы и назначению V разделяются на резонансные, гетеродинные, интерполяционные, V для измерения критич. волн, V для измерения стоячих волн. Наиболее широко применяются резонансные и гетеродинные V .

Принцип действия резонансных V основан на фиксации момента резонанса в колебат. системе, связанной с источником, частота колебаний к-рого подлежит измерению. Основными элементами резонансного V (рис. 1) являются: колебат. система с органом настройки, элемент связи с источником колебаний и индикатор резонанса. Для определения частоты колебаний исследуемого источника используется зависимость частоты настройки колебат. системы от ее параметров:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где L и C — соответственно индуктивность и емкость колебат. системы. Изменяя величину емкости или индуктивности, настраивают колебат. систему в резонанс с частотой измеряемых колебаний. Момент настройки в резонанс фиксируется индикаторным устройством, к-рое отмечает максимум тока в колебат. системе или максимум напряжения на одном из ее

элементов (индуктивности или емкости). V с. колебат. системой в виде контура с сосредоточ. параметрами настраивается, как правило, при помощи перем. емкости. Для расширения

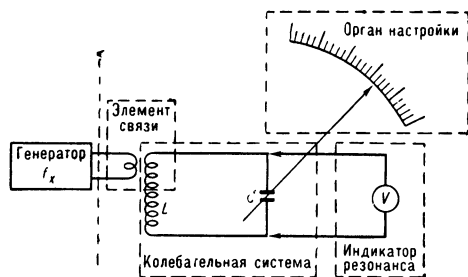


Рис. 1. Блок-схема резонансного волномера.

диапазона измеряемых частот в комплект колебат. системы V вводятся сменные катушки индуктивности. Шкала настройки V градуируется в градусах угла поворота α ротора перем. емкости, а частота определяется по графикам $f_{\text{рез}} = \varphi(\alpha)$.

Точность измерения частоты резонансным V зависит от внешних условий (температура, влажность), от инструментальных ошибок градуировки шкалы и гл. обр. от чувствительности индикаторного прибора и крутизны резонансной кривой колебат. системы. Последняя зависит от качества (добротности) колебат. системы. Т. к. с увеличением измеряемой частоты добротность колебат. контуров с сосредоточ. параметрами значительно понижается, то для повышения точности измерений на волнах короче $1-2 \text{ м}$ применяются колебат. системы с распредел. параметрами — отрезки длинных линий, коаксиальные и объемные резонаторы. V для измерения частот в диапазоне длинных, средних и коротких волн на контурах с сосредоточ. параметрами позволяют измерять частоту с точностью $0,2-0,07\%$. В УКВ и СВЧ диапазонах, где используются колебат. системы в виде коаксиальных и объемных резонаторов, частота может быть измерена с точностью $0,5-0,05\%$. Отечеств. пром-сть выпускает резонансные V ., данные к-рых приведены в табл. 1.

Принцип работы гетеродинных V основан на сравнении колебаний измеряемой частоты с колебаниями высокостабильного источника образцовой частоты. Колебания измеряемой частоты f_x и колебания образцовой частоты f_0 подаются на вход смесителя (рис. 2). На выходе смесителя появляются колебания с частотами f_x , f_0 , их гармоники, а также колебания

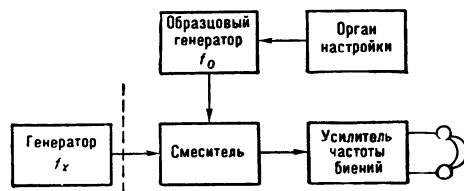


Рис. 2. Блок-схема гетеродинного волномера.

комбинац. частот, в т. ч. разностная комбинац. частота, наз. частотой биений, абс. величина к-рой равна $|f_x - f_0|$. Если частота биений находится в пределах звуковых частот, то коле-

Табл. 1.— Данные резонансных волномеров

Наименование	Тип	Диапазон измерения		Точность (%)	Чувствительность (мвт)	Вес (кг)
		частота (Мгц)	длина волны			
Резонансный волномер . . .	513	0,005—50	6000—6 м	0,25	—	16
УКВ резонансный волномер	УВР-1	40—85	7,5—3,53 м	0,075	0,8	10
»	УВР-2	85—180	3,53—1,67 м	0,075	0,8	10
Волномер малой точности	ВМТ-1	150—375	2—0,8 м	0,5	1	6
Волномер средней точности	ВСТ-1	150—240	2—1,25 м	0,06	1	20
»	ВСТ-2	237—375	1,26—0,8 м	0,06	1	20
Волномер малой точности	ВМТ-Д	350—675	86—45 см	0,5	0,2	5,5
Волномер средней точности	ВСТ-1Д	475—675	63—45 см	0,05	0,2	15,5
»	ВСТ-2Д	350—525	85—57 см	0,05	0,2	15,5
Резонансный волномер . . .	И-332	550—750	55—40 см	0,275	0,15	3,5
»	РВ-Д	600—2000	50—15 см	0,07	0,8	12
Волномер малой точности	ВМТ-10	2500—7500	12—4 см	0,5	0,1	5
Волномер средней точности	ВСТ-10	2500—3750	12—8 см	0,05	0,3	25
»	35-ИМ	7800—11200	3,84—2,68 см	0,05	0,1	18
Визуальный волномер . . .	ВВ-1	8700—9870	3,45—2,04 см	0,05	0,1—0,25	17,5

бания этой частоты можно прослушивать в телефоне в виде звукового тона: $F_B = |f_x - f_0|$. Эти колебания выделяются на нагрузке смесителя и подаются на выходное индикаторное устройство, в качестве к-рого используется усилитель НЧ с телефонным выходом, лампы типа «магический глаз» или измерители НЧ. Частоту образцового генератора f_0 изменяют до тех пор, пока разностная частота не станет равна звуковой. Прослушивая, напр., тон разностной частоты в телефонах, уменьшают высоту звукового тона до полного пропадания звука, что соответствует т. н. «нулевым биениям». В этом случае $f_x \cong f_0$ с ошибкой, определяемой неспособностью человек. уха реагировать на частоты ниже 15—30 гц. Значение неизвестной частоты определяют по градуировочным таблицам или графикам образцового генератора в соответствии с положением органа настройки в момент «нулевых биений». Точность измерения частоты гетеродинными В. значительно выше, чем резонансными, и составляет от 0,01 до 0,0001%. Высокая точность измерения достигается тем, что либо сами генераторы образцовой частоты имеют кварцевую стабилизацию, либо в состав гетеродинного В. входит генератор на кварце, по к-рому проверяется градуировка шкалы образцового генератора. Данные нек-рых гетеродинных В. приведены в табл. 2.

тенский В. Н., Радиозмерения на сверхвысоких частотах, 2 изд., М., 1958; Осипов К. Д. и Илассынов В. В., Справочник по радиоизмерительным приборам, ч. 1, М., 1959. Р. В. Фельдман.

ВОСПРИНИМАЮЩИЙ ОРГАН, чувствительный орган [primary element (амер.), detecting element (англ.); capteur; pickup, sensor; Messfühler], — часть элемента (реле, датчика), преобразующая воздействующую на элемент физич. величину в нек-рую др. физич. величину, к-рая затем сравнивается в органе сравнения (или промежуточном) с заданием. Результирующая величина, получ. после сравнения, воздействует на исполнитель. орган элемента. В электромагнитных реле воздействующая величина (напряжение или ток) преобразуется В. о. в тяговую силу электромагнита, к-рая сравнивается с противодействующей силой пружин.

При изменении знака результирующей силы происходит переключение исполнитель. органа — контактов реле. Значение воздействующей величины, при к-ром реле срабатывает, регулируется изменением задания путем большего или меньшего натяжения противодействующей пружины. В. о. в виде проволоочного датчика сопротивления воздействующую величину — линейную деформацию — преобразует в изменение сопротивления датчика, к-рое сравнивается в мостовой схеме (органе сравнения) с эталонным сопротивлением. Сигнал,

Табл. 2.— Данные гетеродинных волномеров

Наименование	Тип	Диапазон измерения		Точность (%)	Чувствительность (мвт)	Вес (кг)
		частота (Мгц)	длина волны			
Гетеродинные волномеры	526,527, 528, 530	0,125—20	2400—15 м	0,01	—	22
Волномер-гетеродин . .	530	1,5—25	200—12 м	0,026—0,0016	0,2	153
Широкодиапазонный гетеродинный волномер	ГВШД	30—3500	10—0,086 м	0,001	0,2	60
Волномер высокой точности	ВВТ-Д	100—1000	300—30 см	0,005	0,001	47
Гетеродинный частотомер	ГЧ-1 и ГЧ-1М	2500—3750	12—8 см	0,005	0,1	43
Широкодиапазонный гетеродинный волномер	ШГВ-С	2500—11 500	12—2,6 см	0,005	0,1	25
Волномер высокой точности	44-И	8900—10 000	3,37—3 см	0,003	0,1	30

Лит.: Ремез Г. А., Курс основных радиотехнических измерений, М., 1955; Термен Ф., Петит Дж., Измерительная техника в электронике, пер. с англ., М., 1955; Валитов Р. А. и Сре-

вырабатываемый датчиком — напряжение в диагонали моста — пропорционален отклонению сопротивления датчика от нач. значения.

В бесконтактных реле в виде магнитного усилителя с положит. обратной связью воздействующая величина — напряжение или ток управления — преобразуется в В. о., выполненном в виде обмоток управления, в намагничивающую силу обмотки управления, к-рая сравнивается с намагничивающей силой обмотки смещения. Разность намагничивающих сил обмоток оказывает влияние на состояние органа реле, к-рым являются рабочие токи обмотки реле. Е. Л. Львов.

ВОСПРИНИМАЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ РЕЛЕЙНОГО УСТРОЙСТВА (relay detecting element; capteur, élément sensoriel; Relaisfühlglied) — функциональный элемент, на к-рый поступают механические (в т. ч. пневматич. и гидравлич.), оптические, электрич. и др. воздействия извне, в частности воздействия человека. Примерами В. э. р. у. являются: ключи и кнопки, воспринимающие воздействия, напр., человека; электромагнитные реле, к-рые воспринимают сигналы, поступающие из др. релейного устройства; различного рода датчики и т. д. В. э. р. у. могут обладать «памятью» (см. *Релейный элемент с фиксацией воздействия*), напр. поляризованные электромагнитные реле, триггеры, тиратронные реле. В качестве В. э. р. у. можно применять двухпозиционные и многопозиционные элементы (см. *Релейный элемент*).

Лит.: Лазарев В. Г., Методика определения числа реле, необходимого для построения релейно-контактной схемы по заданным условиям работы, в сб.: Проблемы передачи информации, вып. 1, М., 1959, с. 53—71. В. Г. Лазарев.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ (reproduction, reproducing; reproduction; Wiedergabe, Nachbildung, Reproduktion) — повторение задающего воздействия, приложенного к входу динамической системы, на ее выходе. Задача В. возникает при расчете следящих систем, усилителей, систем управления и т. п. Аналитич. выражение, определяющее переходный процесс при В.: $y(t) = y_b(t) + y_c(t) + y_{cb}(t)$, где $y(t)$ — выходная величина; $y_b(t)$ — вынужденная составляющая выходной величины, определяемая полюсами преобразования Лапласа управляющего воздействия; $y_c(t)$ и $y_{cb}(t)$ — собств. составляющие, определяемые полюсами передаточной ф-ции системы, причем $y_c(t)$ характеризует собств. движения, возникающие в системе под влиянием управляющего воздействия, и зависит от его вида, а $y_{cb}(t)$ целиком определяется передаточной ф-цией системы и нач. условиями и наз. свободной составляющей.

Точность В. в линейных системах оценивается относит. погрешностью:

$$\frac{|y(t) - Kx(t)|}{K|x(t)|} < \varepsilon_0, |x(t)| > M,$$

где $x(t)$ — управляющее воздействие; $M = \text{const}$ для данной системы — условие, при к-ром знаменатель не обращается в нуль; $y(t)$ — выходная величина; K — пост. коэфф.; ε_0 — заданная максимально допустимая ошибка.

Основными условиями точного В. управляющего воздействия являются уменьшение собств. составляющих движения, обеспечение их быстрейшего затухания, отсутствие резонанса в системе.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория. Под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Стрелков С. П., К общей теории линейных усилителей, [ч. 1], «АиТ», 1948, т. 9, № 3: там же, 1949, т. 10, № 4. Е. Ф. Самбурова.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЗАПАЗДЫВАНИЯ (lag representation, delay representation; reproduction de retard; Totzeitwiedergabe, Verzögerungswiedergabe, Laufzeitnachbildung) — см. *Запаздывания блок*.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ СИГНАЛОВ [signal reproduction; reproduction (representation) des signaux; Signalwiedergabe] в системах ТУ — ТС — представление информации (см. *Информации представление*) диспетчеру о состоянии контролируемых объектов, осуществляемое на специальном табло (мнемосхеме) или пульте при помощи приборов — индикаторов, условно воспроизводящих эти состояния. Индикаторы В. с. разделяются на мимические и световые. В первом случае состояние изображаемого объекта отображается положением клапана или грифа символа, а во втором — его цветом или освещенностью. Для оповещения диспетчера об изменении состояния контролируемого объекта вводятся дополнительные, обычно световые, сигналы, к-рые помогают диспетчеру быстро обнаружить в нов. возникший сигнал. Дополнит. сигналы появляются при изменении состояния объекта, т. е. при возникновении несоответствия между положением символа на схеме с позицией объекта. Эти сигналы наз. «сигналами несоответствия» (см. *Щит диспетчерский*). В нек-рых случаях предусматриваются общие для всего диспетчерского пункта световой и звуковой сигналы, информирующие диспетчера об изменении состояния объектов или об аварии. Подтверждение принятия диспетчером нового сигнала осуществляется операцией квитирования, т. е. поворотом клапана или грифа символа либо квитирующего ключа в соответствующее положение, в результате чего символ или сигнальная лампа будут фиксировать новое положение объекта (см. *Квитирование* в телемеханике).

На рис. 1 приведена принципиальная схема В. с. с помощью мимич. символа и лампы несоответствия. Лампа несоответствия ЛН воспроизводит только переход объекта в новое состояние, и в нормальном положении она погашена. При переключении объекта его сигнальное реле С переключает свои контакты в цепях символа, образуя цепь несоответствия, в результате чего лампа ЛН включается. При выполнении операции квитирования клапан или гриф переводится в положение соответствия, контакты символа КК переключаются и лампа ЛН гаснет.

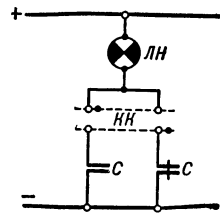


Рис. 1. Принципиальная схема воспроизведения сигнала с помощью мимического символа: С — контакты реле сигнализации; КК — контакты квитирующего ключа; ЛН — лампа несоответствия.

Формы светового В. с. различаются по числу ламп на контролируемый объект, а также по характеру их свечения. Для двухпозиционных объектов применяются однолампные или двухлампные схемы. Многолампное В. с. применяется в основном на оперативных технологич. схемах для многопозиционных объектов. Принципиальная схема однолампного светового В. с. показана на рис. 2. При переключении сигнального реле С лампа Л включается на мигающий свет.

При повороте квитирующего ключа KK лампа переключается либо на ровный свет (активная позиция), либо гаснет. Новое изменение положения сигнального реле вновь приведет к включению лампы на мигающий свет. На рис. 3 показана двухламповая схема. В спокойном состоянии одна из ламп постоянно включена на ровный свет (напр., красная — LK). Изменение положения сигнального реле

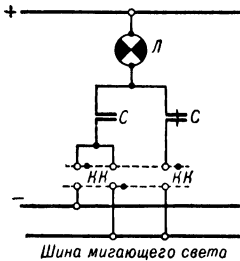


Рис. 2.

Рис. 2. Принципиальная схема однолампового светового воспроизведения сигналов: L — сигнальная лампа.

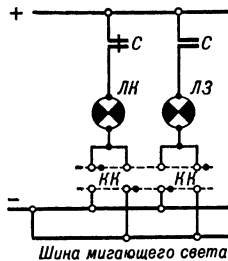


Рис. 3.

Рис. 3. Принципиальная схема двухлампового светового воспроизведения сигналов: LK, LZ — красная и зеленая сигнальные лампы.

приведет к переключению его контактов в цепях сигнальных ламп. Лампа нового положения объекта LZ (зеленая) включится на мигающий свет, а лампа старого положения LK погаснет. При квитировании лампа нового положения LZ переключится на ровный свет.

С появлением бесконтактных устройств ТУ—ТС нашли применение для светового В. с. лампы тлеющего разряда и, в частности, тиратроны с холодным катодом. Для светового В. с. большой интерес представляет применение электролюминесценции (см. *Электролюминесцентное табло*).

В. К. Комиссаров.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ТЕЛЕИЗМЕРЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ (reproduction of telemetered variable; reconstitution de grandeur télémétrée; reconstitution de terme télémétré; Wiedergabe der Fernmeßgröße) — представление телеизмеряемой величины в виде, удобном для восприятия человеком. Различают аналоговую и цифровую формы В. т. в. В первом случае положением стрелки на шкале показывающего прибора или линии (точки) на диаграмме регистрирующего прибора воспроизводится непрерывное множество значений параметра, во втором — изображением цифр на показывающем приборе или на бланке регистратора воспроизводится конечное число значений, каждое из к-рых приписывается определенному множеству значений параметра. Практически из-за наличия погрешностей различаемое число градаций параметра при аналоговом В. т. в. так же конечно, как и при цифровом. Поэтому при цифровом В. т. в. может быть передано не меньшее информации количество об измеряемом параметре. В то же время оно обладает рядом преимуществ: объективность отсчета, отсутствие погрешностей при суммировании и др. обработке информации, удобство введения данных в ЦВМ, простота запоминания отдельных значений параметра на неогранич. время, удобство выполнения мнемонич. схем с органич. включением малогабаритных цифровых указателей, объединение информации о большом числе изме-

ряемых параметров на одном регистрац. бланке и т. д. Однако при сравнительно быстрых изменениях параметра цифровое В. т. в. уступает аналоговому по удобству восприятия. В этом случае колебания стрелки по шкале прибора вблизи некого среднего значения предпочтительнее быстрой смены (мелькания) цифр на выходном приборе телеизмерения.

При аналоговом В. т. в. наиболее широко используются щитовые или пульты миллиамперметры магнитоэлектрич. системы, проградуированные в единицах измерения параметра, а в качестве регистрирующих приборов — самопишущие миллиамперметры, электронные потенциометры и т. п. При цифровом В. т. в. в качестве выходных приборов служат устройства: с механич. сменой воспроизводимых цифр, с проецированием на экран светового изображения цифр, с переключением светящихся электродов спец. газонаполн. ламп или нитей ламп накаливания, выполненных в форме цифр, с переключением светящихся элементов (напр., люминесцентных), образующих составные контуры цифр, с вычерчиванием контуров цифр электронным пучком на экране катодно-лучевой трубки и т. д. Регистрация при цифровом В. т. в. выполняется электрифицированными пишущими машинками с индивидуальными электромагнитами, с помощью к-рых печатается каждый знак. Применяются также роторные печатающие устройства, в к-рых используются барабаны с цифрами, нанесенными по окружности, причем печать осуществляется прижатием бланка к барабану.

На вход устройства В. т. в. поступает с приемного телеизмерит. преобразователя выходная величина, находящаяся в определенной (чаще всего линейной) функции. связи с телеизмеряемым параметром. Входной величиной, напр., служит пост. ток, подаваемый на вход аналогового выходного прибора, или комбинация потенциалов, подаваемых на поразрядные входы цифрового выходного прибора. При цифровом В. т. в. в кодимпульсной системе телеизмерения приемный телеизмерит. преобразователь лишь преобразует цифровую информацию из одной формы в др. (напр., двоично-десятичный код — в десятично-десятичный). При цифровом В. т. в. во всех остальных телеизмерит. системах приемный преобразователь осуществляет преобразование аналогового сигнала (частоты, длительности временного интервала, напряжения, тока) в цифровую форму. Наиболее просто такое преобразование выполняется в случаях, когда аналоговыми сигналами являются частота гармонич. колебаний, частота импульсов или интервал времени (см. *Телеизмерительная система*). Для этого применяется схема счета, к-рая фиксирует число, равное произведению частоты поданных на неимпульсов на время, в течение к-рого производится счет. Если преобразованию в цифру подлежит частота, то время счета задается постоянным. Если преобразованию в цифру подлежит интервал времени, то он и задает время счета, а частота подсчитываемых импульсов выбирается постоянной. Выбор величин времени счета в первом случае и частоты счетных импульсов во втором случае определяется исходя из заданной приведенной погрешности дискретности. Последняя обратна произведению номинала измеряемой частоты на время счета

или номинала измеряемого временного интервала на частоту счета.

Помимо В. т. в. на приемной стороне, в телеизмерит. системах часто применяется местное воспроизведение показаний на контролируемом пункте. При этом прибор местного В. т. в. может включаться как непосредственно на выход датчика, так и на выход передающего телеизмерит. преобразователя или одного из его узлов. В последнем случае этот прибор является составной частью телеизмерит. системы (см. *Информации представление*).

Лит.: Малов В. С., Телемеханика, М.—Л., 1960; Купершмидт Я. А., Малов В. С., Пшеничников А. М., Современные телеизмерительные системы, М.—Л., 1961. Я. А. Купершмидт.

ВОССТАНОВИТЕЛЬ ПОСТОЯННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ, фиксатор уровня (direct component restorer; régénérateur de composante continue; organe de restitution de composante continue; Gleichstromwiederherstellungsvorrichtung), — электронная схема, создающая фиксированный уровень пост. составляющей при передаче импульсного или синусоид. напряжения через емкостные разделит. цепи. Простейшая схема В. п. с. состоит из конденсатора, сопротивления и диода (рис. 1, а). Если сопротивление R велико, а сопротивление диода мало, то конденсатор C

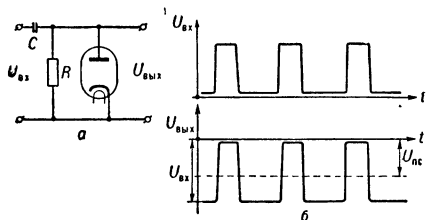


Рис. 1. Простейший восстановитель постоянной составляющей: а — схема; б — кривые напряжений.

зарядится до макс. амплитуды входных импульсов, и выходное напряжение будет иметь тот же уровень пост. составляющей, что и входной сигнал (рис. 1, б). Применяя дополнительный источник смещения, напр. батарею E (рис. 2, а), можно получить любой др. фиксированный уровень пост. составляющей

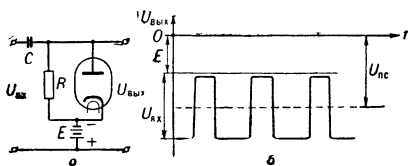


Рис. 2. Восстановитель постоянной составляющей со смещением уровня: а — схема; б — кривые напряжений.

выходного напряжения (рис. 2, б). В. п. с. используются для восстановления средней составляющей телевиз. сигнала, передаваемого через усилитель с емкостной межкаскадной связью, что необходимо для правильного воспроизведения средней освещенности на экране кинескопа. Схемы В. п. с. применяются также в устройствах селекции импульсов по амплитуде.

Лит.: Клопов А. Я., Рассадников В. И., Основы телевизионной техники, М.—Л., 1951; Терещук Р. М., Домбругов Р. М., Босый Н. Д., Справочник радиолитоля, 3 изд., Киев, 1961. В. И. Шебанов.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОМАНД В ПРОГРАММАХ [instructions restoration in routines (in programs); restauration (rétablissement) des commandes en programmes; Befehlwie-derherstellung in Programmen, Befehlregeneration in Programmen] — приведение адресов команд, зависящих от данного параметра, к виду, соответствующемуначальному значению этого параметра. Группу команд, осуществляющую восстановление по параметру i , принято наз. оператором восстановления по параметру i и обозначать символом $O(i)$. Операторы восстановления относятся к типу варьирующих операторов. Операция восстановления, выполняемая оператором восстановления $O(i)$, является обратной по отношению к операции переадресации, выполняемой оператором переадресации $F(i)$, в том смысле, что оператор восстановления $O(i)$ компенсирует те изменения в адресах команд, к-рые были внесены оператором переадресации $F(i)$. Др. словами, оператор восстановления $O(i)$ приводит каждый адрес вида $a(i, j, \dots, n)$ к виду $a(i_0, j, \dots, n)$, где i_0 — нач. значение параметра i . Восстановление команд по параметру i можно осуществлять двумя способами. Первый из них заключается в том, что из адресов команд, имеющих вид $a(i, j, \dots, n)$, вычитаются соответствующие им величины

$$\Delta a_i = a(i, j, \dots, n) - a(i_0, j, \dots, n).$$

В общем случае Δa_i является величиной переменной, зависящей от нек-рых параметров. Вычисление величины Δa_i не входит в ф-цию оператора восстановления и осуществляется др. операторами. В частности, Δa_i можно рассматривать как нек-рую константу, зависящую от параметров, и вычислять ее с помощью операторов переадресации. Величина Δa_i имеет определенную связь с шагом переадресации h_i . Если h_i является величиной постоянной или зависит только от параметра i , то Δa_i равна сумме шагов $\sum h_i$, к-рая прибавилась к адресу команды в результате работы оператора переадресации. Этим обстоятельством можно воспользоваться при вычислениях Δa_i .

Второй способ восстановления команд по параметру i заключается в засылке на места команд, имеющих вид $K(i, j, \dots, n)$, нек-рых кодов, имеющих вид $K(i_0, j, \dots, n)$. Эти коды принято наз. константами восстановления. В общем случае для вычисления констант восстановления необходимо предусматривать спец. операторы. Однако часто вид этих констант бывает известен заранее, и их вводят в машину в готовом виде. Сюда относятся случаи, когда: 1) восстанавливаемая команда зависит только от параметра i , т. е. $K=K(i)$, константа восстановления должна иметь вид $K(i_0)$; 2) восстанавливаемая команда зависит от мн. параметров, но по всем остальным параметрам она уже восстановлена, т. е. имеет вид $K(i, j_0, \dots, n_0)$, константа восстановления должна иметь вид $K(i_0, j_0, \dots, n_0)$; 3) команда восстанавливается по всем параметрам сразу, константа восстановления должна иметь вид $K(i_0, j_0, \dots, n_0)$.

Для вычисления констант восстановления по параметру i часто пользуются следующим приемом. Пусть восстанавливаемая команда к моменту восстановления принимает вид $K(i, j_0, \dots, l_0, m, \dots, n)$. Заготавливается константа,

имеющая вид $K(i_0, i_1, \dots, i_n, m_0, \dots, m_n)$. Эта константа рассматривается как нек-рая команда, зависящая от параметров m, \dots, n , и подвергается действию операторов переадресации и восстановления по параметрам m, \dots, n . К моменту работы оператора восстановления эта константа будет иметь нужный вид:

$$K(i_0, i_1, \dots, i_n, m, \dots, n).$$

Такой способ вычисления констант восстановления часто бывает очень сложным, поэтому в каждом конкретном случае следует искать более простые пути. Так, иногда можно воспользоваться след. более простым приемом. В определенном месте программы предусматривается оператор, к-рый засылает на место константы восстановления код восстанавливаемой команды. Эту засылку необходимо производить в тот момент, когда команда имеет вид, соответствующий начальному значению параметра i , т. е. $K(i_0, i_1, \dots, i_n)$. Этот способ применим только в том случае, если, начиная с момента работы оператора засылки и до начала работы оператора восстановления по параметру i , рассматриваемая команда переадресуется только по параметру i . Восстановление команд, переадресуемых с помощью адресных регистров, осуществляется путем восстановления содержимого этих регистров.

А. М. Бухтияров.

ВОСЬМЕРИЧНАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ (octal notation; système de numération octal; Oktalsystem) — позиционная система счисления, основанием к-рой служит число восемь. При неотрицат. базе различные

восьмеричного числа. Напр., $3761,02$ (восьмеричное) $= 3 \cdot 8^3 + 7 \cdot 8^2 + 6 \cdot 8^1 + 1 \cdot 8^0 + 0 \cdot 8^{-1} + 2 \cdot 8^{-2} = 2033,03125$ (десятичное).

Арифметические действия над числами в В. с. с. выполняются по правилам, которые аналогичны правилам, разработанным для десятичной системы счисления. Таблицы основных арифметических действий (сложения, вычитания и умножения) для В. с. с. можно получить из одноименных таблиц десятичной системы, вычеркнув лишние строки и переводя входящие в них числа в В. с. с. (см. *Перевод чисел из одной системы счисления в другую*). В. с. с. применяется при программировании для многих ЦВМ, рабочая система счисления к-рых является двоичной. Удобство В. с. с. связано с тем, что перевод чисел из В. с. с. в двоичную систему прост: каждую восьмеричную цифру заменяют равным ей трехзначным двоичным числом (наз. триадой). Для перевода двоичных чисел в В. с. с. слева к целой части и справа к дробной части (если нужно) приписывают по столько нулей, чтобы количество цифр в целой и дробной частях было кратно трем. Двигаясь в обе стороны от запятой, разбивают двоичное число на триады и каждую триаду заменяют равной ей восьмеричной цифрой. Применение В. с. с. при программировании удобно также потому, что запись каждого числа в В. с. с. примерно в три раза короче, чем в двоичной системе счисления.

Н. А. Крицкий.

ВРЕМЕННАЯ ДИАГРАММА работы ЭВМ (electronic computer operation time diagram; diagramme de temps; Zeitdiagramm) —

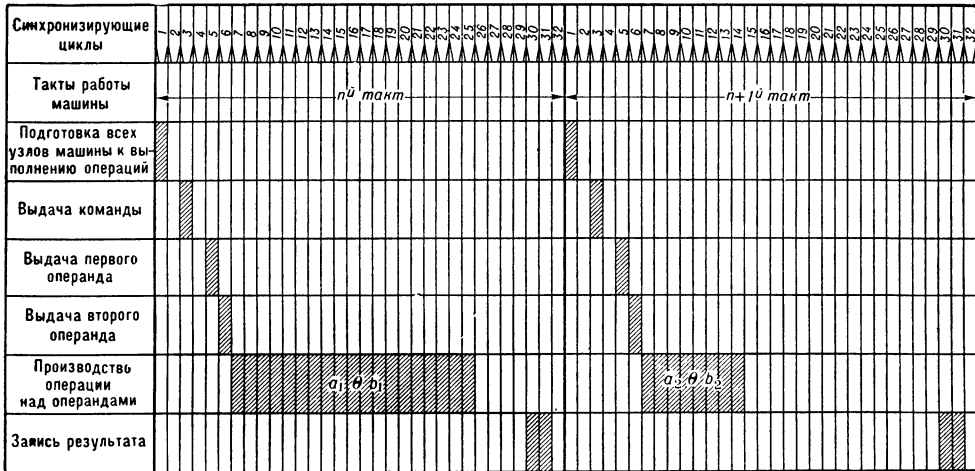


Рис. 1. Временная диаграмма выполнения операции машиной «Стрела» (при синхронном режиме) в течение одного рабочего такта.

цифры системы 0,1,2,3,4,5,6 и 7 отвечают последоват. целым числам начиная от нуля и кончая семью. Основание В. с. с. (число восемь) записывается как 10. При записи отрицат. чисел применяется знак «—» (минус). Всякое число, представленное в В. с. с., можно перевести в десятичную систему счисления («расшифровать»), записывая его в виде: $a_n \cdot 8^n + a_{n-1} \cdot 8^{n-1} + \dots + a_1 \cdot 8^1 + a_0 \cdot 8^0 + a_{-1} \cdot 8^{-1} + \dots + a_m \cdot 8^{-m}$, где a_i — восьмеричные цифры, n — количество разрядов целой части, m — количество разрядов дробной части

графическое представление временных соотношений между различными фазами работы машины или отдельных ее устройств. Опорные временные интервалы, к которым привязывается вся В. д., задаются гл. синхронизирующими импульсами машины. Наиболее простой вариант В. д. характеризуется непересекающимися интервалами работы отдельных узлов, блоков, устройств.

На рис. 1 в качестве примера такой В. д. приведена диаграмма выполнения операции трехадресной синхронной машины «Стрела» в

течение одного рабочего такта. Рабочий такт «Стрель» состоит из 32 синхронизирующих импульсов, определяющих последовательность элементарных действий, необходимых для произ-ва одной операции. Этапы выполнения операции разделены во времени и соответствуют определенным синхронизирующим импульсам (циклам). В асинхронных машинах нет однозначного соответствия между номером син-

мени обращения к ЗУ, команда выполняется практически за один временной интервал обращения к ЗУ.

Существуют также В. д., определяющие временную взаимосвязь между различными командами или группами команд. Опорным временным интервалом для подобного типа В. д. являются: для машин с пост. рабочим тактом — рабочий такт машины; для машин с перем. рабочим тактом — синхронизирующие циклы машины. В зависимости от структуры машины данный тип В. д. делят на диаграммы без совмещения выполнения команд, отличающиеся закреплением за каждой командой отдельного временного участка, и на диаграммы с совмещением выполнения различных команд. 2-й тип более эффективен, т. к. позволяет исключить простои быстродействующих электронных устройств при выполнении команд, связанных с медленно действующими электроме-

ханич. устройствами. Напр., выполнение команды ввода или выдачи информации можно частично или полностью совмещать с выполнением команды поиска требуемой информации во внешнем ЗУ на магнитной ленте и выполнением арифметич. и логич. операций (машина НОРК).

Дальнейшее развитие принципа совмещения работы отдельных устройств и циклов

хронизирующего импульса и действием того или иного устройства машины, поскольку окончание такта работы определяется сигналом завершения выполняемой операции. В. д. в этом случае более сжата и содержит меньше холостых синхронизирующих циклов, что свидетельствует о более полном использовании рабочего времени. Общим для обеих В. д. является временная автономность отдельных действий машины. Все функционально различные действия машины в этом случае выполняются в разные синхронизирующие циклы.

Совмещение во времени различных действий машины в процессе выполнения каждой команды позволяет осуществить дальнейшее уплотнение В. д. и повысить т. о. скорость произ-ва операций без увеличения скорости работы отдельных узлов и устройств машины. Часто совмещается во времени выполнение операции над выбранными операндами и выдача из ЗУ следующей команды. В такой диаграмме отсутствует спец. временной интервал для выборки очередной команды, поскольку она совмещена с выполнением операции.

Наличие в вычислит. машине отдельных ЗУ для команд и операндов позволяет организовать совмещение трех действий — выборку команды, выборку операнда и произ-во операции в течение одного временного интервала (рис. 2). Для одноадресной машины, если время выполнения операции не превышает вре-

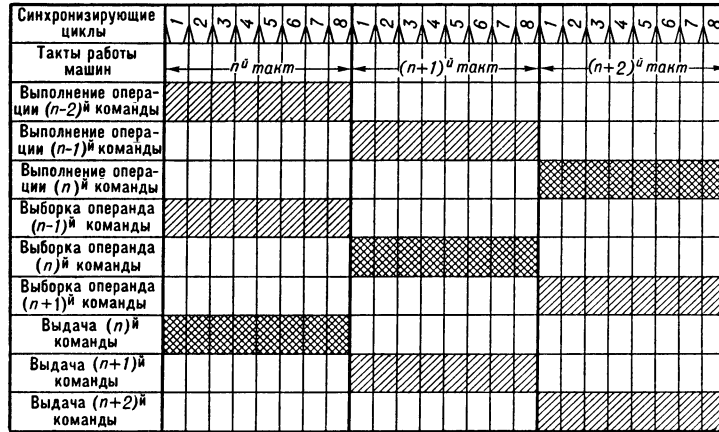


Рис. 2. Временная диаграмма для вычислит. машины с многоступенчатым совмещением.

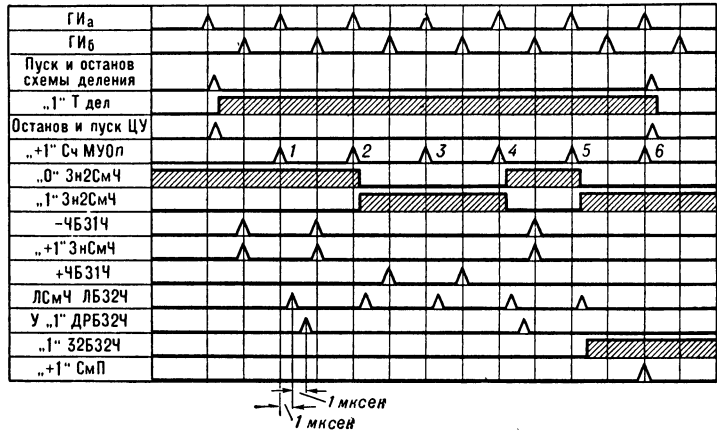


Рис. 3. Частная временная диаграмма машины БЭСМ.

выполнения различных команд привело к созданию т. н. принципа мультипрограммирования, характеризующегося совмещением процессов выполнения целых программ (машина «Стреч»).

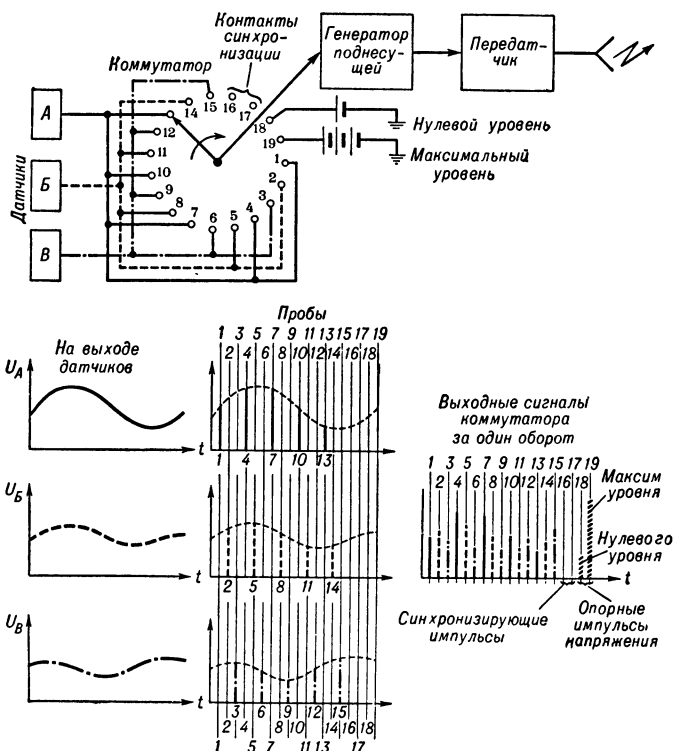
При проектировании ЭВМ широко применяются также частные В. д., устанавливающие зависимости между элементарными действиями блоков машины в процессе выполнения того или иного логич. этапа (выборка операнда, произ-во операции над ним и др.).

На рис. 3 изображена такая частная В. д. работы машины, отражающая процесс выполнения операции деления в машине БЭСМ.

И. А. Данильченко.

ВРЕМЕННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ КАНАЛОВ (time-division multiplexing; multiplexage dans le temps; Kanalzeitverteilung) — разделение сигналов, передаваемых по неск. каналам, на ряд дискретных значений, сдвинутых по времени. При выделении дискретных значений ф-ции, подлежащей передаче, сдвиг во времени может быть осуществлен либо механич. путем, либо за счет задержки по времени каждого значения сигнала, напр. при включении линии задержки в каждый канал. Параметром, по к-рому производится селекция на приемном конце линий передачи, является интервал времени между двумя выделенными дискретными значениями передаваемой ф-ции. Системы с В. р. к. применяются в радиотелеуправлении, в многоканальных радиолиниях связи, в радиотелеметрии, напр. при передаче информации с ракет или искусств. спутников Земли, и др. Наиболее широкое распространение получили телеметрич. системы с В. р. к. при помощи механич. или электронных коммутаторов. Такие системы позволяют вести передачу многих параметров, измеряемых различными датчиками, при помощи одного передатчика, имеющего фиксированную несущую частоту. Каждый датчик непрерывно вырабатывает напряжение, пропорциональное измеряемой ф-ции, напр. давлению, скорости полета, высоте, освещенности и др. Система с В. р. к. вместо непрерывной передачи ф-ции каждого датчика по своему каналу разделяет каждую ф-цию на ряд дискретных значений (проб) и обеспечивает передачу этих значений (см. рис.). В промежутке времени между передачей двух дискретных значений ф-ции одного датчика передаются дискретные значения ф-ций др. датчиков. В. р. к. осуществляется за счет поочередного подключения датчиков к модулятору поднесущей частоты при помощи коммутатора. При передаче информации с летат. аппаратов чаще применяются механич. коммутаторы, имеющие меньшие габариты и вес, тогда как на приемных наземных станциях, где требования к весу и габаритам понижены, применяются электронные коммутаторы. При вращении щеткодержателя коммутатора, последний подключает выход датчика к генератору поднесущей, и напряжение, действующее в данный момент на выходе датчика, модулирует поднесущую по частоте. Напряжение поднесущей модулирует в свою очередь передатчик. При малом числе датчиков модулируется непосредственно несущая частота передатчика. При большом числе датчиков они объединяются в группы, каждая из к-рых имеет свой коммутатор и генератор поднесущей. За один оборот щеткодержателя передается информация со всех датчиков дан-

ной группы, а также синхронизирующие импульсы и импульсы нулевого и макс. уровня напряжения. Время полного оборота щеткодержателя коммутатора наз. кадром. Число кадров, передаваемых за 1 сек., наз. частотой кадров. Число импульсов, передаваемых за



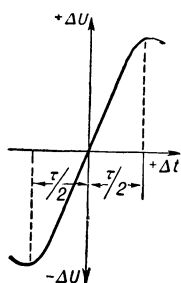
1 кадр, умноженное на частоту кадров, определяет собой скорость коммутации. Синхронизирующий импульс задает начало отсчета кадра на приемном конце телеметрич. системы с В. р. к.

Сигналы, принятые приемником телеметрической системы, проходят частотное детектирование, в результате чего выделяются импульсы дискретных значений передаваемых ф-ций, а также синхронизирующие и опорные импульсы, к-рые подаются на временной селектор. Последний, в простейшем случае, представляет собой такой же механич. коммутатор, как и на передающем конце канала. Селектор распределяет импульсы по соответствующим каналам. Т. о., на выходном конце телеметрич. системы с В. р. к., в выходном устройстве каждого канала может быть восстановлена ф-ция, имеющаяся на передающем конце канала, на выходе соответствующего датчика.

Р. В. Фельдман.

ВРЕМЕННОЙ ДИСКРИМИНАТОР (time discriminator; discriminateur de temps; Zeitdiskriminator) — устройство, к-рое измеряет временное отклонение (расхождение по времени) селектируемого импульса от селекторного (или стробирующего) импульса и вырабатывает напряжение, пропорц. этому расхождению. В. д. применяются в основном в импульсных радиолокац. станциях, в схемах автоматич. сопровождения цели по дальности. В. д. состоит из временного селектора, собранного на совпадений схемах, и

накопит. каскада. Основной хар-кой В. д. является зависимость приращения выходного напряжения ΔU от временного рассогласования $\pm \Delta t$ между селективируемыми и стробирующими импульсами. Линейный участок характеристики (см. рис.) заklючен в пределах $\pm \Delta t = \frac{\tau}{2}$, где τ — длительность отраженного импульса. Выходное напряжение В. д. является управляющим для генератора переменной задержки в схеме автоматич. сопровождения по дальности, к-рая позволяет



выделять импульсы, отраженные от выбранной цели, находящейся на определенном расстоянии от радиолокационной станции, и автоматически следить за этой целью по дальности. Р. В. Фельдман.

ВРЕМЕННОЙ СЕЛЕКТОР (time selector; selecteur en temps; Zeitwähler, Zeitstromwähler) — устройство, в к-ром выходной сигнал может появиться под воздействием входного только в течение заданного интервала времени. В. с. применяются в многоканальных линиях радиосвязи с временным разделением каналов, в электронных машинах дискретного счета для выполнения логич. операции «и», в радиолокации, в схемах автоматич. временной селекции для автоматич. сопровождения цели по дальности, схемах временных анализаторов, применяющихся в эксперимент. физике для исследования временных распределений событий при изучении ядерных процессов и др.

Принцип действия В. с. основан на управлении работой схемы совпадений (см. *Совпадения схемы*), на один из входов к-рой подается последовательность селекторных импульсов, а на другой — последовательность селективируемых (выделяемых, избираемых) импульсов. Интервал времени, в течение к-рого разрешено появление выходного сигнала, определяется длительностью селекторного импульса. Генератор селекторных импульсов запускается внешним синхронизирующим сигналом, от момента появления к-рого начинается отсчет времени.

Применение В. с. весьма эффективно при наличии помех, т. к. мешающие сигналы, шумы и др. помехи не будут проходить на выход устройства, содержащего В. с., в моменты времени, не совпадающие с интервалом времени ожидания полезного сигнала.

Лит.: Миллман Я. и Тауб Г., Импульсные и цифровые устройства, пер. с англ., М.—Л., 1960; Кривичкий Б. Х., Элементы и устройства импульсной техники, 2 изд., М., 1961. Р. В. Фельдман.

ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (time responses; réponses temporelles; Übertragungsverhalten, Zeitcharakteristik, Zeitverhalten) — хар-ки динамич. системы или элемента, определяющие их реакцию на типовые воздействия вида единичного скачка и импульса. К В. х. относятся *переходная функция* и *импульсная переходная функция*. Е. С. Кочетков.

ВРЕМЯ ВЫБОРКИ (access time, sampling time, readout time; temps d'accès; Zugriffszeit, Suchzeit) — время, затрачиваемое на отыскание и вывод из *запоминающего устройства* одного сообщения (слова) или заданной группы сообщений. А. В. Шилейко.

ВРЕМЯ ВЫБОРКИ ИНФОРМАЦИИ, среднее (information readout time; temps d'extraction d'information; Informationsauswahlzeit, Auslesezeit), — усредненное по мн. рабочим циклам количество времени, затрачиваемое на отыскание и вывод из *запоминающего устройства* динамич. типа одного сообщения или заданной группы сообщений. А. В. Шилейко.

ВРЕМЯ ДИФфуЗИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА [diffusion time of charge carrier; temps (durée) de diffusion des porteurs de charge; Diffusionszeit der Ladungsträger] — среднее время прохождения неосновных носителей заряда от эмиттера к коллектору ПП триода при чисто диффузионном механизме переноса и пренебрежении рекомбинацией. Понятие «В. д. н. з.» введено применительно к ПП триодам, аналогично понятию времени пролета электронов в вакуумной лампе. В. д. н. з. равно $\frac{W^2}{2D}$, где W — расстояние от эмиттера до коллектора, D — коэфф. диффузии неосновных носителей заряда. Величиной, близкой к В. д. н. з., оказывается $\frac{1}{\omega_x} = \frac{W^2}{2,43D}$, где $\omega_x = 2\pi f_x$, а f_x — частота, при к-рой коэфф. усиления по току в схеме с общей базой падает на 3 дб. В. д. н. з. часто определяют как отношение общего заряда неосновных носителей в базе к эмиттерному току.

Лит.: Шокли В., Теория электронных полупроводников, пер. с англ., М., 1953. М. И. Маркович.

ВРЕМЯ ЖИЗНИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА (lifetime of charge carriers; durée de vie des porteurs de charge; Ladungsträgerlebensdauer) — время уменьшения неравновесной концентрации неосновных носителей в e раз вследствие рекомбинации или среднее время существования избыточных носителей заряда в ПП (см. *Рекомбинация носителей заряда*). В. ж. н. з., подобно проводимости, характеризует свойства ПП в нек-рой точке. В однородном ПП оно во всех точках одинаково. Если в нек-ром изолированном однородном ПП создана избыточная концентрация носителей заряда m_0 , то изменение концентрации во времени вследствие рекомбинации описывается ур-нием

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{m}{\tau}.$$

Решая это ур-ние, получим $m(t) = m_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$. Т. о., величина τ в данном случае показывает через сколько времени первонач. концентрация m_0 уменьшится в e раз.

Рекомбинацию, происходящую в объеме ПП, характеризуют В. ж. н. з., обусловленным объемной рекомбинацией τ_v . В реальных ПП существенную роль играет также поверхностная рекомбинация, к-рая характеризуется скоростью поверхностной рекомбинации s , или числом актов рекомбинации, происходящих на единице поверхности за единицу времени, отнесенным к концентрации избыточных носителей в приповерхностном слое.

Для расчетов ПП приборов пользуются понятием эффективного (среднего) времени жизни $\tau_{эф}$, обусловленного как объемной, так и поверхностной рекомбинациями. Может быть введено понятие «В. ж. н. з.», обусловленное только поверхностной рекомбинацией τ_s , имеющее смысл эффективного В. ж. н. з., когда объемной рекомбинацией можно пренеб-

речь. Эти характеристич. времена связаны выражением

$$\frac{1}{\tau_{\Phi}} = \frac{1}{\tau_v} + \frac{1}{\tau_s}.$$

В отличие от величин τ_v , характеризующей внутр. структуру ПП, и s , характеризующей качество обработки поверхности и, следовательно, структуру поверхности, величины τ_{Φ} и τ_s имеют смысл только применительно к конкретному ПП прибору.

Связь между τ_s и s рассчитывается для каждого конкретного прибора; напр., для плоской однородной пластины толщиной $2a$ при пренебрежении объемной рекомбинацией можно получить

$$\tau_s \approx \frac{a}{s} + \frac{a^2}{2D},$$

где D — коэфф. диффузии носителей заряда (в этом выражении второй член характеризует ср. время движения носителей заряда к поверхности, а первый — ср. время существования носителей на самой поверхности); для ПП триода (принимая, что поверхностная рекомбинация происходит только на поверхности вокруг эмиттера, ограниченной окружностью радиуса $r_3 + w$, где r_3 — радиус эмиттерного перехода, а w — ширина базы):

$$\tau_s \approx \frac{1}{4} \frac{r_3^2}{s}.$$

М. П. Маркович.

ВРЕМЯ ЗАДЕРЖКИ (delay time, lag time; temps de retard, retard; Verzögerungszeit, Verzugszeit) — время, определяющее запаздывание одного электрич. сигнала относительно другого. Термин «В. з.» обычно относится к импульсным сигналам. Для гармонич. сигналов В. з. характеризуется сдвигом фазы. В тех случаях, когда импульсный сигнал на выходе задерживающего устройства оказывается искаженным по форме, В. з. определяют по верхнему уровню выходного сигнала, напр. по уровню 0,7 или 0,9 $U_{\text{вых}}$, где $U_{\text{вых}}$ — амплитуда сигнала на выходе.

К. С. Ржевский.

ВРЕМЯ ОБРАЩЕНИЯ к за п о м и н а ю щ е м у у с т р о й с т в у (access time; temps d'accès; Suchzeit, Zugriffszeit, Informationsauswahlzeit) — время, необходимое для выполнения одной операции записи или чтения информации в ЭВМ. В. о. является основным параметром ЗУ и характеризует его быстродействие. Оно складывается из ряда элементарных действий, в число к-рых могут входить: время поиска соответствующей ячейки ЗУ по заданному адресу — t_n ; время на считывание информации — $t_{\text{сч}}$; время на запись новой информации — $t_{\text{зап}}$; время на стирание ненужной информации — $t_{\text{ст}}$; время на регенерацию прочитанных данных — $t_{\text{рег}}$.

В. о. при записи и чтении имеет величины одного порядка и получается суммированием следующих элементов:

$$t_{\text{обр}} = t_n + t_{\text{сч}} + t_{\text{рег}} \approx t_n + t_{\text{ст}} + t_{\text{зап}}.$$

Наиболее применима такая хар-ка быстродействия к оперативным ЗУ, к-рые имеют все перечисленные выше этапы. При этом время считывания обычно совпадает с временем стирания, а время записи — с регенерацией, т. к. они представляют собой одни и те же физич. процессы. Время записи и время считывания характеризуют инерционность накопит. среды и быстродействие схем управ-

ления. Время поиска зависит от способа выборки информации и системы элементов. Напр., считывание нужного числа из динамич. ЗУ может быть произведено не в любое время, а лишь в момент прохождения его мимо считывающих элементов. Т. о., время считывания информации связано с нек-рым временем ожидания, зависящим от адреса информации и в худшем случае достигающим макс. времени — периода рециркуляции T ,

$$t_{\text{п макс}} = T = \frac{l}{v},$$

где l — геометрич. размер накопит. среды, v — скорость распространения информации. Для электроакустич. ртутных линий первого образца машины БЭСМ $t_{\text{п макс}} = 640$ мксек при длине трубки $l = 93,44$ см. В ЗУ на магнитном барабане для уменьшения времени поиска стремятся повысить скорость вращения барабана, к-рая достигает в отдельных случаях 75 000 об/мин (при ср. скорости 2000—3000 об/мин).

Время поиска в устройствах с произвольным доступом определяется схемой дешифрации и быстродействием электронных элементов. Вместо него употребляется понятие времени дешифрации заданного адреса $t_{\text{деш}}$. Напр., в машине НОРК (США), в ЗУ на ЭЛТ $t_{\text{деш}} = 4$ мксек. Иногда пользуются дополнительной хар-кой быстродействия ЗУ — временем выборки. Время выборки $t_{\text{выб}}$ определяет время получения информации после выдачи адреса в ЗУ. Оно складывается из времени дешифрации и времени считывания:

$$t_{\text{выб}} = t_{\text{деш}} + t_{\text{сч}}.$$

Напр., в машине ТХ-2 (США) время выборки из оперативного ЗУ составляет 2,8 мксек при В. о. 6,5 мксек. В односторонних ЗУ В. о. всегда является временем выборки.

Для ЗУ с последоват. выборкой (типа магнитных лент) в качестве хар-ки быстродействия пользуются не В. о., а скоростью записи или считывания двоичных знаков, к-рая зависит от свойств носителя, плотности записи, скорости перемотки ленты (см. *Магнитная лента*). Так, в машине М-2 (СССР) при скорости движения ленты 0,4 м/сек считываются 1 200 зн/сек, в «Урале» (СССР) — 2700 зн/сек, в машине НОРК при скорости движения ленты 4 м/сек скорость считывания 70 000 зн/сек.

В. П. Исеев.

ВРЕМЯ ОПРОКИДЫВАНИЯ, время п е р е х о д а, в р е м я р е л а к с а ц и и (triggering time; temps d'inversion, temps de renversement; Relaxationszeit, Umkippszeit), — время перехода релаксационной (спусковой) схемы из одного состояния в др., устойчивое либо квазустойчивое. В 2-ламповом релаксаторе процесс сопровождается лавинообразным переходом одной лампы релаксатора от запертого состояния в полностью открытое, а другой лампы — наоборот, от открытого состояния в запертое. В. о. принципиально не может быть равно нулю, поскольку ни на одном электроде лампы невозможно бесконечно быстро изменить напряжение из-за наличия паразитных емкостей схемы; величина В. о. определяется в основном входными и выходными емкостями ламп, крутизной ламп, сопротивлениями утечки в цепях сеток, а также параметрами импульсного тр-ра в блокинг-генераторах, либо соответствующими пара-

метрами схемы на ПП. В. о., легко достижимое при обычных схемах и лампах, составляет 0,1—2,0 мксек. Принимая особые меры для расширения полосы пропускания усилителя, входящего в релаксатор или спусковую схему, а также для увеличения его коэфф. усиления, можно на порядок уменьшить приведенные выше пределы для В. о.

Лит.: Меерович Л. А. и Зеличенко Л. Г., Импульсная техника, М., 1953; Элмор В. и Сендс М., Электроника в ядерной физике, пер. с англ., 2 изд., М., 1953. С. В. Орлов.

ВРЕМЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ (switching time; temps de commutation; Umschaltzeit, Umschlagzeit) — время перехода из закрытого

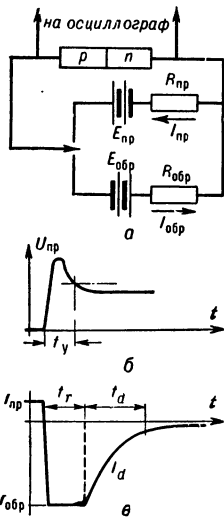


Рис. 1. Переключение ПП диода: а — схема измерения времени переключения; $E_{пр}$ и $E_{обр}$ — прямое и обратное напряжения; $R_{пр}$ и $R_{обр}$ — прямое и обратное сопротивления; $I_{пр}$ и $I_{обр}$ — прямой и обратный токи; б — выключение диода: $U_{пр}$ — прямое напряжение диода; t_y — время установления прямого сопротивления; в — выключение диода; I_d — ток во время спада обратного тока диода (t_d) до тока насыщения; t_r — время, в течение к-рого обратный ток остается постоянным; $t_r + t_d = \tau_{обр}$ — время восстановления обратного сопротивления.

схеме на рис. 1, а. Время включения измеряется по времени установления прямого сопротивления и определяется модуляцией объемных сопротивлений прямым током (см. *Диодов полупроводниковых параметры*). Время выключения измеряется по времени восстановления обратного сопротивления и определяется рассасыванием и рекомбинацией неосновных носителей заряда. Оценку времени восстановления можно провести по ф-лам:

$$\operatorname{erf} \sqrt{t_r/\tau} = 1 / \left(1 + \frac{I_{обр}}{I_{пр}} \right);$$

$$\frac{I_d}{I_{пр}} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{e^{-t/\tau}}{\sqrt{t/\tau}} - \operatorname{erf} \sqrt{t/\tau};$$

$$\operatorname{erf} \sqrt{t_r/\tau} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\sqrt{t_r/\tau}} e^{-x^2} dx,$$

где t_r — время, в течение к-рого обратный ток остается постоянным; τ — время жизни неосновных носителей заряда; $I_{пр}$ — прямой ток через диод; I_d — ток во время спада обратного тока диода t_d до тока насыщения. Приведенные выражения справедливы при толщине базы диода W , большей, чем диффуз. длина неосновных носителей заряда в базе L . В случае, если $W \leq L$, время восстановления не опреде-

ляется только временем жизни и величинами прямого и обратного токов, но и учитывается время пролета неосновных носителей через базу диода. Тогда пользуются ур-нием

$$\sum_{m=0}^{\infty} \frac{\exp \left\{ - \left[t_r/\tau + (m+1/2)^2 \pi^2 \frac{D t_r}{W^2} \right] \right\}}{1 + (m+1/2)^2 \pi^2 \frac{L^2}{W^2}} =$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{I_{обр}}{I_{пр}}} \frac{W}{L} \operatorname{th} \frac{W}{L},$$

где D — коэфф. диффузии; $\frac{W^2}{D}$ — время пролета, t_r — время, в течение к-рого обратный ток

$I_{обр} = \frac{U_{обр}}{R_{обр}}$ остается постоянным.

В. п. транзистора не является хар-кой, определяемой только его свойствами, а в большой степени зависит от схемы включения транзистора и параметров управляющего сигнала. Наиболее короткие В. п. получаются при включении транзистора по схеме с общей базой, при переключении импульсами тока в эмиттер. Типичный вид импульсов базового и коллекторного токов для наиболее часто применяемой схемы включения транзистора с общим эмиттером приведен на рис. 2. В. п. так включенного транзистора связано с толщиной и конфигурацией базы, с характером распределения примесей в ней, с временем жизни неосновных носителей заряда, с емкостями коллекторного и эмиттерного переходов. Поэтому схемы такого вида используются для оценки скоростных свойств транзистора по В. п. Основы и ф-лы расчета В. п. для транзисторов см. в лит-ре при этой статье.

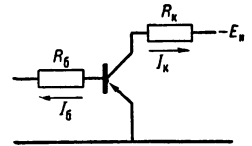


Рис. 2. Переключение транзистора общего ключа по схеме с общим эмиттером: E_k , I_k и R_k — напряжение, ток и сопротивление коллектора; I_b и R_b — ток и сопротивление базы.

Следует отметить, что параметры транзистора не остаются постоянными в процессе переключения. Это приводит к тому, что расчеты носят оценочный характер и основную пользу приносят при установлении связи параметров транзистора и В. п. Современные скоростные транзисторы (см. *Транзисторы скоростные характеристики*) могут обеспечить в специальных схемах В. п. порядка 10^{-9} сек., в то время как в схемах обычного ключа те же транзисторы имеют В. п. порядка $100 \cdot 10^{-9}$ сек.

Многообразие способов ускорения переходных процессов в транзисторном ключе схемным путем делает затруднительной оценку скоростных свойств транзистора по В. п., измеренным в к.-л. одной схеме. Поэтому ведутся поиски более объективной оценки скоростных свойств транзисторов. Перспективным в этом отношении кажется метод измерения зарядов. По этой методике измеряются величины: 1) $\tau_{к0}$ — постоянная времени коллекторной цепи

$$\tau_{к0} = \frac{Q_b}{I_k} \Big|_{U_{кб}=0}.$$

где Q_b — заряд, накопленный в базе транзистора при токе коллектора, равном I_k . 2) Q_u — заряд, необходимый для изменения напряжения на емкости коллектора C_k ; $Q_u = MC_k \Delta U_k$, M — коэфф. усреднения. 3) $b = \Delta I_k / I_b$ — коэфф. усиления по току в схеме с общим эмиттером, измеренный на большом сигнале. 4) $\tau_s = Q_{bs} / I_{bs}$ — постоянная времени в режиме насыщения, Q_{bs} — заряд в базе в режиме насыщения, I_{bs} — насыщающий ток базы.

Величины, входящие в зарядную методику, являются объективной характеристикой транзистора, поскольку они не зависят от схемы измерения. Эти величины представляют самостоятельный интерес для расчета многих импульсных схем; часто возможно установление связи величин, входящих в зарядную методику, с В. п.

Лит.: Агаханян Т. М., Работа полупроводникового триода при больших сигналах, «ИВУЗ. Р-ка», 1960, т. 3, № 1, с. 87—93; Кононов В. Н., Симметричные триггеры на плоскостных полупроводниковых триодах, М.—Л., 1960; Адирович Э. И. и Колотилова В. Г., Переходная характеристика полупроводниковых триодов, «ДАН СССР», 1955, т. 105, № 4, с. 709—12; Моль J. L., «Proc. I. R. E.», 1954, v. 42, № 12, p. 1773—84; Johnston R. C., там же, 1958, v. 46, № 5, p. 830—38; Madigan J. R. and MacDonald W., Semiconductor diode switching characteristics, «Semiconductor products», 1960, v. 3, № 2, p. 29—34. В. Г. Маранци.

ВРЕМЯ ПРОЛЕТА НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА (тока) в полупроводниковом приборе, τ (transit time of charge carrier; temps de parcours des porteurs de charge; Ladungsträgerlaufzeit), — время передачи сигнала от входа прибора к его выходу. В ПП приборах понятие «В. п. н. з.» введено по аналогии с электровакуумными приборами, где оно определяется скоростью направленного движения электронов в вакууме под действием сил электрического поля. В ПП приборах движение носителей обусловлено в основном теплом и носит хаотический характер при постоянных соударениях с кристаллической решеткой. Силы электрического или диффузионного поля придают хаотическому движению носителей некую направленность. Однако и при этом в отдельные моменты времени отдельные носители могут двигаться в направлении, противоположном общему направлению движения.

Средняя скорость направленного движения носителей в ПП приборах определяет В. п. н. з., т. е. $\tau = Q/I$, где Q — полный объемный заряд в пространстве пролета, I — ср. значение тока, протекающего через него. В. п. н. з. в свою очередь определяет частотные фазовые и переходные характеристики приборов.

Ю. А. Наменецкий.

ВРЕМЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ПОКАЗАНИЙ телеизмерительной системы (transient period of indication; durée d'établissement des indications; Einstellzeit der Instrumentenanzeigen) — время от момента скачкообразного изменения телеизмеряемой величины на входе телеизмерит. системы до момента, начиная с которого указатель выходного прибора телеизмерения приближается к установившемуся отклонению с заданной точностью (обычно с точностью до $\pm 2\%$ от установившегося значения) (рис.). В. у. п. характеризует быстрдействие и учитывает динамич. свойства всех элементов телеизмерит. системы: датчика, передающего и приемного телеизмерит. преобразователей, канала связи и выходного прибора. У выходных приборов

цифрового типа (см. *Воспроизведение телеизмеряемой величины*) изменение

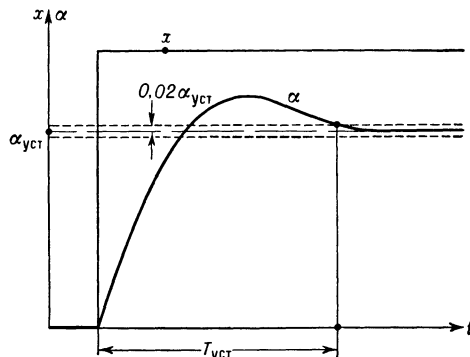


График процесса установления показаний телеизмерит. системы: x — телеизмеряемая величина; α — отклонение указателя выходного прибора; $\alpha_{уст}$ — установившееся отклонение; $T_{уст}$ — время установления показаний.

показаний происходит практически мгновенно и поэтому они не оказывают заметного влияния на В. у. п. В. С. Малов.

ВРЕМЯ - ИМПУЛЬСНОЕ МНОЖИТЕЛЬНО-ДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО (timepulse-multiplier-divider; multiplicateur-diviseur impulsif à variation de temps; Impulszeit-Multiplizier-Dividertrieb, Impulsdauer-Multiplizier-Dividertrieb) — см. *Перемножающее устройство*.

ВТОРИЧНАЯ ЭМИССИЯ (secondary emission; émission secondaire, émission d'électrons secondaires; sekundäre Elektronenemission, Sekundärelektronenemission) — испускание электронов твердым телом под действием бомбардировки этого тела электронами. Отношение тока I_2 , образуемого вторичными электронами, к току I_1 первичных электронов наз. коэфф. В. э. $\sigma = I_2/I_1$. В. э. практически безынерционна. По вторичноэмиссионным свойствам исследованные вещества можно разделить на металлы, ПП и диэлектрики, а также сложные эмиттеры. Быстрые первичные электроны, проникая в глубь эмиттера и взаимодействуя с находящимися в нем электронами, повышают их энергию. Если эта энергия окажется достаточной для преодоления потенциального барьера на границе тела, то электроны тела выйдут наружу в виде вторичных электронов. На рис. 1 показана типичная

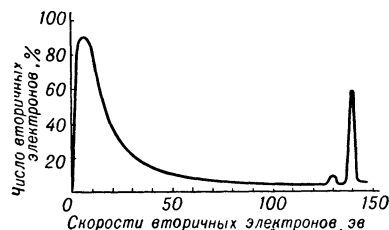


Рис. 1. Кривая распределения электронов по скоростям для металлов.

кривая распределения скоростей вторичных электронов, испускаемых металлом. Из них ок. 90% составляют собственно вторичные электроны, появляющиеся в результате вторичной ионизации ионов кристаллич. решетки. Их скорости лежат в пределах от 0 до

20 эв и не зависят от скорости первичных электронов. Явно выраженный максимум скоростей электронов этой группы расположен около 10 эв. Вторую группу образуют упруго и неупруго рассеянные первичные электроны (ок. 7% всех вторичных электронов), скорости их больше 20 эв. В третью (и последнюю) группу входят первичные электроны, отраженные без потери энергии от потенциального барьера металла. Положение максимума 3-й группы зависит от скорости первичных электронов.

На рис. 2 приведены зависимости $\sigma(E_p)$ коэфф. В. э. σ от энергии первичных электронов E_p для разных металлов. С ростом E_p

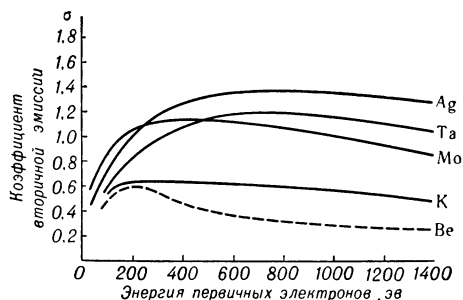


Рис. 2. Зависимости коэффициентов вторичной эмиссии от энергии первичных электронов для различных металлов.

величина σ в области небольших E_p возрастает, достигает макс. значения $\sigma = \sigma_{\text{макс}}$ при некотором $E_p = (E_p)_{\text{макс}}$, а затем сравнительно медленно падает. В области очень больших энергий $E_p > 50$ кэв спад σ с ростом E_p прекращается и σ достигает постоянного значения (для вольфрама $\sim 0,55$; для железа $\sim 0,32$).

С увеличением угла падения первичных электронов на поверхность металла или диэлектрика σ возрастает при любой энергии первичных электронов, т. к. в этом случае вторичные электроны зарождаются ближе к поверхности и эмитируются в большем числе. В. э. чистых металлов не зависит от t° , если при нагревании не изменяется кристаллическая модификация эмиттера и его агрегатное состояние.

В случае ПП и диэлектриков величина $\sigma_{\text{макс}}$ и соответствующее ей значение энергии первичных электронов, как правило, выше, чем у металлов. В табл. приведены значения $\sigma_{\text{макс}}$ и $(E_p)_{\text{макс}}$ для некоторых ПП и диэлектриков, а также для ряда сложных диэлектриков.

нанесенных на металлич. подложку, зависит от толщины слоя. Так, для сурьмяно-цезиевого слоя при $E_p = 200$ эв σ меняется от $\sim 1,8$ при толщине примерно 2 мк до $\sim 6,0$ при 80—100 мк. При дальнейшем увеличении толщины σ остается уже практически постоянным. Для KCl (толщина слоя ~ 110 мк) σ изменяется от значения $\sim 1,3$ (соответствующего чистому металлу) до 6,5 при $E_p = 420$ эв.

Характер кривых распределения вторичных электронов по скоростям для ПП и диэлектриков такой же, как и для металлов, однако средние значения скоростей собственно вторичных электронов равны 1—3 эв вместо 10 эв у металлов.

Большой В. э. обладают сложные эмиттеры, представляющие собой металл, покрытый слоем, состоящим из соединений щелочных металлов с кислородом или с др. веществами, напр., сурьмяно-цезиевый, кислородно-цезиевый, серно-медно-цезиевый эмиттеры. Коэфф. σ нек-рых сложных эмиттеров, так же как и ПП, зависит от темп-ры. Так, повышение темп-ры с 25° до 97°C вызывает рост σ сурьмяно-цезиевого эмиттера от 6,5 до 9,0. Устойчивыми к воздействию темп-ры и одновременно обладающими высокими σ являются эмиттеры, состоящие из металлов, покрытых пленками окислов щелочно-земельных и нек-рых др. металлов, например окиси магния или бериллия. Установлено, что температурный коэффициент σ и само значение σ зависят от режима активирования сложных эмиттеров.

В. э. очень широко используется в фотоэлементах с однокаскадным и многокаскадным усилением фототоков, во вторично-электронных трубках, обеспечивающих усиление до 10^5 — 10^6 , и в приемно-усилит. лампах. Эти лампы, сконструированные с использованием В. э., обладают рядом ценных свойств, напр. они дают возможность получить усиление без изменения фазы. В нек-рых случаях В. э. (напр., в усилит. и генераторных лампах) может играть отрицат. роль, вызывая искажение формы хар-к (динаatronный эффект) и др. явления. Основные направления исследований В. э. состоят в отыскании новых материалов, обеспечивающих высокие σ , в повышении стабильности σ и долговечности эмиттеров, увеличении плотности тока В. э., повышении устойчивости к воздействию температур.

Лит.: Добрецов Л. Н., Электронная и ионная эмиссия, М.—Л., 1952; Гапонов В. И., Электроника, ч. 1, М., 1960; Льюис И. и Уэлс Ф., Миллимикросекундная импульсная техника, пер. с англ., М., 1956; Шпангенберг К. Р., Электронные лампы, пер. с англ., [т.] 1—2, М., 1953—54. В. М. Петухов.

Коэффициенты вторичной эмиссии и энергии первичных электронов сложных диэлектриков

	SiO ₂ (используются водники)	Слюда (диэлектрик)	Стекло (диэлектрик)	KCl (диэлектрик)	Оксидно-бариевый катод при T=300° K	Cu—S—Cs	Ag—Cs ₂ O—Cs	Sb—Cs	Ag—Mg	BeO
$\sigma_{\text{макс}}$	1,3	2,5	3,1	4,9	2,3	11	10	9	8	4
$(E_p)_{\text{макс}}$	600	500	500	1100	—	600	550	600	600	800

В этом случае зависимость $\sigma(E_p)$ сходна с той же зависимостью для металлов. Коэфф. В. э. очень тонких слоев ПП и диэлектриков,

ВТОРИЧНЫЙ ПРИБОР — приемный прибор в системе контроля дистанционного. В. п. получает от первичного прибора (датчика

электрич. или пневматич. (реже гидравлич. или механич.) сигнал и осуществляет показание, регистрацию, интегрирование или сигнализацию контролируемой величины. Иногда во В. п. встраиваются регуляторы. Электрич. В. п., в зависимости от вида датчика и характера сигнала, выполняют как стрелочные измерит. приборы, самобалансирующие потенциометры и мосты пост. и перемен. тока, сельсины, цифровые вольтметры, частотомеры и др. Пневматич. В. п. представляют собой измерители давления (обычно в пределах 0,2—1 кг/см²). Максимальная дальность передачи пневматического сигнала — 300 м.

Ф. Е. Темников.

ВТОРОСТЕПЕННЫЙ ВХОД (secondary input; entrée secondaire; Nebeneingang) — точка приложения вспомогат. внешнего воздействия. В следящих системах на перемен. токе, напр., на В. в. системы подается перемен. напряжение от вспомогат. генератора.

М. П. Сахаров.

ВТЯГИВАЮЩАЯ КАТУШКА (pulling coil; bobine à pouau plonger; Tauchkernspule) — катушка на магнитопроводе электромагнитного механизма (реле, контактора, магнитного пускателя, тягового электромагнита и т. д.), осуществляющая при подаче на нее питания втягивание сердечника или поворот якоря электромагнита. В. к. напряжения включаются параллельно источнику напряжения, В. к. тока — последовательно в цепь тока. В. к. норм. исполнения используется в длит. режиме при номин. значении подводимого к ней напряжения (В. к. напряжения) или тока (В. к. тока), форсированные В. к. — при кратковрем. режиме или при применении спец. средств (напр., при включении в цепь В. к. напряжения размыкающимися блок-контактами электромагнитного механизма экономич. сопротивления).

В. к. обычно выполняются из изолированного обмоточного провода. Для В. к. на ток до 2 а применяются провода с эмалевой (ПЭЛ, ПЭТ), винифлексовой (ПЭВ), металвиновой (ПЭЛМ) или карбамидной (ПЭЛК) изоляцией. Для В. к. на ток выше 1 а применяются провода с двойной хлопчатобумажной изоляцией (ПБД), для В. к., работающих при повышенной темп-ре, — провода с дельта-асбестовой (ПДА) или стеклянной (ПСД) изоляцией. При высоких межвитковых напряжениях применяют также провода с эмалево-хлопчатобумажной (ПЭБО, ПЭЛБО), шелковой (ПШО, ПШД) или эмалево-шелковой (ПЭЛШО) изоляцией, а также делают межслоевую изоляцию. Для улучшения механич. прочности, электроизоляции, свойств и теплопроводности пропитывают В. к. лаками или компаундами. Пропитка является обязательной для В. к. из проводов с хлопчатобумажной изоляцией. В. к. на большие токи изготавливаются из голых медных шин, из медных цилиндров или путем литья. В. к. наматываются на каркасы или выполняются бескаркасными; в последнем случае применяется обязательная пропитка компаундами.

Е. Л. Львов.

ВХОД (input; entrée; Eingang, Eingabe) — точка приложения рассматриваемого воздействия. В. может быть электрич. — две клеммы, на которые подается входной сигнал, механич. — ось, шток и др., управляющие работой электрич., гидравлич. или пневматич. устройств. В САР В. чаще всего на месте

присоединения измерит. элемента, регистрирующего отклонение регулируемой величины

М. П. Сахаров.

ВХОДНАЯ ВЕЛИЧИНА (input value; grandeur d'entrée, variable de commande; Eingangsgröße) — величина воздействия, приложенного ко входу системы или элемента.

ВХОДНОЕ УСТРОЙСТВО (input unit; organe d'entrée, entrée; Aufnahmegerät, Eingabegerät, Eingabeteil, Aufnahmeteil, Eingangsgerät, Eingangsblock) — устройство, воспринимающее внешнее (входное) воздействие, помещаемое на входе блока, звена или системы. Требования, предъявляемые к В. у.: макс. точность передачи входного воздействия и большое входное сопротивление. Очень часто во В. у. вводят электронные схемы с большим входным сопротивлением (катодные повторители и др.).

М. П. Сахаров.

ВХОДНОЙ АЛФАВИТ (input alphabet; code alphabétique d'entrée; Eingangsalphabet) — набор (множество) символов, каждый из которых приписан определенному состоянию входа дискретного (релейного) устройства. Если устройство имеет n линий входа (т. е. n входных шин или n воспринимающих элементов релейного устройства) и i -я линия может принимать S_i различных состояний, то число состояний входа представляет собой число комбинаций состояний всех входных линий и равно произведению $S_1 \cdot S_2 \cdot \dots \cdot S_n$. В том случае, когда каждая линия может принимать 2 состояния, число состояний входов равно 2^n . Каждому состоянию входа приписывается к.-л. определенный символ: буква, цифра или группа цифр; эти символы и образуют В. а. Напр., если устройство имеет 2 линии входа, каждая из к-рых может принимать одно из двух состояний — 0 или 1, число состояний входа равно 4. Поставим в соответствие комбинации 0,0 символ a_1 , комбинации 0,1 — символ a_2 , комбинации 1,0 — символ a_3 и комбинации 1,1 — символ a_4 . Тогда набор $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ образует В. а. Можно считать и сами комбинации за символы В. а.; в этом случае В. а. будет иметь вид $\{00, 01, 10, 11\}$. Однако при большом числе входных линий такой В. а. становится громоздким.

В. а. удобно пользоваться, когда рассматривается одновременно работа неск. устройств; при этом каждому из устройств соответствует свой В. а., что позволяет избежать путаницы. При рассмотрении конечного автомата наряду с В. а. часто вводятся выходной алфавит и алфавит внутр. состояний. По заданному символу тогда легко определить, о каком из состояний идет речь (достаточно выяснить, к какому из алфавитов принадлежит заданный символ). Кроме того, В. а. и выходной алфавит удобны для записи условий работы (см. Релейного устройства условия работы).

Л. А. Гусев.

ВХОДНОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ для решающих (операционных) устройств (chopper; convertisseur d'entrée; Eingangswandler) — устройство, преобразующее малое постоянное (или медленно изменяющееся) напряжение в переменное. Предназначен для работы в схемах решающих усилителей (РУ), использующих принцип модуляции и демодуляции сигнала. В качестве В. п. в РУ применяются вибропреобразователи контактные (ВК) и В. п. бесконтактные.

ВК — спец. реле, работающее в вибращ. режиме. Состоит из контактной группы (обычно трехконтактной) и электромагнитной (рис. 1) или магнитоэлектрич. (рис. 2) системы возбуждения. Перем. магнитное поле электромагнита вызывает вибрацию якоря и связанного

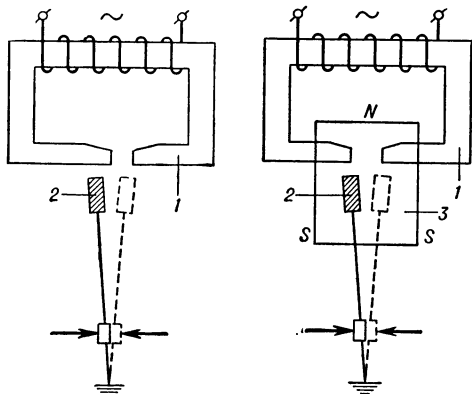


Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 1. Контактный вибропреобразователь с электромагнитной системой возбуждения: 1 — электромагнит; 2 — подвижный якорь из мягкой стали.

Рис. 2. Контактный вибропреобразователь с магнитоэлектрич. системой возбуждения: 1 — электромагнит; 2 — подвижный якорь из мягкой стали; 3 — электромагнит.

с ним ср. контакта, к-рый поочередно замыкается то с одним, то с др. боковыми контактами. Зазоры между контактами могут изменяться с помощью регулировочных винтов. Применяются 2 вида регулировки: с «перелетом» ср. контакта и с «перекрывтием». В первом случае примерно в течение 0,05 — 0,1 от периода коммутации ср. контакт оказывается изолированным от обоих крайних, во втором случае, наоборот, имеется момент, когда все 3 контакта соединены между собой. В обоих случаях времени замыкания ср. контакта с каждым крайним выбираются равными между собой.

Преобразование пост. тока в переменный осуществляется периодич. переключением контакта (рис. 3) либо периодич. закорачиванием входной цепи (рис. 4). При этом на выходе

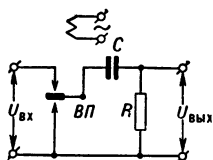


Рис. 3.

Рис. 3. Схема входной цепи с переключающимся контактом.

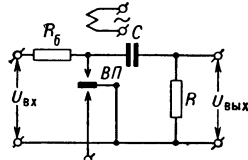


Рис. 4.

Рис. 4. Схема входной цепи с закорачивающим контактом.

возникают импульсы, близкие к прямоугольной форме, ср. амплитуда к-рых неск. меньше половины входного пост. напряжения и для обеих схем приближенно может определяться по ф-ле (при $RC \gg T$, где T — период коммутации):

$$U_{\text{вых}} = E_c \frac{R}{2R + R_6 + R_i}, \quad (1)$$

где R_i — внутр. сопротивление источника сигнала с эдс E_c ; R_6 — балластное сопротивление,

служащее для ограничения входного тока при замыкании контактов, R — выходное сопротивление, к-рое совместно с конденсатором служит для выделения перем. составляющей напряжения. Для схемы рис. 3 $R_6 = 0$, поэтому ее коэфф. преобразования неск. выше и приближенно определяется по ф-ле:

$$K_n \approx \left(1 - \frac{2\Delta T}{T}\right) \frac{R}{2R + R_i}, \quad (2)$$

где ΔT — время перелета (или перекрытия) контакта.

Качество ВК определяется уровнем помех, вносимых им во входную цепь, и стабильностью механич. регулировки. Помехи вызываются воздействием электр. и магнитных полей цепи возбуждения на контактную группу, а также наличием контактной и термо-эдс между контактами. Для снижения помех выбирают систему возбуждения, потребляющую меньшую мощность при малом напряжении, и обеспечивают экранировку (обычно электростатическую) контактной группы от цепей возбуждения. Контакты применяют с малой термо-эдс относительно меди. В правильно сконструированном ВК при входном сопротивлении 1 Мом суммарная помеха не превышает единиц мкВ. Механич. стабильность достигается жесткостью конструкции, правильным выбором амплитуды колебаний и механич. устойчивостью контактов (применяются твердые сплавы из благородных металлов, напр. платины и иридия), а также технологией изготовления (необходимым старением материалов, отсутствием загрязнений) и правильностью эксплуатации. В частности, использование ВК для преобразования тока св. 1 ма значительно сокращает его срок службы. Существенное значение для работы ВК имеет соотношение между рабочей частотой и частотой механич. резонанса подвижной системы. Чем ближе рабочая частота к резонансной, тем меньшая энергия необходима для цепи возбуждения, но при этом резко возрастает зависимость фазового сдвига выходного напряжения (относительно напряжения возбуждения) от соотношения рабочей и резонансной частот. Появляется нестабильность фазового сдвига, к-рая может привести к нарушению норм. работы демодулятора. Поэтому при разработке ВК частоту механич. резонанса выбирают на 20—30% выше (реже ниже) рабочей (50—400 гц). Фаза выходного напряжения при этом неск. опережает фазу напряжения возбуждения. При частоте резонанса ниже рабочей происходит отставание по фазе. Для РУ выгоднее повышать рабочую частоту, однако при этом понижается надежность ВК и сокращается срок его службы.

В наст. время контактные В. п. все чаще заменяются бесконтактными, к-рые обеспечивают большую надежность, но имеют значительно больший уровень помех. Из бесконтактных В. п. в РУ наиболее часто применяются диодный, на ПП триоде и с использованием фотосопротивлений. Простейшая схема диодного бесконтактного В. п. (рис. 5) аналогична схеме с ВК (рис. 4), но контактный ключ заменен диодным. В течение полупериода переключającego напряжения U_n , когда диоды заперты, напряжение в точке А близко к $U_{\text{вх}}$. В течение полупериода, когда диоды проводят, точка А закорачивается через

низкоомные сопротивления R_1 , R_2 , R_3 на землю, и U_A близко к нулю. Т. о. осуществляется модуляция входного пост. напряже-

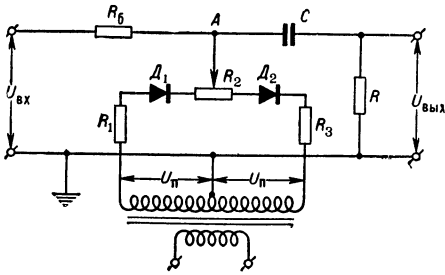


Рис. 5. Схема диодного бесконтактного входного преобразователя.

ния. Если $R_6 \gg \frac{1}{2}(R_1 + R_2)$, то коэфф. преобразования

$$K_{\Pi} \approx \frac{R}{2R_1 + R_6 + R_2} \quad (3)$$

При нулевом сигнале на входе на выходе всегда имеется значит. уровень помех (до неск. мВ), к-рый связан с неидентичностью хар-к диодов. Величина помех уменьшается при уменьшении U_{Π} и применении в качестве U_{Π} униполярных прямоугольных импульсов стабильной амплитуды. При тщат. подборе элементов схемы с кремниевыми диодами дрейф нулевого уровня составляет неск. сот мкВ за 8 часов при $R_{вх} = 600 \text{ ком}$ и окружающей темп-ре $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Если элементы надлежащим образом не подобраны, дрейф достигает неск. мВ. Лучшие результаты обеспечивает такая же схема с ключом на ПП триоде (рис. 6). На базу подаются импульсы, к-рые отпирают триод и периодически закорачивают точку А на землю. Когда триод проводит (при $U_{вх} = 0$), в точке А имеется остаточное напряжение ($U_{ост}$) порядка 1—2 мВ, к-рое можно в значит. мере скомпенсировать, подавая

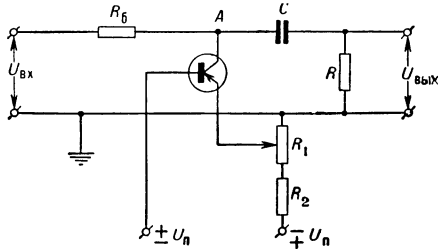


Рис. 6. Схема триодного бесконтактного входного преобразователя.

в цепь эмиттера часть U_{Π} обратной полярности. $U_{ост}$ слабо зависит от темп-ры и от R_6 , но имеет существ. разброс даже у триодов одной партии. В течение полупериода, когда триод заперт, в цепи коллектора течет остаточный ток ($I_{ост}$), к-рый также создает ложный сигнал. $I_{ост}$ сильно зависит от типа триода, окружающей темп-ры, и скомпенсировать его значительно труднее. Дрейф нулевого уровня, вызванный нестабильностью $I_{ост}$, практически пропорционален R_6 .

Схема бесконтактного В. п. (рис. 7) с фотосопротивлением также аналогична схеме с контактным В. п. (рис. 4). Фотосопротивление R_{Φ} при освещении модулированным светом

изменяет свою величину, что изменяет величину U_A , и тем самым осуществляется нужное преобразование. При использовании спец. фотосопротивлений удастся обеспечить дрейф нулевого уровня не выше неск. десятков

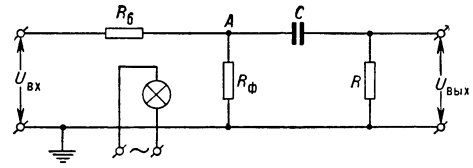


Рис. 7. Схема бесконтактного входного преобразователя с фотосопротивлением R_{Φ} .

мкВ за длительное время. Дрейф нулевого уровня связан с нестабильностью фото-эдс, которая возникает на концах сопротивления при его освещении. Недостатками схемы рис. 7 являются: необходимость в модулированном источнике света (интенсивность и спектр к-рого должны согласовываться с хар-ками фотосопротивления) и трудность обеспечения малой фото-эдс.

Лит.: Павлов В. В., Глушков П. П., Измерительные усилители малых сигналов постоянного тока на полупроводниковых приборах, «ПиСА», 1961, № 2; Hutcheon I. C., Properties of some D. C.-A. C. chopper circuits, «Proc. I.E.E.», 1957, v. 104, pt C, № 6.

Д. Е. Полонников.

ВХОДНОЙ СИГНАЛ (input signal; signal d'entrée, signal incident; Eingangssignal) — внешнее воздействие, приложенное ко входу системы или элемента.

Р. С. Рутман.

ВЫБОР ОБЪЕКТА (selection; selection de l'objet; Selektion in der Fernwirktechnik, Auslese in der Fernwirktechnik) — см. Избирание в телемеханике.

ВЫВОД ДАННЫХ ИЗ АВМ [analog computer output unit (equipment); unité de sortie des calculatrices analogiques; Datenausgabe (Abruf) aus Analogrechnern] — комплекс мероприятий и устройств, обеспечивающих возможность наблюдения и регистрации результатов решения. Устройство В. д. из АВМ состоит из приборов визуального наблюдения и оценки результатов решения и регистрац. приборов. Первые используются для контроля за ходом решения задачи (стрелочные приборы, цифровые вольтметры и электроннолучевые индикаторы). Стрелочные приборы применяются в осн. для измерения напряжений на выходах блоков АВМ в режиме «останова» и для задания нач. значений переменных. Точность измерений при этом составляет ок. $\pm 1\%$ от шкалы вольтметра, к-рая обычно выполняется на ± 1 , ± 10 и $\pm 100 \text{ в}$. Для увеличения точности измерений, особенно при задании нач. значений переменных, используются компенсацион. схемы. Они содержат стрелочный нуль-индикатор и усилитель, являющийся источником эталонного напряжения, изменяющегося от -100 в до $+100 \text{ в}$ (переключением через $0,1 \text{ в}$). Цифровые вольтметры облегчают отсчет медленно изменяющихся или фиксиров. напряжений пост. тока; точность измерений при этом составляет $0,1-0,01\%$ от их шкалы. В состав цифрового вольтметра входят схемы запоминания входного напряжения, преобразования его в число и цифровой индикации измеренной величины.

С помощью электроннолучевых индикаторов на экране ЭЛТ наблюдается характер

изменения переменных. Электроннолучевые индикаторы являются осн. устройством визуального наблюдения в АВМ с повторением решения и дополнит. устройством в АВМ, работающих в натур. масштабе времени. В них используются трубки с длительным послесвечением (до 30—50 сек.). Электроннолучевые индикаторы обеспечивают наблюдение одной или неск. величин в ф-ции времени или в ф-ции др. машинных переменных. Они осуществляют измерение мгновенных значений переменных компенсац. способом при совмещении на экране трубки в заданной точке прямой, отображающей эталонное напряжение, с кривой исследуемого напряжения. Для маркировки получаемого решения по времени в индикаторах предусматривается наличие меток времени, синхронизованных с разверткой луча по времени и моментом начала интегрирования в АВМ. Коммутация переменных для их одноврем. наблюдения на экране трубки индикатора производится: 1) релейными или электронными переключающими коммутаторами в режиме однократного решения, 2) переключением переменных при повторении решений в АВМ с периодизацией решения, 3) подсветкой луча при его растровой развертке, пригодной при любом способе использования индикатора. В СССР серийно выпускаются индикаторы И-4, И-5 и И-10.

Средства регистрации результатов решения — фотоприставки, электроннолучевые регистрирующие устройства, первые регистрирующие приборы, электронные самопишущие потенциометры, электронноискровые вольтметры, печатающие и перфорирующие устройства и шлейфовые осциллографы.

Фотоприставки применяются для фотографирования кривых с экрана электроннолучевых индикаторов и электроннолучевых регистрирующих устройств. Для фотографирования пригодна любая фотокамера. Основой электроннолучевых регистрирующих устройств являются трубки с темновой записью (скиатроны). Экраны этих трубок покрыты слоем хлористого кальция, кристаллы к-рого при бомбардировке электронным лучом приобретают фиолетовый цвет. Изображения кривых при этом могут сохраняться весьма длительное время: снятие изображения и подготовка трубок к новой записи производится внешним нагревом их экрана. Серийные приборы типа ЭРУ-1 снабжены комплектом трубок с диаметром экрана 100 мм. Они записывают синхронно с работой АВМ кривые изменений напряжений с частотами до 100 гц, а также наносят масштабную сетку, облегчающую расщифровку получ. изображения.

Первые регистрирующие приборы являются вольтметрами, снабж. пером для записи переменных. Эти приборы не получили распространения в СССР, т. к. имеют невысокую точность и огранич. частотный диапазон. Электронные самопишущие потенциометры используют потенциометрич. следящие системы, управляющие перемещением пера; отличаются достаточной точностью записи кривых (до 0,1%) при недостаточно высоких частотных качествах (0,1—1 гц). Так, напр., планшетные регистрирующие устройства обеспечивают запись одной величины в ф-ции др. переменной на горизонтально располож. листе бумаги стандартного формата. В СССР применяются серийные потенциометрич. приборы

ЭПП-09 для записи по времени одной или неск. переменных на рулонной бумажной ленте или специально разработанные для АВМ двухкоординатные планшетные регистрирующие приборы ДРП-1.

В электронноискровых вольтметрах используется метод динамич. компенсации. Место возможного пробоя бумаги искрой линейно перемещается во времени (с частотой в 50—100 гц). Момент пробоя определяется электронной схемой преобразования регистрируемого напряжения в длительность временного интервала.

Печатающие и перфорирующие устройства являются чаще всего регистрирующими элементами электронных цифровых вольтметров; полученные при измерениях на АВМ цифровые значения регистрируемых величин печатаются на бумажной ленте или на бланках, а также используются для перфорации на перфосителе (обычно на перфоленте). Шлейфовые осциллографы как регистрирующие устройства АВМ обеспечивают одновременную запись до 12 величин, изменяющихся с частотами до неск. кгц при достаточно длит. времени решения. Однако невысокая точность и сложность обработки результатов осциллографирования уменьшают эффективность их применения. См. *Ввод данных в АВМ*.

И. М. Витенберг.

ВЫВОД ДАННЫХ ИЗ ЦВМ (digital computer output equipment; équipement de sortie des calculatrices digitales; Datenausgabe aus Ziffernrechenautomaten) — комплекс мероприятий и устройств, обеспечивающих возможность наблюдения и регистрации результатов решения на ЦВМ. Производится на промежуточные устройства хранения информации (магнитную ленту, перфоленту, перфокарты) или на печать (на бумаге или фотоматериалах). При выводе результатов, особенно в больших объемах, для облегчения последующего использования печатают сразу исполнит. документы (напр., расчетные ведомости, графики транспортировки и т. д.). При выводе буквенного или цифро-букв. текста на перфокарты и перфоленты можно одновременно получать буквенную ленту или буквенный текст (на перфокарте). Наглядное отображение информации (графики, планы и т. д.) получают с помощью спец. ЭЛТ со знаковой индикацией — харатрона.

Данные, программы и результаты можно выводить на внутр. языке машины (командами вывода) или на выводном языке, определяемом знаками, имеющимися на выводном устройстве (по подпрограмме вывода). На магнитную ленту чаще всего подаются промежуточные результаты и программы, к-рые хотят использовать в дальнейшем. Часто вывод осуществляется в два этапа: сначала на магнитную ленту, а затем при помощи спец. перезаписывающего устройства — на печать на бумагу.

Вывод, как и ввод (см. *Ввод данных в ЦВМ*), контролируется различными способами (чтение вслед за записью с последующим сравнением текстов или с помощью контрольных кодов). При любом методе контроля обнаружение ошибки останавливает вывод.

В совр. ЭВМ скорость вывода: а) на магнитную ленту 20 000—22 000 знаков в сек., б) на перфокарты — до 600 карт в мин., в) на перфоленту — до неск. тыс. знаков в мин.;

скорость печати 300—500 строк в мин. при 120 знаках в строке. *Н. Н. Рикко.*

ВЫДЕЛЕНИЕ СИГНАЛА ИЗ ШУМА [detection of a signal in noise; separation de signal de bruit (brouillage); Heraushebung des Nutzsignals aus dem Rauschen] — получение различного вида информации о полезном сигнале $S(t)$, смешанном с неотделимым от него шумом $N(t)$ во входном сигнале $Z(t)$. Конкретная задача ставится в зависимости от вида сведений о полезном сигнале, к-рые требуется получить, и распадается на след. самостоят. задачи: фильтрация, оценка параметров сигнала, обнаружение сигналов, различение неск. сигналов (см. *Прием сигнала на фоне помех*).

ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ (switch, cut-off switch; interrupteur, disjoncteur; Ausschalter, Schalter) — коммутационный (контактный) аппарат, предназнач. для редких замыканий и размыканий электрич. цепей. Срок службы обычно составляет 10^4 включений. В. разделяются на низковольтные, коммутирующие напряжения до 1000 в, и высоковольтные — от 3 кВ и выше. В. выполняются с ручным и автоматич. управлением. В последнем случае В. наз. автоматами. В. с ручным воздействием бывают на два коммутац. положения одной цепи (собственно выключатели) и на неск. коммутац. положений и цепей (переключатели). В совр. В. с ручным управлением для обеспечения высокой коммутац. способности, как правило, применяется механизм мгновенного переключения контактов, в к-ром скорость движения контактов не зависит от скорости движения рукоятки. В. с ручным управлением, коммутирующий ток св. 10 а, в зависимости от конструкции и числа коммутируемых цепей наз. рубильником или пакетным В. В. очень малых габаритов с контактами мгнов. действия наз. микровыключателями.

В. Г. Зусман, Э. Б. Рогачев.

ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ КОНЦЕВОЙ, п у т е в о й (contact switch, limit switch; interrupteur limite; Endschalter, Endabschalter, Endauschalter), — аппарат для переключения электрических цепей в определенных точках контролируемого пути. В. к. чаще всего применяется для управления автоматизированными приводами в ф-ции пути, а также для ограничения перемещения (в частности, аварийного) различных частей механизмов. Обычно В. к. состоит из приводного элемента (рычага, кнопки, ролика, штока) и контактной системы. При приложении внешней силы к приводному элементу (от неск. г до неск. кг) происходит срабатывание контактного устройства. Последнее бывает прямого действия — со скоростью перемещения контактов, зависящей от скорости перемещения приводного элемента, или мгновенного действия — со скоростью переключения контактов, практически независимой от перемещения приводного элемента.

В. к. различаются по способу защиты от влияния внешней среды и количеству контактов. Они обычно выпускаются для цепей перем. тока до 380 в и цепей пост. тока до 220 в с количеством контактов от 1 до 4. Величина номин. тока В. к. в цепях управления не превышает 10 а, а в силовых цепях — 100 а.

В. к. прямого действия применяются при отсутствии требований высокой точности срабатывания. Их не рекомендуют использовать при малых скоростях перемещения приводного элемента (порядка десятков мм/сек). В. к.

мгновенного действия применяют в тех случаях, когда требуется повыш. точность срабатывания (0,05—0,01 мм) или когда скорость перемещения приводного элемента мала.

Для надежной работы В. к. необходимо, чтобы усилие нажатия на приводной прямолинейный элемент было бы направлено вдоль последнего. Допускается работа под углом к оси приводного элемента, но не выше 30°. Для надежной работы В. к. существ. значение имеет правильный выбор угла между направлением движения толкателя и упора, определяемый скоростью набегающего упора (кулачка). При скоростях до 12 м/мин допускается величина угла до 30°. При увеличении скорости перемещения набегающего упора до 60 м/мин величина угла уменьшается до 15°.

С целью увеличения надежности действия применяются бесконтактные В. к., к-рые в общем случае состоят из датчиков (индуктивного, емкостного, фотоэлектрич. и т. п.), усилителя с релейной хар-кой и исполнит. устройства, к-рым может быть реле (контактное или бесконтактное) или др. статич. переключающий бесконтактный элемент управления. Отдельные функцион. блоки могут быть физически совмещены в одном узле. Обладая более высокой надежностью, бесконтактные В. к., однако, более сложны и дороги. Точность их работы порядка 0,1—1 мм.

В. Г. Зусман, Э. Б. Рогачев.

ВЫНОС ВЕЛИЧИН В СТАНДАРТНЫЕ ЯЧЕЙКИ [data transferring in standard storage elements; transfert des données en cellules standards; Transport (Übertragung) der Informationen in Standardspeicherzellen] — прием программирования для ЦВМ, при к-ром вместо оператора, исходные данные к-рого зависят от параметров, в программу включают два оператора — первый, переносящий эти данные в т. н. стандартные ячейки, и второй, не зависящий от этих параметров.

Ф-ция оператора счета заключается в преобразовании одной группы величин, являющихся исходными данными, в другую группу величин, являющихся результатами. Часто приходится применять один и тот же оператор счета к неск. группам величин, т. е. вычислять результаты при различных значениях исходных данных. Если все эти группы получены заранее и располагаются в ячейках ЗУ машины в определенной последовательности, то чаще всего применяются два приема, обеспечивающие работу оператора счета с этими группами. Первый из них заключается в том, что команды оператора счета составляются так, чтобы исходные данные брались из первой группы. Кроме оператора счета, предусматривается варьирующий оператор для изменения команд оператора счета так, чтобы при повторном выполнении этого оператора исходные данные брались из следующей группы. В таких случаях в качестве варьирующего оператора, как правило, используется оператор переадресации. Другой прием заключается в том, что для размещения исходных данных оператора счета предусматриваются ячейки, наз. стандартными. Для обеспечения работы оператора счета с различными группами исходных данных предусматривается оператор, к-рый перед началом работы оператора счета переносит нужную группу исходных данных в стандартные ячейки, т. е. осуществляет В. в. в с. я. Принято наз.

его оператором *засылки* и обозначать символом «З». При использовании В. в. в с. я. изменению подвергается не оператор счета, а оператор засылки. В. в. в с. я. служит как для экономии ячеек памяти машины, занятых под программу, так и для сокращения времени работы машины. Кроме того, В. в. в с. я. часто применяется при использовании подпрограмм. Следует отметить, что В. в. в с. я. не всегда приводит к экономии ячеек ЗУ и времени работы машины. Иногда бывает целесообразно выносить в стандартные ячейки не все исходные данные оператора счета, а только некие из них.

А. М. Бухтияров.

ВЫНУЖДЕННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ (transient part; réponse forcée; erzwungene Komponente, erzwungener Anteil) — установившаяся реакция системы на внешнее *воздействие*, являющаяся частным решением дифференц. ур-ния, определяющего изменение к.-л. из обобщенных координат, а следовательно, и *регулируемой величины* САР. В частном случае в устойчивой линейной системе, если внешнее воздействие $f(t)$ представляет собой гармонич. ф-цию, т. е. может быть представлено в виде $f(t) = f_0 \cos(\omega t + \psi)$ (где ω — угловая частота, f_0 — амплитуда, ψ — начальная фаза), то решение будет состоять из затухающего переходного процесса и В. с., равной $f_0 A(\omega) \cos[\omega t + \psi + \varphi(\omega)]$, где $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ — соответственно амплитудная и фазовая характеристики системы.

Б. А. Власюк.

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ (forced oscillations; oscillations forcées; erzwungene Schwingungen) — установившееся движение динамической системы, вызванное стационарным колеб., обычно гармонич., внешним воздействием. Системы, в к-рых имеют место В. к., принадлежат к классу неавтономных и описываются неоднородными дифференц. ур-ниями (ур-ниями «с правой частью»), напр.

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = f(t).$$

Здесь $x = x(t)$ — исследуемая переменная; $f(t)$ — внешнее воздействие; a_n, \dots, a_0 — коэффициенты.

Параметры В. к. определяются свойствами системы и характером внешнего воздействия. В неконсервативных (с потерями) линейных системах с пост. параметрами В. к., вызываемые периодич. внешним воздействием, имеют вид периодич. движения, частота к-рого совпадает с частотой внешнего воздействия. При гармонич. внешнем воздействии В. к. в этих системах имеют вид гармонич. движения. Для системы с частотной хар-кой $K(j\omega) = M(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$, при гармоническом внешнем воздействии $f(t) = A \sin \omega t$ или в комплексной форме $F = Ae^{j\omega t}$, гармоническое движение на выходе системы имеет вид: $x(t) = AM(\omega) \sin[\omega t + \varphi(\omega)]$ или в комплексной форме: $x = K(j\omega)F = AM(\omega)e^{j[\omega t + \varphi(\omega)]}$. В линейных и нелинейных колебательных системах, в области частот, близких к собственной частоте системы, наблюдается явление резонанса: увеличение амплитуды В. к. при неизм. амплитуде внешнего воздействия.

Аналогичные резонансу явления имеют место в почти гармонич. автоколебат. системах при захватывании, синхронизации автоколебаний внешним периодич. воздействием. Особую разновидность таких явлений пред-

ставляет резонанс n -го рода — явление захвата автоколебаний субгармониками внешнего воздействия. При резонансе n -го рода В. к. имеют вид периодич. процесса, частота к-рого в целое число раз меньше частоты внешнего воздействия. Подобным образом при определенных условиях достигается деление частоты в дробном отношении.

Лит.: Мандельштам Л. И., Полное собрание трудов, т. 4 [Лекции по колебаниям], М., 1955; Теодорчик К. Ф., Автоколебательные системы, 3 изд., М.—Л., 1952; Хаяси Т. и Хиро, Вынужденные колебания в нелинейных системах, пер. с англ., М., 1957. М. М. Силкин.

ВЫПРЯМИТЕЛЬ (rectifier; redresseur; Gleichrichter) — *вентильный преобразователь* перем. тока в постоянный. В. играют большую роль в технике, т. к. произ-во и распределение электрич. энергии экономичнее на трехфазном токе, а мн. виды электроустановок требуют для своего питания пост. ток. В. практически вытеснили электромаш. преобразователи переменного тока в постоянный в системах питания электролизных устройств, сетей постоянного тока промышленных предприятий, тяговых контактных сетей, в зарядных агрегатах, при питании сварочной дуги и в др. видах электротехнологии. В. являются также составной частью практически всех электронных устройств связи и автоматики, будучи источниками питания, встроенными в осн. устройство или выполненными в виде отдельных блоков общего применения. В. широко используются не только для преобразования вида энергии, как указывалось выше, но и для преобразования сигнала в измерит. и автоматич. устройствах. Так, они входят составной частью в электроизмерит. приборы выпрямит. системы; В. по существу являются мн. виды детекторов (демодуляторов), в т. ч. *выпрямители фазочувствительные*. К В. обычно относят не только вентильные, но и контактные преобразователи перем. тока в постоянный. Интенсивно разрабатывавшиеся с 1941 вращающиеся контактные (механич.) В. сейчас уступают место полупроводниковым выпрямителям (особенно кремниевым). Контактные В. с колеблющимся якорем, составляющие часть *вибропреобразователей*, постепенно теряют свое значение.

Осн. преимущество В. по сравнению с электромашинными преобразователями — в меньших первонач. капиталовложениях и эксплуат. расходах (более высокий кпд и более простой уход). Подобными же причинами объясняется постоянно происходящая смена одних видов вентилей другими.

По видам применяемых вентилей В. разделяются на *кентронные выпрямители*, газотронные, тиратронные, *ртутные выпрямители* и *полупроводниковые выпрямители*. Кентронные, газотронные и неуправляемые ртутные В. вытесняются полупроводниковыми. ПП выпрямители получили преимуществ. распространение в В. сигналов, т. к. ПП вентили имеют наименьшее, в сравнении с др. типами вентилей, прямое падение напряжения, и в В. сигнала нет необходимости в высоком обратном напряжении, хотя ПП вентили имеют наибольшие обратные токи, подвержены старению и нестабильны в др. отношениях.

Область наиболее высоких напряжений при малых токах (примерно до 1 а — испытат. устройства, рентгеновские аппараты и т. п.) в основном обеспечивается кентронными и

полупроводниковыми В. с умножением напряжения (см. *Выпрямитель однофазного тока*).

Полупроводниковые В. различных типов целесообразно применять для источников питания на малые токи при умеренных напряжениях, а также в устройствах для зарядки аккумуляторов и в неуправляемых В. общепром. применения, где они заменяют широко распространенные до последнего времени ртутные В. с вентилями со стеклянным и запаянным металлич. корпусом.

В мощных преобразоват. установках для питания электролизных произ-в и электрифициров. транспорта в тех случаях, когда не требуется изменения выпрямл. напряжения в широких пределах, применяются ртутные и полупроводниковые В., причем имеется тенденция к вытеснению ртутных В.

В области мощных управляемых выпрямителей преобладающую роль играют ртутные В., к-рые обеспечивают получение больших мощностей и высокую перегрузочную способность. Кремниевые управляемые вентили начинают успешно вытеснять тиратроны и магнитные усилители в управляемых В. соразмерной им мощности (*квт*).

Лит.: Каганов И. Л., Промышленная электроника, М.—Л., 1961; Засорин С. Н. [и др.], Ионные и электронные преобразователи, под ред. М. А. Чернышева, М., 1961; Аксенов В. Н., Выпрямители и трансформаторные подстанции, М., 1961. И. В. Антик.

ВЫПРЯМИТЕЛЬ ОДНОФАЗНОГО ТОКА (single phase rectifier; redresseur monophasé; Einphasengleichrichter, einphasiger Gleichrichter) — устройство, преобразующее однофазный перем. ток в постоянный. В промышл. установках во избежание несимметричной нагрузки трехфазных сетей электроснабжения мощность В. о. т. обычно не превышает неск. *квт* и только в спец. случаях достигает сотен и тыс. *квт* (напр., в электровозах перем. пост. тока).

Осн. элементы В. о. т.— выпрямит. тр-р, электр. вентили и сглаживающий фильтр. В качестве вентилях применяются *кенотроны* (выпрямители мощностью до неск. сот *вт*), ПП вентили (см. *Диод полупроводниковый*), газотроны и тиратроны (установки до неск. десятков *квт*).

Осн. схемы В. о. т. даны на рис. 1—3, а соотношения токов, напряжений и мощностей в этих схемах для чисто активной нагрузки — в табл. Однополупериодная однофазная схема (рис. 1) используется только в маломощных устройствах с емкостным или индуктивным сглаживающим фильтром. Преимущества ее — простота и малое число вентилях, недостатки — большая расчетная мощность тр-ра, наличие в его сердечнике пост. магнитного потока вынужденного намагничивания, большие пульсации выпрямл. напряжения и высокое обратное напряжение на вентиле, имеющее место при емкостном сглаживающем фильтре.

При работе однополупериодной схемы на активно-индуктивную нагрузку (рис. 1, а) выпрямл. ток затягивается в область отрицат. полуволны напряжения; ср. значение выпрямл. напряжения $U_d = \frac{1 - \cos \lambda}{\sqrt{2} \pi} E_2$, где λ — угол продолжительности работы вентиля, зависит от соотношения параметров цепи нагрузки ωL_d и R_d и определяется при помощи расчетного графика рис. 4; E_2 — действующее значение напряжения вторичной

обмотки; ω — угловая частота в питающей сети.

Для сглаживания выпрямл. тока параллельно полезной нагрузке R_d подключают емкость C . Кривые напряжений и токов в схеме для

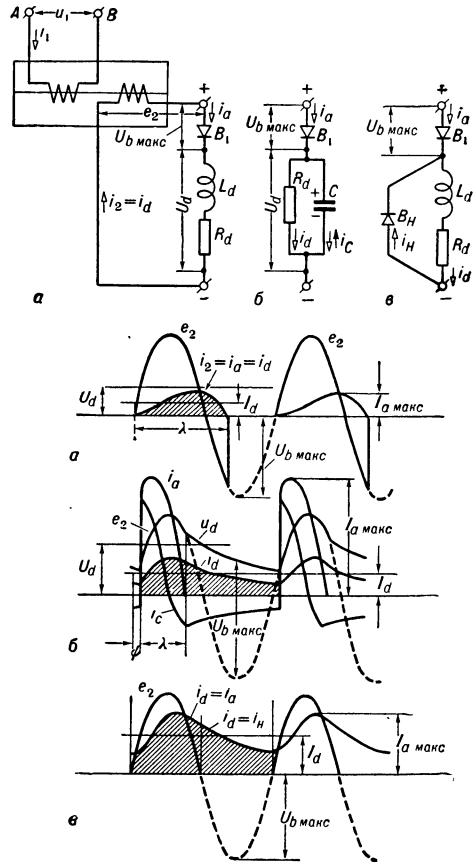


Рис. 1. Однополупериодная однофазная схема выпрямителя и кривые токов и напряжений в ее элементах: а — при активно-индуктивной нагрузке; б — при активно-индуктивной нагрузке, шунтированной емкостью; в — при активно-индуктивной нагрузке, шунтированной нулевым вентилем.

этого случая приведены на рис. 1, б. Продолжительность работы вентиля определяется углом λ , а в последующее время периода через нагрузку R_d протекает разрядный ток i_C емкости C . Как следует из рис. 1, б, наличие емкости уменьшает время проводимости вентиля и приводит к значит. импульсам тока i_C , что недопустимо для ионных вентилях с накаливаемым катодом и в ряде случаев для германиевых и кремниевых вентилях. Из рис. 1, б следует, что макс. обратное напряжение на вентиле $U_{в макс}$ также велико и в предельном случае может иметь двойное амплитудное значение вторичного напряжения тр-ра. Схема рис. 1, б получила широкое применение при использовании в ней кенотронов и в некоторых случаях селеновых вентилях, обладающих большим внутр. сопротивлением, ограничивающим пики тока вентиля.

Весьма эффективное сглаживание тока нагрузки получают при использовании нулевого вентиля B_H (рис. 1, в). Нулевой вентиль при значит. индуктивности цепи нагрузки обеспечивает (за счет разряда электромагнит-

ной энергии, накопленной индуктивностью) непрерывный характер выпр. тока, что позволяет исключить сглаживающий фильтр. Схемы с нулевыми вентилями применяются для питания обмоток пост. тока релейных и контакторных аппаратов и др. устройств автоматики. Большое снижение расчетной мощности тр-ра схемы рис. 1, в достигается использованием второго выпрямителя, к-рый подключается ко вторичной обмотке тр-ра параллельно первому, но имеет рабочий вентиль противоположной полярности.

Наиболее часто применяются В. о. т., выполненные по двухполупериодной схеме с выводом ср. точки (рис. 2) или по однофазной мостовой схеме (рис. 3). В однофазной мостовой схеме при равных с нулевой схемой выпр.м. напряжения можно применить вентили со вдвое меньшими макс. обратными напряжениями. Схема с выводом ср. точки требует вдвое меньше вентиля, чем мостовая, и имеет общий катод, что позволяет использовать общий источник накала катодов. Поэтому схема с выводом ср. точки применяется в выпрямителях малой и ср. мощности, у к-рых вентили имеют накаливаемый или общий ртутный катод (кенотроны, газотроны, двуханодные ртутные вентили). Мостовые схемы целесообразно использовать в сочетании с ПП вентилями и, особенно, когда вентильное плечо набирается из неск. последовательно включенных вентиля с малым обратным напряжением. В этом случае общее число вентиля у обеих схем одинаково, но для мостовой схемы требуется более легкий тр-р.

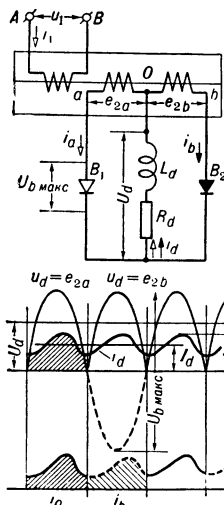


Рис. 2

Рис. 2. Двухполупериодная схема выпрямителя с выводом ср. точки и кривые напряжений и токов в ее элементах.

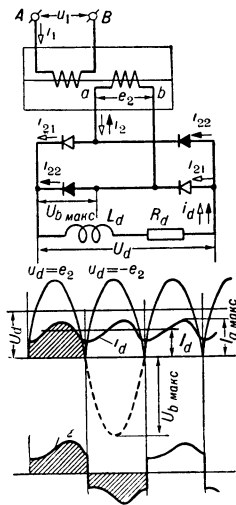


Рис. 3

Рис. 3. Двухполупериодная однофазная мостовая схема выпрямителя и кривые напряжений и токов в ее элементах.

В табл. приведены расчетные параметры двухполупериодных схем для чисто активной нагрузки. При работе этих схем на активно-индуктивную нагрузку пульсации выпр.м. тока зависят от соотношения ωL_d и R_d в цепи нагрузки и уменьшаются с увеличением индуктивности, что позволяет использовать по-

следнюю в качестве сглаживающего фильтра (рис. 4 и 5).

Рассмотренные выше расчетные соотношения и кривые используются при анализе маломощных выпрямителей и не учитывают индуктивных сопротивлений обмоток тр-ров. В выпрямителях ср. и большой мощности эти индуктивности существенно влияют на режим работы. В. о. т. для этого случая рассчитываются также, как выпрямители трехфазного тока.

В. о. т. с умножением напряжения (рис. 6) позволяют не только выпр.м., но и многократно умножать выпр.м. напряжение. При применении маломощных ПП вентиля с их помощью получают без тр-ра при напряжениях сети 127—220 в выпр.м. напряжения 300—500 в при токах нагрузки до 100—150 мА. При

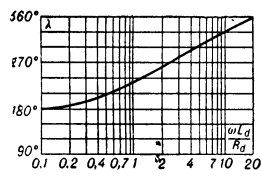


Рис. 4. Продолжительность работы вентиля в однополупериодной схеме в зависимости от соотношения $\omega L_d/R_d$ цепи нагрузки.

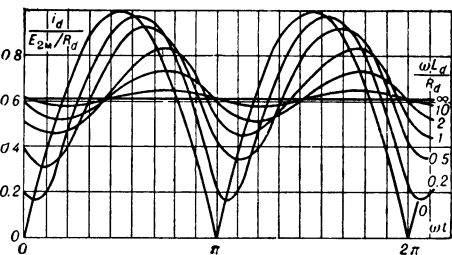


Рис. 5. Кривые выпрямленного тока двухполупериодных схем с активно-индуктивной нагрузкой при различных отношениях $\omega L_d/R_d$.

применении рентгеновских кенотронов на обратное напряжение 220 кВ получают напряжения до 500—600 кВ, а в нек-рых установках и выше при мощностях В. о. т. неск. кВт.

В схемах умножения используют свойства конденсатора накапливать и в течение нек-рого времени сохранять электрич. заряд, что позволяет при последоват. включении заряд. конденсаторов получить на выходе результирующее напряжение, равное сумме напряжений отдельных конденсаторов. Недостатком схем умножения является резко падающая внешняя хар-ка. Это ограничивает применение высоковольтных схем умножения работой либо в режиме холостого хода (установки для испытания электрич. изоляции), либо при токах, не превышающих 100—150 мА (рентгеновские установки, электронные осциллографы, телевиз. установки и пр.).

На рис. 6 приведены схемы и внешние хар-ки наиболее употребит. низковольтных бестрансформаторных В. о. т. с умножением напряжения. Они могут использоваться для заряда конденсаторов либо одну (однополупериодные схемы), либо две (двухполупериодные схемы) волны тока сети. Двухполупериодные схемы имеют четную кратность умножения, обла-дают меньшими пульсациями и большей жесткостью внешней хар-ки по сравнению с однополупериодными схемами той же кратности, но требуют неск. большей расчетной мощности емкостей.

Основные соотношения напряжений, токов и мощностей
в выпрямительных схемах однофазного тока

Схемы выпрямления		Однополупериодная однофазная	Двухполупериодная с выделом сф. точки	Двухполупериодная однофазная мостовая
Основные соотношения		$\frac{E_2}{U_d}$	2,22	1,11
Вторичная обмотка	Относит. действующее значение вторичного напряжения	$\frac{I_2}{I_d}$	1,57	0,78
	Относит. действующее значение вторичного тока	$\frac{P_2}{P_d}$	3,49	1,74
	Относит. расчетная мощность вторичной обмотки	$\frac{I_1}{I_d}$	$\frac{1,21}{K_T^*}$	$\frac{1,11}{K_T^*}$
Первичная обмотка	Относит. действующее значение первичного тока	$\frac{P_1}{P_d}$	2,69	1,23
	Относит. расчетная мощность первичной обмотки	$\frac{P_T}{P_d}$	3,09	1,48
Типовая или расчетная мощность тр-ра		$\frac{I_{a\text{ср}}}{I_d}$	1,00	0,50
Относит. ср. значение тока через вентиль		$\frac{I_{a\text{макс}}}{I_d}$	3,14	1,57
Относит. макс. значение тока через вентиль		$\frac{U_{b\text{макс}}}{U_d}$	3,14	1,57
Относит. макс. обратное напряжение на вентиле		$K\phi$	1,57	1,11
Коэфф. формы выпр-м. напряжения		W	1,21	0,48
Волнистость выпр-м. напряжения		f	50	100
Частота гармонической 1-й кратности (гц)		$\frac{U_{(1)d}}{U_d}$	1,57	0,66
Отношение амплитуд гармонических составляющих к постоянной	Гармоническая 1-й кратности	$\frac{U_{(2)d}}{U_d}$	0,66	0,13
	Гармоническая 2-й кратности	$\frac{U_{(3)d}}{U_d}$	0,23	0,06
	Гармоническая 3-й кратности			

* K_T — отношение чисел витков первичной и вторичной обмоток.

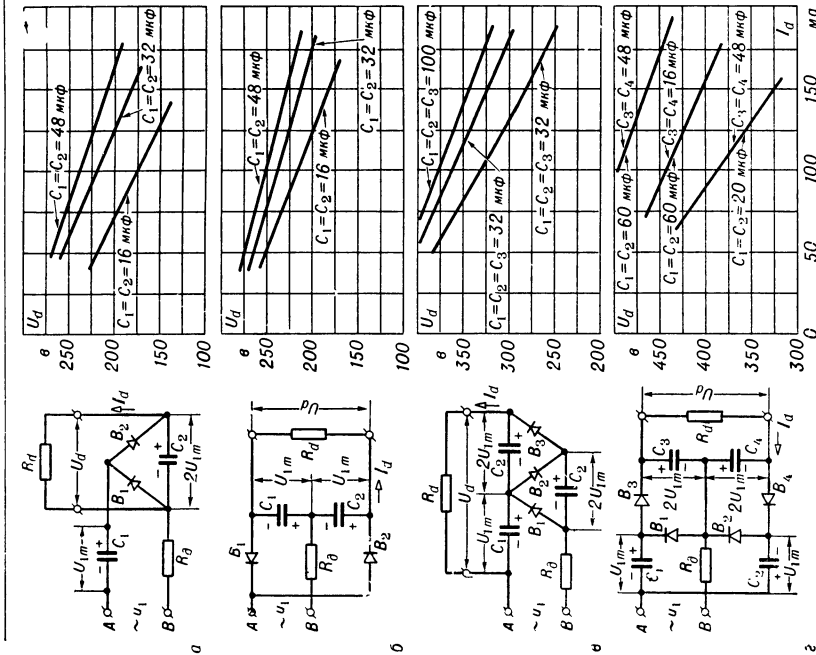


рис. 6. Бестрансформаторные однофазные выпрямители, схемы с умножением напряжения и их шенные хар-ки: а — однополупериодная схема удвоения напряжения; б — двухполупериодная схема удвоения напряжения; в — однополупериодная схема утроения напряжения; г — двухполупериодная схема утроения напряжения.

Для ограничения пусковых токов схем умножения, к-рые из-за емкостного характера нагрузки могут достигать высоких значений и вызвать пробой вентилях, в цепь питания выпрямителя включается токоограничивающее сопротивление величиной в неск. десятков ом. Сравнит. внешние хар-ки схем (рис. 6) построены для сетевого напряжения в 120 в и для случая использования селеновых вентилей.

Лит.: Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 1-3, М.—Л., 1950-56; Терентьев Б. П., Электропитание радиоустройств, М., 1948; Рогинский В. Ю., Электрическое питание радиотехнических устройств, М.—Л., 1957; Дольник А. Г., Выпрямители с умножением напряжения, М.—Л., 1952.

О. А. Мавский.

ВЫПРЯМИТЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

(threephase rectifier; redresseur triphasé; Dreiphasengleichrichter, dreiphasiger Gleichrichter) — устройство, преобразующее трехфазный перем. ток в постоянный. Применяется при ср. и больших мощностях установок. Первичная обмотка тр-ров всегда 3-фазная и соединяется в звезду или треугольник, а общее число фаз вторичных обмоток кратно трем. Вентильные схемы бывают однотактные (в фазах вторичных обмоток ток проходит только в одном направлении) и двухтактные — мостовые (ток проходит в двух направлениях).

Выражение пост. составляющей E_{d0} выпрямл. напряжения при хх для всех схем имеет вид:

$$E_{d0} = \frac{m}{\pi} U_{d \max} \sin \frac{\pi}{m},$$

где m — число пульсаций выпрямл. напряжения, $U_{d \max}$ — амплитуда выпрямл. напряжения. Наиболее распространены схемы след. В. т. т.:

Трехфазная однотактная схема выпрямления (рис. 1). Аноды 3 вентилей (или 3 анода 3-фазного вентиля) присоединены к вторичным фазам тр-ра. Когда вторичные фазные напряжения имеют наибольшие положит. значения, анодные токи проходят через фазы и, суммируясь, образуют выпрямл. ток. В каждой точке пересечения

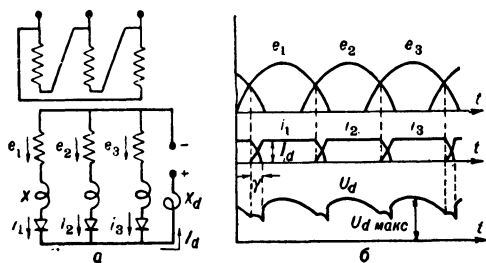


Рис. 1. Трехфазная схема выпрямления: а — схема Δ/Δ ; б — линейные диаграммы.

кривых вторичных напряжений зажигается очередной вентиль; благодаря индуктивности тр-ра, анодный ток этого вентиля возрастает, а в уже горящем вентиле уменьшается и спустя γ (угол коммутации) становится равным нулю. Величина угла γ зависит от индуктивности тр-ра и тока нагрузки. Постоянно существующая разность намагничивающих сил (НС) на стержнях тр-ра создает нескомпенсированную НС и соответственно во всех 3 сердечниках — пост. однонаправленный магнитный поток, наличие которого приводит к необходимости увеличения сечения магнитной

системы. При соединении первичной обмотки в звезду в каждом сердечнике, кроме постоянных НС, нескомпенсированы также НС тройной частоты, к-рые создают перем. магнитный поток. Когда первичная обмотка соединена в треугольник, НС тройной частоты скомпенсированы. Для достижения полной компенсации НС вторичную обмотку соединяют зигзагом (рис. 2), при этом первичную обмотку можно соединять в звезду. На каждом сердечнике как постоянные НС, так и НС тройной частоты двух вторичных обмоток скомпенсированы, и поэтому отсутствуют однонаправл. потоки. Подобное улучшение свойств схемы достигается за счет дополнитель. затраты меди.

В 3-фазных схемах $E_{d0} = 1,17 E_2$, где E_2 — действующее значение вторичного фазного напряжения. При увеличении нагрузки E_d уменьшается в связи с ростом угла коммутации: $E_d = E_{d0} (1 - A u_k \frac{I_d}{I_{dH}})$, где u_k — напряжение короткого замыкания тр-ра; A — пост. коэфф. (см. табл.).

Трехфазная двухтактная (мостовая) схема (рис. 3). Тр-р соединен по схеме Y/Y (или любой другой). Вентили с нечетными номерами соединены своими катодами и образуют катодную группу, а вентили с четными номерами — анодами и образуют анодную группу. Если принять индуктивное сопротивление кз тр-ра, приведенное ко вторичной обмотке $x=0$, то в любой

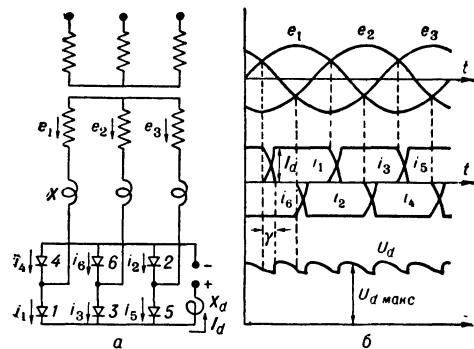


Рис. 3. Трехфазная мостовая схема: а — схема; б — линейные диаграммы.

момент времени ток будут пропускать 2 последовательно соединенных между собой вентиля, относящиеся к разным группам: катодной и анодной. Эти вентили замыкают цепь через обмотки тех вторичных двух фаз, напряжение между к-рыми является наибольшим в данном интервале времени. В результате такой очередности горения вентилей $m=6$,

$$U_{d \max} = \sqrt{6} E_2, \quad E_{d0} = 2,34 E_2.$$

При $x \neq 0$ в определ. интервале времени (время коммутации) одновременно пропускают ток 3 вентиля: 2 из одной группы и один из

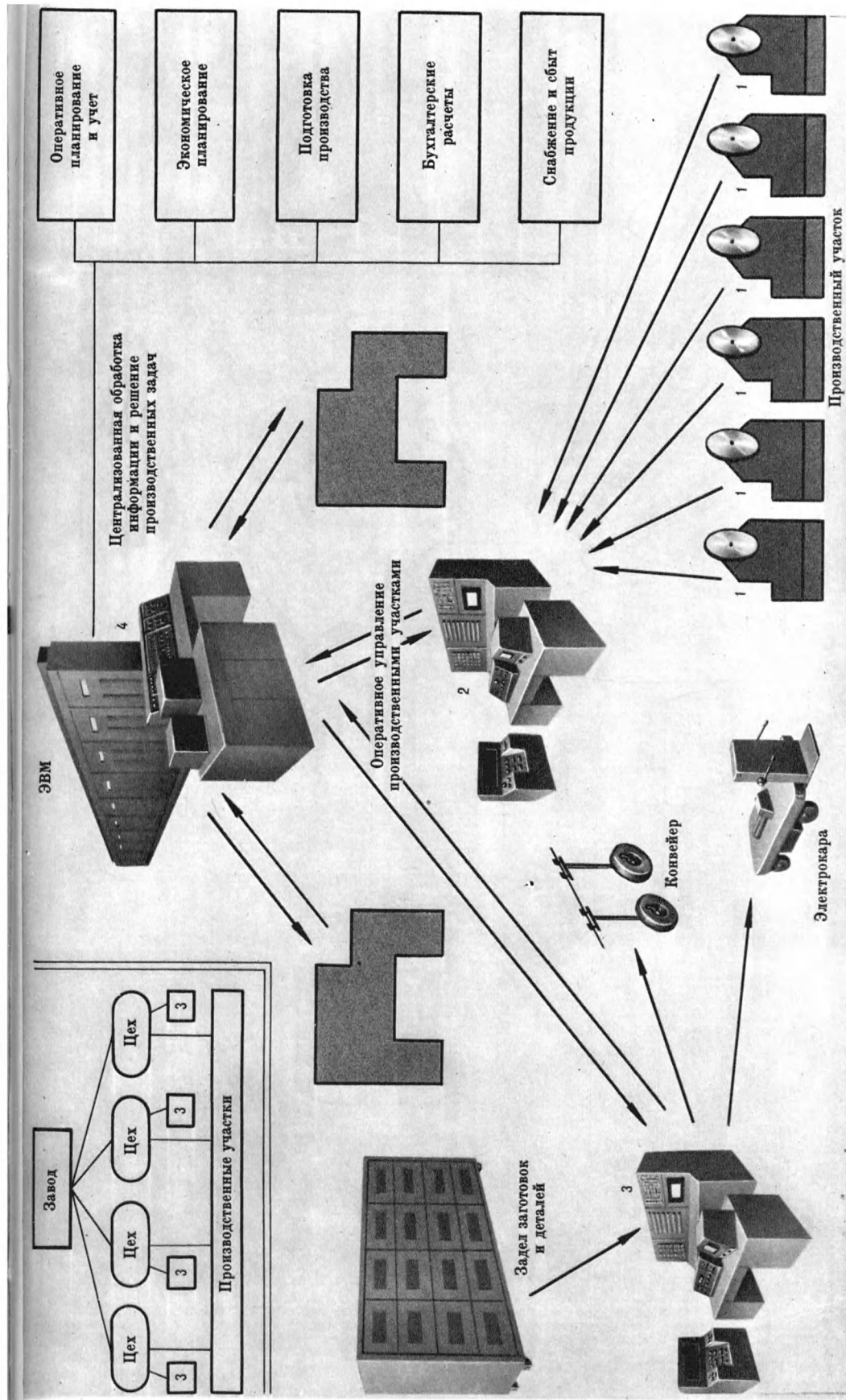
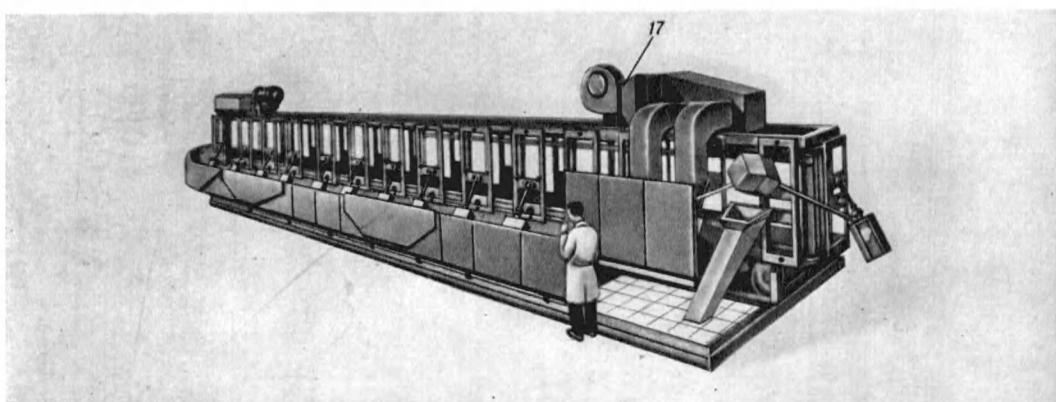
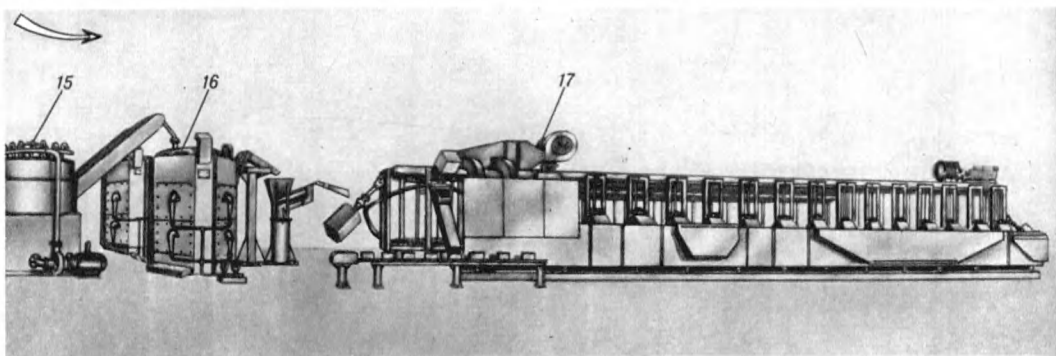
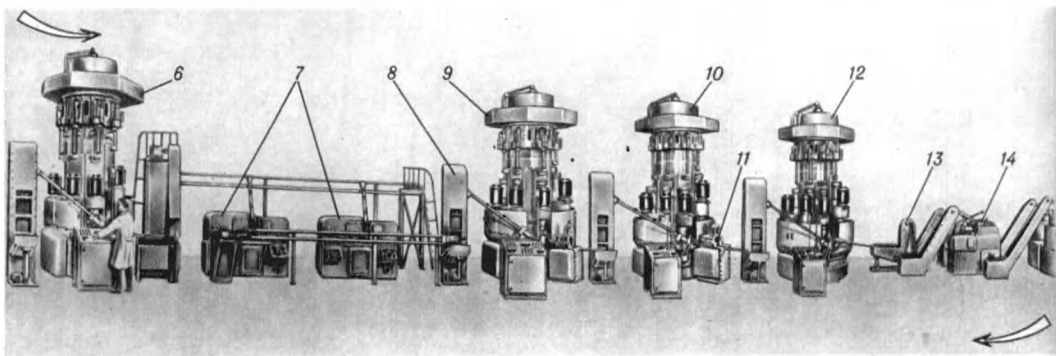
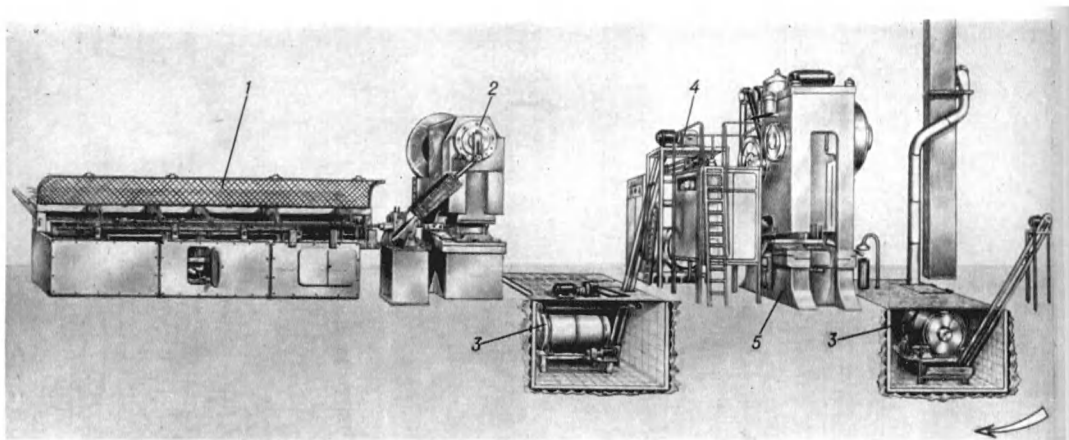


Схема оперативного управления машиностроительным производством: 1 — пульты для сбора производственной информации (запуск и выпуск деталей, работа оборудования и др.); 2 — участковые пульты управления; 3 — цеховой пульт управления; 4 — вычислительный центр завода с электронными вычислительными машинами (ЭВМ). Автоматически непрерывно контролируются и регулируются ход производственного процесса на участках, межсекционный подача деталей, наличие запасов. Первичный счет деталей также автоматизирован. Подстажные производственные программы и цехов расчеты выполняются на ЭВМ. Схема разработана Научно-исследовательским ин-том технологии автомобильной промышленности и Автомобильным заводом им. Лихачева. Систему внедряют: Автомобильный завод им. Лихачева, Московский завод малолитражных автомобилей, Заволжский моторный завод, Ярославский моторный завод, Ярославский завод им. Лихачева.



Автоматическая линия изготовления внутренней гайки заднего колеса грузового автомобиля: 1 — автоматический стеллаж для пруткового материала; 2 — пресс рубки заготовок; 3 — подземный гальтовочный барабан; 4 — установка для нагрева заготовок токами высокой частоты; 5 — пресс выдавливания; 6 — восьмишпиндельный токарный автомат; 7 — бесцентрово-шлифовальные станки; 8 — бункер; 9 — восьмишпиндельный зенкеральный автомат (черновой); 10 — восьмишпиндельный зенкеральный автомат (чистовой); 11 — контрольный автомат; 12 — восьмишпиндельный резьбонарезной автомат; 13 — разделитель потоков; 14 — два резьбонакатных автомата; 15 — мощно-сушильный автомат; 16 — агрегат газового диамирования; 17 — агрегат цинкования.

другой. В схеме отсутствуют нескомпенсированные НС. Преимущества схемы: меньшая пульсация выпр. напряжения, малая амплитуда обратного напряжения $U_{b \text{ макс}}$, малая расчетная мощность тр-ра. Т. к. ток в мостовой схеме проходит через 2 последовательно соединенных вентиля, то падение напряжения удвоенное, что при малых E_d существенно уменьшает кпд установки. В случае применения германиевых или кремниевых вентилях, имеющих малое падение напряжения, схему можно использовать и при низких напряжениях.

Шести фазная однотактная схема с уравнил. реактором (схема «две обратные звезды с уравнил. реактором»). Установка (рис. 4) состоит из 3-обмоточного тр-ра, соединенного по схеме

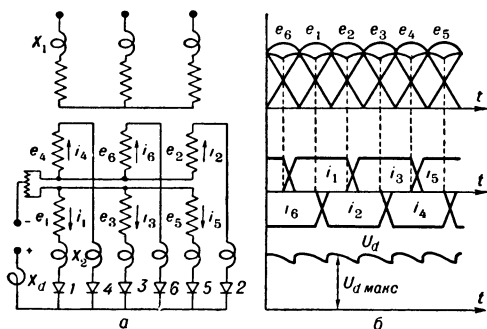


Рис. 4. Шести фазная схема выпрямления с уравнил. реактором: а — схема; б — линейные диаграммы.

$\Delta/\Delta Y$, и 6 вентилей. Образуются 2 группы фазных обмоток, каждая с 3 вентилями. Каждая группа работает так же, как 3-фазная однотактная схема. Т. к. пульсации выпр.м. напряжений групп сдвинуты между собой на 60° , то для параллельной работы необходимо между нулевыми точками этих групп включить уравнил. реактор. Если принять $\gamma=0$, то в каждый момент времени ток проходит через 2 параллельно включ. вентиля, принадлежащих к разным группам. Через каждые 120° коммутирует смежные фазы, принадлежащие к одной и той же группе. Равные рабочие токи группы по ветвям уравнил. реактора проходят в разных направлениях. Число пульсаций выпр.м. напряжения $m=6$. Схема практически магнитно уравновешена.

Кроме рассмотренных выше схем выпрямителей 3-фазного тока, существуют 12-фазные, 18-фазные, 24-фазные и др. однотактные и двухтактные схемы [3—7].

ми установками, М.—Л., 1946; 3) Ш л я п о ш н к о в Б. М., Игнитронные выпрямители, М., 1947; 4) Ч е р н ы ш е в М. А., Инвертирование тока на тяговых подстанциях, М., 1950; 5) Ш и л л и н г В., Схемы выпрямителей, инверторов и преобразователей частоты, пер. с нем., М.—Л., 1950; 6) Г л я з е р А. и М ю л л е р — Л ю б е к К., Теория электронных и ионных преобразователей тока, пер. с нем., М., 1938; 7) Р а з м а д з е Ш. М., Электромагнитные процессы в системах с мощными преобразовательными установками, Тбилиси, 1960. Ш. М. Размадзе.

ВЫПРЯМИТЕЛЬ ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ, демодулятор, фазовый дискриминатор, фазовый детектор [phase sensitive rectifier (detector); redresseur sensible à la phase; Phasenempfindlicher Gleichrichter], — устройство, преобразующее перем. напряжение (синусоидальное или несинусоидальное) в напряжение, содержащее пост. составляющую, знак которой зависит от сдвига фаз между входным и вспомогательным (т. н. опорным) напряжением. Пост. составляющая выходного напряжения может наблюдаться только в том случае, когда частота выпрямляемого напряжения ω_1 равна или кратна нечетным гармоникам частоты опорного напряжения ω_0 , т. е. $\omega_1 = (2n-1)\omega_0$, где $n=1, 2, 3, \dots$. В. ф. применяется в следящих системах, автоматич. регуляторах, в устройствах для автоконтроля и т. д.

В однополупериодном В. ф. (рис. 1, а) входной сигнал U_1 подается на первичную обмотку тр-ра Tr_1 . На тр-р Tr_2 подается опорное напряжение U_0 той же частоты, что и U_1 . Выходное напряжение U_2 снимается с сопротивлений R .

Пусть U'_1 совпадает по фазе с U'_0 (рис. 1, б) и, кроме того, $U'_1 < U'_0$. В положит. полупериод U'_0 через вентили D_1 и D_2 протекают токи i_1 и i_2 . Т. к. в цепи D_1 напряжения U'_0 и U'_1 включены согласно, а в цепи D_2 — встречно, то $i_1 > i_2$. Выходное напряжение $u_2 = (i_1 - i_2)R$ будет положительным. В отрицат. полупериод U'_0 вентили заперты, $u_2 = 0$. Пост. составляющая U_{2cp} имеет положительный знак.

Если U'_1 сдвинута по фазе относительно U'_0 на 180° (рис. 1, в), то в проводящий полупериод $i_2 > i_1$ и напряжение u_2 отрицательно. В отрицат. полупериод опорного напряжения $u_2 = 0$. Пост. составляющая U_{2cp} имеет отрицат. знак.

Пост. составляющая U_{2cp} изменяется линейно с U'_1 (рис. 1, г). При $U'_1 = U'_0$ наблюдается насыщение хар-ки. Если $U'_1 > U'_0$ и фазовый сдвиг между ними отсутствует, в положит. полупериод U'_0 проводит вентиль D_1 , а в от-

Основные параметры выпрямителей трехфазного тока

Наименование схемы	$\frac{I_a}{I_d}$	$\frac{I_{a \text{ макс}}}{I_a}$	$\frac{U_{b \text{ макс}}}{E_d}$	$\frac{E_2}{E_d}$	$\frac{P_1}{P_d}$	$\frac{P_2}{P_d}$	$\frac{P_T}{P_d}$	A
3-фазная однотактная схема (Δ/Δ)	0,33	3,63	2,09	0,855	1,21	1,48	1,345	0,87
3-фазная однотактная схема (X/Z)		3,14	1,045	0,427	1,045	1,71	1,46	0,87
3-фазная мостовая схема						1,045	1,045	0,5
6-фазная схема с уравнил. реактором	0,166	6,28	2,478	0,855	1,045	1,48	1,26	0,5

Лит.: 1) Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 1, М.—Л., 1950, ч. 3, М.—Л., 1956; 2) К о с т е н к о М. П. [и др.], Электромагнитные процессы в системах с мощными выпрямительными

рицательный — D_2 . Приращение тока i_1 , вызванное увеличением U'_1 , будет равно приращению тока i_2 . Разность токов, а следовательно и

пост. составляющая U_{2cp} , не изменяются с ростом входного сигнала U_1 .

Если между входным и опорным напряжениями наблюдается фазовый сдвиг ϕ , то пост. составляющая выходного напряжения U_{2cp} будет связана с U_1 в зоне пропорционально-

няться и по кольцевой схеме (рис. 3). К первичной обмотке T_1 подводится входной сигнал U_1 , а к первичной обмотке T_2 — U_0 . С нагрузочного сопротивления R снимается u_2 .

Пусть U_1 совпадает по фазе с U_0 и $U_0 > U_1$. В положит. полупериод U_0 контурный ток

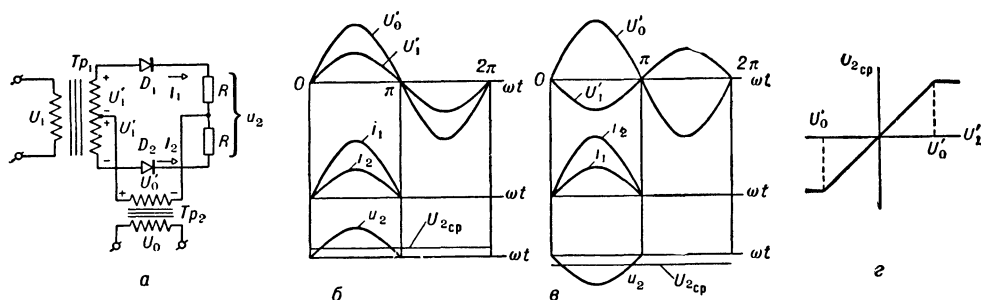


Рис. 1. Схема однополупериодного фазочувствит. выпрямителя и кривые изменения токов и напряжения в течение периода.

сти ур-нием $U_{2cp} = KU_1 \cos \phi$, где $K = \sqrt{2}/\pi$ при условии, что активные сопротивления вторичных обмоток тр-ров равны нулю и вентили имеют нулевое прямое и бесконечное обратное сопротивление. Для сглаживания пульсаций u_2 на выходе В. ф. ставят обычно фильтр (напр., шунтируют R емкостями).

В двухполупериодном В. ф. (рис. 2, а) токи в нагрузочных сопротивлениях R протекают как в положительный, так и в отрицательный полупериод U_0 , чем достигается уменьшение пульсаций u_2 . Полярность напряжений на обмотках тр-ров и направления токов обозначены на схеме для положит. полупериода U_0 в предположении, что U_1 совпадает по фазе с U_0 и $U_1 < U_0$. Ток i_1 замыкается через R , секцию а вторичной обмотки T_{p1} , вентиль D_3 и секцию b вторичной обмотки T_{p2} . Ток i_2 — через R , секцию d вторичной обмотки T_{p1} , вентиль D_4 и секцию b вторичной обмотки T_{p2} . В цепи i_1 напряжения U_0 и U_1 складываются, а в цепи i_2 — вычитаются. Поэтому $i_1 > i_2$ (рис. 2, б) и выходное напряжение u_2 положительно. В отрицат. полупериод U_0 ток i_1 проходит через вентиль D_2 , а i_2 — через D_1 . Полярность напряжений на обмотках для отрицат. полупериода указана на схеме в скобках, а направления токов — пунктирными линиями. В отрицат. полупериод также имеют место $i_1 > i_2$ и положит. знак выходного напряжения.

При фазовом сдвиге между U_0 и U_1 в 180° (рис. 2, в) $i_2 > i_1$ и u_2 становится отрицательным. Хар-ка $U_{2cp} = f(U_1)$ для двухполупериодного В. ф. имеет тот же вид, что и для однополупериодного, с той лишь разницей, что для двухполупериодной схемы коэфф. $K = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}$. Двухполупериодный В. ф. может выпол-

i_1 замыкается через вентиль D_4 , балластное сопротивление r , секцию а вторичной обмотки T_1 , R и секцию а вторичной обмотки T_2 , а контурный ток i_2 — через R , секцию а вторичной обмотки T_1 , r , вентиль D_3 и секцию b вторичной обмотки T_2 . В цепи тока i_1 U_0 и U_1 направлены согласно, а в цепи i_2 — встречно

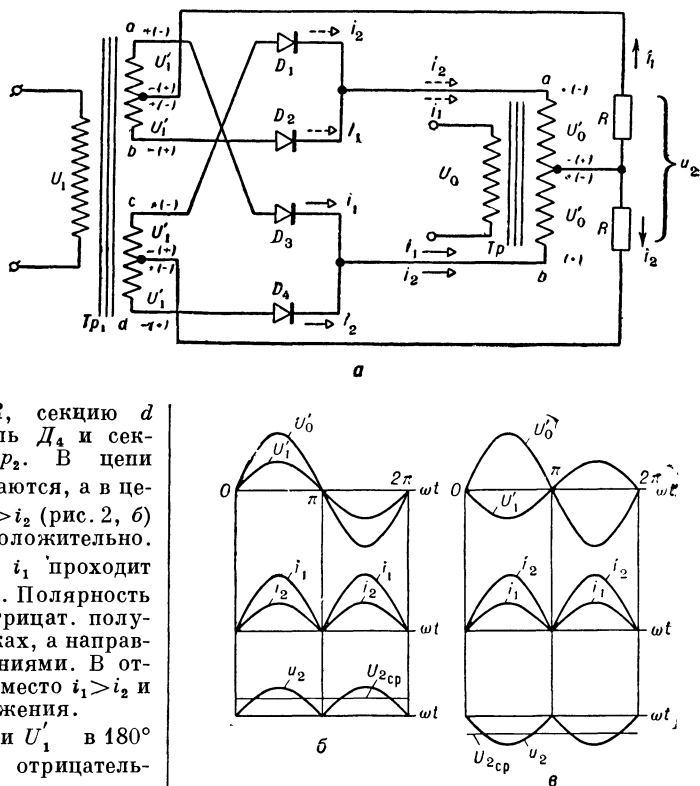


Рис. 2. Схема двухполупериодного фазочувствит. выпрямителя и кривые изменения токов и напряжения в течение периода.

друг другу. Поэтому $i_1 > i_2$ и выходное напряжение $u_2 = (i_1 - i_2)R$ положительно (рис. 2, б).

В отрицат. полупериод U'_0 ток i_1 проходит через вентиль D_2 , а i_2 — через D_1 . Разность токов проходит через секцию b вторичной обмотки T_1 и R . Так же, как и в положит. полупериод, $i_1 > i_2$ и знак u_2 остается положительным.

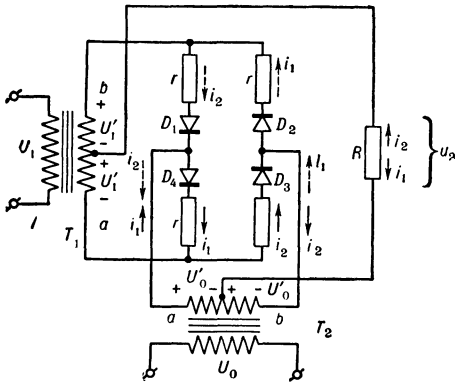


Рис. 3. Схема кольцевого двухполупериодного фазочувствит. выпрямителя.

При фазовом сдвиге между U'_0 и U'_1 в 180° (рис. 2, в) $i_1 < i_2$ и выходное напряжение u_2 становится отрицательным. Хар-ка $U_{2cp} = f(U'_1)$ имеет такой же вид, как и для однополупериодного В. ф., но для кольцевой схемы
$$K = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{1}{1 + \frac{r}{2R}}.$$

Балластные сопротивления r служат для ограничения мощности, потребляемой от источника опорного напряжения и для ограничения токов через вентили.

Е. Л. Львов.

ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР (rectifier instrument; appareil de mesure à redresseur incorporé; Gleichrichter-meßgerät, Meßgerät mit Gleichrichter) — комбинация выпрямляющей цепи с магнитоэлектрической измерительной системой на выходе. В. и. п. дает возможность использовать преимущества магнитоэлектрической системы для измерений в цепях перем. тока. В зависимости от характера выпрямит. цепи и системы возможно измерение почти всех электрических величин. Выпрямляющими элементами обычно служат полупроводниковые (меднозакисные, германиевые, кремневые), реже — механич. выпрямители. В. и. п. с электронными выпрямителями выделяются в самостоят. группу электронных приборов. Комбинация выпрямляющего одно- или двухполупериодного четырехполюсника с однорамочным измерителем дает возможность измерять ток и напряжение, с двухрамочным измерителем (логотроном) и независимым выпрямлением токов в обеих рамках — частоту, емкость, сопротивление на перем. токе и др. Иногда для измерения параметров цепи применяются более сложные В. и. п. мостового типа с однорамочным измерителем. Многополюсные выпрямители, цепи с двумя входами служат для измерения мощности или в качестве фазочувствит. (вектормерных) приборов с неуправляемыми ПП выпрямителями; в этом случае необходимо вспомогат. управляющее напряжение. Механич. выпрямители со вспомогат. управлением по принципу действия являются всегда фазочувствительными и практи-

чески используются только как таковые. Отклонение стрелки измерителя В. и. п. определяет не действующее, как у всех остальных типов приборов, а ср. значение перем. тока. Т. к. шкалы В. и. п. градуируются все же в действующих значениях тока и напряжения, возникает зависимость результата измерения (погрешность) от формы кривой, еще увеличивающаяся за счет нелинейности хар-к ПП выпрямителей. Достоинства В. и. п. — их универсальность, высокая чувствительность. Недостатки — влияние формы кривой, очень большая температурная погрешность и погрешность от старения ПП элементов. Существующие методы компенсации недостаточны, в результате чего выпускаемые серийно В. и. п. пока имеют класс точности 1,0—1,5. В. и. п. применяются для частот до 10—15 кГц. Наибольшее распространение в измерит. практике получили универсальные многопредельные вольтамперметры пост. и перем. тока (часто с приспособлениями для измерения сопротивлений и емкостей) и частотомеры.

Лит.: Карандеев К. Б., Полупроводниковые выпрямители в измерительной технике, Киев, 1954; Арутюнов В. О., Расчет и проектирование электроизмерительных приборов, 2 изд., Л.—М., 1956.

ВЫПУКЛОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (convex programming; programmation convexe; Konvexe programmierung) — методы и теория решения условных экстрем. задач с большим числом переменных, обладающих следующими особенностями: а) минимизируемая (максимизируемая) целевая ф-ция задачи выпукла (вогнута); б) конечная система равенств и неравенств, связывающая перем. задачи (система условий задачи), порождает выпуклое множество. В. п. является одним из основных направлений математического программирования.

Общая задача В. п. состоит в минимизации целевой ф-ции

$$F(X) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

при условиях

$$g_i(X) = g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, i = 1, 2, \dots, m_1; \quad (2) \\ g_i(X) = g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, i = m_1 + 1, \dots, m; \quad (3) \\ x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n_1. \quad (4)$$

Ф-ция $F(X)$ предполагается выпуклой, т. е. такой, что для любых точек $X'(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$, $X''(x''_1, x''_2, \dots, x''_n)$ и числа $\lambda, 0 \leq \lambda \leq 1$,

$$F(\lambda X' + (1 - \lambda) X'') \leq \lambda F(X') + (1 - \lambda) F(X'').$$

Ф-ции $g_i(X)$ для $i = 1, 2, \dots, m_1$ — выпуклы, а для $i = m_1 + 1, \dots, m$ условия (3) линейны. Указанные предположения относительно ф-ций $g_i(X)$ обеспечивают выпуклость области определения задачи (1) — (4) — множества точек $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, подчиняющихся системе ограничений (2) — (4). (Область определения задачи вместе с любыми двумя точками содержит весь отрезок, соединяющий эти точки).

Частным случаем В. п. является линейное программирование [ф-ция $F(X)$ и ограничения (2) линейны] и квадратичное программирование [ф-ция $F(X)$ — сумма линейной и квадратичной форм, ограничения (2) линейны].

Точка $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, удовлетворяющая условиям задачи (2) — (4), наз. планом задачи (1) — (4). План, доставляющий минимум целевой ф-ции (1), — решение задачи (1) — (4).

К общей модели В. п. типа (1) — (4) сводится целый ряд практич. задач, связанных с

выбором оптимального варианта среди обширного множества возможных вариантов. Подобные проблемы возникают в экономике, технике и военном деле. Ниже даны примеры ряда практических задач, укладывающихся в модель В. п.

1. **Обобщенная модель планирования производства.**

Целью произ-ва является выпуск конечных наборов продуктов r видов; в процессе произ-ва потребляется s видов ресурсов. Имеется n заранее отработанных технологич. способов произ-ва. Способ произ-ва с номером j определяется системой чисел $c_{1j}, c_{2j}, \dots, c_{rj}, a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{sj}$, где $c_{ij} (i=1, 2, \dots, r)$ — количество i -го конечного продукта, производимое по j -му технологич. способу в единицу времени; $a_{ij} (i=1, 2, \dots, s)$ — число единиц i -го ресурса, затрачиваемое в процессе использования j -го технологич. способа за единицу времени.

Конечные продукты необходимо производить в заданных пропорциях, определяемых общим объемом произ-ва: v наборов конечных продуктов содержит $\varphi_i(v)$ единиц i -го продукта.

Требуется так распорядиться имеющимися способами произ-ва, чтобы при заданных ресурсах (b_i) получить максимально возможное количество наборов конечных продуктов. Если через x_j обозначить время, в течение k -го произ-во ведется по j -му технологич. способу, то задача сводится к отысканию системы чисел $(x_1, x_2, \dots, x_n, v)$, удовлетворяющих условиям

$$\sum_{j=1}^n c_{ij} x_j \geq \varphi_i(v), \quad i=1, 2, \dots, r; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i=1, 2, \dots, s; \quad (6)$$

$$x_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

и при этом минимизирующих Φ -цию

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n, v) = -v. \quad (8)$$

Если $\varphi_i(v) = \mu_i v$ для всех i , то (5)–(8) превращается в линейную модель планирования произ-ва, предложенную сов. ученым Л. В. Канторовичем. Если же $\varphi_i(v)$ — произвольная выпуклая Φ -ция ($i=1, 2, \dots, r$), то (5)–(8) является задачей В. п. Предположение о выпуклости $\varphi_i(v)$ позволяет учесть зависимость структуры набора конечных продуктов от величины v , что в ряде случаев оказывается необходимым. Полученная задача является частным случаем общей модели (1)–(4), когда целевая Φ -ция линейна, а часть ограничений — нелинейные неравенства.

2. **Задача снабжения при неполной информации о спросе.** Имеется m пунктов произ-ва некоего однородного продукта, причем объем произ-ва i -го пункта равен b_i , ($i=1, 2, \dots, m$). Продукт предназначен для n пунктов потребления; при этом спрос j -го пункта точно не задан, а известна лишь Φ -ция распределения спроса $\varphi_j(x)$ [$\varphi_j(x)\Delta x$ — вероятность того, что спрос в j -м пункте будет заключен в пределах от x до $x+\Delta x$]. Расходы по доставке единицы продукта из i -го пункта произ-ва в j -ый пункт потребления заданы и равны c_{ij} . Условимся, что неудовлетворение спроса в j -ом пункте на Δ единиц продукта связано со штрафом $\alpha_j \Delta$, а превышение потребностей j -го пункта на Δ ведет к штрафу $\beta_j \Delta$.

Требуется так распорядиться продуктом, имеющимся в пунктах произ-ва, чтобы свести

к минимуму сумму транспортных издержек и математич. ожидание штрафов за неточный учет спроса.

Пусть x_{ij} — количество продукта, перевозимое из i -го пункта произ-ва в j -ый пункт потребления. Расходы на перевозки равны

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}.$$

Математич. ожидание штрафов

$$\text{за неточный учет спроса выражается } \Phi\text{-лой}$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n \left[\beta_j \int_0^x (x_j - \tau) \varphi_j(\tau) d\tau + \alpha_j \int_x^\infty (\tau - x_j) \varphi_j(\tau) d\tau \right],$$

где $x_j = \sum_{i=1}^m x_{ij} (j=1, 2, \dots, n)$ — общие поставки в j -ый пункт-потребитель.

Т. о., рассматриваемая задача сводится к минимизации Φ -ции при условиях

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq b_i, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (10)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, m; \quad j=1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

Можно проверить, что Φ -ция (9) выпукла; следовательно, (9)–(11) — задача В. п. с нелинейной целевой Φ -цией и линейными ограничениями.

Задачи В. п. обладают следующим важным свойством: любой локальный минимум задачи одновременно является ее глобальным минимумом. Другими словами, если обнаружен план задачи, к-рый не может быть улучшен за счет малых изменений, то это указывает на его оптимальность. Отмеченная особенность задач В. п. является основой всех существующих методов этой дисциплины. В частности, на ней базируется критерий оптимальности задачи В. п., играющий существенную роль в методах В. п. В дальнейшем предполагается, что Φ -ции $F(X)$ и $g_i(X)$, участвующие в формировании модели (1)–(4), дифференцируемы и ограничения (2)–(4) задачи обладают свойством Слейтера: существует план X , для к-рого $g_i(X) > 0$ при $i=1, 2, \dots, m_1$. Последнее требование — малосуществ. условие, поскольку его можно удовлетворить за счет малых изменений ограничений (2).

Критерий оптимальности задачи В. п. (1)–(4). Для того чтобы точка $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ была решением задачи (1)–(4), необходимо и достаточно существование такой системы чисел $\Lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$, что для пары точек X, Λ выполняются следующие условия:

$$1) \begin{cases} g_i(X) \geq 0, & i=1, 2, \dots, m_1; \\ g_i(X) = 0, & i=m_1+1, \dots, m; \end{cases}$$

$$2) x_j \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, n_1;$$

$$3) \lambda_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, m_1;$$

$$4) g_i(X) \lambda_i = 0, \quad i=1, 2, \dots, m_1;$$

$$5) \begin{cases} \frac{\partial F(X, \Lambda)}{\partial x_j} \geq 0, & j=1, 2, \dots, n_1; \\ \frac{\partial F(X, \Lambda)}{\partial x_j} = 0, & j=n_1+1, \dots, n; \end{cases}$$

$$6) \frac{\partial F(X, \Lambda)}{\partial x_j} x_j = 0, \quad j=1, 2, \dots, n_1.$$

Здесь $F(X, \Lambda) = F(X) - \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(X)$. Точка Λ наз. вектором (точкой) Лагранжа, ф-ция $F(X, \Lambda)$ — ф-цией Лагранжа данной задачи.

Методы В. п. можно разделить на конечные (решение задачи определяется за конечное число одноступенчатых шагов) и итеративные, приводящие к последовательности точек, сходящейся к искомому решению. Отдельный шаг конечного метода сложнее отдельного шага итеративного процесса. Однако для получения решения задачи с приемлемой степенью точности итеративный метод обычно требует существенно большего числа шагов по сравнению с конечным.

Конечные методы. Общая схема любого конечного метода В. п. состоит в следующем. Условия 1—6 критерия оптимальности делятся на две части: условия 1-го рода и условия 2-го рода. На каждом шаге метода (на k -ом шаге) вычисляется пара точек $(X^{(k)}, \Lambda^{(k)})$, удовлетворяющих условиям 1-го рода. Если эта пара точек удовлетворяет также и условиям 2-го рода, то $X^{(k)}$ — искомое решение, $\Lambda^{(k)}$ — точка Лагранжа. В противном случае строится новая пара точек $(X^{(k)}, \Lambda^{(k)})$, k -я удовлетворяет условиям 1-го рода и сокращает (по сравнению с предыдущей парой) значение нек-рой ф-ции — целевой ф-ции метода. Целевая ф-ция метода выбирается так, чтобы ее минимум достигался на паре точек (X, Λ) , из к-рых первая — решение задачи, а вторая — точка Лагранжа. В зависимости от способа разбиения условий критерия оптимальности методы В. п. могут быть разделены на три осн. группы.

В методах первой группы условия 1-го рода включают соотношения 1, 2, 4, 6 критерия оптимальности. В качестве целевой ф-ции метода здесь принимается целевая ф-ция задачи. Методы этой группы являются нелинейными аналогами метода улучшения плана (симплексного метода) — наиболее популярного способа числ. анализа линейных задач.

В следующей группе методов условия 1-го рода состоят из соотношений 3—6 критерия оптимальности; целевая ф-ция метода равна целевой ф-ции задачи, взятой с обратным знаком. Методы второй группы идейно близки к методу уточнения оценок (двойственный симплексный метод), используемому в линейном программировании.

Наконец, третья группа методов обобщает на нелинейный случай совместное применение методов улучшения плана и уточнения оценок. В качестве условий 1-го рода здесь принимаются соотношения 1, 2, 5, 6 критерия оптимальности. Целевая ф-ция метода имеет вид

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(X) + \sum_{j=1}^n x_j \frac{\partial F(X, \Lambda)}{\partial x_j}.$$

Реализация отдельного шага конечного метода требует решения систем нелинейных ур-ний, порядок к-рых может быть довольно большим. Поэтому применение конечных методов к задаче В. п. с произвольной системой условий вряд ли целесообразно. Конечные методы обычно используются в задачах В. п. с линейными ограничениями (в частности, в задачах квадратичного программирования), к-рые весьма часто возникают на практике.

Итеративные методы. Наиболее разработанными итеративными процессами является группа т. н. методов возможных направлений. Реализация этих процессов связана с движением по планам задачи, и поэтому в идейном отношении они близки к конечным методам 1-й группы. Общая схема методов возможных направлений такова: выбирается исходный план задачи. Определяется система возможных направлений изменения плана. Вдоль каждого из них можно двигаться на конечный шаг, не выходя из области определения задачи и уменьшая при этом значение целевой ф-ции. Далее осуществляется сдвиг вдоль одного из возможных направлений (правило выбора такого направления определяется конкретным методом). Получ. план является исходным для следующей итерации. Существует также ряд итеративных методов, связанных с движением по парам точек X, Λ . Эти методы основаны на эквивалентности задачи (1) — (4) и задачи об отыскании т. н. седловой точки для функции Лагранжа, т. е. точки, в к-рой достигается минимум по X ($x_j \geq 0$, $j=1, 2, \dots, n$), и максимум по Λ ($\lambda_i \geq 0$, $i=1, 2, \dots, m$) ф-ции $F(X, \Lambda)$. Составляется система дифференциальных ур-ний с неизвестными x_j и λ_i , при определ. условиях любая траектория системы стремится к седловой точке ф-ции Лагранжа. Переходя далее к той или иной конечно-разностной схеме, получают различные итеративные методы В. п. Их следует рекомендовать для задач, обладающих нелинейной системой условий, когда конечные методы оказываются мало эффективными.

Задача В. п. может быть сколь угодно точно приближена задачей линейного программирования. Такая аппроксимация ведет к линейным задачам с весьма большим числом переменных. Однако в ряде случаев это не оказывает серьезного препятствия для последующего анализа соответствующей линейной модели. Для нек-рых частных постановок В. п. разработаны спец. методы числ. анализа, к-рые, естественно, превосходят по эффективности общие приемы В. п. Последнее относится, напр., к задаче 2, приведенной выше. Пока не существует единого руководства, в к-ром были бы собраны осн. факты теории и методов В. п.; нек-рые сведения можно почерпнуть из приведенной литературы.

Лит.: Ден и с Д. В., Математическое программирование и электрические цепи, пер. с англ., М., 1961; Эрроу К. Д., Гурвиц Л., Удзава Х., Исследования по линейному и нелинейному программированию, пер. с англ., М., 1962. Е. Г. Гольштейн.

ВЫРАЩИВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ ПО ЧОХРАЛЬСКОМУ (growth of monocrystals after Czochralski; croissance des monocristaux suivant Tchokralsky; Einkristallzüchtung nach Tschochralski-Methode) — способ получения монокристаллов, при к-ром кристаллизация начинается от ориентированной затравки, вытягиваемой из расплава вместе с растущим монокристаллом. Схема, иллюстрирующая В. м. по Ч., приведена на рис. ПП или металл, находящийся в кварцевом или графитовом тигле, плавится при нагревании электрич. током ВЧ или в графитовом нагревателе. В расплав опускается затравка из того же материала. После оплавления она вытягивается из расплава вместе с растущим монокристаллом. Для лучшего перемешивания расплава затравка и тигель могут независимо вращаться в разные стороны. К преимуществам метода от-

носятся простота управления процессом кристаллизации и отсутствие контакта растущего кристалла со стенками тигля. Определяющими факторами процесса являются температурные условия, скорость вытягивания и свойства затравки.

При свободном росте кристалла количество расплава уменьшается и фронт кристаллизации перемещается в глубь тигля, где гра-

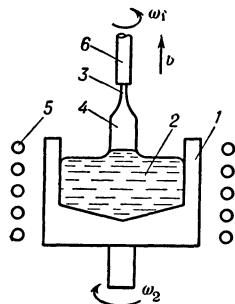


Схема вытягивания монокристаллов по Чохральскому: 1 — тигель; 2 — расплав; 3 — затравка; 4 — вытягиваемый кристалл; 5 — нагреватель; 6 — охлаждаемый шток; v — скорость поступат. движения, ω_1 и ω_2 — скорости вращат. движения.

диент темп-ры меньше, чем на поверхности. Поэтому для сохранения пост. диаметра кристалла в процессе вытягивания с неизменной скоростью необходимо программное изменение темп-ры. От стабильности поддерживаемого температурного режима зависит: постоянство диаметра кристалла, количество микро- и макродефектов, неравномерности в распределении примесей. На свойства растущего кристалла большое влияние оказывает правильное затравление. При правильном росте кристалл повторяет кристаллографич. ориентацию затравки, к-рая обычно ориентирована по направлению $[111]$. Разориентировка затравки на несколько градусов по отношению к направлению преимущественного роста приводит к двойникованию кристалла. Дислокац. нарушения затравки прорастают в кристалл, поэтому желательно использовать затравки с малой плотностью краевых дислокаций.

Для получения легированных кристаллов в тигель с расплавом вводят навеску лигатуры, рассчитанную в соответствии с коэфф. распределения (см. *Германий и Кремний*). Т. к. обычно коэфф. распределения отличен от единицы, постепенное обогащение расплава примесью приводит к тому, что концентрация примесей и уд. сопротивление могут сильно меняться по длине слитка. Учитывая, что коэфф. распределения обычно увеличивается при увеличении скорости вытягивания, добиваются получения кристаллов с равномерной средней концентрацией примесей при помощи программного изменения скорости. Перспективным является метод подпитки расплава чистым материалом. При плохом перемешивании расплава вокруг кристалла и наличии тепловой асимметрии наблюдаются локальные колебания электросопротивления в кристалле.

В. м. по Ч. вследствие высокой производительности процесса (могут быть получены слитки весом в неск. кг) является наряду с *зонной плавкой* основным промышл. способом получения монокристаллов Ge, Si и ПП соединений для ПП техники.

Лит.: Шапков Ю. М., *Металлургия полупроводников*, М., 1960.

ВЫСШИЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ В ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ (high harmonics in converters; harmoniques supérieures dans les soupapes électroniques; har-

monische Oberwellen in Stromrichtern) — синусоидальные составляющие периодических несинусоид. функций электр. величин (напряжения и тока) в цепях вентильных преобразователей (ВП). Определение гармонических напряжений и токов на отдельных участках цепей ВП производится разложением в ряд Фурье аналитич. выражений, полученных в результате решения дифференц. уравнений электромагнитных процессов ВП. Для установления предельных значений гармонических обычно рассматривают 2 расчетных режима работы ВП: 1) при идеальном сглаживании выпрямл. тока, т. е. при индуктивном сопротивлении на стороне выпрямл. тока $x_d = \infty$, и 2) при чисто активном сопротивлении r_d в цепи выпрямл. тока $x_d = 0$, $E_d = 0$; причем в обоих случаях принимается, что в питающей сети отсутствуют индуктивные реактивные сопротивления и что угол управления равен нулю. В 1-м случае кривая первичного тока имеет прямоугольно-ступенчатую форму, причем число ступеней равно числу фаз выпрямления (рис., *а*), во 2-м — синусоидально-ступенчатую, в к-рой ступень представляет собой симметричный участок синусоиды (рис., *б*). Порядок n гармонических первичного тока ВП любой m -фазной системы определяется зависимостью $n = km \pm 1$, где k — последоват. ряд чисел. Относит. величины гармонических первичного тока в любой m -фазной системе выпрямления при прямоугольно-ступенчатой форме кривой определяются выражением

$$\frac{I_{nA}}{I_{1A}} = \frac{1}{n}. \quad (1)$$

В цепи выпрямл. тока порядок гармонических выпрямл. напряжений и тока определяется соотношением $n = km$. Относит. величина гармонических выпрямл. напряжений (рис., *в*) составляет

$$\frac{U_{an}}{U_{a0}} = \frac{\sqrt{2}}{n^2 - 1}.$$

При наличии в первичной цепи реактивного сопротивления x_n и для управляемого выпрямителя расчет гармонических сильно усложняется [2, 4, 5, 6]. Определение гармонических существует в связи с тем, что искажения формы кривых напряжений и токов ВП вызывают ряд неблагоприятных явлений. Гармонические первичного тока ВП значительно снижают коэфф. мощности питающей системы, приводят к увеличению потерь в обмотках генераторов станций, повышая их темп-ру и как следствие снижая номин. мощность генераторов.

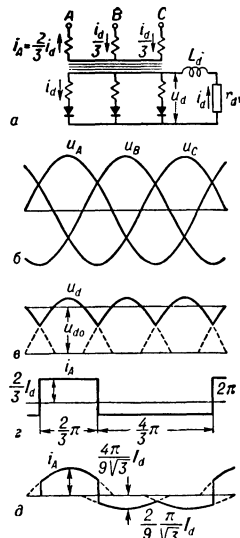


Схема и кривые токов и напряжений в 3-фазной схеме выпрямления «звезда-звезда»: а — схема; б — кривые первичных фазных напряжений; в — кривая выпрямл. напряжения; г — кривая первичного тока при $L_d = \infty$; д — кривая первичного тока при $L_d = 0$.

Относительные значения гармонических в кривой первичного тока $\frac{I_n}{I_1}$ и кривой выпрямленного напряжения $\frac{U_{dn}}{U_{d0}}$ для различных m и для случая $x_n=0$.

f (Гц)	$m=2$			$m=3$			$m=6$			$m=12$		
	I_n/I_1		U_{dn}/U_{d0}	I_n/I_1		U_{dn}/U_{d0}	I_n/I_1		U_{dn}/U_{d0}	I_n/I_1		U_{dn}/U_{d0}
	$x_d=\infty$	$x_d=0$		$x_d=\infty$	$x_d=0$		$x_d=\infty$	$x_d=0$		$x_d=\infty$	$x_d=0$	
50	1,000	1,000	—	1,000	1,000	—	1,000	1,000	—	1,000	1,000	—
100	—	—	0,4710	0,500	0,585	—	—	—	—	—	—	—
150	0,333	—	—	—	—	0,177	—	—	—	—	—	—
200	—	—	0,0942	0,250	0,117	—	—	—	—	—	—	—
250	0,200	—	—	0,200	0,146	—	0,200	0,186	—	—	—	—
300	—	—	0,0405	—	—	0,0404	—	—	0,0404	—	—	—
350	0,143	—	—	0,143	0,073	—	0,143	0,113	—	—	—	—
400	—	—	0,0225	0,125	0,086	—	—	—	—	—	—	—
450	0,111	—	—	—	—	0,0177	—	—	—	—	—	—
500	—	—	0,0143	0,100	0,055	—	—	—	—	—	—	—
550	0,091	—	—	0,091	0,060	—	0,091	0,085	—	0,091	0,088	—
600	—	—	0,0099	—	—	0,0099	—	—	0,0099	—	—	0,0099
650	0,077	—	—	0,077	0,043	—	0,077	0,065	—	0,077	0,072	—
700	—	—	0,0073	0,071	0,066	—	—	—	—	—	—	—
$\frac{* \sqrt{\Sigma I_n^2}}{I_1}$	1,103	1,000	—	1,190	1,210	—	1,045	1,050	—	1,015	1,010	—

* В этой строке приведены относит. величины действующих значений первичного тока.

ров. Гармонические первичного тока, протекая между генератором и ВП, вызывают несинусоид. падения напряжения в сети, т. е. искажают форму напряжения в ней. Это приводит к увеличению намагничивающих токов, ухудшению коэфф. мощности, увеличению потерь в асинхронных двигателях и тр-рах, присоединенных к той же сети. Искажения тока как на первичной стороне ВП, так и в цепи выпрямл. тока при протяженных однопроводных воздушных линиях (напр., электр. тяга пост. и перем. тока) приводят к повыш. влиянию на параллельно идущие линии связи. При работе электроваз перем. тока, на к-ром тяговый коллекторный двигатель пост. тока питается от однофазного двухполупериодного преобразователя, особенно важную роль играют пульсации выпрямл. тока, т. к. их относит. величина определяет надежность работы двигателя, а также необходимые конструктивные решения, учитывающие условия работы на пульсирующем токе.

Если ВП подключен к энергосистеме бесконечной мощности, то несинусоид. падение напряжения определяется только реактивным сопротивлением тр-ра и проявляется лишь в искажении напряжения на вторичной обмотке. При этом относит. величины гармонических приближаются к предельным [см. соотношение (1)]. Если тот же самый ВП подсоединяется к маломощной энергосистеме, то содержание гармонических первичного тока уменьшается, а искажение напряжения тр-ра преобразователя возрастет. Аналогичное явление произойдет в случае возрастания реактивных сопротивлений питающей сети.

Наиболее эффективное средство снижения искажений тока и напряжения для мощных ВП — увеличение числа фаз выпрямления. Однако тр-ры при этом становятся слишком сложными, дорогими и ненадежными. Обычно далее $m=6$ не идут. Можно достичь уменьшения содержания гармонических в первичной цепи и на стороне выпрямл. тока при помощи перехода на эквивалентный многофазный режим. Принцип этого режима — в осуществлении искусств. сдвига фаз между одноименными фазовыми напряжениями параллельно работающих ВП. Это достигается, напр.,

соединением первичных обмоток половины тр-ров звездой, а второй половины — треугольником. С целью ограничения искажений в цепи выпрямл. тока прибегают к включению фильтров сглаживающих.

Лит.: 1) Г л я з е р А. и М ю л л е р - Л ю б е к К., Теория электронных и ионных преобразователей тока, пер. с нем., М., 1938; 2) Ш л я п о ш н и к о в Б. М., Игнитронные выпрямители, М., 1947; 3) Р и в к и н Г. А., Преобразовательные установки большой мощности, 2 изд., М.—Л., 1959; 4) Т и х о н е в Б. Н., Электровазы переменного тока со статическими преобразователями, М., 1958; 5) Г о л о в а н о в В. А., Определение гармонических составляющих и эквивалентного мешающего тока в контактной сети при работе электровазов с ионными преобразователями, в сб.: Вопросы электрификации железных дорог на однофазном токе, М., 1957.

В. А. Голованов.
ВЫХОД (output; sortie; Ausgang, Ausgabe) — место, в к-ром наблюдается эффект, вызванный рассматриваемым воздействием. В. может быть электрическим (клеммы, с к-рых снимается напряжение или ток), механическим (ось, шток и др., перемещение к-рых используется внешним потребителем). В САР В. регулятора связывается с входом объекта регулирования. М. П. Сахаров.

ВЫХОДНАЯ ВЕЛИЧИНА (output value; grandeur de sortie; Ausgangsgrösse, Regelgrösse) — величина на выходе системы или элемента, напр. напряжение или ток, снимаемые с выхода в электрич. системах, перемещение штока или поворот оси в механич. системах. См. также *Регулируемая величина*.

М. П. Сахаров.
ВЫХОДНАЯ ОСЬ (output axis; axe de sortie; Ausgangswelle, Ausgangsachse, Ausgangsfolgeachse) — ось исполнительного элемента САР, положение к-рой приводится в соответствие с величиной сигнала, подаваемого на вход. Чаще всего В. о. является осью сервомотора; в следящих системах — ось селсына-приемника. В. о. соединяется с регулирующим органом или непосредственно с объектом регулирования. С В. о. связывается обычно движок потенциометра, с помощью к-рого в САР осуществляется жесткая обратная связь.

М. П. Сахаров.
ВЫХОДНОЕ УСТРОЙСТВО (output unit; organe de sortie, sortie; Ausgangsblock, Ausgabegerät, Ausgabeteil) — устройство на выходе системы, выходная величина с

к-рого передается внешнему потребителю. В. у. служат: в следящих системах — сельсин-приемник, потенциометр и др. с соответствующим приводом; в системах автоматической стабилизации или программного управления — исполнитель. устройство, непосредственно воздействующее на объект регулирования. В этом случае В. у. представляют собой электрич., гидравлич. или пневматич. двигатели, электромагниты или мощные электронные, ионные, магнитные, полупроводниковые и др. усилители. Требования к В. у. аналогичны требованиям к исполнитель. устройствам: точность, быстродействие, высокий кпд и т. д.

М. П. Сахаров.

ВЫХОДНОЙ АЛФАВИТ (output alphabet; code alphabétique de sortie; Ausgangsalphabet, Ausgangsalphabet) — набор (множество) символов, каждый из к-рых приписан определенному состоянию выходов дискретного (релейного) устройства. Символы В. а. приписываются состояниям выхода так же, как символы входного алфавита приписываются состояниям входа.

Л. А. Гусев.

ВЫХОДНОЙ ПРИБОР ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ (telemetering output block; appareil d'arrivée de télémesure; Ausgangsfernmeßgerät) — указывающий или регистрирующий прибор, включаемый на выходе приемника телеизмерения и воспроизводящий телеизмеряемую величину. В. п. т. по способу воспроизведения показаний подразделяются на аналоговые и цифровые. В первых, как правило, используются электроизмерит. приборы магнитоэлектрич. системы (миллиамперметры, милливольтметры, логометры), в нек-рых случаях — специально сконструированные электромеханич. указатели (напр., для длиннопериодных время-импульсных систем телеизмерения). Приборы обычно градуируются в единицах измеряемого параметра. В ряде случаев через обмотку магнитоэлектрич. прибора с выхода приемника может протекать импульсный ток — тогда В. п. т. должен реагировать на среднее значение тока. Регистрация при аналоговом воспроизведении показаний осуществляется самопишущими миллиамперметрами, автоматич. потенциометрами или спец. электромеханич. самопишущими приборами. Время установления показаний на указывающих аналоговых В. п. т. обычно не превышает 4 сек, а на регистрирующих — 6 сек (за исключением длиннопериодных время-импульсных систем телеизмерения).

На цифровом В. п. т. непосредственно фиксируется числовое значение измеряемого параметра, обычно в десятичной форме. Преимущества цифрового воспроизведения — объективность отсчета и отсутствие дополнит. погрешности, вносимой прибором. Визуальное цифровое воспроизведение может быть осуществлено с помощью след. устройств: 1) Многоэлектродные индикаторные лампы тлеющего разряда, в к-рых при подаче потенциала на один из десяти катодов, выполненных в форме цифр от 0 до 9, светится соответствующая цифра. 2) Цифровые индикаторы с осветит. лампами, в к-рых составной контур любой цифры от 0 до 9 образуется набором светящихся ламп. 3) Проектор. устройства цифровой индикации проецируют посредством оптич. системы и 10 ламп подсветки изображение цифр на общий экран, при этом каждый раз зажигается только одна лампа, соответствующая данной циф-

ре. 4) Цифровые индикаторы со световодами. Последние выполняются из тонкой прозрачной пластмассы; на каждом световоде гравировается изображение одной цифры (от 0 до 9). Пластины световодов с выгравированными символами располагаются параллельно одна за другой. Подсветка световодов осуществляется в торец лампой накаливания. Каждому световоду соответствует одна лампа. 5) Электролюминесцентные индикаторы, в к-рых составной контур любой цифры от 0 до 9 образуется из 7 или др. числа электролюминесцентных элементов. Элементы, соответствующие данной цифре, начинают светиться при подаче на них напряжения перем. тока повышенной частоты. 6) Механич. индикаторы с пластинками или лентой, на к-рых нанесены цифры, перемещаемые с помощью электромагнитов или электродвигателей. 7) *Электронно-лучевые трубки*, на экране к-рых с помощью спец. развертки электронным пучком вычерчиваются контуры цифр.

В цифровых В. п. т. особое значение имеет свойство «памяти» — сохранение показаний в течение цикла измерения (особенно в многоканальных системах). Устройства «памяти», к-рыми снабжаются В. п. т., выполняются на электромагнитных реле, триггерах, бесконтактных магнитных реле. Цифровая регистрация обычно осуществляется централизованно для большой группы телеизмеряемых величин посредством цифропечатающего устройства типа автоматизир. пишущей машинки или телетайпа, на бланке к-рых в определенном порядке регистрируются все телеизмеряемые величины (см. *Регистрация показаний при телеизмерении*).

А. М. Пишеничников.

ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ (output signal; signal de sortie; Ausgangssignal) — см. *Выходная величина*.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА (calculus mathematicus; mathématique des calculs; Rechenmathematik) — область математики, изучающая методы доведения до числового результата математич. задач и методы использования вычислит. средств. В. м. разрабатывает алгоритмы численного расчета величин, возникающие в различных математич. задачах, оценивает сложность, трудоемкость и точность этих алгоритмов, а также методы программирования их на ЦВМ. Развитие вычислит. машин привело к созданию принципиально новых классов вычислит. алгоритмов, включающих до 10^9 и более отдельных арифметич. операций, удобных для программирования и не требующих слишком больших объемов памяти. В. м. тесно связана с др. областями математики и в первую очередь с анализом, алгеброй многочленов, линейной алгеброй, функцион. анализом и теорией вероятностей, методы к-рых используются при разработке вычислит. алгоритмов.

Другая часть В. м. — теория вычислит. методов — помогает вырабатывать алгоритмы управления. Напр., если управление происходит путем поиска оптим. значения нек-рой ф-ции регулируемых параметров, характеризующей процесс, то В. м. дает возможность выбрать целесообразный алгоритм поиска оптимума. Для вычислит. алгоритмов характерна замена бесконечных множеств большими, но конечными множествами. Так, вместо веществ. чисел рассматриваются конечные десятичные или двоичные дроби; ф-ции

задаются лишь на конечном множестве точек или в виде многочленов конечной степени и т. д. Осн. вычислительными методами являются:

Интерполирование. Задача интерполирования — в определении полинома n -й степени, принимающего заданные значения в $n+1$ -й точке (узлах интерполяции). Общее решение этой задачи дается интерполяц. ф-лой Лагранжа. Интерполяц. ф-лы позволяют выполнять различные операции над ф-циями, заданными на конечном множестве точек.

Численное интегрирование позволяет получать приближ. значение определенных интегралов по значениям подынтегр. ф-ции в конечном числе точек. Наиболее распростран. методы числ. интегрирования основаны на ф-лах трапеций, Понселе, Симпсона, Котеса и др. При вычислении многомерных интегралов особенно удобен *Монте-Карло метод* и родственные ему теоретико-числовые методы.

Численное интегрирование дифференциальных уравнений позволяет находить приближ. решения систем дифференц. ур-ний вида

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

удовлетворяющие заданным начальным условиям $x = x^0$ при $t = t^0$. Эти решения определяются последовательно для дискретных значений независимого переменного t . Наибольшую роль играют методы Рунге—Кутты, Адамса — Штермера и др.

Аппроксимация функций позволяет находить многочлены, хорошо приближающие ф-ции, заданные в той или иной области.

Методы решения алгебраических уравнений дают возможность приближенно находить корни многочленов. Многие из этих методов (Ньютона, хорд и т. п.) применимы и для решения трансцендентных ур-ний. Метод Лобачевского удобен для нахождения веществ. и комплексных корней многочленов. С помощью вычислит. методов линейной алгебры находят решения систем линейных ур-ний, собственные значения матриц и т. п. Различают методы исключения (Гаусса, Холецкого и др.) и итерационные (простых итераций, Зейделя, наискорейшего спуска и др.).

Методы численного решения дифференциальных уравнений в частных производных получили широкое развитие при решении на машинах задач газовой динамики, теплопроводности, диффузии и т. д.

Методами, созданными для нахождения оптимальных значений ф-ций многих переменных, решают, в частности, обычные задачи вариационного исчисления, где ищется экстремум функционалов вида

$$F[x] = \int_a^b f[x(t), x'(t), t] dt.$$

Если искомую ф-цию $x(t)$ задать набором значений $x_1 = x(t_1)$, $x_2 = x(t_2)$, ..., $x_n = x(t_n)$ в конечном числе точек, то вариационная задача

сведется к отысканию экстремума ф-ции от n переменных x_1, x_2, \dots, x_n :

$$\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n f\left(x_i, \frac{x_{i+1} - x_i}{t_{i+1} - t_i}, t_i\right) \Delta t_i.$$

Для нахождения экстремумов различных классов ф-ций мн. переменных пользуются методом наискорейшего спуска, градиентным методом, *линейным программированием, нелинейным программированием, динамическим программированием*, овражным методом и др. К задачам такого типа сводятся мн. задачи экономики, планирования, синтеза управляющих систем и т. д.

Лит.: Березин И. С., Жидков Н. П., Методы вычислений, т. 1—2, М., 1959; Хаусхолдер А. С., Основы численного анализа, пер. с англ., М., 1956; Фаддеев Д. К., Фаддеева В. Н., Вычислительные методы линейной алгебры, М., 1960; Милн В. Э., Численный анализ, пер. с англ., М., 1951; Бусленко Н. П., Шрейдер Ю. А., Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах, М., 1961; Беллман Р., Динамическое программирование, пер. с англ., М., 1960; Гельфанд И. М., Петлин М. Л., Принципы нелокального поиска в системах автоматической оптимизации, «ДАН СССР», 1961, т. 137, № 2. Ю. А. Шрейдер.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА (computer, calculator; calculatrice, machine à calculer, ordinateur; Rechenmaschine, Rechenanlage, Rechner) — машина для автоматизации процесса вычислений (обработки информации). Области применения В. м.: выполнение научно-технических расчетов, обработка экономич. информации, управление реальными процессами, решение логич. задач (перевод с одного языка на другой и т. д.), моделирование реальных процессов.

По принципу действия различают В. м. непрерывного действия (см. *Аналоговая вычислительная машина*) и дискретного действия (см. *Цифровая вычислительная машина*). В машинах непрерывного действия, участвующих в вычислениях, информация представляется в виде непрерывно изменяющихся физич. величин (угла поворота вала, напряжения и т. д.). В машинах дискретного действия информация дается дискретными цифровыми кодами. В. м. этого типа подразделяют на счетно-клавишные (см. *Вычислительная машина клавишная*), перфорационные (см. *Перфорационная вычислительная машина*) и автоматические. Счетно-клавишные машины — настольные механич. и электромеханич. машины, используемые для расчетов небольшого объема. В перфорационных машинах ввод данных и управление последовательностью операций осуществляются с помощью *перфорационных карт* и коммутационных досок. Последовательность выполнения операций определяется последовательностью ввода перфокарт в машину. Служат для обработки больших объемов информации (статистич. материалы, составление накладных, расчет заработной платы и т. д.).

В автоматич. цифровых В. м. все вычисления производятся по заранее составленной программе, обеспечивающей полностью автоматич. решение задач — от ввода исходных данных до получения результатов. Осн. свойствами автоматич. В. м. являются наличие ЗУ большой емкости для хранения чисел и программ и высокая скорость вычислений, доходящая до неск. млн. операций в сек. Эти свойства обеспечиваются использованием электронных, магнитных и др. быстродейст-

вующих элементов и схем для построения машин (см. *Физические элементы вычислительной техники*). Существуют В. м., в к-рых совмещаются непрерывный и дискретный принципы действия — напр. амер. машина «Тайфун». См. *Комбинированная вычислительная машина, Автоматизация производства, Автоматизация управленческих работ, Управляющая машина.* И. А. Данильченко.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА КЛАВИШНАЯ (keyboard computer; calculatrice à claviers; Tastenrechenmaschine, Tastenrechner) — вычислит. машина, в к-рой ввод информации для каждой операции осуществляется ручным набором на клавиатуре. На В. м. к. производятся небольшие расчеты. Количество арифметич. операций, выполняемых на вычислит. машинах, в среднем распределяется в след. соотношениях: сложение 65—70%, вычитание 7—10%, умножение 15—25%, деление 3—5%. Большой удельный вес операций сложения и вычитания вызывает необходимость создания специализиров. суммирующих машин. По эксплуатац. свойствам В. м. к. делятся на группы машин, применение к-рых наиболее эффективно для заданного вида вычислений:

1) Машины с автоматизацией только вычислит. процесса. На них можно производить ввод чисел на клавиатуре и получ. результат визуально считывать с цифровых колес счетчика. Суммирующие машины («Комптометр», «Калькулятор» и др.) накапливают суммы (и разности) чисел, вводимых в машину оператором путем набора на клавиатуре. Их производительность зависит от квалификации и темпа работы оператора. Для вычитания оператор набирает дополнение до девяток этого числа.

2) В. м. к., специализированные для выполнения операций умножения и деления. На них можно производить также операции сложения и вычитания, но со значительно меньшей производительностью, чем на суммирующих. Бывают десятиклавишные и полноклавишные. По степени автоматизации подразделяются на неавтоматические (напр., арифмометр: операции умножения и деления управляются оператором), полуавтоматические (операция деления выполняется автоматически, а умножение — оператором) и автоматические, в к-рых операции умножения и деления выполняются автоматически. В десятиклавишных машинах числа вводятся последовательным нажатием цифровых клавиш, располож. спереди машины, что более удобно, чем рычажной ввод (как, напр., у арифмометра). Сов. машины ВК-1 — неавтоматическая с ручным приводом, ВК-2 — полуавтоматическая с моторным приводом и ВК-3 — автоматическая, помимо операций умножения и деления, выполняют возведение чисел в квадрат. Скорость работы 300—350 циклов в мин. (за один цикл — одна операция сложения или вычитания).

Полноклавишные В. м. к. имеют для каждого разряда десять клавиш. Это позволяет, так же как и на суммирующих машинах, вводить числа одновременным нажатием неск. пальцев руки, что меньше утомляет оператора. Машины работают на более высоких скоростях — 500—700, а в нек-рых моделях («Мерчент») — до 1250 рабочих циклов в мин. Для выполнения массовых вычислений они удобнее, чем рычажные и десятиклавишные. В СССР

выпускаются полуавтоматы ВМП-2 (см. вклейку) и автоматы ВММ-2. В Англии появились первые модели электронных В. м. к. этой группы: машина «Анита», напр., выполняет операции умножения и деления в течение неск. мсек, т. е. практически мгновенно.

3) Счетно-записывающие машины, в которых наряду с вычислительными автоматизирована также запись на бумажную ленту или бланки вводимых чисел и вычисл. результатов. Сов. машина СДМ-107 (см. вклейку) является суммирующей записывающей десятиклавишной машиной, предназнач. для сложения и вычитания. Запись чисел, итогов, сальдо и условных обозначений ведется на бумажной ленте шириной 7 см; работает со скоростью 130—140 циклов в мин. На модели СДМ-345 можно производить запись в формулярах в виде развернутого конторского листа и производить накопление итогов по трем показателям, т. е. обрабатывать небольшие по объему бухгалтерские документы.

Вычислит. счетно-записывающие машины выполняют 4 арифметич. действия и имеют более развитую автоматику. Выпускаются фирмами «Сперри-Ренд» (США) и «Оливетти» (Италия). Фирмами в ГДР, США и др. на базе счетно-записывающих машин изготавливаются т. н. многосчетчиковые бухгалтерские машины, в к-рых устанавливается от 6 до 200 счетчиков, что позволяет обрабатывать сложные многографные бухгалтерские документы.

4) Группа многосчетчиковых полнотекстовых машин, позволяющих вести запись не только цифрового, но и буквенного текста. Машины представляют собой комбинацию пишущей машины со счетными устройствами. На них можно выписывать полностью законч. документы.

Вычислит. полнотекстовые машины, специализированные для выписки всевозможных счетов, накладных, фактур и т. п., — т. н. фактурные машины, являются также многосчетчиковыми (от 3 до 6 счетчиков). Сов. фактурная машина ВА-345 имеет три 11-разрядных накапливающих счетчика, один механизм автоматич. умножения с выпиской 12-разрядного произведения. Выписка счетов производится на бланках шириной до 45 см на электрифицированной пишущей машинке.

5) Электронные вычислит. машины с клавишным вводом информации; появились в 1954—55. Они во многом сходны с обычными электронными вычислит. машинами, но значительно проще. На этих машинах в осн. решаются небольшие по объему инженерно-технич. и экономич. задачи. Эти машины можно классифицировать по емкости накопит. устройств (524—2096 десятичных чисел) и по сферам их применения (для инженерных вычислений, экономич., торговых и др. операций). Программирование ведется при помощи коммутац. панелей или вводом программы в накопит. устройства машины.

Помимо клавишного ручного ввода, в наиболее соверш. машинах всех групп В. м. к. используется ввод информации с перфоленты и вывод на перфоленты и перфокарты. Использование в качестве носителей информации перфолент и перфокарт позволяет осуществить автоматич. ввод табличной информации (констант, нормативов и т. п.), чем существенно повышается производительность вычислений.

Лит.: Рязанкин В. Н., Евстигнеев Г. П. и Тресвятский Н. Н., Вычислительные машины, ч. 1, М., 1957; Евдокимов И. С., Евстигнеев Г. П. и Криушин В. Н., Счетные машины, 2 изд., М., 1955; Ларченко Е. Г., Механизация вычислительных работ, М., 1956; Хренов Л. С., Малые вычислительные машины, М., 1957.

В. Н. Рязанкин.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА (computing machinery; technique de calculation; Rechentechnik) — совокупность средств для облегчения и ускорения процессов вычислений (счета) путем частичной или полной их автоматизации, а также отрасль техники, занимающаяся разработкой, изготовлением и эксплуатацией этих средств.

Древнейшим и наиболее простым средством В. т. является абак, разновидность которого — конторские счеты — сохранилась почти без изменений до наст. времени. Началом развития В. т. можно считать изготовление Б. Паскалем механич. машины, способной выполнять арифметич. действия с числами. Подобные устройства разрабатывались также Г. В. Лейбницем, П. Л. Чебышевым, но широкое практич. применение они получили после изобретения рус. инженером Однером т. н. колеса Однера, послужившего основой для всех совр. арифмометров. Дальнейшее развитие этой ветви В. т. привело к появлению разнообразных типов настольных клавишных вычислит. машин (БК-2, ВММ, «Мерседес-Евклид», «Фацит», «Суперметалл» и др.). Др. часть В. т. образуют счетно-перфокар. машины, работающие с использованием перфокарт. Перечисл. ветви В. т. являются дискретной, или цифровой техникой, т. е. величины, с к-рыми проводятся математические операции, так же как и результаты этих операций, представляются дискретно в цифровой форме.

Др. крупным направлением в В. т. является т. н. аналоговая, или моделирующая техника, характеризующаяся тем, что математич. величины представляются в определ. масштабе в виде соответствующих физич. величин (перемещений, углов поворота, напряжений, токов и т. п.). Сюда же относятся счетные линейки и механизир. подвижные номограммы, в т. ч. и логарифмич. линейка. Аналоговыми устройствами являются и математич. инструменты, получившие широкое распространение в конце 19 в. (планиметры, интеграфы, интегриметры, курвиметры, пантографы и др.). Отдельную ветвь аналоговой техники составляют механич. или электромеханич. счетно-решающие устройства, напр. устройства для решения систем обыкновенных дифференц. уравнений — дифференциальные анализаторы.

Бурное развитие электроники и широкое внедрение ее во все отрасли техники привело к появлению в 1940-х гг. новой области В. т. — электронных вычислит. машин, отличающихся высоким быстродействием и большой производительностью. ЭВМ, аналоговые и цифровые, стали осн. средством В. т. Большие аналоговые вычислительные машины (модели) в состоянии решать с точностью порядка неск. процентов сложные системы, состоящие из неск. десятков дифференц. ур-ний. Цифровые вычислительные машины используются во всех областях нар. х-ва и позволяют в практически приемлемые сроки решать такие сложные задачи, на к-рые с помощью ручных средств В. т. потребовались бы годы. Они выполняют

от десятков тысяч до млн. операций в сек., работают полностью автоматически по заранее разработ. программе и обладают способностью хранить («запоминать») большое количество промежуточных результатов.

Внедрение электроники в В. т. привело к возникновению новой специфич. ветви В. т. — вспомогат. устройств, обеспечивающих эффективную связь человека с вычислит. машиной. Это — считывающие устройства, позволяющие вводить в машину напечатанную на бумаге цифровую информацию, устройства для вычерчивания графиков, выдающие результаты вычислений в наглядной графич. форме, и т. д. Кроме того, широкое развитие получили разнообразные кодирующие устройства, преобразующие информацию с языка одной машины на язык др.; устройства, преобразующие цифровой код в непрерывные величины — напряжение, угол поворота и обратно и т. д.

К числу средств В. т. следует также отнести и математич. таблицы, графики, номограммы, позволяющие ускорить и упростить выполнение значительного количества расчетов, производимых вручную или с др. простейшими средствами В. т. Общая классификация средств В. т. и области их применения даны в таблице.

Помимо вычислит. задач, ЭВМ применяются также для решения информационно-логич. задач (машинный перевод, медицинская диагностика, библиография и т. д.) и автоматич. управления (управление пр-тиями, регулирование уличного движения, решение военных задач и т. п.). Все чаще и чаще средства В. т. используются в сложных автоматич. управляющих системах и комплексах, особенно в тех случаях, когда требуется повысить точность и быстродействие, а также когда условия работы представляют опасность для здоровья или жизни человека.

В. т., в первую очередь электронная, развивается и совершенствуется. Можно выделить следующие осн. направления развития В. т.: 1) повышение производительности ЦВМ за счет увеличения быстродействия и доведения его до десятков млн. операций в сек., увеличение емкости внутр. оперативных накопителей до неск. сотен тыс. чисел, совершенствование логич. структуры отдельных устройств; 2) повышение гибкости систем за счет широкого внедрения вспомогат. и переходных устройств, считывающих устройств и блоков для наглядного отображения результатов, позволяющих создавать сложные комплексы и системы средств В. т., а также за счет совершенствования логич. структуры этих систем, обеспечивающей одноврем. работу различных устройств и одноврем. выполнение неск. операций; 3) повышение надежности работы систем и улучшение их эксплуатац. хар-к, достигаемое как использованием новых физич. принципов построения элементов и схем, так и улучшением структуры машин, в частности применением принципов самообучения и самоорганизации.

Новыми элементами, к-рые в В. т. могут повысить быстродействие и надежность, снизить стоимость, энергоемкость и габариты, являются: *параметрон, диод туннельный, полупроводниковый фильтр*, позволяющий в принципе добиться выполнения неск. десятков млн. операций в сек., криогенные элементы, электро- и фотолюминесцентные материалы и фотооптич.

Вычислительная техника

Дискретная (цифровая) техника			Гибридные устройства	Аналоговая техника (моделирующие устройства)	Вспомогательные устройства и приборы
Электронные ЦВМ * общего назначения	Электронные ЦВМ специализированные	Прочие средства дискретной техники			
Универс. ЦВМ высокой и сверхвысокой производительности (св. 1 млн. операций в сек.)	ЦВМ для массового решения однолинейных задач	Компьютерные счеты для сложных расчетов	Номограммы, механизированные номограммы, номографические таблицы, счетные линейки	Математич. инструменты (линейки, циркули, угольники, транспортиры, курвиметры, номографы и т. п.) для несложных вспомогат. расчетов, связанных гл. обр. с графич. информацией	Считающие устройства для ввода числовой и букв. информации в вычислит. машины и устройства обработки информации
Универс. ЦВМ ср. производительности (св. 50 тыс. операций в сек.)	Цифровые управляющие машины для работы в натур. масштабе времени с внешними объектами	Матем. таблицы для ускорения процесса ручного счета	Цифровые модели для решения систем обыкновен. дифференц. ур-ний в натур. масштабе времени	Счетно-решающие приборы для решения задач управления динамич. объектами	Компьютеры и программирующие устройства для компоновки и составления программ для ЦВМ
Настольные ЦВМ индивидуального пользования	Информационные ЦВМ для автоматизации поиска научной информации, медицинской диагностики и др.	Арифмометры и настольные клавишные вычислит. машины для индивиду. пользования	Измерит. приборы с цифровым отсчетом, а также термостатизированные измерители непрерывных величин	Счетные модели (электронные, механические) для решения систем ур-ний в частных производных	Устройства для преобразования аналоговых величин в цифровой код и обратно
ЦВМ для обработки больших объемов информации статистико-экономич. расчетов	ЦВМ для машинного перевода	Счетно-перфоран. машины для массового решения сложных расчетных задач и для обработки данных	Сложные аналогово-цифровые системы для работы в натур. масштабе времени совместно с внешними реальными объектами	Расчетные столы и устройства для решения систем обыкновен. дифференц. ур-ний, в т. ч. и в натур. масштабе времени	Устройства для наглядного отображения информации — характерны, табло, построители графиков и т. п.
Электронные вычислители и ЦВМ для расчетно-бухгалтерских задач	Цифровые дифференциальные автоматы для решения обыкновен. дифференц. ур-ний, в т. ч. и сопряж. с реальными объектами	Бухгалтерские и банковские машины, фактурные машины и кассовые автоматы		Спец. модели сложных динамич. систем, связанных с реальными объектами (тренажеры, моделирующие полеты самолета, и т. п.)	Контрольно-испытат. аппаратура, содержащая вычислит. часть
	Вероятностные машины для моделирования вероятностных процессов и решения задач методом статистич. испытаний (метод Монте-Карло)	Спец. счетчики сигналов и импульсов, используемые в технике физич. эксперимента и т. п.		Пневматич. и гидравлич. интеграторы для решения систем алгебраич. и обыкновен. дифференц. ур-ний	Устройства для кодирования (анализа) и синтеза речевой информации
				Структурные и матричные электрические модели (электронные интеграторы) для решения систем обыкновен. дифференц. ур-ний, в т. ч. в натур. масштабе времени	Средства оргтехники, приспособленные для работы с вычислит. и информ. машинами (диктофоны, диктографы и т. п.)

* Разрабатываются также ЦВМ с использованием др. физич. принципов (фотоэлектрические, пневматические, гидравлические).

схемы с использованием световодов, элементы молекулярной электроники, а также модульные и микромодульные элементы и схемы с широким использованием тонких пленок и сегнетоэлектриков.

М. Г. Гаазе-Ранонорт.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ БЮРО (computing office; bureau de calcul; Rechenzentrum) — организация, выполняющая вычислит. работы с использованием настольных и стендовых клавишных вычислит. машин. Производит экономич. расчеты, в т. ч. бухгалтерский учет, планирование и сводную статистику (т. н. машинно-счетные бюро — МСБ), инженерно-технич. расчеты и решение математич. задач. Кроме того, В. б., как правило, входят в состав *вычислительных центров* и осуществляют там вспомогат. расчеты при подготовке задач для решения на больших ЭВМ. В В. б. применяются клавишные машины механ. и электромехан. принципов действия: отечественные — суммирующие десятиклавишные записывающие машины СДМ-107, СДМ-133, СДУ-138 и др., вычислит. полноклавишные машины ВММ-2, ВМП-2, фактурные машины ВА-346 и др.; иностр. фирм — суммирующие машины «Рейнметалл» AES, AES-W/33, вычислительные — «Мерседес», SAR, SAL, SASL, 38-см и др., а также бухгалтерские машины SR-22, АСКОТА классов 150, 160, 170 и др. Разрабатываются клавишные ЭВМ — настольные и стендовые, имеющие большие эксплуат. возможности, чем механ. и электромехан. машины.

При решении в В. б. математич. и инженерно-технич. задач составление технологии вычислит. процесса сводится к разработке т. н. *счислимых выражений* (определенная совокупность элементарных арифметич. операций) и нахождению последовательности их выполнения.

Необходимое количество машин и персонала для В. б. определяется по объему работ, к-рый рассчитывается для суммирующих и вычислит. машин в арифметич. действиях при средней значности чисел, для бухгалтерских и фактурных (счетно-табличных) машин — в документостроках (действиях или позициях). Количество машин каждого типа находится делением объема каждого участка работ на среднюю норму выработки на данном типе машины. Штат операторов определяется количеством машиномен. При односменной работе число операторов соответствует количеству вычислит. машин. В небольших В. б. (на 10—12 машин и менее) руководитель бюро выполняет функции контроллера приемки и выпуска работ. Один механик обслуживает примерно 15—20 суммирующих и вычислит. машин или 7—8 бухгалтерских и фактурных.

Для получения макс. эффективности стремятся свести к минимуму число операций, выполняемых вычислителем и, т. о., полнее использовать эксплуат. возможности машины. Эту же цель преследует централизация вычислит. работ в бюро и создание кустовых В. б., обслуживающих неск. пр-тий. В. б., как правило, являются звеньями пр-тий и учреждений, работающими по календарным планам и применяющими сдельную оплату труда операторов.

Осн. показателями эффективности механизации учета и вычислит. работ в В. б. являются: снижение трудоемкости вычислений и стоимости учетно-вычислит. работ; улучшение

качества работ; сокращение сроков выполнения учетно-вычислит. работ. Так, клавишные вычислит. машины по сравнению с арифмометрами и конторскими счетами снижают трудоемкость вычислений в 2—3 раза. Но показатель снижения стоимости несколько ниже показателя снижения трудоемкости из-за высокой амортизацион. стоимости машин.

В. Т. Уткин.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО,

с ч е т н о - р е ш а ю щ е е (computer, calculator; calculatrice, machine à calculer, calculateur; Rechenanlage, Rechner, Rechenggerät), — устройство, автоматически выполняющее одну к.-л. математическую операцию или последовательность их с целью решения одной задачи или класса однотипных задач. В. у. могут быть либо автономными, либо входить в состав сложных систем. В первом случае В. у., как правило, используются в качестве вспомогат. средств при выполнении вычислит., проектных, конструкторских и др. работ (напр., логарифмич. линейка). Во втором случае В. у. выполняют определенные ф-ции, предусмотренные общей структурой системы (напр., интерполятор в системе управления станком). В. у. различаются по способу представления данных, конструктивным элементам и структуре. В зависимости от способа представления данных В. у. делят на аналоговые (непрерывного действия) и цифровые (дискретного действия). К аналоговым относятся В. у., в к-рых исходные данные, промежуточные и окончат. результаты вычислений представляются в виде непрерывно изменяющихся физич. величин, напр. линейным перемещением механ. органа, углом поворота вала, электрич. напряжением (пост. или перем. тока), частотой или фазой перем. тока, давлением в пневматич. системе, уровнем жидкости в гидравлич. системе и т. п. В одном и том же аналоговом В. у. возможно представление данных величинами различной физич. природы, напр. исходные данные могут задаваться в виде углов поворота валов, а результат вычисления получается в виде электрич. напряжения. К цифровым относятся В. у., в к-рых исходные данные, промежуточные и окончат. результаты вычислений представляются комбинациями физич. величин, к-рые в пределах данного В. у. принимают только заданное конечное число дискретных значений. Каждой такой комбинации (коду) соответствует определенное число. Напр., в механ. или электромехан. счетчиках данные (числа) представляются комбинациями углов поворота счетных колес, причем конструкция счетчика допускает возможность нахождения каждого колеса только в одном из ограниченного количества (обычно 10) угловых положений. Встречаются также комбинированные, аналого-цифровые В. у.

По роду конструктивных элементов В. у. могут быть механ., в т. ч. пневматич. и гидравлич., электромехан., электронные. К механ. аналоговым В. у. относятся курвиметры, планиметры, интеграфы и др. приборы. Типичным примером электромехан. В. у. может служить функциональный потенциометр с обмоткой, намотанной на спец. профилированный каркас. Если к концам этой обмотки приложено пост. напряжение, то напряжение, снимаемое с движка, будет представлять собой нек-рую ф-цию угла поворота

движка, определяемую формой каркаса. Аналогичным образом может быть выполнен цифровой (дискретный) функциональный потенциометр, представляющий собой многоконтактный переключатель, коммутирующий набор пост. сопротивлений. В этом случае как входная величина (угол поворота ползунка), так и выходная (напряжение на ползунке), могут принимать только заданное количество фиксиров. значений. Электронные аналоговые В. у. обычно строятся на основе операционных усилителей или усилителей пост. тока с большим коэфф. усиления. Во входную цепь и в цепь обратной связи такого усилителя включаются комбинации активных и реактивных сопротивлений, определяющие вид функциональной зависимости между входным и выходным напряжениями усилителя. Особый класс аналоговых В. у. составляют модели. Примером их служит расчетный стол перем. тока — макет энергетич. системы, выполненный в определенном масштабе (см. *Автоматизация исследований режимов энергосистем*). В моделях иногда системы с распредел. параметрами заменяются системами с сосредоточ. параметрами. По структуре различают В. у. параллельного и последоват. действия. В параллельных В. у. каждая отдельная операция выполняется самостоят. блоком. В последовательных — один и тот же набор элементов используется для выполнения всех операций, а сами операции выполняются последовательно одна за другой. См. *Цифровая вычислительная машина*, *Аналоговая вычислительная машина*.

Лит.: Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т. 2, М., 1959.

А. В. Шилейко.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ непрерывного действия (pneumatic analog computer, pneumatic analog computing device; calculatrice pneumatique analogique; pneumatischer Analogrechner) — устройство, реализующее непрерывную математич. зависимость между входными и выходными сигналами, задаваемыми в виде давлений сжатого воздуха. В. у. п. по конструктивному принципу можно разделить на 2 группы: пневмо-механич. и чисто пневматич. Из этих 2 основных групп можно выделить приборы, в к-рых математич. операция осуществляется компенсационным или некомпенсацион. способами. Особую группу приборов составляют приборы, реализующие нелинейные математич. операции. Преобразование результата математич. операции в пропорц. ему давление в В. у. п. осуществляется всегда компенсацион. способом. Группа компенсацион. В. у. п. разделяется на приборы, действие к-рых основано на принципе компенсации перемещений и на принципе компенсации сил. В. у. п. выполняют все основные математич. операции: суммирование (см. *Пневматический сумматор*), интегрирование (см. *Интегратор пневматический*), дифференцирование и функциональное преобразование (см. *Пневматический функциональный преобразователь*). На основе указанных устройств созданы универсальные вычислит. машины и моделирующие установки (см. *Моделирующее устройство пневматическое*). Приборам, работающим на принципе компенсации перемещений, присущи недостатки, ограничивающие их применение и не позволяющие создать рациональные

методы построения вычислит. устройств (громоздкость конструкции, наличие трения в опорах и вследствие этого пониж. чувствительность, невозможность изменять коэфф. усиления в широких пределах и др.). Выгодно отличаются от них приборы, работающие на принципе компенсации сил, хотя и эти приборы не свободны от недостатков (в основном связанных с нелинейностью расходных характеристик дросселей).

Расширение области применения пневматич. вычислит. приборов и растущие требования, предъявляемые к их качеству, обусловили появление 2 новых для пневмоавтоматики принципов построения приборов, исключающих указанные выше недостатки В. у. п. Первый принцип предполагает построение всех регулирующих и вычислит. устройств пневмоавтоматики на базе одного стандартного элемента — решающего (операционного) усилителя, подобно тому, как это делается в электронных вычислит. устройствах. Такой способ построения дает возможность выработать единую методику построения схем различных пневматич. приборов и сократить до минимума число необходимых для этих приборов элементов. Второй принцип предусматривает переход на диапазон рабочих давлений в 100 раз меньший существующего, т. е. на давления, изменяющиеся в пределах 0—100 мм вод. ст. Переход на низкие рабочие давления, не вызывая ухудшения динамич. хар-к приборов, решает проблему получения линейных дросселей и снижения расхода потребляемого воздуха в 10 раз и более.

Система В. у. п. составляется из унифицированных элементов: пневматич. решающего усилителя и обычных для пневмоавтоматики пневмодросселей и пневмоемкостей.

Пневматич. решающий усилитель, схема и внешний вид к-рого представлены на рис. 1, а и б, состоит из корпуса 1 с закрепленным в нем соплом С, мембранного блока 2 с двумя одинаковыми тонкими мембранами М (жесткие центры мембран связаны скобой, выполняющей по отношению к соплу ф-цию заслонки а)

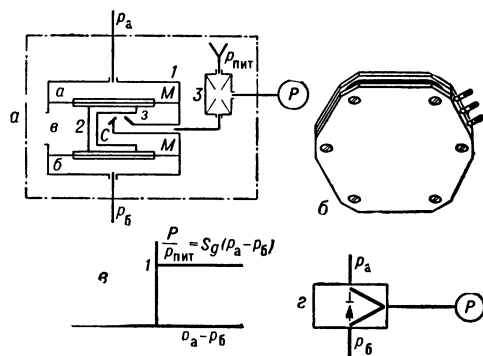


Рис. 1.

и эжектирующего пост. дросселя 3. Мембранный блок размещается внутри корпуса 1, образуя в нем три камеры а, б, в. К камерам а и б подводятся соответственно давления p_a и p_b , а камера в, в к-рой располагается сопло и заслонка, сообщена с атмосферой. Давления p_a и p_b являются для усилителя входными, а выходным сигналом в нем служит давление P . В соответствии с принципиальной схемой

решающего усилителя в нем реализуется ф-ция $P/p_{\text{пит}} = S_g(p_a - p_6) \dots$, т. е. $P = p_{\text{пит}}$ при $p_a > p_6$ и $P = 0$ при $p_a < p_6$ (S_g — знак ф-ции, равный 1, когда $p_a - p_6 > 0$, и равный 0, когда $p_a - p_6 < 0$). Статич. хар-ка (рис. 1, в) отражает эту зависимость. В дальнейших схемах решающий усилитель будет условно изображаться, как показано на рис. 1, г.

Среди элементов второй группы различаются 3 типа пневмодросселей: нерегулируемый дроссель ламинарный, расходная статич. хар-ка которого имеет вид $G = \alpha \Delta p$, где G — весовой расход через дроссель, Δp — перепад давлений на нем и α — неизменный коэфф. пропорциональности; нерегулируемый дроссель турбулентный с расходной хар-кой вида $G = \beta \sqrt{\Delta p}$; регулируемый ламинарный дроссель, к-рый имеет такую же хар-ку, что и соответствующий нерегулируемый ламинарный дроссель, и отличается лишь варьированностью коэфф. α .

Чтобы иметь возможность выполнять пневматич. средствами любую линейную алгебраич. операцию, необходимо располагать общим способом реализации зависимости вида

$$P = \sum_{i=1}^n k_i p_i \quad (-\infty < k_i < +\infty),$$

где p_i — входные пневматич. сигналы (избыточные давления), P — избыточное выходное давление. Рассмотрим 2 способа решения этой задачи, каждый из к-рых представляет собой перенесение в пневматику соответствующего метода, применяемого в электронике. 1) На рис. 2, а представлена схема дроссельного компенсатора инвертирующего сумматора, построенного на базе решающего усилителя. Сумматор состоит из $n+1$ ламинарных дросселей с линейными дросселями (дроссели $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ и α^*), выходы к-рых объединены, и одного решающего усилителя. К n дросселям ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$) подводятся входные давления p_1, p_2, \dots, p_n , а на вход $(n+1)$ -го дросселя α^* подается давление P , устанавливающееся на выходе решающего усилителя. В камере

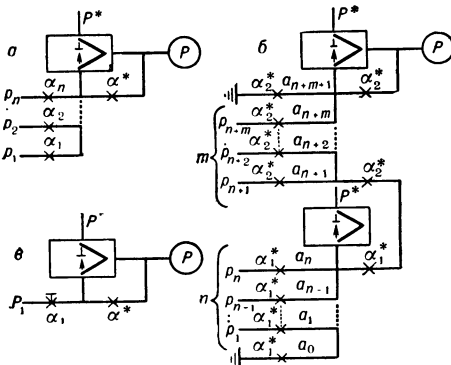


Рис. 2.

а решающего усилителя, к-рый работает с давлением P порядка 100 мм вод. ст., поддерживается неизменное давление $p_a = p^* = 50$ мм вод. ст., а камера б соединяется с линией, объединяющей выходы всех $n+1$ дросселей. Наличие отрицательной связи, шунтирующей решающий усилитель, обеспечивает поддержание в камере б давления $p_6 = p^*$. Преобладающей емкостью, объединяющей линии и

камеры б решающего усилителя, получим

$$\alpha^*(P - p^*) + \sum_{i=1}^n \alpha_i (p_i - p^*) = 0.$$

Вводя обозначения $\bar{p}_i = p_i - p^*$, $\bar{p} = P - p^*$ (отсчитывая все давления от величины p^* , принимаемой за условный нуль давления), имеем

$$\bar{p} = - \sum_{i=1}^n k_i \bar{p}_i,$$

где $k_i = \alpha_i / \alpha^*$. Величина k_i в этом случае может изменяться в пределах $0 < k_i < \infty$.

С помощью рассматриваемых сумматоров можно реализовать любые линейные алгебраические ф-ции. Напр., представленной на рис. 2, б схемой реализуется зависимость

$$P = \sum_{i=1}^n a_i p_i - \sum_{i=1}^m a_{n+i} p_{n+i}.$$

Возможно получение на базе этой схемы любой линейной алгебраической функции за счет применения в общем случае двух решающих усилителей. К числу важных частных случаев схемы рис. 2, а относятся: инвертирующий усилитель (рис. 2, в), получающийся из общей схемы при использовании в ней лишь одного входа P_1 (полагая $n=1$, имеем для этой схемы $\bar{p} = -k\bar{p}_1$, где $k = \alpha_1 / \alpha^*$); инвертор, получающийся из инвертирующего усилителя, если в нем $k = \alpha_1 / \alpha^* = 1$ (для него $\bar{p} = -\bar{p}_1$).

2) Дроссельный компенсатор сумматора 2-го типа (рис. 3) отличается от сумматора 1-го

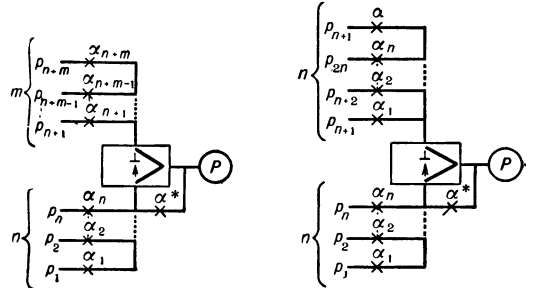


Рис. 3.

Рис. 4.

типа тем, что здесь камера а решающего усилителя соединяется с выходом дроссельного некомпенсатора сумматора с m входами. В

данном случае
$$P = q \sum_{i=1}^m a_{n+i} p_{n+i} - \sum_{i=1}^n a_i p_i,$$

где $a_i = \frac{\alpha_i}{\alpha^*}$, $q = \frac{1 + \sum_{i=1}^n a_i}{\sum_{i=1}^m a_{n+i}}$. Сумматор рассмат-

риваемого типа позволяет выполнить любую линейную алгебраич. операцию с применением лишь одного решающего усилителя, в отличие от сумматора, построенного по ранее рассмотренной схеме, где для этого требовалось применять по меньшей мере два решающих усилителя. Если $m = n+1$; $a_i = \alpha_{n+i}$ ($i=1, \dots, n$) и $\alpha_{2n+1} = \alpha^*$, то $q=1$, $a_i = a_{n+i}$ ($i=1, \dots, n$) и $a_{2n+1} = 1$ и, следовательно, $P = p_{2n+1} + \sum_{i=1}^n a_i (p_i - p_{n+i})$, где $a_i = \alpha_i / \alpha^*$. Соответствующая этому случаю

схема представлена на рис. 4. В таком виде чаще всего применяется дроссельный компенсатор сумматор 2-го типа. В случае $n=0$ эта последняя схема преобразуется в схему т. н. повторителя, осуществляющего операцию $\bar{p} = \bar{p}_1$ (рис. 5).

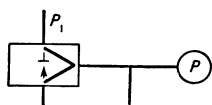


Рис. 5.

Приборы пневмоавтоматики, действие которых сводится к выполнению различных линейных алгебраич. операций, могут строиться на основе применения компенсаторов сумматоров (инвертирующих или 2-го типа), а иногда также и на основе использования простейших некомпенсационных сумматоров. Иногда оказывается целесообразным в одном приборе применять различные методы суммирования. Рассмотрим возможные схемы построения пропорц. регулятора, выполняющего операцию $P = k(p_1 - p_2) + p_3$, где P — давление на выходе регулятора, p_1 и p_2 — давления, пропорц. соответственно текущему и заданному значениям регулируемого параметра, p_3 — давление, определяющее т. н. контрольную точку, и k — коэфф. усиления регулятора. Схема пропорц. регулятора, построенная на одном лишь компенсаторе сумматоре 2-го типа рис. 6, а, является частным случаем схемы, изображенной на рис. 4. Будучи простой, эта схема обладает тем недостатком, что настройка величины коэфф. усиления в ней производится двумя дросселями. В схеме регулятора, построенного на 4 инвертирующих компенсаторов сумматорах (2 из них являются инверторами), настройка k осуществляется одним дросселем,

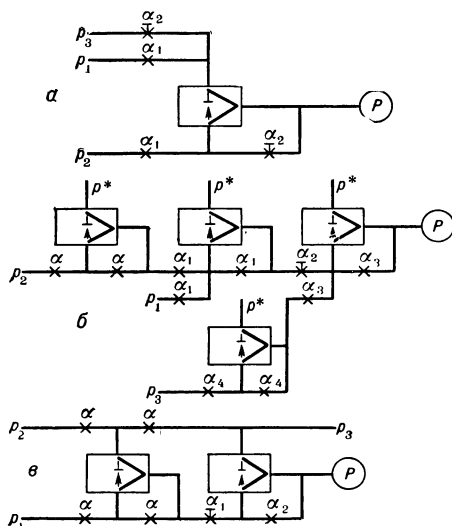


Рис. 6.

однако получено это за счет существенного усложнения схемы (рис. 6, б). В схеме регулятора, содержащей один компенсатор инвертирующий сумматор и один компенсатор сумматор 2-го типа (рис. 6, в), настройка коэфф. усиления ведется одним дросселем и, кроме того, по количеству аппаратуры она экономичнее схемы рис. 6, б.

Лит.: Березовцев Г. Т., Дмитриев В. Н., Талъ А. А., Новая система пневматических вычислительных устройств. I, «АиТ», 1961, т. 22 [№] 1. В. И. Чернышев.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР [computing center (амер.), computing centre (англ.); centre de calcul; Rechenzentrale] — предприятие, оснащенное ЭВМ и предназначенное для выполнения сложных и трудоемких вычислит. работ. По характеру решаемых задач и составу оборудования различают В. ц. общего назначения и В. ц. для обработки информации. В. ц. общего назначения осуществляет на машинах математич., инженерно-технич. и экономич. вычислит. работы, подготовку и программирование задач, разработку и исследование числ. методов решения задач, методов программирования и способов математич. и технич. эксплуатации ЭВМ.

В. ц. для обработки информации служит для статистич. обработки экономич. информации, обработки переписей, расчетов заработной платы и т. п., выполнения материально-технич. учета, плановых расчетов и др. Указанные задачи весьма стабильны по содержанию и методам решения и отличаются пост. периодичностью решения во времени. Поэтому в В. ц. для обработки информации в машинах постоянно хранятся значит. объемы учетной информации, и большой уд. вес имеют операции по вводу и выводу данных.

В зависимости от состава оборудования и производительности В. ц. бывают неск. классов. В. ц. 1-го класса имеют 4—8 больших цифровых ЭВМ с быстродействием св. 10 000 операций в сек. (типа БЭСМ-2, ИБМ-709 и т. д.), ряд АВМ, неск. комплектов счетно-аналитич. машин и 50—100 настольных клавишных вычислит. машин. В. ц. 2-го класса имеют прибор. половину оборудования В. ц. 1-го класса, а В. ц. 3-го класса — 1—2 цифровые ЭВМ, одну АВМ и неск. настольных клавишных вычислит. машин.

Организационно В. ц. включают в себя 3 осн. сектора: математич. подготовки и программирования задач (специалисты — математики, программисты); технич. эксплуатации вычислит. машин (специалисты — инженеры по вычислит. технике); эксплуатации вспомогат. оборудования (электропитание, вентиляция, холодильное оборудование и т. д.). Численность этих секторов зависит от характера решаемых задач (в основном, от степени их повторяемости), режима работы (одно-, двух- или трехсменная работа), состава оборудования и др. Данные о работе ряда отечеств. и зарубежных В. ц. позволяют указать следующие ориентировочные соотношения. Для обеспечения программы одной машины типа «Стрела», БЭСМ-2 и т. п. при ручном программировании требуется 50—100 программистов, из них половина — специалисты с высшим образованием и остальные — техники-программисты. Автоматизация программирования позволяет сократить этот состав в среднем наполовину. Для технич. обслуживания одной ЭВМ при односменной работе необходимо иметь 1—2 инженеров и 2—4 техников.

В секторе подготовки и программирования задач обычно выделяется спец. диспетчерская группа, к-рая регулирует порядок работы на машинах по отладке программ и решению задач, принимает заказы и оформляет результаты решения задач, а также на основании заявок заказчиков составляет планы работы и графики решения задач.

Обычно для решения каждой задачи выделяется определ. группа программистов, ру-

ководимая специалистом, имеющим опыт решения задач данного типа и понимающим физич. смысл задачи. Уточнение постановки задач, выбор числ. метода решения и составление логич. схемы программы проводятся математиками-программистами, а непосредств. расписывание команд программы или кодирование информации при автоматич. программировании — техниками-программистами. Составл. программы подвергаются сначала тщат. проверке вручную, после чего ведется их отладка на машинах. Отладка сложных программ осуществляется по этапам с помощью отладочной программы. При круглосуточной работе В. ц. дневное время отводится для отладки новых программ, а ночное время — для счета по готовым программам. В В. ц. имеется библиотека программ решенных задач, к-рые используются при решении новых задач.

Технич. эксплуатация машин состоит в систематич. профилактич. проверках и настройках машин и их ремонте. В. ц. консультирует заказчиков в постановке задач и выборе методов решения, а также помогают анализировать результаты.

Создаются В. ц. с вычислит. комплексами многоцелевого назначения, непосредственно соединенными каналами связи с большим количеством абонентов. Эти В. ц. автоматически получают от абонентов информацию и выдают им результаты. Примерами подобных комплексов с быстродействием свыше 1 млн. операций в сек. являются системы «Стреч», ЦВМ-1604 (обе США) и др. При оснащении В. ц. подобными комплексами, а также менее производит. машинами типа «Ларк», IBM-709, «Пилот» (США) и др. существенно меняются структура и характер работы самих В. ц., к-рые превращаются в сложные автоматич. (и даже самоорганизующиеся) системы обработки информации, приспособленные как для выполнения сложных вычислений, так и для обработки данных или управления реальными объектами. Вычислит. комплексы таких В. ц. могут одновременно решать ряд различных задач, автоматически выбирать оптим. порядок выполнения заданного объема вычислит. работ, осуществлять подготовку и автоматич. программирование задач и распределение времени решения, а также автоматически контролировать свою работу и устранять неисправности. Эксплуатация мощных систем централизов. обработки информации является экономически значительно более выгодной, чем внедрение и использование большого количества небольших машин в различных учреждениях. Так, машина «Стреч» с быстродействием св. 1 млн. операций в сек. обеспечивает получение миним. стоимости вычислит. работ.

В. ц. для обработки данных также могут быть непосредственно связаны каналами связи с обслуживаемыми пр-тиями и учреждениями. Напр., центр автоматич. обработки данных фирмы «Сильвания» (США) связан с учреждениями, пр-тиями, филиалами, находящимися в различных штатах, каналами связи общей протяженностью свыше 50 000 км.

В перспективе разница между В. ц. общего назначения и В. ц. для обработки данных стирается, ибо В. ц. будущего, оснащаемый сверхмощными вычислит. комплексами многоцелевого назначения, будет обслуживать учреждения определ. района в выполнении вычислит. работ, обработке данных и управлении различ-

ными объектами (фабрики, заводы и т. п.) в реальном масштабе времени. См. *Автоматизация управленческих работ.* А. И. Китов.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН СИМВОЛИКА (computers symbologie; symbolique des machines calculatrices; Symbolik der Rechenanlagen) — система условных обозначений элементов, узлов и устройств ЦВМ на логич., функцион. и структурных схемах. Приводимая символика содержит в осн. условные обозначения, получившие наиболее широкое распространение, и является удобной для практич. использования.

Условные обозначения (символы)	Обозначаемый объект
--------------------------------	---------------------

А. Обозначения элементов ЦВМ

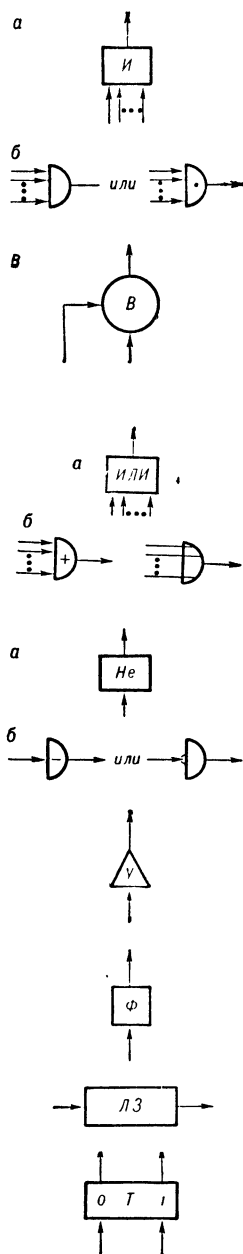


Схема «И» (схема совпадения) — схема, сигнал на выходе к-рой возникает лишь при одноврем. наличии сигналов на всех ее входах. Часто применяются и др. обозначения (б).

Схема «И» на два входа, один из к-рых (управляющий) чаще всего бывает потенциальным, а второй — импульсным (т. н. *вентиль*). Иногда вентиль рассматривается как синоним схемы «И», т. е. как схема с произвольным числом входов.

Схема «ИЛИ» (собирает. схема) — схема, сигнал на выходе к-рой возникает при наличии сигнала хотя бы на одном из ее входов. Встречаются также обозначения (б).

Схема «НЕ» (*инвертор*) — схема, сигнал на выходе к-рой возникает лишь при отсутствии сигнала на ее входе. Обозначается также (б).

Усилитель

Формирователь

Линия задержки

Триггер с разделенными (кодowymi) входами

Условные обозначения (символы)	Обозначаемый объект
	Триггер с общим (счетным) входом
	Триггер с разделенными (кодowymi) и общим (счетным) входом
	Динамич триггер
	Сумматор одноразрядный
	Полусумматор

Б. Обозначения узлов

	n-разрядный регистр
	n-разрядный счетчик
	n-разрядный регистр, обладающий счетным входом
	n-разрядный сумматор с разделенными входами для 1-го и 2-го слагаемых
	n-разрядный сумматор с общим входом для 1-го и 2-го слагаемых

Условные обозначения (символы)	Обозначаемый объект
	Дешифратор — узел, преобразующий n-разрядные коды в систему 2^n управляющих сигналов, каждому из n-рых соответствует один выходной канал
В. Обозначения устройств	
	Арифметич. устройство
	Центр устройство управления
	Местное управление операциями (местное устройство управления)
	Пульт управления
	Запоминающее устройство
	Оперативное запоминающее устройство
	Магнитное оперативное запоминающее устройство
	Долгосрочное запоминающее устройство
	Внешнее запоминающее устройство
	Печатающее устройство
	Перфоратор
	Перфоратор выходной
	Читающее устройство

И. А. Данильченко.

ВЯЗКОЕ ТРЕНИЕ (viscous friction; frottement visqueux; zähe Reibung) — сила, возникающая при движении твердого тела в жидкостях или газах. Как и любое трение, В. т. препятствует перемещению, что ведет к рассеиванию (диссипации) механич. энергии. Появление В. т. обусловлено весьма сложными молекулярными взаимодействиями в жидкости и прежде всего в ее пограничном слое. Величина В. т. зависит от размеров и формы тела, темп-ры, давления, вязкости жидкости, скорости движения, от течения жидкости. На эту зависимость существенно влияет число Рейнольдса $Re = R \cdot v \cdot d / \eta$, где R — линейный размер тела; d — плотность среды; v — скорость; η — коэфф. вязкости. Установлено, что для $Re < 1$ выполняется закон Стокса: $F = 6\pi R \eta v$, где F — сила В. т. Для $Re > 1$ известен закон Ньютона: $F = k R^2 dv^2$, где k — безразмерный коэфф.

При малых скоростях имеется линейная зависимость В. т. от скорости, при больших скоростях — квадратичная зависимость. Величина В. т. убывает с увеличением темп-ры. Все это справедливо при ламинарном (слоистом) течении жидкостей при скоростях, меньших нек-рой критич. скорости. При скоростях, больших критической, возникает турбулентный режим течения, связанный с образованием в жидкостях вихрей, для которых указанные выше ур-ния несправедливы.

В. П. Гришин.

Г

ГАЗА АНАЛИЗ, газовый анализ (gas analysis; analyse de gaz; Gasanalyse), — измерение концентрации компонентов газовой смеси газоанализаторами. Г. а. возможен, если компонент, концентрация которого измеряется, отличается от остальных компонентов газовой смеси по крайней мере одним физико-химическим свойством (чем больше отличие, тем чувствительнее измерение). Выбор метода Г. а. сводится к нахождению такого специфич. физико-химич. св-ва определяемого компонента. Число известных методов весьма велико вследствие большого числа компонентов, концентрация к-рых измеряется, большого разнообразия их физико-химич. св-в и еще большего разнообразия св-в сложных газовых смесей. В табл. приведена классификация чаще всего применяющихся методов Г. а.

Отличит. особенностью всех газоанализаторов является невозможность их универсального применения, связанная со специфич. св-вами неизмеряемого компонента, вследствие чего каждый газоанализатор может быть применен только в определ. условиях эксплуатации.

В большинстве случаев работа газоанализатора невозможна без ряда вспомогат. устройств, предназнач. для подготовки газовой смеси к анализу. Как правило, нельзя подать газовую смесь из технологич. системы непосредственно в газоанализатор без приведения к определ. значениям ее давления и темп-ры; освобождения ее от влаги, пыли и смол. В ряде случаев приходится, кроме того, прибегать к химич. очистке газовой смеси от некоторых мешающих определению или агрессивных компонентов, а также применять устройства, служащие побудителями расхода (газо-

Основные методы автоматического анализа газов

Механические	Тепловые	Магнитные	Электрические	Оптические	Масс-спектральные	Абсорбционные
Объемно-манометрические Плотномерные Звуковые и ультразвуковые	Теплопроводности Термохимические	Магнито-механические Термомагнитные	Ионизационные Электрохимические: кондуктометрические; деполяризационные; гальванические	Лучепоглощающие: инфракрасные; ультрафиолетовые; видимого света; микроволновые; фотоколориметрические Излучательные: радиационные (интегрального излучения); спектрофотометрические (спектральные) Интерферометрические	Газоаналитическая масс-спектрометрия	Газовая хроматография

Наиболее распространены газоанализаторы, основанные на измерении теплопроводности (см. *Газоанализатор термокондуктометрический*), термомагнитных (см. *Газоанализатор термомагнитный*) и гальванич. измерениях, измерении оптич. величин (см. *Газоанализатор оптический*) и хроматографические (см. *Хроматография автоматическая*). Реже используются газоанализаторы термохимические и плотномерные вследствие их малой избирательности, недостаточной надежности, эксплуатации, недостатков и трудности использования в системах автоматич. регулирования.

дувки, воздушодувки, насосы и др.), устройства для измерения и регулирования расхода.

Автоматич. газоанализаторы обычно градуируются в процентах по объему (% объемных), в г/м³, в мг/л. Между величинами концентрации C , выраженной в г/м³ (мг/л), и концентрации V , выраженной в % объемных, существует соотношение: $C = 0,16 \cdot V \cdot M \cdot \frac{p}{T}$, где M — молекулярный вес определяемого компонента, p — давление анализируемой газовой смеси в мм рт. ст., T — абс. темп-ра в градусах Кельвина. Это соотношение строго справедливо для идеальных газов, но при обычных

давлениях и темп-рах может использоваться и для реальных газов. Число частиц в единице объема зависит от состояния газовой смеси, поэтому измерения в $г/м^3$ или $мг/л$ являются точными лишь при определ. значениях давления и темп-ры. Наиболее удобной единицей измерения концентрации газов является % объемный, так как эта единица не зависит от давления и темп-ры. Пределы измерения газоанализатора должны быть такими, чтобы норм. рабочее значение концентрации измеряемого компонента составляло $2/3$ от верхнего предела измерения. Для повышения чувствительности измерения часто применяются газоанализаторы с уменьшенным диапазоном измерения и, в частности, газоанализаторы с безнулевыми шкалами. Абс. погрешность Г. а. относится обычно к диапазону измерения, т. е. получается как отношение абс. погрешности к разности наибольшего и наименьшего значения измеряемой величины и только в некоторых случаях определяется в процентах от измеряемой величины.

Весьма важной хар-кой газоанализатора, часто определяющей возможность его применения для того или иного случая эксплуатации (особенно при использовании в системах автоматич. регулирования), является инерционность показаний, под к-рой понимается время, прошедшее с момента изменения концентрации определяемого компонента на входе в приемник газоанализатора до момента установления стрелки показывающего прибора на соответствующем делении шкалы, с точностью в пределах основной погрешности. Инерционность газоанализатора в комплекте с вспомогат. аппаратурой значительно больше и определяется составом вспомогат. аппаратуры и длиной подводящей магистрали. Для снижения инерционности обычно по возможности уменьшают емкость вспомогат. устройств и длину подводящего газопровода с одноврем. увеличением величины расхода анализируемой газовой смеси. На основе автоматич. Г. а. осуществляются контроль и автоматизация всевозможных химико-технологич. процессов, связанных с получением и использованием газов (черная, цветная и спец. металлургия, коксохимич. произ-во, нефтепереработка, газовая пром-сть, различные химич. произ-ва, теплосиловая и атомная энергетика и др.).

Техника автоматич. Г. а. развивается в направлении использования наиболее избират. методов, позволяющих создавать газоанализаторы высокой чувствительности и точности с малой инерционностью показаний.

В. А. Павленко.

ГАЗОАНАЛИЗАТОР МАГНИТНЫЙ (magnetic gas analyser; analyseur magnétique de gaz; magnetischer Gasanalysator) — газоанализатор, основанный на измерении магнитных свойств газовых смесей. Г. м. предназначены в первую очередь для определения содержания кислорода, обладающего аномально высокой магнитной восприимчивостью $\chi = +146 \cdot 10^{-9}$ абс. эл.-магн. ед./см³ при 20°C, в то время как для большинства других газов эта величина не превосходит $\pm 3 \cdot 10^{-9}$. Такое соотношение восприимчивостей обеспечивает хорошую избирательность магнитных методов анализа кислорода. Другие парамагнитные газы NO ($\chi = +60 \cdot 10^{-9}$) и NO₂ ($\chi = +9 \cdot 10^{-9}$) редко встречаются в смеси с

кислородом. Г. м. в зависимости от физич. явления, положенного в основу их работы, делятся на:

1) Газоанализаторы магнитомеханические, в к-рых используют механич. силы, возникающие в неоднородном магнитном поле на границе двух сред с различной магнитной восприимчивостью. Одной из сред является анализируемая газовая смесь, другой — твердое тело (ротор), подвешенное на упругой нити, или вспомогат. газ.

2) Газоанализаторы термомагнитные, в которых используется явление термомагнитной конвекции, возникающей около нагретого тела, окруженного парамагнитным газом в неоднородном магнитном поле. Конвективные потоки приводят к охлаждению тела (обычно термосопротивления, включенного в мостик), пропорц. содержанию кислорода в смеси.

3) Газоанализаторы магнитовискозиметрические, основанные на явлении уменьшения вязкости парамагнитных газов в магнитном поле. Представляют собой пневматический мостик (рис.), составленный из 4 капилляров, 2 из к-рых помещены в поле магнита. Разбаланс моста — давление Δp — пропорционально содержанию кислорода. Малый эффект уменьшения вязкости (0,2—0,4% для чистого кислорода) и большое запаздывание показаний являются существенными недостатками прибора, из-за к-рых он почти не находит применения.

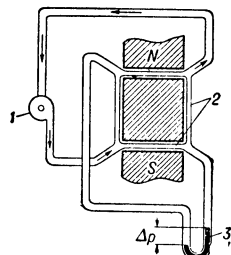


Схема магнитовискозиметрич. анализатора кислорода: 1 — насос; 2 — капилляр; 3 — дифманометр.

4) Газоанализаторы магнитотермокондуктометрические, в которых используется явление уменьшения теплопроводности парамагнитных газов в магнитном поле. Представляют собой мост, составленный из 4 термосопротивлений, заключенных в проточные камеры, 2 из плеч моста помещены в магнитное поле; при наличии кислорода теплоотдача от этих двух сопротивлений уменьшается и появляется разбаланс моста. Чувствительность газоанализатора невысока: изменение теплопроводности для чистого кислорода в поле 10 кэ при атм. давлении составляет 0,6%, при давлении 40 мм рт. ст. — 1,2%.

Практич. применение нашли только первые два типа Г. м. Магнитомеханич. газоанализаторы обладают тем преимуществом, что на их показания не влияют никакие физич. свойства газов, кроме магнитных. Однако они менее надежны в эксплуатации. Показания термомагнитных газоанализаторов зависят от теплопроводности, вязкости и теплоемкости газа. Величина зависимости определяется конструкцией прибора. Последние два типа газоанализаторов целесообразно использовать при малых давлениях газа (5—100 мм рт. ст.), где их чувствительность относительно высока, а явление термомагнитной конвекции проявляется слабо.

Лит.: Агейкин Д. И., Приборы для анализа газов по магнитным свойствам, «АиТ», 1949, т. 10, [№] 6, с. 452; Шейнин Д. М., Ершов Б. Б., Ярмач М. К., Отечественные термомагнитные газоанализаторы, в кн.: Автоматические газоанализаторы, М., 1961, с. 95. М. К. Ярмач.

ГАЗОАНАЛИЗАТОР МАГНИТОМЕХАНИЧЕСКИЙ (magnetomechanical gas analyser; analyseur magnéto-mécanique de gaz; magnetomechanischer Gasanalysator, Paramagnetisches Sauerstoff-Analysengerät) — газоанализатор, основанный на использовании парамагнитных свойств газов. Практически применяется для анализа содержания кислорода, который резко отличается от всех др. газов своей высокой магнитной восприимчивостью (см. Газоанализатор магнитный). В основу действия Г. м. положено измерение механич. усилий, возникающих в неоднородном магнитном поле на границе двух сред, различающихся по своим магнитным свойствам. Одной из этих

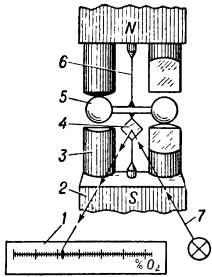


Рис. 1. Схема магнитомеханич. газоанализатора: 1 — шкала; 2 — постоянный магнит; 3 — магнитный наконечник; 4 — зеркало; 5 — ротор; 6 — нить подвеса; 7 — луч света.

сред является анализируемая газовая смесь, другой — твердое тело (магнитомеханич. газоанализатор) или газ с отличной магнитной восприимчивостью, чаще диамагнитный газ (магнитоопневматич. газоанализатор). Г. м. (рис. 1) состоит из магнитной системы 2, 3, легкого, подвешенного на растяжках 6 полого ротора 5, выполняемого обычно в форме гантели, камеры для подвода анализируемого газа к ротору и системы светового отсчета 7, 4, 1 угла поворота ротора. Усилие, действующее на каждый из шариков объемом $V(\text{см}^3)$, равно $F = V \cdot H \cdot \text{grad} H (\chi_p - \chi_r) \text{дин}$, где χ_p — магнитная восприимчивость тела ротора, χ_r — магнитная восприимчивость газа, H — напряженность магнитного поля (э). При пост. значениях H и χ_r величина F пропорциональна только χ_r , т. е. содержанию кислорода в газовой смеси. Эта величина измеряется по углу отклонения ротора или компенсац. методом, для чего сила, стремящейся повернуть ротор в магнитном поле, противопоставляется сила, стремящаяся возвратить его в первонач. положение. Это достигается различными средствами. Наиболее распространены электростатич. и магнитоэлектрич. методы компенсации; в первом случае используется электростатич. притяжение между металлизиров. поверхностью ротора и двумя электродами, во втором — взаимодействие тока, протекающего по рамке, надетой на ротор, с магнитным потоком.

Г. м. изготавливаются на любые пределы измерения содержания кислорода. Точность их составляет 1—2% от пределов шкалы. Применяются Г. м. как лабораторные приборы, реже — для пром. целей.

В магнитоопневматическом газоанализаторе (рис. 2) в измерит. камеру 3, в к-рой симметрично размещены магнитные 1 и ложные 2 геометрически подобные наконечники, поступают одновременно анализируемый газ, содержащий кислород, и сравнит. газ, имеющий пост. магнитную восприимчивость χ_0 (обычно азот). Если содержание кислорода в сравнит. газе меньше, чем в анализируемом, то анализируемый газ, стремясь втянуться в магнитное поле, затрудняет тем самым выход сравнит. газа из отверстия в магнитном наконечнике.

В то же время через отверстие в ложном наконечнике сравнит. газ выходит беспрепятственно. В результате неодинаковости условий истечения сравнит. газа через отверстия в магнитном и ложном наконечниках возникает перепад

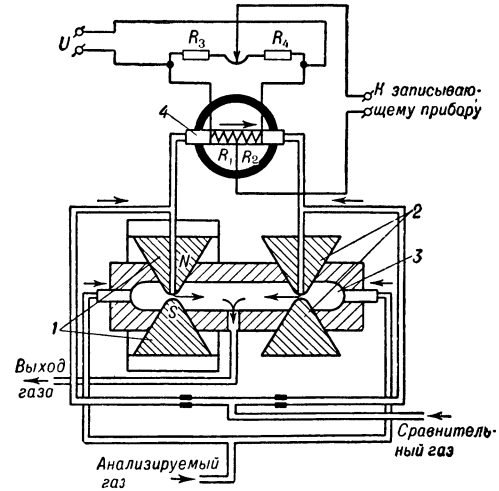


Рис. 2. Схема магнитоопневматич. газоанализатора: R_1 и R_2 — рабочие плечи измерит. моста; R_3 и R_4 — пост. плечи измерит. моста; 1 — магнитные наконечники; 2 — ложные наконечники; 3 — измерит. камера; 4 — термоанемометр.

давления Δp , пропорц. разности концентраций кислорода в анализируемом и сравнит. газах. Величина перепада давления определяется выражением: $\Delta p = \frac{1}{2} (\chi_r - \chi_0) \cdot H^2 \frac{W_1}{W_1 + W_2}$, где W_1 — расход сравнит. газа, W_2 — расход анализируемого газа. Абс. величина его весьма мала (при применении пост. магнитов макс. значение $\Delta p = 0,5 \text{ дин/см}^2/1\% \text{ O}_2$). Ее измерение обычно производится косв. методом с помощью термоанемометра 4. Существенно важное преимущество Г. м. обоих типов — отсутствие влияния на показания к.-л. физич. свойств газа, кроме магнитных.

Магнитоопневматич. газоанализатор может быть использован для анализа агрессивных газовых смесей. Его недостатком является необходимость поддержания пост. потока сравнит. газа.

Лит.: Агеев Д. И., Приборы для анализа газов по магнитным свойствам, «Аи1», 1949, т. 10, [№] 6, с. 452; его же, в кн.: Автоматические газоанализаторы, М., 1961, с. 111; Ярмак М. К., там же, с. 125; Munday C. W., A precision oxygen analyser for chemical plants, в кн.: Automatic measurement of quality in process plants, L., 1958; Kunt W., «Regelungstechnik», 1956, H. 5, S. 117.

ГАЗОАНАЛИЗАТОР ОБЪЕМНО-МАНОМЕТРИЧЕСКИЙ (volumetric gas analyser; analyseur volumétrique de gaz du type manomètre; volumetrisch-manometrisches Gasanalysengerät) — газоанализатор, основанный на удалении в результате химич. поглощения или сжигания одного из компонентов газовой смеси и измерении связанного с этим изменения объема пробы при пост. давлении или давления при пост. объеме. По способу удаления определяемого компонента из газовой смеси Г. о.-м. разделяются на поглотит., сжигательные и комбинированные — сжигательно-поглотит. Г. о.-м. позволяют поочередно определять неск. компонентов газовой смеси, т. е. производить избират. анализ.

Основными достоинствами Г. о.-м. являются простота конструкции и универсальность: один и тот же прибор может быть приспособлен для определения концентрации различных газов. Вид газа определяется используемыми реактивами. Недостатки Г. о.-м.: невысокая точность анализа, длительность анализа, невозможность измерения малых концентраций газов, необходимость частой проверки и смены реактивов, большие габариты, наличие хрупких стеклянных деталей. Г. о.-м. используются как для лабораторных анализов, так и для автоматич. газового анализа в пром-сти. Работа любого Г. о.-м. сводится к последоват. осуществлению вручную или автоматически след. операций: забор и отмеривание объема пробы газа при атм. давлении; удаление пробы определяемого компонента; измерение уменьшившегося объема пробы при том же давлении или измерение давления при пост. объеме; удаление из прибора проанализиров. пробы.

Отечеств. пром-стью выпускаются след. Г. о.-м. ручного действия: переносные ГХП2 и ГХП3 (ГОСТ 6329-52) для определения процентного содержания компонентов газовой смеси посредством поглощения; лабораторный Г. о.-м. ВТИ-2 (ГОСТ 7018-54) для определения компонентов газовой смеси посредством избират. поглощения и фракциониров. сжигания; переносный Г. о.-м. ПАК-3 для определения кислорода посредством поглощения последнего медью и жидким реагентом. В автоматич. самопишущем газоанализаторе ГА-СХ-1 (рис.) для определения углекислоты в газовых смесях электродвигатель 1 через передачу сообщает возвратно-поступат. движение плунжеру 3, к-рый, перемещаясь в цилиндре 2, периодически вытесняет ртуть в волюметр 4, в к-ром отмеривается проба газа,

подъема ртути клапан 5 перекрывается ртутью. Поэтому объем пробы газа при дальнейшем повышении ртути поступает уже не в атмосферу, а под колокола 8 и 9 измерит. устройства. Высота подъема колокола 9 является мерой концентрации углекислого газа, к-рая фиксируется пером, связанным с колоколом, на диаграмме 10.

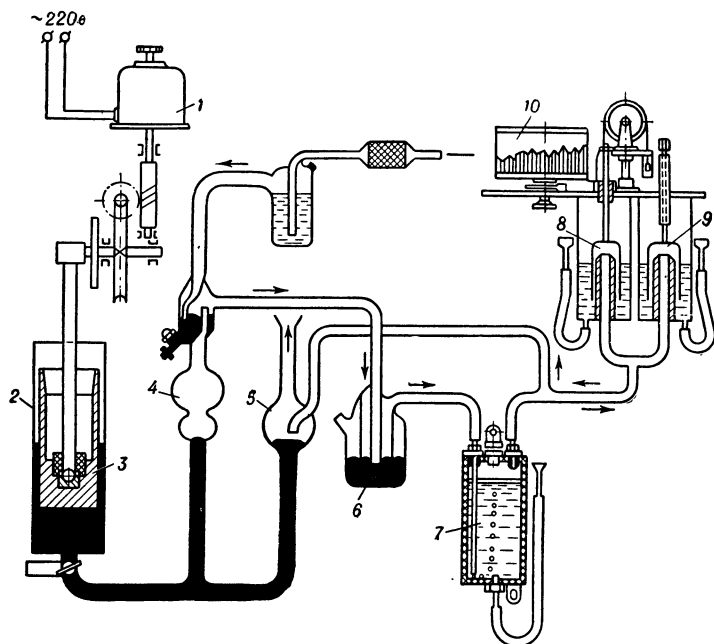
Лит.: Файнберг М. М., Автоматические газоанализаторы, Свердловск — М., 1941.

В. А. Павленко.

ГАЗОАНАЛИЗАТОР ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИЙ [optical-acoustic gas analyser; analyseur optique-phonique (acoustique) de gaz; optisch-akustischer Gasanalysator] — газоанализатор, основанный на измерении степени поглощения прерывистого инфракрасного излучения (см. Газоанализатор оптико-акустический). ИК излучение поглощается газами, молекулы которых состоят из двух или большего числа различных атомов или ионов. Газы, состоящие из одинаковых атомов — кислород (O_2), водород (H_2), азот (N_2), и одноатомные газы — гелий (He), неон (Ne), аргон (Ar) — не поглощают ИК радиации. Особенностью Г. о.-а. является наличие в них избират. лучеприемника, к-рый представляет собой замкнутый объем, наполн. анализируемым компонентом газовой смеси и снабж. окном, пропускающим ИК лучи. Под действием прерывистой ИК радиации газ, находящийся в лучеприемнике, периодически нагревается и охлаждается. В результате этого в замкнутом объеме возникают периодич. колебания температуры и давления газа, воспринимаемые микрофоном, находящимся внутри лучеприемника. Лучеприемник, наполненный каким-либо одним газом, является избират. (селективным), так как процесс поглощения лучистой энергии и связанные с ним колебания темп-ры и давления происходят только при определ. длинах волн, соответствующих спектру поглощения газа, к-рым заполнен лучеприемник.

Если на пути прерывистого потока ИК радиации поместить оптическую камеру с окнами, пропускающими ИК радиацию, и заполнить эту камеру сложной газовой смесью, содержащей тот же компонент, что и в лучеприемнике, то амплитуда колебаний темп-ры и давления в замкнутом объеме лучеприемника будет обратно пропорциональна концентрации этого компонента в анализируемой газовой смеси.

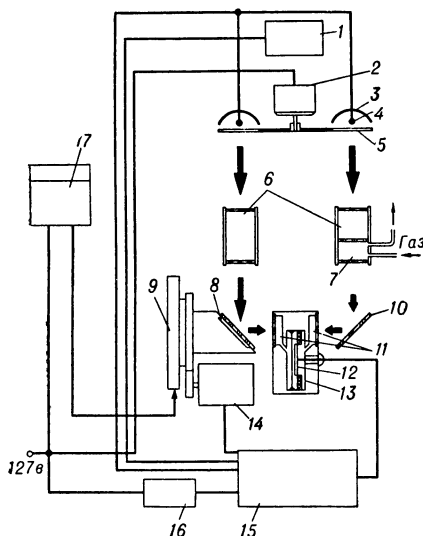
Для получения пужной точности измерения в Г. о.-а. применяется двухканальная (дифференц.) оптич. схема. На рис. изображена оптич. схема одного из наиболее совершенных Г. о.-а. Два источника ИК радиации (обычно



и в выхлопной клапан 5. Ртуть вытесняет из волюметра газ через клапан 6 в поглотит. сосуд 7, в к-ром углекислота поглощается щелочью. Непоглощ. часть пробы газа вытесняется через клапан 5 в атмосферу. В момент

накаленные нихромовые спирали) излучают потоки радиации в два идентичных оптич. канала. Оба потока радиации поочередно прерываются обтуратором с частотой 5—6 гц. В правом канале поток прерывистой ИК

радиации проходит последовательно фильтровую и рабочую камеры, после чего, отразившись от зеркала, поступает в правый приемный цилиндр оптико-акустич. лучеприемника. В левом канале поток радиации проходит



Измерит. схема оптико-акустич. газоанализатора с газовой компенсацией: 1 — синхронный выпрямитель; 2 — синхронный двигатель; 3 — отражатель; 4 — излучатель; 5 — обтюратор; 6 — фильтровые камеры; 7 — рабочая камера; 8 — компенсационная камера; 9 — реохорд; 10 — отражающая пластина; 11 — лучеприемный микрофон; 12 — конденсаторный микрофон; 13 — лучеприемник; 14 — реверсивный двигатель; 15 — усилитель и блок питания; 16 — стабилизатор; 17 — электронный самопишущий прибор.

соответственно фильтровую камеру и, отразившись от подвижного зеркала компенсационной камеры, поступает в левый приемный цилиндр оптико-акустич. лучеприемника. Лучеприемник, а также компенсационная камера заполнены тем газом, концентрация которого измеряется в сложной газовой смеси. В средней части оптико-акустич. лучеприемника установлен конденсаторный микрофон, мембрана которого в равной степени воспринимает колебания давления в левой и правой частях лучеприемника. Схема работает по принципу компенсации. Поглощение ИК излучения измеряемым компонентом в рабочей камере правого оптич. канала компенсируется таким же спектрально-избирательным поглощением ИК излучения компенсируемым компонентом в компенсационной камере. Длина слоя газа в компенсационной камере может изменяться за счет перемещения в ней отражающего зеркала, которое осуществляется реверсивным двигателем, питающимся от усилителя. Каждому значению концентрации измеряемого компонента в анализируемой газовой смеси соответствуют определенная длина слоя этого же компонента в компенсационной камере и положение стрелки показывающего прибора, питающегося от реохорда компенсационной камеры. Изменение пределов измерения достигается подбором длины рабочей камеры. Фильтровые камеры заполняются тем или иным газом или смесью газов в зависимости от состава определяемых компонентов в газовой смеси. Чувствительность газоанализатора зависит от оптич. длины рабочей камеры, чувствительности

лучеприемника и чувствительности измерит. схемы.

Лит.: Павленко В. А., Печников Е. К., «ПиСА», 1961, № 10, с. 6; Печников Е. К., Меламед А. Г., в кн.: Автоматические газоанализаторы, М., 1961, с. 193; Бреслер П. И., там же, с. 287.

ГАЗОАНАЛИЗАТОР ОПТИЧЕСКИЙ (optical gas analyser; analyseur optique de gaz; optischer Gasanalysator) — газоанализатор, основанный на измерении одного из оптич. свойств анализируемой газовой смеси (или вспомогат. вещества, прореагировавшего с анализируемым компонентом газа). Такими свойствами являются: оптич. плотность (показатель преломления), спектр поглощения и спектр излучения. Оптич. плотность газов измеряется интерферометрами, основ. на смещении интерференц. полос, образованных смещением двух когерентных (находящихся в одной фазе) световых потоков, один из которых проходит через анализируемую смесь. Г. о. интерференционные выпускаются в виде лабораторных приборов высокой чувствительности и переносных приборов небольшого габарита. В обоих типах предусмотрены визуальное наблюдение интерференц. картины, ручное приведение к нулевому ее положению и отсчет показателя преломления по положению лимба. Г. о. интерференц. не обеспечивают избирательности анализа; применяются для определения примесей метана, углекислого газа и др. газов в воздухе.

Наиболее распространены Г. о., основ. на измерении степени поглощения излучения (Г. о. абсорбционные). Действие их основано на законе Ламберта: $E_\lambda = E_{\lambda_0} \cdot e^{-\epsilon_\lambda CL}$, где E_{λ_0} — спектральная интенсивность падающего излучения; E_λ — спектральная интенсивность прошедшей радиации; ϵ_λ — молярный показатель поглощения, характерный для данного газа и являющийся ф-цией длины волны; C — молярная концентрация определяемого компонента; L — толщина слоя газа (длина оптич. камеры). Спектр поглощения, т. е. зависимость ϵ_λ от длины волны λ , состоит из отдельных полос резонансного поглощения, расположенных в самых различных участках шкалы электромагнитных волн от миллиметровых радиоволн до рентгеновского и γ -излучения. Так, напр., окись углерода, двуокись углерода, метан и ряд др. многоатомных газов имеют ярко выраженные спектры поглощения в ИК области; хлор, фтор, пары ртути и ряд углеводородов — в ультрафиолетовой; окислы азота — в видимой области и др. Несовпадение спектров поглощения различных газов обеспечивает возможность избират. анализа сложных смесей. Основными элементами Г. о. абсорбц. являются источник излучения, камера с прозрачными стенками, заполняемая анализируемым газом, и приемник излучения. В зависимости от выбранного участка длин волн используются различные типы излучателей и приемников (см. табл.). Избирательность анализа достигается следующими методами: а) применением избират. источников, излучающих энергию в узком участке спектра, соответствующем резонансной полосе поглощения анализируемого компонента. Таким источником может служить, напр., струя нагретого газа или лампа тлеющего разряда, заполненная газом, соответствующим определяемому компоненту; б) спектральным разложением излучения с помощью призмы. Пово-

ротом призмы можно выбирать длину волны, соответствующую резонансному поглощению любого компонента. Существуют автоматич. ИК газоанализаторы такого типа на 10 компонентов; в) вырезанием посредством фильтров нежелат. участков спектра, соответствующих полосам поглощения неизмеряемых компонентов смеси. Фильтрами обычно служат камеры, заполняемые смесью соответствующих газов; г) применением избират. приемников, реагирующих только на длины волн, соответствующие резонансному поглощению определяемого компонента. Наиболее эффективным является оптико-акустический, использующий явление нагрева газа проходящим через него излучением (см. Газоанализатор оптико-акустический). Г. о. абсорбц. строятся, как правило, по дифференциальной схеме (рис. 1).

К Г. о. излучения лучистой энергии (эмиссионным) относятся спектрофотометрич., основанные на измерении интенсивности спектральных линий излучения, зависящих от концентрации определяемого компонента. В этих Г. о. излучение (свечение) газовой смеси возбуждается обычно газовым разрядом. Они

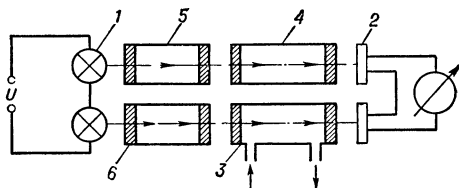


Рис. 1. Принципиальная схема абсорбционного оптич. газоанализатора: 1 — источник излучения; 2 — приемник излучения; 3 — камера с анализируемой смесью газа; 4 — сравнит. камера с газовой смесью, не содержащей анализируемого компонента; 5 — фильтровые камеры со смесью газов, соответствующих неанализируемым компонентам смеси; 6 — прозрачные окна.

служат в основном для определения инертных газов (аргона, гелия и др.) в бинарных смесях,

содержания азота в аргоне в пределах 0—1% (спектрофотометрич. газоанализатор типа СФ4101, рис. 2). Смесь газов под действием разрежения, создаваемого форвакуумным насосом, проходит через фильтр-осушитель, регулирующий вентиль, индикатор расхода,

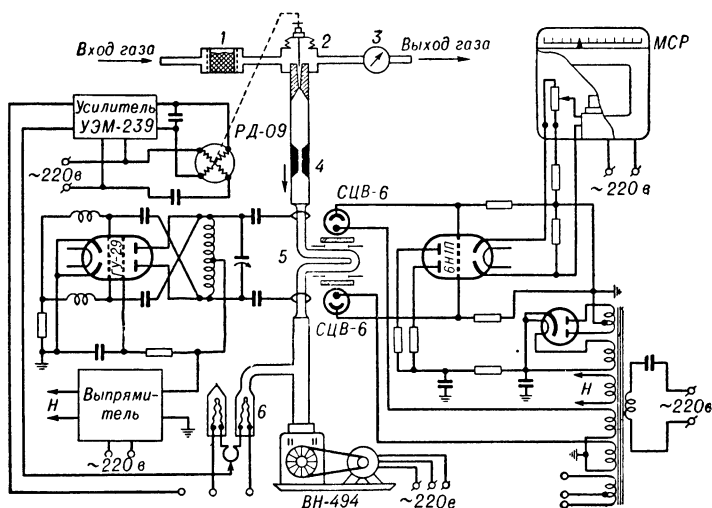


Рис. 2. Принципиальная схема спектрофотометрич. газоанализатора: 1 — фильтр-осушитель; 2 — регулирующий вентиль; 3 — индикатор расхода; 4 — дроссель; 5 — разрядная трубка; 6 — термовакuumметр.

дроссель и разрядную трубку, имеющую U-образную форму. Давление газа в разрядной трубке автоматически поддерживается регулирующим вентилем, игла которого перемещается реверсивным двигателем. Датчиком изменения давления является миниатюрное платиновое термосопротивление. ВЧ напряжение подается на внешние электроды разрядной трубки от генератора. Световые потоки от разрядной трубки проходят через два светофильтра, пропускающие соответственно спектральные линии двух компонентов, и попадают на два фотоэлемента. Автоматич. потенциометр измеряет отношение фототоков.

Для анализа концентрации примесей в воздухе используется хемилюминесцентный метод анализа, основанный на измерении интенсивности хемилюминесцентного свечения газа, происходящего при образовании молекул NO_2 из NO и атомарного кислорода в результате тлеющего разряда. Интенсивность свечения снижается пропорционально concentra-

Типы излучателей и приемников, применяемых при различных диапазонах волн

Участок длин волн	Излучатель	Фильтрующее окно	Приемник
Микроволны	Отражат. клистрон		ПН детектор
Инфракрасные волны	Нагретая спираль Стержень из ПП Нагретый газ Ионизированный газ	Флюорит Каменная соль	Термистор Болеметр Термобатарея Фотоэлемент Оптико-акустич. приемник
Видимые волны	Лампа накаливания	Стекло, кварц	Фотоэлемент Фотосопротивление
Ультрафиолетовые волны	Ртутная лампа Газосветная лампа	Кварц, увиолсовое стекло	Фотоэлемент Фотосопротивление
Рентгеновское излучение	Рентгеновская трубка		Сцинтилляционный счетчик Счетчик Гейгера
γ -излучение	Изотопы Co^{60}		

ции примесей. Метод анализа не обладает избирательностью. Газоанализатор состоит из вакуумного насоса, создающего разрежение 0,5—3 мм рт. ст., стеклянной трубки с двумя внешними электродами, питаемыми от ВЧ-генератора, и фотоэлемента, измеряющего свечение газа [6].

Лит.: 1) Александров В. В. и Борок М. Т., «ЗЛ», 1960, т. 26, № 2, с. 214; 2) Борок М. Т., Александров В. В., в кн.: Автоматические газоанализаторы, М., 1961, с. 299; 3) Борок М. Т., там же, с. 307; 4) Вейнгер М. Л., там же, с. 177; 5) Павленко В. А., в кн.: Теплоэнергетические и химико-технологические приборы и регуляторы, под ред. П. И. Кремлевского, М.—Л., 1959, с. 96; 6) Крапивин Л. Е., в кн.: Автоматические газоанализаторы, М., 1961, с. 332; 7) Крапивина С. А., Крапивин Л. Е., там же, с. 337. В. А. Павленко.

ГАЗОАНАЛИЗАТОР ТЕРМОКОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЙ (thermo-conductometric gas analyser; analyseur thermoconductometrique de gaz; Gasanalysengerät nach dem Wärmeleitfähigkeitsprinzip) — газоанализатор, основанный на измерении величины теплопроводности анализируемых газов. Г. т. представляет собой мостик, плечами которого являются 4 термосопротивления (платиновые проволоки или ПП стержни), расположенные в двух рабочих и двух сравнит. камерах. Через рабочие камеры пропускается анализируемая смесь газов, сравнит. камеры заполняются эталонной смесью газов (обычно смесью, соответствующей началу шкалы) и герметически закрываются. Питание мостика подбирается так, чтобы перегрев термосопротивлений составил 50—150° С. Количество тепла, отдаваемого термосопротивлением в единицу времени, пропорционально величине перегрева и теплопроводности окружающего газа. Изменение теплопроводности анализируемой смеси вызывает изменение темп-ры рабочих термосопротивлений и эдс разбаланса мостика. Ток разбаланса измеряется вторичным прибором, шкала к-рого калибруется в объемных % анализируемого компонента.

С целью частичного снижения влияния изменения окружающей темп-ры на показания

став — находятся в общем металлич. блоке. Из них два плеча R_1 омываются анализируемой смесью, четыре плеча R_2 помещены в герметичные камеры, заполненные газовой смесью, соответствующей началу шкалы газоанализатора, два плеча R_3 помещены в герметичные камеры, заполненные газовой смесью, соответствующей концу шкалы Г. т. В качестве вторичного прибора использован автоматич. компенсатор, включенный по схеме, обеспечивающей измерение отношения напряжений разбаланса двух мостиков.

Г. т. по принципу действия позволяет анализировать только двухкомпонентные смеси или многокомпонентные смеси, состав к-рых изменяется за счет изменения концентрации только одного компонента. С целью повышения избирательности метода используются газоанализаторы, в к-рых анализируемая газовая смесь проходит через рабочие камеры, затем через реактор, где из нее удаляется анализируемый компонент, после чего смесь поступает в сравнит. камеры. При такой схеме разбаланс измерит. мостика пропорционален содержанию анализируемого компонента и не зависит от состава остальной части смеси. Анализируемый компонент удаляется из анализируемой смеси путем либо химич. поглощения избират. поглотителем, либо сжигания на избират. катализаторе.

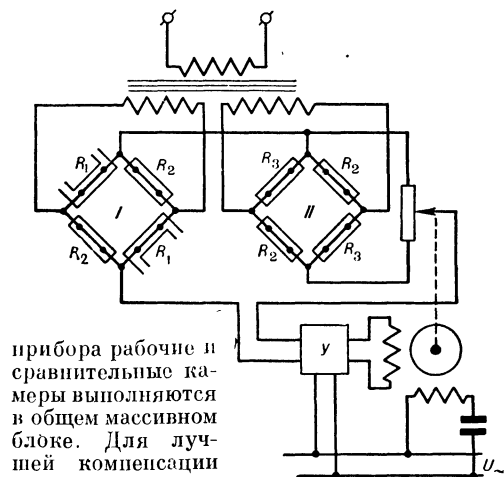
Лит.: Турчин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, 3 изд., М.—Л., 1959; Эйкен А., Физико-химический анализ в производстве, пер. с нем., Л., 1936. Н. С. Матрсова.

ГАЗОАНАЛИЗАТОР ТЕРМОМАГНИТНЫЙ (thermo-magnetic gas analyser; analyseur thermo-magnétique de gaz; thermomagnetscher Gasanalysator) — газоанализатор, основанный на зависимости парамагнитных свойств кислорода от темп-ры. По закону Кюри, объемная магнитная восприимчивость кислорода, обладающего аномально высокими магнитными св-вами, равна: $\chi = \frac{CPM}{RT^2}$, где C — постоянная Кюри; P — давление; M — молекулярный вес; R — газовая постоянная; T — абс. темп-ра. Около нагретого тела, окруженного парамагнитным газом в неоднородном магнитном поле, возникает термомагнитная конвекция: частицы нагретого газа непрерывно выталкиваются из магнитного поля холодным газом с более высокими магнитными св-вами. Выталкивающая сила, действующая на элементарный объем dV нагретого до темп-ры T_2 газа, равна

$$dF = q \cdot \frac{CPM}{R} \left(\frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_2^2} \right) H \frac{\partial H}{\partial x} dV,$$

где q — концентрация кислорода; T_1 — абс. темп-ра холодного газа.

Существуют 2 типа Г. т., различающиеся по методу измерения интенсивности термомагнитной конвекции: Г. т. термоанемометрич. типа, в к-рых интенсивность термомагнитной конвекции измеряется с помощью термоанемометра по охлаждающему действию потока газа, и Г. т. пьезометрич. типа, в к-рых измеряется величина давления остановленного потока термомагнитной конвекции. Одно из широко распространенных исполнений Г. т. первого типа (рис. 1) содержит кольцевую камеру и термоанемометр в виде трубки с двумя секциями платиновой намотки, включенными в мостовую схему и нагретыми проходящим через них током. Один край термо-



прибора рабочие и сравнительные камеры выполняются в общем массивном блоке. Для лучшей компенсации температурных погрешностей и влияния изменения напряжения питания используется логотрич. схема измерения с двумя мостиками (см. рис.). Мост I — рабочий, мост II — сравнительный. Мосты питают перем. током от двух вторичных обмоток тр-ра. Термосопротивления — плечи обоих мо-

анемометра помещен в магнитное поле, благодаря чему внутри трубки образуется поток термомангнитной конвекции, вызывающий охлаждение одной секции и подогрев другой. На основе этой схемы построены отечеств. газоанализаторы МГК-2, МГК-4 и МГК-6. В Г. т. (рис. 2) поток термомангнитной конвекции

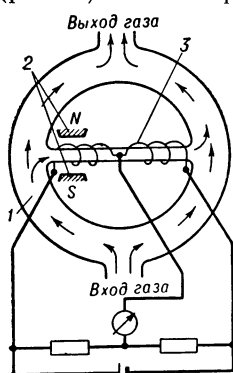


Рис. 1

Рис. 1. Схема термомангнитного газоанализатора с кольцевой камерой: 1 — кольцевая камера; 2 — полюсные наконечники; 3 — двухсекционный чувствит. элемент.

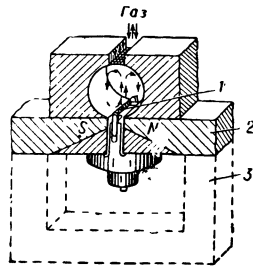


Рис. 2.

Рис. 2. Схема термомангнитного газоанализатора с чувствит. элементом цилиндрич. формы: 1 — чувствит. элемент; 2 — полюс магнита; 3 — магнитный шунт для проверки нуля прибора.

счет диффузии через верхнее отверстие, вследствие чего показания прибора не зависят от расхода. В результате термомангнитной конвекции, направление к-рой показано стрелками, происходит передача тепла от нагретого чувствит. элемента к стенкам камеры. На основе такой камеры построены отечеств. газоанализаторы на кислород МН-5106, МН-5109 и МН-5110, работающие на перем. токе. Оба исполнения Г. т. позволяют измерять весьма малые концентрации кислорода — до 0,5% на всю шкалу. Для измерения малых изменений концентрации кислорода вблизи 100% используются приборы, в к-рых поток термомангнитной конвекции частично подавляется потоком естеств. тепловой конвекции. В частности, это имеет место в приборе (рис. 1) при повороте его на 90° так, чтобы термоанемометр был расположен вертикально магнитами кверху.

Г. т. пьезометрич. типа в свою очередь подразделяются на 2 группы: с непосредств. измерением давления с помощью манометра, обычно мембранно-емкостного типа, используемого в газоанализаторах оптико-акустических, и с измерением давления компенсац. методом. Навстречу потоку термомангнитной конвекции в системе, аналогичной рис. 1, направляется компенсирующий поток, создаваемый тепловой конвекцией или механич. насосом. Следящая система регулирует величину потоков изменением наклона прибора, положения заслонки, силы магнитного поля и др. до тех пор, пока они не сравняются. Г. т. обеспечивают точность измерения концентрации кислорода 0,1—0,2% O_2 .

Лит.: А г е й к и н Д. И., «АиТ», 1949, т. 10, № 6; е г о ж е, Компенсационные термомангнитные газоанализаторы, в кн.: Тр. I Междунар. конгресса междунар. федерации по автоматическому управлению, Москва 27 июня — 7 июля 1960 г., [Т. 4], М., 1961; Я р м а к М. К., Современные автоматические магнитные методы анализа кислорода, «ХП», 1957, № 2, с. 31; Ш е й н и н Д. М., Е р ш о в Б. В., Я р м а к М. К., Отечественные термомангнитные

газоанализаторы, в кн.: Автоматические газоанализаторы, М., 1961. М. К. Ярмак.

ГАЗОАНАЛИЗАТОР ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ (thermo-chemical gas analyser; analyseur thermo-chimique de gaz; thermochemischer Gasanalysator) — газоанализатор, основанный на измерении теплового эффекта химич. реакции, происходящей с участием определяемого компонента анализируемой газовой смеси. Наибольшее распространение получили Г. т. для определения концентрации горючих газов, в к-рых используется реакция окисления (горения) определяемого компонента. На рис. представлен вариант Г. т., обычно применяемого для определения токсич. концентраций окиси углерода в воздухе. Анализир. воздух поступает в блок реакционных камер, помещенных в водяной термостат. В змеевике воздух нагревается до темп-ры 100° и затем проходит через катализатор реакц. камеры 9. Выделяющееся в результате каталитич. реакции тепло приводит к повышению темп-ры термометра сопротивления R_1 ,

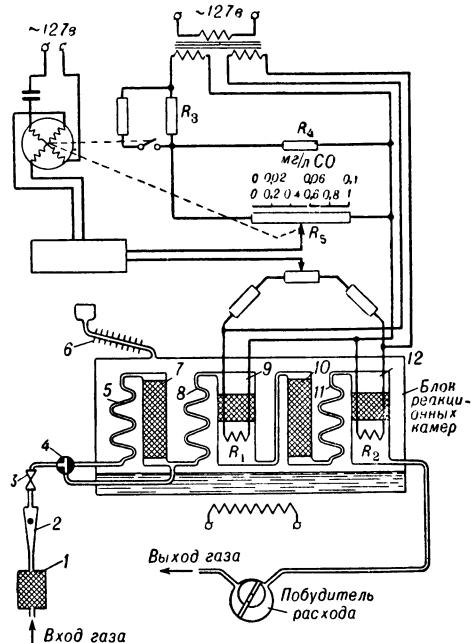


Схема термохимич. газоанализатора на окись углерода: 1 — фильтр; 2 — индикатор расхода; 3 — регулирующий вентиль; 4 — кран; 5 — змеевик; 6 — холодильник; 7 — доплнит. патрон; 8 — змеевик; 9 — реакц. камера; 10 — патрон с катализатором; 11 — змеевик; 12 — сравнит. камера.

пропорционально концентрации окиси углерода. Пройдя доплнит. патрон 10 с катализатором и змеевик 11, анализируемый воздух, освобод. от окиси углерода и принявший начальную темп-ру, поступает в сравнит. камеру 12, наполн. катализатором и имеющую идентичные с реакционной камерой 9 конструкцию и тепловые хар-ки. Термометр сопротивления R_2 , располож. в сравнит. камере, воспринимает нач. значение темп-ры анализируемого воздуха. Дополнит. патрон 7 с катализатором позволяет производить установку «нуля» прибора. Измерит. схема этого газоанализатора представляет собой электрич. мост.

Для измерения больших пожароопасных и взрывоопасных концентраций метана, смеси углеводородных газов, паров бензина, малых концентраций кислорода в водороде, водорода в кислороде, смеси водорода и кислорода в инертных газах и др. используются Г. т., в к-рых каталитически активная платиновая нить, являющаяся одновременно рабочим плечом неравновесного моста, омывается анализир. газовой смесью. Сравнит. плечо, выполненное так же, как и рабочее, в виде платиновой нити, помещено в камеру, заполн. чистым воздухом. Мост уравнивается при отсутствии в анализируемом воздухе определяемого компонента. Величина тока, питающего мост, выбирается так, чтобы обеспечивать темп-ру нити, необходимую для каталитич. горения определяемого компонента. В результате его сгорания происходит изменение темп-ры рабочей нити и соответственно ее электрич. сопротивления. Степень неуравновешенности моста является мерой концентрации горючего компонента.

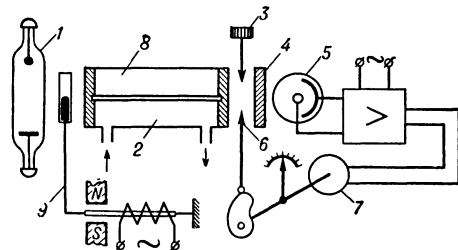
В Г. т. первого типа в качестве катализаторов применяются: гошкелит (CuO —40%, MnO_2 —60%), платинированные асбест или керамика, палладированные алюмогель или керамика. В Г. т. второго типа каталитически активная нить изготавливается из платины (100%) или платино-иридия (Pt —90%, Ir —10%). Недостатком всех Г. т. является нарушение их работоспособности из-за отравления катализатора нек-рыми газами, к-рые могут находиться в анализируемом воздухе, в частности газами, содержащими серу, мышьяк и др. Пром-стью выпускаются Г. т. на окись углерода типа ТХ2103 со шкалой 0—0,5 мг/л и ТХ2104 со шкалой 0—0,1 мг/л, на взрывоопасные концентрации бензина типа ГБ-3, для определения водорода в кислороде типа ТХГ-5, переносный Г. т. для определения метана и водорода в воздухе типа ПГФ-11-54, сигнализатор горючих газов в воздухе типа СГГ и др.

Лит.: Матросова Н. С., в кн.: Автоматические газоанализаторы, М., 1961, с. 65; Иткин Я. М., там же, с. 84; Приборы для определения окиси углерода, паров бензина и сероводорода в воздушной среде, [Сб. статей], Л., 1950. В. А. Павленко.

ГАЗОАНАЛИЗАТОР УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ПОГЛОЩЕНИЯ (ultra violet gas analyser; analyseur de gaz à absorption ultraviolette; Ultraviolet-Absorptions-analysengerät) — газоанализатор, основанный на измерении степени поглощения ультрафиолетового излучения определяемым компонентом газовой смеси. Способностью поглощать УФ излучение (с длиной волны от 200 до 380 мкм) обладают галогены, нек-рые органич. соединения, а также пары металлов. Возможность применения Г. у. п. для избират. измерения концентрации данного компонента в сложной газовой смеси определяется, во-первых, наличием у этого компонента достаточно интенсивных спектров поглощения, не перекрывающихся со спектрами поглощения неопределяемых компонентов, и, во-вторых, спектральными хар-ками возможных источников УФ радиации, оптич. фильтров и приемников излучения (см. Газоанализатор оптический). Основное место среди источников УФ радиации занимают газоразрядные ртутные лампы, из к-рых наиболее приемлемой является ртутная лампа ПРК-4. При питании высокочастотным напряжением она имеет вполне

удовлетворит. спектральную хар-ку, стабильность работы и срок службы. Для выделения нужного участка спектра применяются оптич. фильтры. Пром-стью выпускаются фильтры: УФС-1 (от 240 до 400 мкм), УФС-2 (от 270 до 380 мкм), УФС-3 (от 320 до 390 мкм) и УФС-4 (от 340 до 390 мкм). В качестве приемников излучения в Г. у. п. используются гл. обр. фотосопротивления, вакуумные фотоэлементы и фотоумножители. Наиболее пригодны вакуумные фотоэлементы и фотоумножители с сурьмяно-цезиевыми фотокатодами, колбы к-рых имеют увиолевые или кварцевые окна. Важным преимуществом их являются практич. безынерционность и линейная зависимость фототока от потока радиации. Используются также сцинтилляционные счетчики, состоящие из люминофора, преобразующего УФ излучение в видимое, и фотоумножителя.

Наиболее удачно применяется Г. у. п. для измерения концентрации паров ртути. В этом случае в результате резонансного поглощения почти вся излучаемая ртутной лампой УФ радиация используется для поглощения. Совр. Г. у. п. обычно строятся на основе дифференц. оптич. схемы с двумя оптич. каналами и, соответственно, двумя газовыми камерами. Измерит. схемы обычно основаны на нулевом методе измерения с оптич. компенсацией эффекта поглощения. Оптич. схема Г. у. п. с одним источником и с одним лучеприемником показана на рис. Усилитель реагирует на



Оптич. схема газоанализатора ультрафиолетового поглощения: 1 — источник УФ радиации (ртутная лампа); 2 — рабочая камера; 3 — нулевая заслонка; 4 — оптич. фильтр; 5 — фотоэлемент; 6 — компенсирующая заслонка; 7 — реверсивный двигатель; 8 — сравнит. камера; 9 — обтюратор.

фазу и разность фототоков одного и того же лучеприемника, возникающих при поперемен. его облучении радиацией через сравнит. и рабочий каналы оптич. схемы.

В качестве примеров отечеств. Г. у. п. могут быть приведены переносный газоанализатор (на пары ртути) типа ОП8301 со шкалой 0— 10^{-4} мг/л и стационарные газоанализаторы на хлор типа УФ6201 со шкалой 0—2% и типа УФ6202 со шкалой 0—0,3%. В этих Г. у. п. применены двухканальная оптич. система с одним фотоэлементом и нулевая измерит. схема с оптич. компенсацией.

Лит.: Вейнгер М. Л., в кн.: Автоматические газоанализаторы, М., 1961, с. 177; Печников Е. К., Денисов Ю. Я., там же, с. 261; Бреслер П. И., там же, с. 287. В. А. Павленко.

ГАЗОАНАЛИЗАТОР ФОТОКОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ (photoelectric colorimeter gas analyser; analyseur photo-colorimétrique de gaz; photokolorimetrisches Gasanalysengerät) — газоанализатор, основанный на изменении цвета соответствующим образом подобранных веществ при их реакции с анализируемым компонентом газовой смеси. Иногда к Г. ф.

относят газоанализаторы, в которых измеряется поглощение анализируемым газом светового потока в видимом участке спектра (см. *Газоанализатор оптический*).

Измерение концентрации газа производится по изменению светопоглощения раствора или по ослаблению светового потока, отразившегося от поверхности текстильной или бумажной ленты, смоченной раствором. Г. ф. весьма чувствительны (до 10^{-7} %) благодаря накоплению в растворе окрашенного продукта за счет пропускания значит. количеств газовой смеси.

В Г. ф. с непрерывной подачей раствора (рис. 1) последний с пост. скоростью протекает через сравнит. оптич. ячейку 1, абсорбер 2 и рабочую оптич. ячейку 3. Через абсорбер также с пост. скоростью проходит анализируемый газ. При изменении концентрации определ. компонента изменяется интенсивность окраски раствора в ячейке 3. Различие интенсивности световых потоков, прошедших через ячейки на фотоэлементы Φ_1 и Φ_2 , автоматически компенсируется следящей системой, воздействующей на положение оптич. клина 4 и связанного с ним указателя величины концентрации. Для выделения из общего излучения источника света спектральной области, наиболее сильно поглощаемой раствором, ис-

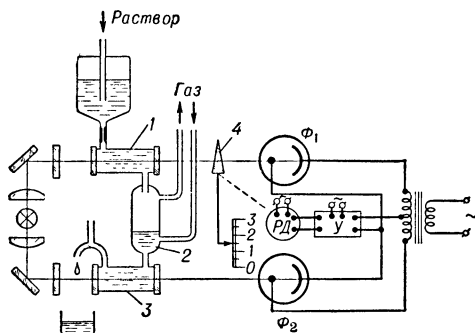


Рис. 1.

пользуется светофильтр. Чувствительность Г. ф. зависит от соотношения скоростей газа и раствора; при определ. оптим. соотношении чувствительность Г. ф. максимальна.

Существуют Г. ф. с замкнутой жидкостной системой и периодич. подачей раствора и газа.

В ленточном Г. ф. (рис. 2) раствор из дозатора 1 подается на ленту 2. Лента перемещается, проходя последовательно рабочий и сравнит. оптич. каналы камеры, в к-рых установлены сравнит. Φ_1 и рабочий Φ_2 фотоэлементы. Анализируемый газ проходит через ленту на участке рабочего канала. В результате поглощения раствором определяемого компонента окраска ленты изменяется и изменяется отраженный от окраш. участка ленты световой поток от источника света 4. Изменение степени отражения окрашенной ленты приibl. пропорционально концентрации определяемого компонента. Измерит. схема ленточного Г. ф. состоит из источника света, фотоэлементов и устройств, регулирующих величину падающих на фотоэлементы световых потоков. Схема работает по нулевому методу с оптич. компенсацией фототока (напр., посредством оптич. заслонки 3). Часто используется лента, пропитанная соответствующим реагентом. В газо-

анализаторе производится только увлажнение ее. Преимуществом ленточных Г. ф. является малый расход реактивов при большой чувствительности, однако их погрешность выше, чем у жидкостных Г. ф.

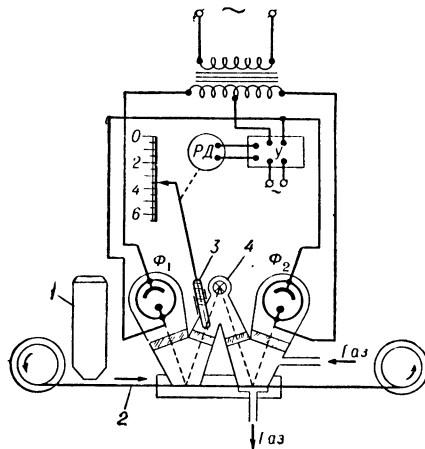


Рис. 2.

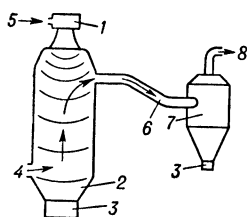
Г. ф. обладают существенным запаздыванием показаний. Оно тем больше, чем выше чувствительность. Характерная область применения Г. ф. — измерение микроконцентраций токсич. примесей (окислов азота, сероводорода и др.) в воздухе.

Лит.: Борок М. Т., в кн.: Автоматические газоанализаторы, М., 1961, с. 307. В. А. Павленко.

ГАЗОНАПОЛНЕННЫЙ ФОТОЭЛЕМЕНТ (gas-filled phototube; cellule photoélectrique à gaz; gasgefüllte Photozelle, Emissionsphotozelle, Photozelle mit äußerem lichtelektrischem Effekt) — прибор, в к-ром электроны под действием света выходят с поверхности катода в разреженный газ. См. *Фотоэлемент с внешним фотоэффектом*.

ГАЗООЧИСТКА ЗВУКОВАЯ (sonic gas purification; purification de gaz par son; akustische Gasreinigung) — отделение газа от взвешенных в нем твердых или жидких частиц, основанное на способности интенсивных упругих колебаний существенно ускорять процесс коагуляции (укрупнения) мелкодисперсных аэрозолей, чрезвычайно трудно улавливаемых др. методами. Воздействие акустич. энергии сводится к повышению числа активных соударений частиц, находящихся в звуковом поле, путем их сближения. Произойдет ли при этом слипание отдельных частиц в более крупную или нет, зависит от природы частиц и от структуры их поверхности. При большом числе столкновений мелкие частицы (твердые или жидкие) могут увеличиваться до размеров, достаточных для их осаждения простыми методами. Механизм акустич. коагуляции не выяснен до конца, и ни одна из существующих теорий (кинематич., гидродинамич. или радиационная) не может полностью объяснить процесса сближения отдельных частиц и образования более крупных конгломератов. Возможно, что для различных аэрозолей в различных условиях озвучивания запыленного газа механизм коагуляции оказывается разным. Т. к. воздействие акустич. поля сводится в основном к укрупнению частиц, метод не может быть

использован обособленно; как правило, установки для Г. э. содержат инерционные (циклоны) или волоконистые фильтры (или их комбинации), предназначенные для осаждения крупных частиц. Типовая схема устройства для Г. э. представлена на рис. В качестве источников акустич. энергии могут использоваться динамич. сирены или мощные свистки, обеспечивающие в коагуляц. камере интенсивность звукового поля не менее 150 дб ($0,1 \text{ вт/см}^2$). Коагуляционная камера представляет собой цилиндрич. колонну (обычно вертикальную) расположенную, на одном из торцов которой установлен источник звука. Ввиду



Типовая схема устройства для звуковой газоочистки: 1 — источник звука; 2 — коагуляц. камера; 3 — бункер для осевшей пыли; 4 — запыленный газ; 5 — сжатый воздух; 6 — озвученный газ; 7 — циклон; 8 — очищенный газ.

высокого уровня шума, создаваемого установкой, камера и газоподводящие тщательно звукоизолируются. При очистке газов с большой концентрацией пыли крупные фракции предварительно осаждаются с помощью циклонов, а оставшиеся тонкие фракции укрупняют акустич. методом. Размеры коагуляц. камеры зависят от количества обрабатываемого газа и от затухания акустич. волн в газе при определенной запыленности. Процесс акустич. коагуляции наблюдается как в звуковом, так и в нижнем УЗ диапазонах частот, но наиболее эффективны частоты $0,4\text{--}10 \text{ кгц}$. Обычно процесс идет удовлетворительно, если запыленность газа превышает $0,8 \text{ г/м}^3$ и время нахождения аэрозоля в звуковом поле составляет не менее $2\text{--}3 \text{ сек}$. В нек-рых случаях для улучшения процесса рекомендуется подавать в камеру озвучивания распыленную воду. Преимущества Г. э.: возможность улавливания тонких пылей и туманов, взрывобезопасность, возможность обработки агрессивных и горячих газов. Недостаток, ограничивающий применение Г. э., — относительно высокие затраты энергии: на различных установках расход электроэнергии для очистки 1000 м^3 запыленного газа составляет от $0,5$ до 8 квт-ч . Существующие пром. и полупром. установки для Г. э. предназначены для улавливания туманов серной кислоты, мелкодисперсной сажи, окислов цветных металлов и токсичных пылей. Как правило, установки Г. э. стационарные, с большой производительностью, но существуют и индивидуальные переносные (напр., для осаждения пыли в шахтных условиях), позволяющие осаждасть от $99,5$ до $99,9\%$ пыли, образующейся при бурении.

Лит.: М е д н и к о в Е. П., Звуковая коагуляция аэрозолей и ее применение в пылеулавливании, в сб.: Применение ультразвука к исследованию веществ, в. 3, М., 1956; B o u c h e r R., Contribution à l'étude des ultrasons a'riens, P., 1958 (Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'air, № 79).

Ю. Я. Борисов.

ГАЗООЧИСТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ (electrostatic precipitation; purification électrique de gaz; elektrische Gasreinigung) — газоочистка при помощи электрич. поля *коронного разряда* в спец. аппаратах — *электрофильтрах*. В процессе Г. э. поток газа со взвешенными в нем частицами поступает в электрич. поле коронного разряда (активная зона электрофильтра).

Частицы заряжаются потоком ионов короны (см. *Зарядка частиц* в электрическом поле короны) и под действием сил поля (см. *Движение частиц* в электрическом поле короны) движутся к некоронирующему (осадительному) электроду, на к-ром они оседают и разряжаются. В результате осадит. электрод покрывается слоем извлеченных из газа частиц, которые периодически удаляются с его поверхности встряхиванием, обмыванием водой и т. п. Газы после выхода из электрофильтра содержат значительно меньше взвеш. частиц, т. е. оказываются очищенными.

Задачи, к-рые разрешаются с помощью Г. э., разделяются на 3 группы: 1) осаждение из газов осн. продукта различных произ-в, находящегося в дисперсном состоянии и переносимого газовым потоком; 2) промежуточная очистка газов, подлежащих дальнейшей переработке или использованию. В обеих группах электрофильтры являются составным элементом технологич. цепи; 3) улавливание из отходящих газов различных ценных продуктов с целью возврата их в произ-во и очистка газов в санитарно гигиенич. целях.

Существуют разнообразные конструкции электрофильтров. Однако, отвлекаясь от деталей, большинство модификаций можно свести к двум основным. В одной из них — трубчатой — осадит. электроды выполняются в виде труб (цилиндрических или шестигранных), по осям к-рых располагаются коронирующие провода. Другой формой является пластинчатый электрофильтр, состоящий из ряда параллельных пластин (осадит. электродов), между к-рыми помещены ряды коронирующих проводов. Трубчатые и пластинчатые электрофильтры, в к-рых и зарядка и осаждение частиц осуществляются в поле коронирующих электродов, получили наибольшее применение в пром-сти.

Менее распространены (гл. обр. для очистки вентиляц. воздуха от тонкой пыли) электрофильтры с разделением зон зарядки и осаждения (типа «Рион»). В них зарядка частиц с помощью короны осуществляется в передней, по ходу газа, части аппарата, а осаждение — в остальной части, где системой пластинчатых плоских электродов создается чисто электростатич. (без участия короны) поле. Аппараты подобного типа отличаются небольшой производительностью, но они компактны.

Весьма важным моментом Г. э. является удержание частиц на осадит. электроде и удаление осажд. слоя. Эти процессы существенно зависят от физич. свойств частиц и слоя в целом. При проводящих частицах, легко отдающих заряд осадит. стенке, возможен их срыв потоком газа. При высоком электрич. сопротивлении частиц они достаточно прочно удерживаются на электроде, однако наращивание плохо проводящего слоя может вести к возникновению *короны обратной* и ухудшению очистки. Эти особенности определяют методы удаления осевшего слоя и конструкции осадит. электродов, а также и технологич. особенности Г. э. — напр., регулирование темп-ры пылегазовой смеси для поддержания оптимальных электрич. хар-к частиц и слоя. Г. э. часто предшествуют подготовит. мероприятия, к числу к-рых относится предварит. удаление (в нек-рых случаях средствами механич. очистки) из потока газа частиц наиболее крупных фракций и др.

Эффективность работы аппаратов Г. э. определяется рядом факторов, важнейшими из к-рых являются: соотношение скоростей частиц — «радиальной» (в направлении к осадит. электроду) и «аксиальной» (по ходу газа); напряженность электрич. поля в аппарате; величина заряда частиц, зависящая от напряженности поля и силы тока коронного разряда; время пребывания частиц в активных зонах зарядки и осаждения; физико-химич. свойства улавливаемых частиц; химич. свойства газа и физич. параметры газового потока, переносящего частицы; степень чистоты электродов аппарата (качество очистки электродов от осаждаемых частиц); удельное весовое количество частиц, содержащихся в газовом потоке, подлежащем очистке.

Теоретич. оценка влияния указанных факторов на эффективность работы аппаратов связана с большими трудностями. Вместе с тем в практике пром. Г. э. встречаются пылегазовые системы, отличающиеся большим разнообразием свойств. В этой связи окончат. выбор оптим. условий и режимов работы аппаратов Г. э. для различных пылегазовых систем опирается в большой мере на опыт.

Г. э. обладает рядом достоинств, определяющих ее широкое применение в пром-сти. К их числу относятся: способность производить очистку больших объемов пром. газов (сотен тыс. $\text{м}^3/\text{час}$) с эффективностью до 99,999%; возможность очистки газов от частиц в весьма широком спектре дисперсностей (от десятых и сотых долей мк до десятков мк) при высоком удельном их содержании в газе ($40\text{--}60$ и более г/норм.м^3); весьма низкие затраты энергии на осуществление процесса, складывающиеся из расхода электроэнергии, не превышающего $0,05\text{--}0,1 \text{ кВт}$ на 1000 м^3 очищаемого газа, и потерь энергии на преодоление гидравлич. сопротивления аппарата (не более 10 мм вод. ст. при очистке больших объемов газа).

Г. э. имеет большое народнохозяйств. значение, ибо во многих отраслях пром-сти в процессе произ-ва образуется значит. количество дисперсных частиц (пылей, дымов или туманов), взвешенных и переносимых газовыми потоками. Ряд произ-в выпускает осн. продукцию в порошкообразном или высокодисперсном состоянии, содержащуюся в газовом потоке в виде аэрозолей (цемент, алебастр, различные сорта сажи и т. п.). В ряде технологич. процессов (произ-во серной кислоты, ацетилена и др.) необходима тонкая очистка газов, к-рые далее подлежат переработке или использованию. Во многих случаях процесс произ-ва характеризуется большими пром. выбросами в атмосферу, содержащими как отдельные ценные продукты, возврат к-рых имеет большое экономич. значение, так и весьма токсичные вещества, улавливание к-рых необходимо по санитарно-гигиенич. соображениям (напр., возврат дисперсного свинца, выбрасываемого с отходящими газами произ-в, использующих расплавы свинца; удаление золы из дымовых газов котлов тепловых электростанций и др.). Наибольшими потребителями аппаратов Г. э. являются: химич. пром-сть, черная и цветная металлургия, энергетика (тепловые электростанции), пром-сть строит. материалов. М. А. Корнев.

ГАЗОРАЗРЯДНЫЙ ИСТОЧНИК СВЕТА
(glow-discharge light source; sources lumineuses

à décharge dans le gaz; Gasentladungs-Lichtquellen) — *ионный прибор*, в к-ром электрич. энергия преобразуется в оптич. излучение при прохождении электрич. тока через газы или пары металлов (см. *Разряды в газах*). Г. и. с. представляет собой стеклянную колбу цилиндрич., сферич. или иной формы, содержащую газ (чаще инертный) при различном давлении и иногда небольшое количество металла с высокой упругостью пара. В колбу герметично впаяны электроды, между к-рыми происходит разряд. Существуют Г. и. с. с электродами, работающими в открытой атмосфере, напр. угольная дуга. В Г. и. с. стационарного действия чаще всего используются *дуговой разряд* или *тлеющий разряд*, в импульсных источниках света на первой стадии имеет место *искровой разряд*, переходящий затем в дуговой.

Лампы тлеющего разряда имеют холодные электроды с падением потенциала у катода св. 50 в и работают при токах до неск. сот мА . Давление газа не превышает неск. десятков мм рт. ст. Лампы дугового разряда имеют активированные накал. электроды с околокатодным падением потенциала порядка $10\text{--}20 \text{ в}$, обеспечивающие токи от неск. десятых до неск. сотен а . Нагрев электродов обычно происходит за счет тепла, выделяющегося на них в процессе разряда при падении на электрод электронов, ускоренных в анодной части разряда. Существуют лампы дугового разряда с низким давлением газа или пара (от 10^{-3} до неск. мм рт. ст.), высоким (от $0,2$ до 15 ат) и сверхвысоким (от $20\text{--}30$ до 100 и более ат).

Различают: 1) газосветные лампы, в к-рых осн. источник излучения — возбужденные атомы (или молекулы) или рекомбинирующие ионы; 2) люминесцентные (или фотолюминесцентные) лампы, в к-рых источником излучения являются люминофоры, возбуждаемые излучением газового разряда; 3) электродосветные лампы, в к-рых осн. источник излучения — электроды, раскаленные в газовом разряде. У ламп последних двух типов излучение смешанное, т. е. наряду со свечением люминофора или электродов имеет место также излучение газового разряда.

По применению Г. и. с. можно разделить на источники света для общего освещения различных помещений и пространств и для спец. целей (сигнальные огни, регистрирующая и проекц. аппаратура, облучат. установки, спектроскопия, кино и телевидение, импульсные установки и т. д.). В первом случае важны высокая световая отдача, приемлемая цветопередача, простота и надежность в эксплуатации и дешевизна. Для спец. Г. и. с. в зависимости от области применения на первый план выдвигаются др. хар-ки, среди к-рых важную роль играют спектр излучения, яркость, модуляц. свойства, иногда мощность и т. п.

Особенно широкое распространение для освещения получили ртутные люминесцентные лампы, в к-рых невидимое УФ излучение ртути превращается в видимое излучение люминофора. Эти лампы, обладающие высокой световой отдачей (до 80 лм/вт), большим сроком службы (5 тыс. ч и более), позволяют получать излучение с непрерывным спектром практически любого состава.

В большинстве Г. и. с. используется свечение положит. столба, дающего наибольший

кпд, в спец. лампах — свечение др. частей разряда, напр. тлеющее свечение. Спектр излучения газосветных ламп с атомарными газами или парами металла является линейчатым, характерным для возбужд. атомов газа или пара металла, в к-ром происходит разряд. При низких давлениях ($\sim 5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.) и малых плотностях тока ($0,05-0,2$ а/см²) до 60—80% мощности положит. столба превращается в т. н. резонансное излучение, соответствующее переходам атомов с нижнего возбужд. состояния в нормальное.

По мере повышения давления и плотности тока в излучении начинают преобладать спектр. линии, соответствующие переходам атомов между более высокими уровнями возбуждения. Для инертных газов это явление отчетливо наблюдается уже начиная с давлений в несколько мм рт. ст. Широко распространены неоновые лампы разных типов, дающие оранжево-красное свечение; реже применяются лампы с др. инертными газами, дающие др. спектры излучения. Маломощные лампы тлеющего свечения, преим. неоновые, используются в качестве индикаторов напряжения, указателей полярности, сигнальных, осциллографич. модуляторных ламп, ламп для фототелеграфии и пр. Неоновые лампы дугового разряда являются гораздо более мощными источниками света, их применяют в основном для сигнального освещения. Концентрация мощности в лампах низкого давления невелика и поэтому невелика и плотность излучения. Она может быть существенно повышена за счет повышения плотности тока, напр. путем искусств. сужения разряда.

С ростом давления и плотности тока растет темп-ра газа или пара. Начиная с давлений в неск. сот мм рт. ст. и плотностей тока в неск. а/см², темп-ра газа в разряде достигает 6 тыс. °К и более, в результате чего образуется большой радиальный градиент темп-ры и разряд стягивается в яркий светящийся шнур. Одновременно возрастают градиент потенциала и концентрация мощности, вместе с к-рой увеличивается и плотность излучения. На этом принципе устроены различные типы ртутных и газовых ламп (преим. ксеноновых) высокого и сверхвысокого давления, обладающих большими световыми отдачами (у ртутных ламп до 50—60 лм/вт, у ксеноновых 30—45 лм/вт) и яркостями (у ртутных ламп до 1000—1500 меганит, у ксеноновых до 300—400 меганит).

Вследствие малой продолжительности жизни возбужд. атомов, свечение разряда следует за изменениями мощности в лампе, поэтому при питании Г. и. с. от сети перем. тока наблюдается пульсация излучения с удвоенной частотой сети. Это свойство, являющееся недостатком для общего освещения, широко используется в спец. установках для модуляции света, напр. в фототелеграфии, при звукозаписи, при стробоскопич. измерениях. Спец. лампы низкого давления хорошо модулируются до частот в неск. десятков кГц, лампы высокого и сверхвысокого давления — до частот в неск. кГц.

Большинство Г. и. с. имеют падающие или слабо возрастающие участки вольтамперной хар-ки. Поэтому присоединение каждого источника к сети возможно только через последовательно включенное балластное сопротивление, ограничивающее ток в цепи лампы и

обеспечивающее устойчивый режим горения; на пост. токе это — активное сопротивление, на перем. токе — дроссели или автотрансформаторы с большим магнитным рассеянием. В тех случаях, когда не важна экономичность, применяют также активное сопротивление, а иногда — конденсаторы. Разряд в тяжелых инертных газах (Аг, Кг, Хе) при плотностях тока св. 20 а/см² и рабочих давлениях от неск. сотен мм рт. ст. имеет довольно круто возрастающий участок вольтамперной хар-ки, что позволяет включать эти лампы в сеть с очень малым балластом или даже без него.

Для зажигания разряда, как и во всех приборах самостоят. разряда, здесь требуется более высокое напряжение, чем для его устойчивого горения. Существует большое число схем, обеспечивающих создание повыш. напряжения на время зажигания, напр. за счет импульса напряжения при размыкании цепи с индуктивностью, резонанса напряжений, повышающего тр-ра или автотрансформатора и др. С другой стороны, напряжение зажигания стремятся снизить путем введения в лампу вспомогательных электродов, предварит. накала катодов, наложения проводящих полосок на поверхность колбы, применения внешних ионизаторов типа катушки Тесла и т. п.

Хар-ки Г. и. с. с парами металла зависят от теплового режима лампы и, в частности, от темп-ры окружающей среды и условий охлаждения. Норм. режим горения устанавливается в них, спустя нек-рое время после их включения (от неск. сек. до неск. мин.), в течение к-рого происходит разогревание лампы и испарение находящегося в ней металла.

Лит.: Иванов А. П., Электрические источники света, 2 изд., М.—Л., 1955; Капцов Н. А., Электрические явления в газах и вакууме, 2 изд., М.—Л., 1950; Рошлин Г. Н., Газоразрядные источники света, в кн.: Справочная книга по светотехнике, [т.] 1, М., 1956, гл. 5; Вознесенская З. С. и Скобелев В. М., Электрические источники света, М.—Л., 1957. Г. Н. Рошлин.

ГАЗОРАЗРЯДНЫЙ ПРИБОР (glow-discharge tube; tube à gaz; Gasentladungsröhre, Gasentladungsgefäß, Ionenröhre) — см. *Ионный прибор*.

ГАЗОТРОН (gas-filled tube rectifier, gas discharge rectifier; soupape ionique, soupape à gaz, tube redresseur à gaz; Edelgasgleichrichterröhre, Gasgleichrichterröhre, Ionenventil) — прибор, применяемый в качестве вентиля в выпрямителях. Выпрямители на Г. из-за малого падения напряжения на этих приборах имеют больший кпд, чем выпрямители на кенотронах. Физич. процессы в Г. с накаливаемым катодом основаны на несамостоят. дуговом разряде (см. *Разряды в газах*). Конструкция одного из Г. дана на рис. 1.

В большинстве типов Г. используются оксидные катоды косв. накала. Цилиндрич. поверхность катода часто снабжается продольными ребрами для увеличения активной поверхности. Катод помещается в металлич. экраны, к-рые повышают экономичность прибора за счет тепловой экранировки, исключают разряд по длинным траекториям, а также защищают анод от попадания продуктов распыления катода. В нек-рых типах высоковольтных Г. используется вспомогательный вольфрамовый катод, расположен. вблизи анода. Благодаря этому удается заметно снизить потенциал зажигания. В низковольтных Г. (тунгарах) катоды изготавливаются из ториро-

ванного молибдена. Анод Г. представляет собой коробку из тугоплавкого материала (никель и др.). Он окружен цилиндрич. экраном, находящимся под потенциалом катода. Для отвода мощности, выделяющейся на аноде,

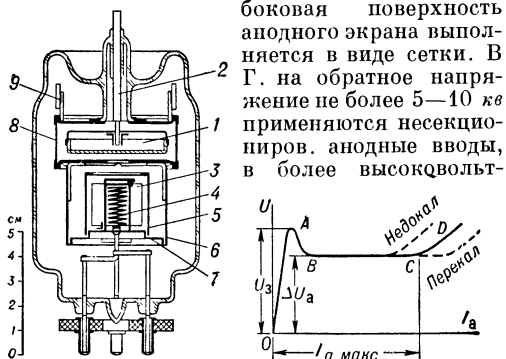


Рис. 1.

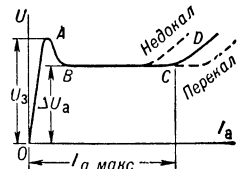


Рис. 2.

Рис. 1. Газотрон ГГ1-2,5: 1 — анод; 2 — стержень анода; 3 — катод; 4 — подогреватель; 5, 6, 7 — экраны катода, 8 — экран анода; 9 — газопоглотитель.

Рис. 2. Вольтамперная хар-ка газотрона.

ных — анодные вводы конденсаторного типа. В них напряжение делится пропорционально емкости отдельных промежутков.

Вольтамперная хар-ка (рис. 2) дает зависимость падения напряжения ΔU_a на Г. от проходящего через него тока I_a . Ход ее определяется типом и темп-рой катода, конструкцией Г., родом и давлением газа. При достижении напряжения, соответствующего точке А, электронный разряд переходит в дуговой. Величина этого напряжения наз. потенциалом зажигания; превышение U_z над ΔU_a (АВ) — порогом зажигания. За ним идет рабочий участок ВС, верхний по току предел к-рого связан с эмиссионной способностью катода. Подъем хар-ки (CD) имеет место в случае, когда электронный ток, отбираемый с катода, больше тока термоэлектронной эмиссии. Интервал рабочего тока в значит. степени зависит от напряжения накала: при недокале он сокращается, а при перекале увеличивается. У Г. с оксидным катодом в вольтамперной хар-ке практически нет участка с резким подъемом.

Устойчивость работы и долговечность Г. в большой степени зависят от его электрич. режима и условий эксплуатации. При перекале катода, вследствие чрезмерного повышения его темп-ры, увеличивается скорость распыления активного слоя. При недокале снижается ток собств. эмиссии катода, повышается ΔU_a и, как следствие этого, происходит интенсивная ионная бомбардировка катода, разрушающая его поверхность. По этой же причине не разрешается подавать напряжение на анод до истечения времени, необходимого для разогрева катода. Превышение допустимого значения $I_{a \text{ макс}}$ может привести к тому, что ток собств. эмиссии катода будет меньше тока анода, что вызовет рост ΔU_a и сокращение срока службы катода. Увеличение ср. тока анода $I_{a \text{ ср}}$ вызовет перегрев колбы и анода. Соотношение между $I_{a \text{ макс}}$ и $I_{a \text{ ср}}$ находится в пределах от 3 до 7.

Электрическую прочность Г. определяет обратное напряжение. Под действием элект-

рич. поля ионы из остаточной плазмы идут к аноду, а электроны — к катоду, образуя обратный ток Г. Если $U_{\text{обр}}$ велико, то ионы, ударяясь с большой скоростью об анод, могут вызвать эмиссию электронов с его поверхности. В этом случае возникает зажигание в обратный полупериод, и Г. теряет свои вентильные свойства.

Важным эксплуатац. параметром является интервал рабочих темп-р окружающей среды. Плотность инертных газов мало зависит от темп-ры, поэтому при ее колебаниях параметры Г. с инертным наполнением меняются незначительно. Большинство типов Г., наполненных инертными газами, работают устойчиво в температурном интервале от -60° до $+100^\circ$ С. В ртутных приборах давление и плотность пара в сильной степени зависят от темп-ры окружающей среды: на каждые 10° С увеличения темп-ры давление пара в приборе возрастает примерно в 2 раза [1]. Нижняя граница температурного диапазона определяется необходимостью обеспечения миним. плотности газа для устойчивого зажигания Г., а также ограничивается максимально допустимой величиной падения напряжения. В ртутных приборах ΔU_a , при к-ром начинается разрушение катода, составляет $20-22$ в, что соответствует темп-ре катодной горловины Г. ок. $10-14^\circ$ С. Верхний температурный предел ограничивается электрич. прочностью Г. и в зависимости от величины $U_{\text{обр}}$ и конструкции Г. не превышает $35-50^\circ$ С. При длит. хранении Г. пары ртути могут диффундировать через слой оксида и образовывать на металлич. керне катода амальгаму, к-рая при разогреве катода приводит к осыпанию оксида. Для предупреждения формирования прочных слоев амальгамы в процессе и после длит. хранения рекомендуется прогревать катоды в течение времени, указываемого в паспорте прибора (от 20 до 120 мин.).

Долговечность высоковольтных Г., работающих на повыш. частотах, ограничивается гл. обр. процессами поглощения газа. Ионы, оставшиеся в плазме после гашения дуги, ударяются в анод и внедряются в кристаллич. решетку металла. Наиболее сильное влияние на скорость поглощения газа оказывают обратное напряжение, скорость его нарастания и частота питающего напряжения. Напр., при уменьшении $U_{\text{обр}}$ в 2 раза по сравнению с номинальным долговечность Г. увеличивается в 3 раза [2]; при снижении частоты с 500 до 50 гц гарантированная долговечность ГГ1-0,3/8 увеличивается с 300 до 1000 час.

В высоковольтных Г. поглощение газа происходит также благодаря возникновению разряда между внешним и внутренним электродами.

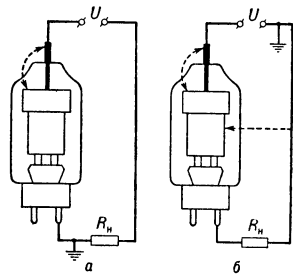


Рис. 3. Пути возникновения разряда между внешним и внутренним электродами.

Г., находящимися под потенциалом катода, и внешним выводом анода и землей. Этот вид разряда на перем. токе описан в [3]. В схеме с заземл. катодом (рис. 3, а) поле направлено с электродов,

находящихся под потенциалом катода, на стержень анодного ввода, а в схеме, где катод находится под высоким потенциалом относительно земли (рис. 3, б), линии поля идут и на землю (металлич. шасси), являющуюся как бы внешним электродом. Эксперименты показывают, что под действием этого поля происходит бомбардировка ионами стекла и арматуры Г. и в результате этого — поглощение газа. В тех схемах выпрямителей, где катод Г. находится под высоким потенциалом, Г. рекомендуется помещать в металлич. экран и соединять его с катодом.

Лит.: 1) Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 2, М.—Л., 1955; 2) Соколов К. Г., Hot cathode xenon rectifiers, «G. E. C. Journal», 1957, v. 24, № 2; 3) Каганов И. А., Попов Н. А., Зажигание электрического разряда в газах на переменном токе звуковой частоты в трубках с внешними и внутренними электродами, «ЖЭТФ», 1954, т. 27, вып. 1(7). В. Л. Кузьмин.

ГАЛЬВАНИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ (galvanic coupling, resistance coupling, direct current coupling; couplage conductif, couplage direct électrique; direkte Kopplung, galvanische Kopplung) — связь электронных, иногда электрич., схем через активное сопротивление. Г. с. позволяет передавать сигналы сколь угодно низкой частоты, в т. ч. и пост. ток, что принципиально невозможно при межкаскадной связи через конденсаторы или тр-ры. В усилителях постоянного тока применяется только Г. с. В нек-рых типах быстродействующих вычислит. машин, работающих в двоичном коде, связь между ячейками машины должна обеспечивать передачу пост. уровней напряжения. В этом случае также может применяться только Г. с.

В высокочастотных усилит. трактах радиоэлектронных устройств может возникнуть паразитная Г. с. между элементами через общую шину питания, в частности через шину «земля» или шасси. Даже незначит. падение напряжения высокой частоты на отдельных участках шасси, будучи приложено между сеткой и катодом лампы, может вызвать самовозбуждение или помехи в усилителе. От паразитной Г. с. избавляются конструктивными мерами, рационально располагая детали схемы. Напр., заземляют (запаивают) сопротивление в цепи сетки и сопротивление в цепи катода на одну точку шасси. А. Е. Розинкин.

ГАММА-ДЕФЕКТОСКОПИЯ (radiographic flaw detection, radiographic inspection, gamma-ray flaw detection; contrôle au moyen de rayons gamma, defectoscopie gamma; Fehlererkennung mittels Gammadurchstrahlung) — метод обнаружения дефектов в металлич. отливках, слитках, сварных швах и др. просвечиванием их γ -лучами. Г.-д. широко применяется в различных отраслях промышленности (судостроение, металлургия, строительство нефте- и газопроводов и т. п.). Источник γ -излучения устанавливается на определенном (фокусном) расстоянии от контролируемого изделия, с другой стороны которого располагается детектор, регистрирующий эти излучения. Интенсивность излучения, прошедшего через разные участки просвечиваемого изделия, будет разной в зависимости от состава, плотности и толщины соответствующего участка. Регистрируя это различие в интенсивностях, можно определить местоположение и размеры дефектов (раковины, трещины, газовые поры, непровары швов и др.).

Выбор радиоактивного изотопа в основном определяется плотностью материала и толщиной просвечиваемого изделия. В табл. приведены наиболее эффективная и возможная величины толщин просвечивания для применяющихся в Г.-д. изотопов.

Наименование источника излучения	Наиболее эффективная толщина просвечивания (мм)	Возможная толщина просвечивания (мм)
Eu ¹⁵⁵	1—10	1—15
Tl ²¹⁰	1—10	1—15
Se ⁷⁵	10—15	5—30
Ir ¹⁹²	10—25	5—70
Eu ¹⁵² —154	20—40	15—80
Cs ¹³⁷	15—80	10—120
Co ⁶⁰	60—200	40—300

Активность источника излучения зависит от периода полураспада и выбирается в соответствии с чувствительностью детектора излучения, условиями работы, свойствами материала и толщиной просвечиваемого изделия.

Существуют след. методы Г.-д.: 1) С применением в качестве детектора рентгеновской пленки в светонепроницаемой гибкой кассете, укрепляемой на контролируемом объекте. После определенного времени просвечивания (экспозиции просвечивания) источник убирается, пленка вынимается и обрабатывается в спец. проявителе и фиксажном растворе при темп-ре 18°. Области наибольшего почернения гаммаграммы указывают на наличие дефектов в просвечиваемом изделии, а их размеры подобны размерам дефектов. Для сокращения времени просвечивания (примерно в 2—3 раза) пленку помещают между усиливающими фольгами и усиливающими экранами. Четкость получаемого изображения зависит от расположения дефекта по отношению к фотопленке. Размытое изображение получается в результате действия рассеянного γ -излучения на фотопленку. Более четкие изображения получают при применении свинцовой фольги толщиной 0,1—0,5 мм. Все ответств. узлы проверяются посредством свинцовой фольги.

2) Посредством ионизац. камер, сцинтилляционных и газоразрядных счетчиков (ионизац. Г.-д.). Если прибор регистрирует повыш. интенсивность излучения, то это указывает на наличие дефектов в контролируемом изделии, не давая наглядного представления о размерах, характере и местоположении дефектов. Данный метод применяется для массового контроля одинаковых деталей (сварных труб, отливок и др.); он позволяет автоматизировать операцию контроля продукции.

3) С применением сцинтиллирующих экранов (визуальная Г.-д.) в качестве детектора γ -излучения. Изображение на экране имеет наибольшую яркость в местах с дефектами и дает наглядную картину их размеров и местоположения в контролируемом изделии. Яркость свечения изображения усиливается электронно-оптич. преобразователем и проецируется оптич. системой на матовый экран. Г.-д. с помощью сцинтиллирующих экранов дает возможность полностью автоматизировать контроль любых изделий и получать видимое изображение размеров и местоположения дефектов.

При просвечивании изделий большой толщины (ок. 500 мм) применяют также γ -излучение, возникающее при торможении электрон-

ного пучка большой энергии, получаемого с помощью ускорителей (бетатрона или синхротрона).

При Г.-д. необходимо обращать внимание на соблюдение правил техники безопасности. Контроль изделий с помощью ускорителей и

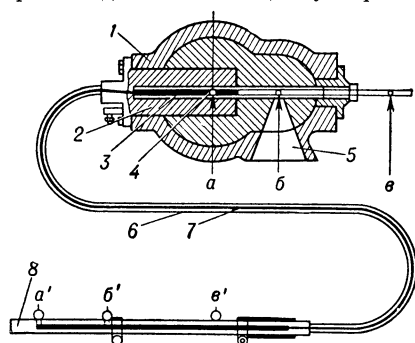


Схема переносного γ -дефектоскопа: 1 — основной защитный кожух; 2 — переносный защитный кожух; 3 — патрон; 4 — кобальтовый препарат; 5 — окно для выпуска γ -лучей; 6 — гибкий шланг; 7 — трос; 8 — ручка с тремя фиксированными положениями a' , b' , e' , соответствующими трем положениям препарата (a — хранение препарата в центре сферической части защитного кожуха, b — рабочее положение в вершине открытого конуса, e — рабочее положение препарата вне защитного кожуха).

стационарных или подвижных γ -дефектоскопов с источниками большой активности должен проводиться в γ -дефектоскопич. лабораториях или специально оборудованных помещениях. См. Дефектоскопия. Л. И. Петренко.

ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ, синусоидальные колебания [harmonic oscillations (vibrations); oscillations harmoniques, oscillations sinusoidales; harmonische Schwingungen, Sinusschwingungen], — периодич. изменения физич. величины, происходящие по закону синуса или косинуса. Графически представляются кривой — синусоидой — и описываются ур-нием

$$x = A \sin(\omega t + \alpha_0). \quad (1)$$

Реальные процессы могут лишь приближенно быть Г. к. Однако если ф-ла (1) отражает наиболее характерные черты процесса, то такой процесс считают Г. к., что существенно облегчает решение многих физич. и технич. задач. Движения, близкие к Г. к., совершаются в различных системах: механич. (Г. к. маятника), акустич. (Г. к. столба воздуха в органной трубе), электромагнитных (Г. к. в LC-контуре) и др. Теория колебаний рассматривает эти различные по физич. природе явления с единой точки зрения и определяет их общие св-ва. Графически Г. к. удобно представить с помощью вектора, вращающегося с пост. угловой скоростью ω вокруг оси, перпендикулярной к этому вектору и проходящей через его начало

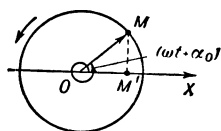


Рис. 1. Векторная диаграмма одного гармонич. колебания.

На таком представлении Г. к. основан метод векторных диаграмм. Модуль вектора в выбранном масштабе равен амплитуде Г. к. A . Угловая скорость вращения вектора соответствует частоте Г. к. ω . Угол α_0 есть угол между вектором OM

и осью X в момент времени, принятый за начало отсчета $t=0$, и наз. начальной фазой Г. к. Угол $(\omega t + \alpha_0)$ носит назв. фазы Г. к. Проекция точки M на ось X — точка M' совершает Г. к. относительно начала координат O . Величина $OM' = x$ наз. смещением точки M . Мгновенная скорость и ускорение точки, совершающей Г. к., равны соответственно:

$$v = dx/dt = A\omega \cos(\omega t + \alpha_0) = A\omega \sin(\omega t + \alpha_0 + \pi/2), \quad (2)$$

$$a = d^2x/dt^2 = -A\omega^2 \sin(\omega t + \alpha_0) = -\omega^2 x. \quad (3)$$

Из выражений (2) и (3) следует, что Г. к. скорости точки M' опережают Г. к. смещения этой точки на угол $\pi/2$, а Г. к. ускорения — на угол π (рис. 2). Противоположность знаков

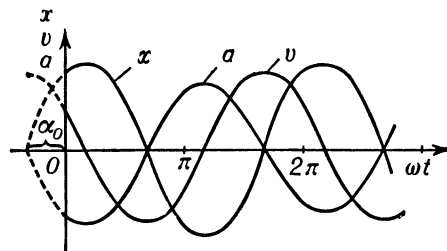


Рис. 2. Графики смещения, скорости и ускорения при гармонич. колебании.

мгновенного смещения x и ускорения a и прямая пропорц. зависимость между этими величинами характерны для Г. к. и показывают, что сила F , вызывающая Г. к. точки, должна быть по величине пропорциональна смещению, т. е. отклонению точки от положения устойчивого равновесия, и направлена к положению равновесия: $F = -kx$. Физич. смысл коэфф. пропорциональности k зависит от природы системы, совершающей Г. к. Так, напр., колебания, близкие к Г. к., совершает при малых смещениях тело, подвешенное на пружине. В этом случае сила упругости пружины подчиняется закону Гука, и k есть коэфф. жесткости пружины. Если по сравнению с массой тела m массой пружины можно пренебречь и трение мало, то ур-ние движения тела имеет вид $m d^2x/dt^2 = -kx$, или $d^2x/dt^2 + \omega^2 x = 0$. Решением этого ур-ния является выражение (1), причем амплитуда и нач. фаза Г. к. определяются нач. условиями, а круговая частота

$\omega = \sqrt{k/m}$ — только параметрами системы и не зависит от амплитуды колебаний. Периодич. процесс любой формы может быть разложен в бесконечный ряд простых Г. к. с различными частотами, амплитудами и фазами.

Лит.: Стрелков С. П., Введение в теорию колебаний, М., 1950; Горелкин Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959. Л. Н. Канцов.

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР (harmonic analyser; analyseur d'harmoniques; Oberwellenanalysator, harmonischer Analysator) — специализированное вычислит. устройство для нахождения коэфф. a_i и b_i ряда Фурье по заданной сложной периодич. функции $f(z)$. Коэфф. a_i и b_i определяется ф-лами:

$$a_i = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos\left(\frac{2\pi}{T} it\right) dt,$$

$$b_i = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin\left(\frac{2\pi}{T} it\right) dt,$$

или одной из их модификаций. По коэфф. a_i и b_i легко определяются амплитуды и фазы простых синусоид (гармоник), из к-рых складывается заданная сложная ф-ция. Г. а. целесообразно применять во всех случаях, когда требуется выявлять причины, порождающие явление, описываемое сложной периодич. ф-цией, или дать ее математич. описание рядом Фурье. В частности, Г. а. применяется при динамич. исследованиях поршневых двигателей и кривошипно-шатунных систем, при предварительной оценке влияния внешних периодических воздействий на колебательную систему и др.

Г. а. в большинстве случаев построены на принципе математич. моделирования, при к-ром задаваемая сложная ф-ция и образуемые в приборе ф-ции синуса и косинуса представляются соответственно изменяющимися физич. параметрами. Составные устройства прибора выполняют математич. операции соответственно приведенным выше ф-лам. Осн. хар-ками Г. а. являются: вид задаваемой сложной ф-ции (график, электр. сигнал, механич. перемещение), наибольший номер гармоники, количество одновременно вычисляемых коэфф., диапазон допускаемых периодов, задаваемых для анализа ф-ций, и точность вычисления коэфф. Перечисл. хар-ки являются основой классификации Г. а. по эксплуатац. признакам.

В состав Г. а. входят: устройство для ввода анализируемой ф-ции (рычаги для обвода графиков, фотосчитывающие следящие системы и т. д.), устройство автоматич. образования ф-ций синуса и косинуса от аргумента анализируемой ф-ции (кривошипно-кулисные механизмы, генераторы электр. колебаний и т. д.), устройство (механич., электромеханич. или электр.) для перемножения соответствующих значений анализируемой ф-ции и ф-ций синуса и косинуса и устройство для интегрирования или суммирования произведений (фрикц. механизмы, усилители постоянного тока).

Наибольшее применение получили Г. а. для анализа ф-ций, заданных графически. Модель МГА-1 (СССР) (настольный механич. прибор) позволяет определять гармоники до 25-го порядка и одновременно вычислять два коэфф. для ф-ций с периодом от 20 до 400 мм [1]. Аналогичные по конструкции модели фирмы «ОТТ» (ФРГ) рассчитаны соответственно на выявление гармоник до 31-го порядка и период от 25 до 360 мм. Швейцарская фирма «Коради» выпускает ряд высокоточных моделей, позволяющих определить гармоники до 150-го порядка с одновременным вычислением до 10 коэфф.

Лит.: 1) Васманов В. В., Вычислительные математические приборы, М., 1958; 2) Мейер-пур-Капеллен В., Инструментальная математика для инженеров, пер. с нем., М., 1959. В. В. Васманов.

ГАРМОНИЧЕСКИЙ БАЛАНС, принцип гармонического баланса (harmonic balance; approximation du premier harmonique, balance harmonique; harmonische Bilanz), — принцип эквивалентной линеаризации нелинейностей. Основан на условии отождествления данного нелинейного элемента с некоторым линейным элементом, установившаяся реакция к-рого на гармонич. воздействие совпадает с первой гармоникой реакции на то же воздействие исходного нелинейного элемента. Соответ-

ствующий линейный элемент считается (гармонически) эквивалентным рассматриваемому нелинейному элементу. Параметры эквивалентного линейного элемента зависят от амплитуды гармонич. воздействия. Напр., если нелинейный элемент задан выражением

$$y = F\left(x, \frac{dx}{dt}\right),$$

а его линейный эквивалент может быть описан выражением вида

$$y_3 = k_1 x + k_2 \frac{dx}{dt},$$

то в соответствии с принципом Г. б. $k_1 = f_1(A)$, $k_2 = f_2(A)$.

Линейный элемент, эквивалентный данному нелинейному элементу, часто характеризуют т. н. эквивалентным комплексным коэфф. усиления [см. *Адмитанс (импеданс) эквивалентный*]. Г. б. представляет основу распространенного метода исследования нелинейных автоматич. систем в линейном приближении — *гармонического баланса метода* (метода эквивалентной линеаризации).

Лит.: Боголюбов Н. Н. и Митропольский Ю. А., Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний, 2 изд., М., 1958; Попов Е. П. и Пальтов И. П., Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем, М., 1960. М. М. Сивкин.

ГАРМОНИЧЕСКИЙ СИНТЕЗАТОР (harmonic synthesizer; appareil harmonique de synthèse, synthétiseur d'harmoniques; harmonischer Synthesator) — специализир. вычислит. устройство для получения сложной ф-ции, образуемой суммированием кратных по частоте и различных по амплитуде и фазе простых синусоидальных колебаний. Применяется для анализа сложных систем со многими источниками колебаний. Г. с. различаются по количеству суммируемых синусоид и макс. их амплитудам. Известны только лабораторные образцы Г. с., построенные отдельными организациями для собств. нужд.

Лит.: Васманов В. В., Вычислительные математические приборы, М., 1958. В. В. Васманов.

ГАРМОНИЧЕСКИЙ СПЕКТР СИГНАЛА (harmonic spectrum of signal; spectre harmonique de signal; harmonisches Signalspektrum, Schwingungsspektrum) — см. *Спектр частот*.

ГАРМОНИЧЕСКОГО БАЛАНСА МЕТОД, метод эквивалентной линеаризации (describing function method, harmonic balance method; approximation du premier harmonique, méthode de balance harmonique; Beschreibungsfunktionsmethode), — метод приближенного определения периодических движений, близких к гармоническим, в нелинейных автоматич. системах. Метод предполагает, что в рассматриваемых системах: а) можно выделить один или неск. нелинейных элементов, чередующихся с устойчивыми линейными звеньями (рис. 1); б) каждое линейное звено представляет низкочастотный фильтр, подавляющий высокочастотные

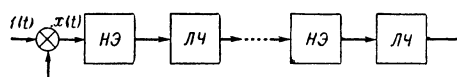


Рис. 1. НЭ — нелинейный элемент; ЛЧ — линейная часть.

составляющие (порождаемые нелинейными элементами), благодаря чему периодич. процессы на входах нелинейных элементов близки

к гармоническим (гипотеза фильтра). При этих предположениях нелинейные элементы в соответствии с принципом *гармонического баланса* заменяются эквивалентными линейными элементами с параметрами, зависящими от амплитуды и частоты искомого гармонич. движения, после чего приближ. определение свободных $[j(t) \equiv 0]$ периодич. движений, близких к гармоническим, сводится к отысканию таких значений амплитуды и частоты, при к-рых характеристич. ур-ние данной эквивалентной системы имеет чисто мнимые корни. Практич. ценность полученного решения выясняется после того, как установлено, что это решение не противоречит гипотезе фильтра.

В системе с одним нелинейным элементом определение периодич. движений осуществляется наиболее просто. Напр., если дифференц. ур-ние системы с нелинейным элементом $y = F(x, px)$, $p = \frac{d}{dt}$ имеет вид

$$Q(p)x + R(p)F(x, px) = 0,$$

где $Q(p)$, $R(p)$ — многочлены по p такие, что линейная часть системы удовлетворяет гипотезе фильтра, а нелинейный элемент гармонически эквивалентен линейному элементу вида

$$y_a = q(A, \Omega)x + \frac{q'(A, \Omega)}{\Omega} px,$$

где A и Ω , соответственно, амплитуда и частота искомого гармонич. решения

$$x = A \sin \Omega t, \quad (1)$$

то приближ. определение периодич. движений сводится к решению ур-ния

$$Q(j\Omega) + R(j\Omega)(q + jq') = 0, \quad (2)$$

распадающегося на два ур-ния

$$\begin{aligned} X(q, q', \Omega) &= 0, \\ Y(q, q', \Omega) &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Положит. значения A и Ω , удовлетворяющие уравнениям (3), определяют гармонич. решение вида (1). Если полученное решение устойчиво, то найденными значениями амплитуды и частоты определена первая гармоника автоколебаний в исходной нелинейной системе.

Сведение задачи определения периодич. движений в нелинейной системе к рассмотрению поведения эквивалентной линейной системы на границе устойчивости позволяет воспользоваться различными критериями устойчивости. Так, в качестве одного из ур-ний для определения параметров периодич. движения может быть использовано равенство нулю предпоследнего определителя Гурвица ур-ния (2). В качестве второго ур-ния может быть использовано любое из ур-ний (3). Пользующийся широкой известностью частотный вариант Г. б. м. опирается на частотный критерий устойчивости. Линейная часть системы задается частотной хар-кой $W(j\omega)$, а нелинейный элемент — *адмитанцем* (импеданцем) эквивалентным $J_{нэ}$. При этом ур-ние (2) записывается в виде

$$W(j\omega) = -\frac{1}{J_{нэ}},$$

где

$$W(j\omega) = \frac{R(j\omega)}{Q(j\omega)} \quad \text{и} \quad J_{нэ} = q + jq',$$

а его решение сводится к отысканию в плоскости частотной хар-ки точек пересечения $W(j\omega)$

и $-\frac{1}{J_{нэ}}$ (рис. 2). Значения частоты и амплитуды в точке пересечения определяют искомое гармонич. решение.

Применение *Михайлова критерия* сводится к построению характеристич. годографов для различных значений амплитуды A (как параметра) и отыскания такого значения амплитуды, при к-ром характеристич. годограф проходит через начало координат (рис. 3). Значения частоты и амплитуды в начале координат определяют искомое гармонич. решение.

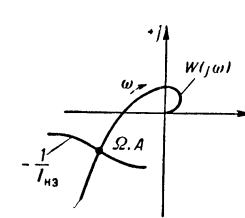


Рис. 2.

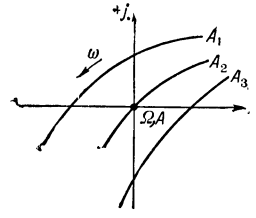


Рис. 3.

туды, при к-ром характеристич. годограф проходит через начало координат (рис. 3). Значения частоты и амплитуды в начале координат определяют искомое гармонич. решение.

С помощью Г. б. м. можно определять не только автоколебания, но и простейшие вынужденные колебания, порождаемые в нелинейных автоматах. системах синусоидальным внешним воздействием.

После отыскания периодич. решения необходимо исследовать его на устойчивость (особенно при наличии двух и более периодич. решений). Классич. путь анализа устойчивости приводит к исследованию ур-ний с периодич. коэффициентами, что обычно является невыполнимой задачей. Поэтому разработаны приближ. методы, к-рые, однако, не всегда приводят к правильным результатам. Г. б. м. обобщен на случаи несимметричных нелинейностей, влияющих на систему медленно изменяющихся внешних воздействий. С помощью Г. б. м. можно в некоторых случаях выделять области устойчивости и производить оценку качества колебательных переходных процессов.

Лит.: Гольдфарб Л. С., Метод исследования нелинейных систем регулирования, основанный на принципе гармонического баланса, в кн.: Тр. Второго Всес. совещания по теории автоматического регулирования, т. 1, М.—Л., 1955, с. 177—92; Попов Е. П. и Пальтов И. П., Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем, М., 1960; Айзерман М. А., Лекции по теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1958. М. М. Силикин.

ГАРМОНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ (harmonic input; essai harmonique; harmonischer Eingriff, harmonische Störung) — воздействие, изменяющееся во времени по синусоидальному или косинусоидальному закону (см. *Гармонические колебания*).

ГАРМОНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ (harmonic motion; mouvement harmonique, mouvement sinusoidal; harmonische Bewegung) — периодич. движение, подчиняющееся синусоидальному или косинусоидальному закону. Строго говоря, Г. д. может иметь место только в линейных системах с пост. параметрами: в автономных (свободных от внешних воздействий) системах — как проявление того факта, что система находится на границе устойчивости, в неавтономных (подверженных внешнему воздействию) системах — как вынужденные колебания, порождаемые внешним гармонич. воздействием. В нелинейных систе-

мах и системах с перем. параметрами при определ. условиях могут иметь место свободные и вынужд. движения, близкие к гармоническим, т. н. почти-гармонич. движения, к-рые приближенно описываются синусоид. (косинусоид.) зависимостью. *М. М. Симкин.*

ГЕКСОД (hexode; hexode; Hexode, Sechspolröhre, Sechselektrodenröhre) — электронная лампа с шестью электродами: накаливаемым катодом, анодом и четырьмя сетками (двумя управляющими и двумя экранирующими). Служит смесит. лампой в радиоприемниках. Входит в состав комбинированных ламп триод-гексодов. Вытесняется более совершенной электронной лампой — *гептодом*.

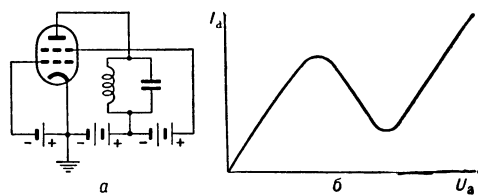
ГЕНЕРАТОР ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (radio frequency alternator; génératrice à haute fréquence; Hochfrequenzoszillator, Hochfrequenzgenerator) — генератор электромагнитных колебаний частоты 100 *кц*—100 *Мгц*. В схемах Г. в. ч. используются каскады с резонансными колебат. контурами, состоящими из индуктивностей и емкостей (*LC*-контурными). Г. в. ч. является основным элементом радио-передающего устройства любого назначения. Маломощные Г. в. ч. применяются в радиоприемных устройствах в качестве гетеродинов (в *супергетеродинах*), а также в измерит. технике — измерит. Г. в. ч. с плавной перестройкой частоты (генераторы сигналов и генераторы стандартных сигналов). Измерит. Г. в. ч. применяются для настройки и испытаний различных узлов радиоаппаратуры при их изготовлении и ремонте. Мощные Г. в. ч. используются в радиотехнике, в пром. установках для ВЧ нагрева различных материалов при их сушке, закалке и др., а также в медицине, биологии и в различных отраслях эксперимент. физики. Совр. Г. в. ч. состоит из ряда ступеней: генератора задающего, усилителей и умножителей частоты. Таковы Г. в. ч. в передатчиках мощных радиостанций. Высокая стабильность частоты колебаний Г. в. ч. достигается применением в его задающем генераторе кварцевой стабилизации частоты. Величина мощности, отдаваемой Г. в. ч. в нагрузку, определяется его окончательной ступенью, работающей в режиме усиления по мощности. Управление колебаниями Г. в. ч. производится при помощи модулятора.

Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР ГАРМОНИК (harmonic generator, harmonic oscillator; générateur d'harmoniques, oscillateur d'harmoniques; Oberschwingungserzeuger, Oberwellengenerator) — прибор, преобразующий колебания эталонной частоты в колебания ряда кратных ей частот. Принцип работы Г. г. основан на получении колебаний, богатых гармонич. составляющими, кратным эталонной частоте f_0 , путем искажения формы гармонич. колебаний с частотой f_0 (см. *Спектр частот*). Г. г. применяется в измерит. технике для абс. измерений частоты автогенераторов (см. *Генератор с самовозбуждением*) и калибровки по частоте измерит. генераторов и гетеродинов *волновых методов биений*. Совр. Г. г. имеют на выходе спектры дискретных частот, простирающиеся до 100 *Мгц* и выше. В Г. г. сигнал эталонной частоты f_0 поступает на вход усилит. каскада, работающего в режиме ограничения амплитуды (см. *Ограничитель амплитуды*). На выходе этого каскада возникают искаженные по форме синусоидальные

колебания, содержащие гармоники частоты входного сигнала. Выделение пужных гармоник производится *фильтрами кварцевыми*, включенными на выходе первого каскада. Однако с увеличением номера гармоники частоты f_n , выделяемой кварцевым фильтром, резко падает ее амплитуда. Поэтому для получения высоких номеров гармоник частоты f_n с достаточно большой амплитудой приходится после выделения гармоник кварцевыми фильтрами и последующего усиления апериодич. усилителем производить повторное искажение формы колебаний низких номеров гармоник частоты f_n . Широкий спектр дискретных частот, образующихся на выходе второго усилителя-искажителя, еще раз усиливается апериодич. усилителем и поступает на выход прибора. *Ю. Б. Любченко.*

ГЕНЕРАТОР ДИНАТРОННЫЙ (dynatron oscillator; oscillateur dynatron; Dynatronoszillator, Dynatrongenerator) — генератор незатухающих электромагнитных колебаний, в к-ром используется падающий участок вольт-амперной характеристики участка анод — катод 4-электродной электронной лампы (тетрода). Наличие падающего участка на анодных хар-ках тетрода связано с явлением *вторичной эмиссии* (динатронный эффект) из анода. Если потенциал анода оказывается ниже потенциала экранирующей сетки (рис., а), то вторичные электроны, вылетающие из анода, начинают притягиваться экранирующей сеткой. При этом анодный ток лампы уменьшается. Поэтому в нек-ром интервале при увеличении анодного напряжения анодный ток падает (рис., б). Падающий участок



хар-ки эквивалентен наличию *сопротивления отрицательного* между анодом и катодом лампы. Анодный контур Г. д. включается между анодом и промежуточной точкой батареи питания, в результате чего анод имеет более низкий потенциал, чем экранирующая сетка. Для выполнения условий самовозбуждения необходимо, чтобы резонансное сопротивление контура было неск. больше, чем абс. значение отрицат. сопротивления в рабочей точке. Г. д., как и любой генератор, использующий отрицат. сопротивление, не нуждается в спец. цепи обратной связи; может генерировать гармонич. колебания в широком диапазоне частот. Практическое значение Г. д. невелико вследствие малой экономичности, обусловленной большими сеточными токами.

К. С. Ражевин.

ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВА [electrical heat generator, dielectric heating generator; générateur pour chauffage diélectrique (par pertes diélectriques); Mikrowellengenerator für Dielektrikheizung, Hochfrequenzerhitzungsgenerator, Hochfrequenzwärme-generator] — устройство, преобразующее напряжение силовой сети пром. частоты (50 *гц*) в напряжение высокой или

сверхвысокой частоты, подводимое к пластинам рабочего конденсатора для нагрева материалов в электрическое поле (см. *Диэлектрический нагрев*). Эти устройства в номенклатуре заводов получили название установок высокочастотных для диэлектрич. нагрева. Основными элементами Г. для д. н. являются: 1) выпрямитель (в т. ч. анодный тр-р), 2) ламповый генератор, 3) нагреват. контур (в т. ч. рабочий конденсатор), 4) аппаратура включения, накала и управления. Типы и технич. хар-ки Г. для д. н., серийно изготавливаемых в 1961 и подлежащих освоению в 1962 на Ленинградском з-де высокочастотных установок, приведены в табл. В установках мощностью от 2,5 *квт* и выше лампы имеют водяное охлаждение анода, в установках меньшей мощности — принудит. воздушное охлаждение анода и баллона лампы. Установки мощностью менее 30 *квт* снабжены обычными неуправляемыми выпрямителями, собранными, как правило, по однофазной или трехфазной двухполупериодной схеме (кроме установок ЛД1-2 и ЛД1-4, выпрямители к-рых собраны по трехфазной однополупериодной схеме). Установки мощностью 30 и 60 *квт* имеют управляемые выпрямители и автоматич. стабилизацию выпрямл. напряжения.

Высокочастотная часть установок состоит из лампового генератора с самовозбуждением, работающего, как правило, на многоконтурную колебат. систему, в к-рой межэлектродные емкости лампы используются как элементы колебат. контура. Обратная связь на управляющую сетку генераторной лампы в большинстве случаев емкостная — за счет внутриэлектродных емкостей генераторной лампы. На рис. 1 приведена схема главных цепей высокочастотной части Г. для д. н., работающего на выносной рабочий конденсатор; один из полюсов рабочего конденсатора, как правило, заземлен. В ряде случаев мощные Г. для д. н. строятся по двухтактной схеме (рис. 2); тогда оба полюса рабочего конденсатора находятся под высоким напряжением. Установки для нагрева таблетированных пресспорошков обычно выполняются с встроенным плоским рабочим конденсатором, одна из пластин к-рого представляет собой выдвигной поднос А (см. рис. на вкладном листе). Установки, не имеющие встроенного рабочего конденсатора, снабжены высокочастотным выходом в виде концентрич. фидера 2, подключаемого к выносному рабочему конденсатору (см. рис. на вкладном листе). Форма полюсов рабочего конденсатора может быть самой различной и зависит от формы нагреваемого изделия и характера диэлектрич. нагрева. За последние годы для ряда видов диэлектрич. нагрева начали применяться СВЧ вплоть до частот сантиметрового диапазона. В частности, в

Технические характеристики высокочастотных установок для диэлектрического нагрева

Технич. характеристики	Типы установок									
	ЛС2-03	ЛД1-06	ЛГС-06	ЛГС-1,5	ЛД1-2	ЛД1-3	ЛД1-4	ЛГД-12	ЛГД-32	ЛГД-62
Номинальная колебат. мощность (квт)	0,25	0,6	0,6	1,5	1,6	2,5	4,0	10	30	60
Рабочая частота (Мгц)	38—40	38—40	38—40	38—40	38—40	13—14	38—40	25—30	20—25	20—25
Назначение установк.	Сварка пластинчатых пленок	Нагрев таблетиров. пресспорошков	Сварка пластинчатых пленок	Сварка пластинчатых пленок	Нагрев таблетиров. пресспорошков	Склейка изделий из дерева	Нагрев таблетиров. пресспорошков	Нагрев различных диэлектрич. материалов	Нагрев различных диэлектрич. материалов	Нагрев различных диэлектрич. материалов
Мощность, потребляемая от сети (квт)	—	—	—	3,3	3,2	4,5	7,0	15	50	100
а) трехфазная	—	—	—	0,5	0,5	0,5	1,5	2	5	5
б) однофазная	—	—	—	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	220 или 380*	220 или 380*
Напряжение сети (в)	220	220	220	ГВ-5Б	ГВ-5Б	ГВ-5А	ГВ-10А	ГВ-10А	ГВ-23А	ГВ-23А
Тип генераторной лампы	ГК-71	«Трубка»	ГВ-7Б	ГВ-5Б	ГВ-5Б	ГВ-5А	ГВ-10А	ГВ-10А	ГВ-23А	ГВ-23А
Анодное (выпрямл.) напряжение (кв)	1,3	2,5	3,0	4,5	4,0	4,5	5,4	8	10	10,5
Тип и количество выпрямит. приборов	ПП диоды Д-1002; 8 шт.	ПП диоды Д-1002; 8 шт.	Газотроны ГГ1-0,5; 5; 4 шт.	Газотроны ГГ1-0,5; 5; 6 шт.	Газотроны ГГ1-0,5; 3 шт.	ПП диоды Д-1002; 36 шт.	Газотроны ГГ1-0,5; 3 шт.	Газотроны ГГ1-0,5; 6 шт.	Газотроны ГГ1-0,5; 7 шт.	Газотроны ГГ1-0,5; 7 шт.
Расход охлаждающей воды (л/ч)	—	—	—	—	—	600	800	1200	2500	4000
Габаритные размеры (мм)	340×255	590×430	1050×520	1200×1100	680×535	800×720	975×820	1100×1000	2790×1610	3200×1900
а) в плане	310	550	1500	1650	1435	1435	1760	2050	2300	2300
б) высота	20	50	310	420	270	350	450	850	2600	3250
Вес установок (кг)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Одно из указанных напряжений по выбору заказчика.

установках для быстрого приготовления пищи, работающих на частоте порядка 2,4 Гц,

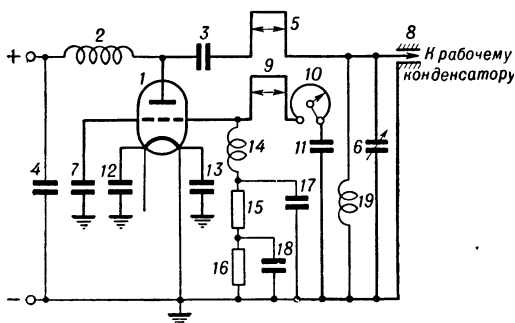


Рис. 1. Схема главных цепей ВЧ части однотактной установки для нагрева диэлектриков: 1 — лампа генераторная; 2 — дроссель анодный; 3 — емкость анодно-разделительная; 4 — емкость блокировочная; 5 — индуктивность настроечная; 6 — конденсатор регулировочный; 7 — емкость антипаразитная; 8 — фидер коаксиальный; 9 — индуктивность обратной связи (постоянная часть); 10 — индуктивность обратной связи (регулируемая часть); 11 — емкость обратной связи; 12, 13 — емкость блокировочная; 14 — дроссель сеточный; 15 — сопротивление антипаразитное; 16 — сопротивление грид-лика; 17 — емкость блокировочная; 18 — конденсатор проходной; 19 — дроссель безопасности.

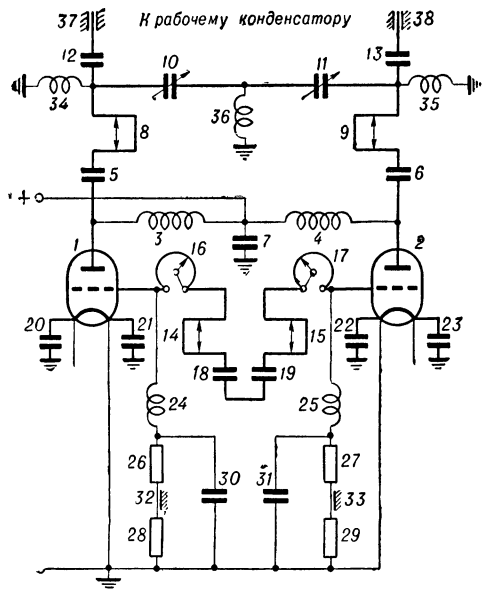
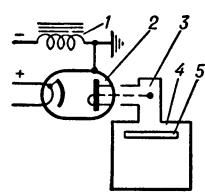


Рис. 2. Схема главных цепей ВЧ части мощной двухтактной установки для нагрева диэлектриков: 1, 2 — лампы генераторные; 3, 4 — дроссели анодные; 5, 6 — емкости анодно-разделительные; 7 — емкость блокировочная; 8, 9 — индуктивности настроечные; 10, 11 — конденсаторы регулировочные; 12, 13 — емкости укорачивающие; 14, 15 — индуктивности обратной связи (постоянные части); 16, 17 — индуктивности обратной связи (регулируемые части); 18, 19 — емкости обратной связи; 20, 21, 22, 23 — емкости блокировочные; 24, 25 — дроссели сеточные; 26, 27 — сопротивления антипаразитные; 28, 29 — сопротивления грид-лика; 30, 31 — емкости блокировочные; 32, 33 — конденсаторы проходные; 34, 35 — дроссели безопасности; 36 — выравниватель дроссели; 37, 38 — фидеры коаксиальные.

применяются магнетроны непрерывного генерирования и схема с объемным резона-

Рис. 3. Схема главных цепей ВЧ части магнетронной установки для приготовления пищи: 1 — электромагнит магнетрона; 2 — магнетрон непрерывного генерирования; 3 — волноводно-коаксиальный переход; 4 — объемный резонатор, в к-ром происходит нагрев пищевого продукта; 5 — инфракрасный излучатель, применяемый в случае необходимости получения наружной запеченной корки.



тором (рис. 3), в к-ром происходит нагрев пищевого продукта.

Лит.: Донской А. В., Рамм Г. С. и Вигдорович Ю. Б., Высоочастотные электротермические установки с ламповыми генераторами, М.—Л., 1957; Нетушил А. В. [и др.], Высоочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников, 2 изд., М.—Л., 1959.

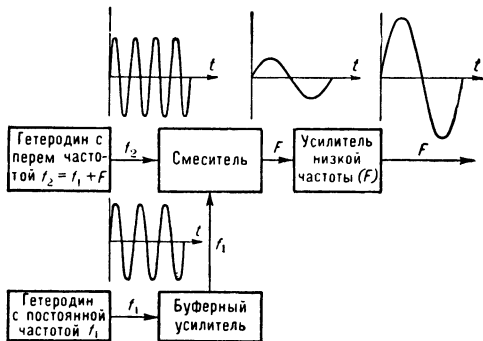
Д. Б. Мондрус.

ГЕНЕРАТОР ЗАДАЮЩИЙ (master oscillator; oscilateur-pilote, maître-oscilateur, étage pilote; Steueroszillator, Hauptoszillator, Steuersender, Muttergenerator, Treibergenerator, Stammoszillator) — генератор электромагнитных колебаний (1-й каскад) любого передатчика и эталона частоты. Г. з. определяет стабильность частоты передатчика и эталона. В качестве Г. з. используются маломощные генераторы с *самовозбуждением* (автогенераторы) с кварцевой стабилизацией частоты. Сигнал Г. з. усиливается последующими каскадами для получения требуемой от передатчика выходной мощности. В передатчиках КВ и УКВ, а также в эталонах частоты для повышения стабильности частоты применяются Г. з. с частотой ниже выходной; частота Г. з. затем повышается в каскадах *умножитель частоты* до требуемого значения на выходе.

Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ, генератор низкой частоты, звуковой генератор (audio frequency generator; generateur basse fréquence; Tonfrequenzoszillator, Tongenerator), — генератор электромагнитных колебаний низкой (звуковой) частоты, плавно изменяемой в пределах от долей гц до 100 кгц. Г. з. ч. широко применяются для наладки и испытаний низкочастотных узлов электронной аппаратуры, в установках для работ в области акустики, звукозаписи, биофизики и др., а также в измерит. аппаратуре для модуляции сигналов измерит. генераторов высокой частоты, градуировки частотомеров, ламповых вольтметров и др. Для генерации колебаний НЧ применяются два вида схем Г. з. ч.: на биениях и RC-генераторы. Схемы генераторов с LC-контурами непригодны для генерации НЧ в таком широком диапазоне, т. к. перекрытие диапазона НЧ требует изменения емкости или индуктивности контура LC-генератора в сотни тысяч раз, что невозможно. Кроме того, LC-контур на НЧ обладает малой добротностью, что приводит к низкой стабильности частоты генератора. В Г. з. ч. на биениях (рис.) колебания НЧ образуются в результате биений между колебаниями частот f_1 и f_2 двух ВЧ автогенераторов (гетеродинов). Частоты этих гетеродинов во много раз превышают наибольшую рабочую частоту Г. з. ч. Частота f_1 одного из гетеродинов берется постоянной, а другого — f_2 изменяется в пределах от f_1 до $f_1 + F$. Колебания обоих гетеродинов поступают на смеситель, на выходе к-рого возникают НЧ колебания (биения)

с частотой, равной разности частот обоих гетеродинов $F = (f_1 + F) - f_1$. Пройдя через *усилитель низкой частоты* с полосой пропускания, равной диапазону частот, генерируемых



Г. з. ч., колебания НЧ поступают на выход прибора. Для уменьшения взаимной связи между обоими гетеродинами, приводящей к *захватыванию частот*, между гетеродином с фиксиров. частотой f_1 и смесителем включается *буферный каскад*, а сам смеситель выполняется по *балансной схеме*. При таком построении функциональной схемы Г. з. ч. весь диапазон перекрываемых частот достигается перестройкой частоты f_2 другого гетеродина в относительно небольших пределах. Сами ВЧ гетеродины легко могут быть выполнены с достаточно высокой стабильностью собств. частот. В качестве гетеродина фиксиров. частоты часто используется *генератор кварцевый*. Обычно частоты обоих гетеродинов лежат в диапазоне 100—500 кГц. В совр. Г. з. ч. на биениях уходы частоты после прогрева схемы не превышают единиц гц в час. Коэфф. *нелинейных искажений* выходного напряжения не превышает единиц процентов. Типичными представителями Г. з. ч. этого типа являются пром. звуковые генераторы ЗГ-2А и ЗГ-10 (см. табл.).

Характеристики	Тип генератора	
	ЗГ-2А	ЗГ-10
Диапазон частот (гц) . . .	20—2000	20—2000
Уход частоты за 1 час (гц)	5—10	5—10
Коэфф. нелинейных искажений (%)	2,0	
Макс. выходная мощность (вт)	1,5	5,0
Макс. выходное напряжение (в)	150	150

Недостатком Г. з. ч. на биениях является невозможность получения на них очень низких частот. Это связано с возникновением явления захватывания при малой разнице в частотах гетеродинов, к-рое не удается устранить даже при применении мер по уменьшению взаимной связи (увеличению развязки). Кроме того, при уменьшении величин разностной частоты ухудшается стабильность самой частоты биений. Стабильность частоты выходного сигнала у Г. з. ч. этого типа определяется стабильностью частоты обоих высокочастотных гетеродинов. Однако колебания разностной частоты всегда будут иметь более низкую стабильность, т. к. абс. уходы частот обоих гетеродинов переносятся на гораздо более

низкую частоту их биений, к-рая становится сравнимой с этими уходами на самых низких частотах. При необходимости генерации самых низких частот от долей до единиц гц применяются *генераторы на сопротивлениях и емкостях*.

Лит.: Асеев Б. П., Основы радиотехники, М., 1947; Рейх Г. Д., Теория и применение электронных приборов, пер. с англ., М.—Л., 1948.

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ [pulse (impulse) generator, pulser; generateur d'impulsions; Impulsgenerator, Impulsoszillator, Stossgenerator, Impulserzeuger] — генератор колебаний, позволяющий получать кратковременные импульсы тока или напряжения, следующие друг за другом через более или менее продолжит. интервалы времени. Г. и. являются генераторами релаксац. типа (см. *Генератор релаксационных колебаний*). Импульсы могут быть как видеопульсами, так и радиопульсами. В обоих случаях генератор носит общее назв. Г. и. Однако видеопульсы являются наиболее распространен. видом импульсного сигнала, поэтому под термином «Г. и.» обычно подразумевают генераторы видеопульсов. Г. и. принято подразделять на след. основные типы: Г. и. прямоугольной формы получили наибольшее распространение на практике. В тех случаях, когда длительность импульсов равна паузе между ними, Г. и. прямоугольной формы наз. генераторами прямоугольных волн. *Генераторы пилообразного тока* используются для развертки изображения в телевизионных трубках с электромагнитным отклонением луча. *Генераторы пилообразного напряжения* применяются в осциллографах для развертки луча в трубках с электростатич. отклонением. К числу Г. и. с п е ц и а л ь н о й ф о р м ы относятся генераторы трапецидальной, треугольной, колоколообразной, экспоненц. и др. форм.

Г. и. прямоугольной формы наиболее распространены в устройствах электронной автоматики и радиотехники по след. причинам: прямоугольные импульсы являются одним из наиболее распростр. видов испытательного и рабочего сигнала. Они непосредственно получаются в простейших импульсных схемах типа *мультивибратора, блокинг-генератора, триггера* и др. С помощью импульсов прямоугольной формы можно снимать переходные хар-ки линейных систем. По сравнению с импульсами любой другой формы прямоугольный импульс, при прочих равных условиях, обладает наибольшим частотным спектром. Поэтому из импульсов прямоугольной формы с помощью пассивных цепей могут быть сформированы импульсы любой формы.

В зависимости от назначения Г. и. могут иметь различную выходную амплитуду и мощность. При генерировании радиопульсов Г. и. обычно используются в качестве анодного модулятора. В этом случае мощность самого передатчика в импульсе может достигать неск. сотен и даже тысяч вт, а амплитуда напряжения — неск. тысяч в. Средняя мощность, отдаваемая Г. и. в нагрузку, во столько раз меньше мощности в импульсе, во сколько раз длительность импульсов меньше периода повторения. Поэтому средняя мощность импульсных передатчиков оказывается сравнительно небольшой (десятки или сотни вт), т. к. *скважность* в генераторах такого типа выбирается порядка неск. тысяч.

Маломощные Г. и. широко используются в измерит. и радиотелевиз. аппаратуре, вычислит. машинах, а также в радионавигац. и радиолокац. станциях. Задающими Г. и. обычно служат автоколебат. схемы типа мультивибратора, блокинг-генератора и др. Широкое распространение при формировании импульсов получили спусковые схемы типа ждущего мультивибратора и триггера. Для формирования импульсов широко используются также пассивные цепи, содержащие вакуумные или ПП диоды, элементы R, L, C и линии задержки. Пассивные цепи, как правило, применяются для коррекции формы импульса. Спусковые схемы оказываются весьма удобными при формировании прямоугольных импульсов из синусоидального напряжения, а также для создания искусств. задержки импульсов. Схема блокинг-генератора наиболее перспективна в тех случаях, когда необходимо получить импульсы с большой скважностью.

В Г. и. на электронных лампах минимальная длительность импульса составляет неск. десятых $\mu\text{сек}$. Примерно такими же данными характеризуются Г. и., собранные на транзисторах. Наиболее быстродействующими элементами являются *диоды туннельные*. С их помощью можно осуществить схему Г. и. с длительностью импульса порядка 10^{-9} — 10^{-8} сек. Г. и., собранные на ПП приборах, имеют меньшие выходные напряжение и мощность. Наиболее распространенные серийные лабораторные генераторы прямоугольных импульсов позволяют получать видеопульсы обеих полярностей с длительностью от 0,1 до 10 $\mu\text{сек}$, с частотой повторения от 50 до 10000 гц . Более универсальные Г. и. позволяют получать как прямоугольные импульсы в диапазоне длительностей от 5 до 2000 $\mu\text{сек}$ так и импульсы пилообразного напряжения фиксированной длительности: 7,5, 25, 75, 250, 750, 2500 $\mu\text{сек}$.

К. С. Ржевский.

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ (telecontrol system pulse generator; générateur d'impulsions des systèmes télémechaniques; Impulsgenerator für Systeme der Fernwirktechnik) — функциональный узел, преобразующий энергию источника питания в энергию тактовых импульсов, задающих последовательность работы элементов, участвующих в образовании сигналов в системах с временным разделением. Г. и. для с. т. управляет работой распределителя и совместно с ним формирует импульсную серию, посылаемую в канал связи. Частота импульсов Г. и. для с. т. определяется в основном пропускной способностью канала связи. Для телемеханич. систем общепромышл. назначения эта частота лежит в пределах от единиц до неск. сотен гц . Поэтому Г. и. для с. т. относятся к классу генераторов низких частот. В телемеханич. системах спец. назначения частота следования может составлять неск. кгц . Мощность Г. и. для с. т. в зависимости от типа распределителя импульсов может составлять от долей единицы (при бесконтактных распределителях на транзисторах или ферритовых элементах) до десятков и сотен вт в импульсе при использовании телефонных искателей или бесконтактных распределителей на крупных сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса. Г. и. для с. т. классифицируются: по принципу генерации колебаний — релакса-

ционные, гармонические (LC или RC), параметрические и т. п.; по аппаратурному выполнению — контактные и бесконтактные; по участию в образовании избирающих (селективных) импульсных признаков — управляемые и неуправляемые; по режиму работы — спорадические или непрерывные; по способности синхронизироваться с внешними периодич. воздействиями.

В релейно-контактных телемеханич. системах как генератор импульсов используется релеейная пульс-пара (релейный генератор). Она состоит из двух контактных реле, включенных по взаимноисключающей схеме (рис. 1): включение одного реле вызывает отключение другого и наоборот. Периодически замыкая и размыкая контакты, пульс-пара образует импульсы тока в соответствующих

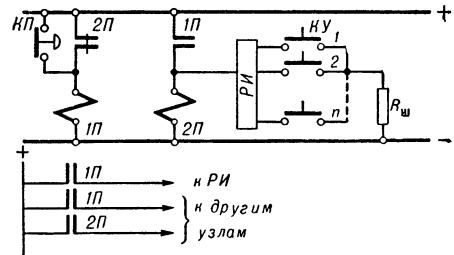


Рис. 1. Управляемый релейный генератор (пульс-пара): 1П, 2П — реле генератора и его контакты; КУ — ключи управления; КП — пусковая кнопка; РИ — распределитель импульсов.

электрич. цепях. Период работы пульс-пары, а также продолжительность импульсов и пауз определяются временами срабатывания и отпускания реле пульс-пары. Так, продолжительность замкнутого состояния контакта 1П составляет сумму времен срабатывания реле 2П и отпускания 1П. Наивысшая частота пульсации определяется типом применяемых реле: для наиболее быстродействующих поляризованных реле она не превосходит 200—250 гц . Наименьшая частота 0,5—1 гц достигается спец. способами замедления реле. При использовании нейтральных электромагнитных реле частота пульсации обычно составляет 10—15 импульсов в сек. Стабильность частоты релейных генераторов зависит в основном от стабильности временных параметров реле. Под влиянием отдельных факторов (изменение регулировки реле с течением времени, при ревизиях, чистке контактов и замене контактных групп) частота пульсаций может изменяться на 20—30%. Для образования временного импульсного признака используется способность электромагнитных реле изменять время отпускания при шунтировании их обмоток сопротивлением. Подключение сопротивления $R_{ш}$ (рис. 1) с помощью распределителя импульсов и ключей управления к обмотке реле 2П на заданном периоде пульсации приводит к увеличению времени замкнутого состояния контактов реле 2П, а следовательно, к удлинению соответствующего импульса в цепи нормально открытого контакта этого реле. Этим способом удается увеличить продолжительность импульса в 3—5 раз по сравнению с нормальным. Поскольку срок службы контактных реле зависит от числа их срабатывания, то релейные генераторы работают в спорадич. режиме — запускаются лишь

на время передачи соответствующей информации.

Для бесконтактных телемеханич. систем с пошаговой синхронизацией одним из основных Г. и. для с. т. является мультивибратор на транзисторах. Схема Г. и. для с. т. (рис. 2) состоит из задающего мультивибратора (триоды $ПТ_1$ и $ПТ_2$) и усилителей (триоды $ПТ_3$, $ПТ_4$), предназначен., напр., для питания цепей движения распределителя импульсов. Дифференцирующие $Тр-1$ и $Тр-2$ в коллекторах триодов задающего мультивибратора формируют импульсы тока требуемой длительности в цепях базы усилит. каскада. Амплитуда импульсов коллекторного тока триодов $ПТ_3$, $ПТ_4$ может достигать неск. а при продолжительности в десятые доли мсек. Частота генерируемых мультивибратором колебаний определяется в основном сопротивлениями R_{61} и R_{62} и емкостями C_1 , C_2 . Диапазон возможных частот: от единиц гц до десятков кГц. Общее эмиттерное сопротивление

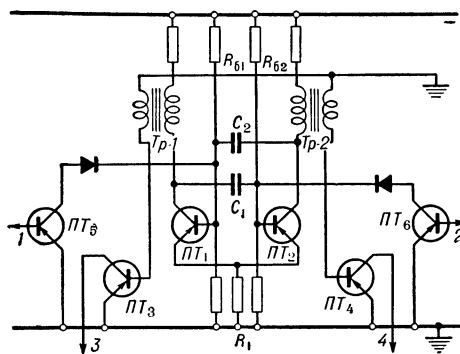


Рис. 2. Управляемый мультивибратор: 1 — к датчику удлиненного импульса; 2 — к датчику удлиненной паузы; 3, 4 — выходные цепи.

ние R_1 введено для повышения температурной стабильности схемы. Частота мало зависит от изменения (на $\pm 15\%$) напряжения источника питания. Основная причина нестабильности частоты — влияние темп-ры окружающей среды: при изменении темп-ры от -5° до $+50^\circ$ частота изменяется на 1,0—1,5%. Мультивибратор хорошо синхронизируется внешними сигналами. Синхронизирующий импульс, напр., подается на базу одного из триодов мультивибратора через дифференцирующий тр-р. Управление мультивибратором для образования временных импульсных признаков производится с помощью триодов $ПТ_5$, $ПТ_6$, к-рые при подаче сигнала кратковременно запирают триоды мультивибратора и прекращают генерацию «на импульсе» или «на паузе». Выдержка времени, определяющая длительность удлиняемого параметра, создается триггером с одним устойчивым состоянием (на рис. 2 не показан), к-рый запускается от распределителя импульсов на заданном периоде работы Г. и. для с. т.

В бесконтактных телемеханич. системах с автономными генераторами при циклич. синхронизации широко применяется LC-генератор на транзисторах (рис. 3) из-за высокой стабильности его частоты. LC-генератор состоит из колебат. контура, образованного емкостью и индуктивностью обмотки w_1 $Тр-1$, выполненного на тороидальном сердеч-

нике, напр. из альсифера. Обмотки w_2 и w'_2 используются для поочередного открывания триодов $ПТ_1$ и $ПТ_2$ усилителя-ограничителя, w_3 , w'_3 — обмотки обратной связи. Коэфф. усиления усилителя-ограничителя выбирается

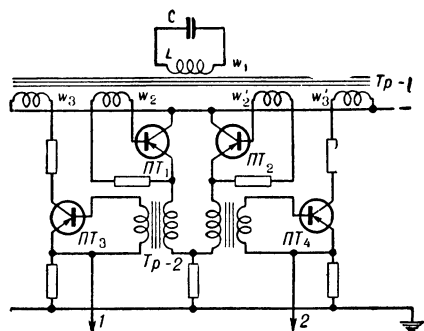


Рис. 3. Задающая ступень LC-генератора: 1, 2 — к каскадам усиления.

таким, чтобы обеспечить полное открывание триодов $ПТ_3$, $ПТ_4$ в цепях обратной связи при любых допустимых изменениях напряжения питания и темп-ры окружающей среды. Частота генератора в основном определяется параметрами колебат. контура LC. Необходимая выходная мощность достигается включением усилителей, к-рые часто выполняются двухкаскадными для уменьшения влияния нагрузки на частоту. При изменении окружающей темп-ры от -20° до $+70^\circ$ и напряжения питания от 10 до 35 в уход частоты генератора не превышает 0,3% при выходной мощности генератора до 60 вт. Высокая стабильность частоты генератора имеет место потому, что: частота в основном определяется резонансным контуром, к-рый слабо связан с нагрузкой и имеет сравнительно высокую добротность; магнитный сердечник индуктивности контура выполнен на альсифере с достаточно высокой температурной стабильностью; триоды работают в ключевых режимах. При использовании LC-генератора образование импульсных признаков осуществляется вне его схемы.

Магнитный генератор, используемый как Г. и. для с. т., представляет автоколебат. систему с колебат. контуром, образованным индуктивностью обмотки управ-

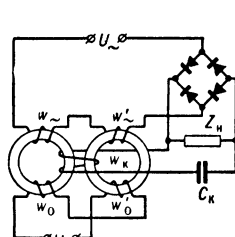


Рис. 4

Рис. 4. Магнитный генератор: U_{\sim} — перем. напряжение питания; U_{\sim} — пост. напряжение питания; w_{\sim} , w'_{\sim} — обмотки перем. тока; w_0 , w'_0 — обмотки смещения; w_k — обмотка управления.

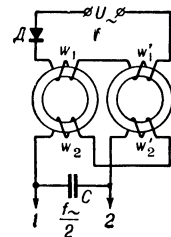


Рис. 5

Рис. 5. Магнитный делитель частоты: f_{\sim} — частота источника питания; 1, 2 — выход на нагрузку делителя

ления w_k дроссельного магнитного усилителя и емкостью C_k (рис. 4). Нагрузка генератора

Z_n связана с колебат. контуром цепью обратной связи, по к-рой восполняются потери в колебат. контуре. Существенное влияние на процесс автоколебаний оказывают эффект наложения пост. и перем. магнитных полей, а также четные гармоники тока в колебат. контуре. Магнитный генератор питается от источника перем. тока. Его частота определяется параметрами колебат. контура. Нижний предел частоты ограничен индуктивностью контура (размерами сердечника) и емкостью контура, верхний — составляет примерно $2/3$ от частоты источника питания. Магнитные генераторы синхронизируются и для образования временного импульсного призна могут управляться путем подключения на заданном шаге движения распределителя дополнит. конденсатора или витков контурной обмотки.

В телемеханич. устройствах с питанием от пром. сети применяются магнитные делители частоты (рис. 5), преобразующие 50 гц в 25 гц для удобства передачи тактовых импульсов по уплотненным каналам связи. Принцип действия магнитного делителя частоты основан на параметрич. возбуждении колебаний в колебат. контуре. Перем. параметром контура является индуктивность контурной обмотки, к-рая под влиянием насыщения магнитных сердечников меняется с частотой первичной цепи 50 гц. Контур, состоящий из емкости C и обмоток w_2, w'_2 , настраивается на половинную частоту. Колебания с этой частотой выделяются на нагрузке делителя. Вентиль D в цепи первичных обмоток создает пост. поле смещения. Магнитный делитель частоты используется как неуправляемый генератор импульсов, сочетая надежность и удобство питания от пром. сети с одноврем. понижением частоты в канале связи.

Магнитный формирователь импульсов (рис. 6) используется для питания ферродиодных и ферротриодных распределителей бесконтактных систем от сети перем. тока. Формирует импульсы с достаточно крутым фронтом (десятки мксек) и малой (сравнительно с периодом частоты питания) продолжительностью. Амплитуда импульса тока может достигать 10 и более а. Формирователь состоит из последовательно включенных нелинейного насыщающегося дросселя и конденсатора. При перемагничивании сердечника почти все напряжение питания приложено к обмотке дросселя, и ток в цепи нагрузки практически равен нулю. В момент насыщения сердечника напряжение на обмотке резко падает и ток в цепи нагрузки быстро увеличивается до величины, определяемой мгновенным значением напряжения питания и малым омич. сопротивлением контура. По мере заряда конденсатора ток уменьшается до нуля примерно по экспоненциальному закону. На следующем полупериоде конденсатор перезаряжается и процесс повторяется. Для сокращения длительности импульса и увеличения его крутизны применяется каскадное включение формирователей. К. Г. Митюшкин.

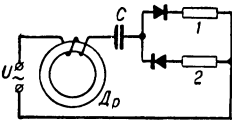
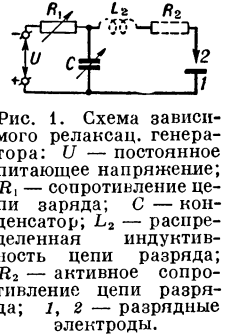


Рис. 6. Магнитный формирователь импульсов: 1, 2 — цепи нагрузок; Др — насыщающийся дроссель

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ РЕЛАКСАЦИОННЫЙ [relaxation pulse oscillator (generator); générateur d'impulsions à relaxation; Kippgenerator, Kippschwinger] — генератор импульсного тока, используемого для технологич. операций, в котором пост. или перем. ток преобразуется в импульсный за счет введения в схему накопителя энергии (обычно конденсатора) и нелинейного элемента, изменяющего скачкообразно, при определенной величине напряжения, свое сопротивление. В электроэрозионных установках таким элементом б. ч. является сама нагрузка — разряд между электродами, погруженными в жидкий диэлектрик (зависимые Г. и. р.). Зависимый Г. и. р. работает след. образом (рис. 1): конденсатор C заряжается через сопротивление R_1 от источника пост. напряжения U до напряжения начала разряда U_0 в течение времени T_1 ; при напряжении U_0 возникает разряд между электродами 1—2, продолжающийся в течение времени T_2 ; при этом осуществляется работа по сгону металла изделия. Затем цикл повторяется в том же порядке. Обычно $T_1 \gg T_2$, поэтому в эрозионном промежутке во время разряда выделяется мощность, в десятки раз превышающая мощность источника питания.



При работе Г. и. р. вследствие эрозионного процесса расстояние между электродами возрастает, и напряжение U_0 начала разряда увеличивается, т. к. оно зависит от физич. состояния эрозионного промежутка и от расстояния между микронеровностями электродов. Разряды прекращаются, когда напряжение источника станет меньше U_0 . Для обеспечения непрерывной работы генератора регулятор подачи должен перемещать один из электродов так, чтобы напряжение начала разряда $U_0 = \text{const}$. Регулирование длительности импульсов осуществляется изменением емкости конденсатора C , а частоты — изменением сопротивления R_1 , а также емкости. Мощность, энергия, длительность и частота импульсов при прочих неизм. условиях определяются напряжением начала разряда U_0 (отсюда назв. этих Г. и. р. — зависимые генераторы).

Основные соотношения для Г. и. р. в режиме установившихся автоколебаний: среднее значение тока заряда:

$$I_{cp} = I_K (1 - U_{n*}) (1 - e^{-\tau_1}) / \tau_1;$$

эффективный ток разряда:

$$I = I_K (1 - U_{n*}) \sqrt{(1 - e^{-2\tau_1}) / 2\tau_1},$$

где $I_K = U/R_1$; $\tau_1 = R_1 C T_1$;

частота импульсов:

$$f = 1/R_1 C \tau_1 = I_K / U C \tau_1;$$

мощность, передаваемая в контур разряда:

$$P_1 = f C (U_0^2 - U_n^2) / 2;$$

кпд контура заряда:

$$\eta_1 = P_1 / U I_{cp},$$

где U_n — остаточное напряжение на конденсаторе, U_{n*} — то же, отнесенное к U .

Зависимости P_1 и η_1 от U_0 имеют максимум, т. к. увеличение U_0 приводит к росту P_1 и η_1 при одноврем. уменьшении f ; для $U_n=0$ при $U_{0*}=0,72$, $\eta_{1\text{ макс}}=0,36$. Макс. величина мощности, передаваемая в контур разряда, только прикл. соответствует макс. производительности электроэрозионного процесса, т. к. часть энергии теряется в нелинейном контуре разряда, и зависимость скорости съема от энергии импульса отклоняется от пропорциональной.

В контурах разряда обычно имеет место такое соотношение параметров (при миним. R_2 и L_2), что разряд является колебат. Переход аperiодич. разряда в колебат. происходит при малых значениях R_2 . Если в линейном контуре RCL переход колебат. разряда в аperiодич. происходит при одном конечном значении критич. индуктивности, то при наличии

раторов: простота схемы, легкость регулирования частоты импульсов и возможность достижения на малых режимах высоких частот (сотен кГц). Особенно ценно свойство саморегулируемости процесса эрозии при работе с зависимыми релаксационными генераторами. Если в процессе обработки расстояние между электродами увеличивается, то конденсатор заряжается до более высокого напряжения, разряды продолжают при большем напряжении U_0 ; импульсы имеют большую энергию и им соответствуют частицы больших размеров; условия эвакуации продуктов эрозии не ухудшаются, т. к. зазор увеличен. Вообще, уменьшенному или увеличенному зазору между электродами соответствуют уменьшенные или увеличенные размеры частиц материалов, что обеспечивает их нормальную эвакуацию.

Энергия импульсов независимых генераторов практически не зависит от зазора и при его уменьшении возможно заклинивание последнего крупной частицей. Основные недостатки зависимого RC -генератора: 1) в реальных условиях контур разряда имеет значит. индуктивность, при к-рой невозможен короткий аperiодич. разряд, и импульсы получаются несимметричными, знакопеременными вместо требуемых униполярных; 2) низкий кпд генератора; 3) близкая граница перехода режима прерывистого импульсного тока в непрерывный пост. ток и вследствие этого относительно небольшая, максимально возможная мощность генератора (в пром. генераторах при потребляемой из сети мощности в 5—8 кВт скорость съема 400—500 мм³/мин); 4) большая зависимость частоты, амплитуды, продолжительности и энергии импульса от физич. состояния эрозионного промежутка.

В зависимости от типа сопротивлений, включаемых в контур заряда и разряда, различают след. разновидности зависимых Г. и. р.: типа RCL (индуктивное и активное сопротивления в цепи заряда); $RCLL$ (индуктивное и активное сопротивления в цепи заряда и дополнит. индуктивное — в цепи разряда); RCR (дополнит. активное сопротивление в цепи разряда); CC (емкость в цепи заряда при питании постоянным и перем. током) и др. Наибольшее распространение имеют генераторы типа RCL , работающие в режиме колебат. заряда. При соблюдении соотношения $L_1 \geq 6,25 R_1^2 C$, где L_1 — индуктивность в цепи заряда, кпд генератора в оптимальном режиме в 1,35 раза больше, чем кпд генератора RC . В генераторах типа RCR , благодаря введению дополнит. сопротивления в контур разряда и увеличению емкости до 700—1000 мкф, импульс тока становится аperiодич. и более длит.,

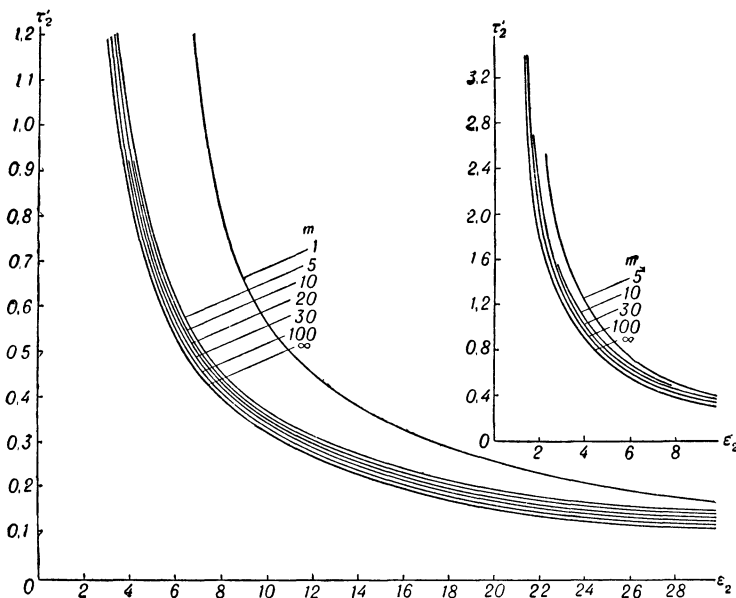


Рис. 2. Зависимость относит. продолжительности импульса τ_2' (для первой полувольты) от параметров m и ϵ_2 .

эрозионного промежутка, из-за нелинейного характера R_2 существуют два конечных значения критич. индуктивности. Номограмма рис. 2 дает зависимость относит. продолжительности импульса $\tau_2' = \frac{R_2 T_2'}{2L_2}$ (для первой полувольты) от безразмерных параметров $\epsilon_2 = \sqrt{4L_2/R_2 C}$ и $m = 2R_1/\epsilon_2^2 R_2$. Амплитуда импульса тока (для первой полувольты) прикл. равна (при $\epsilon_2 > 3$)

$$I_{2m} \approx \frac{U_{SH1}(U_{0*} - 0,56)(\epsilon_2 - 1)m}{R_1 + R_2},$$

где U_{SH1} — напряжение начала искродуговой стадии разряда, зависящее от материала электродов и вида рабочей жидкости.

Релаксационный RC -генератор (см. Генератор на сопротивлениях и емкостях) является наиболее распространен. источником питания электро-искровых станков. Преимущества этих гене-

вследствие чего резко уменьшается износ инструмента (анода) при одновременном снижении производительности, обусловл. потерями энергии в дополнит. сопротивлении.

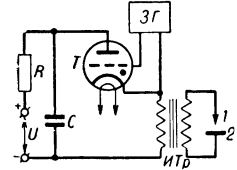


Рис. 3. Схема независимого релаксационного генератора: U — пост. напряжение питания; R — зарядное сопротивление; C — конденсатор; T — тиратрон; 3Γ — задающий генератор, управляющий тиратроном; $ИТр$ — импульсный тр-р; 1, 2 — разрядные электроды.

ся величинами емкости и сопротивления в цепи разряда и достигает неск. десятков $кГц$; при этом скважность имеет порядок 10—50, длительность импульса 1—10 $мксек$, средняя мощность на выходе до 1 $квт$. В цепи разряда напряжение, близкое к униполярному, можно

фронтом и медл. спадом получается введением в контур разряда активного сопротивления. Обычно не удается получить отношение прямого и обратного импульсов напряжения на нагрузке больше 5—15. Независимые Г. и. р. применяются преим. для ВЧ электроискровой обработки твердых сплавов.

Лит.: Лившиц А. Л. и Рогачев И. С., Генераторы периодических импульсов сильного тока, М.—Л., 1959; Вероман В. Ю., Высокочастотная электроэрозионная обработка импульсами малой длительности, М., 1959; Левинсон Е. М., Электрические генераторы для обработки металлов импульсами тока, в кн.: Новое в электрической и ультразвуковой обработке металлов, Л., 1959.

А. Л. Лившиц, И. С. Рогачев.

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ СИЛЬНОГО ТОКА (heavy current pulse generator, heavy current impulse generator; générateur d'impulsions de courant fort; Strakstromimpulsgenerator, Starkstromstoßgenerator) — генератор периодич. импульсов тока, предназначенных для технологич. операций. Г. и. с. т. позволяют подвести к нагрузке мощность, в импульсе значительно большую, чем ср. мощность источника питания. Г. и. с. т. могут вырабатывать униполярные импульсы и симметричные и несимметричные знакопеременные импульсы. Основная область применения

Форма кривой	Коэффициент формы кривой $K_F = \frac{E}{E_{cp}}$	Амплитудный коэффициент $K_A = \frac{E_m}{E}$	Отношение максимального значения к среднему $\frac{E_m}{E_{cp}}$	Для чисто активной нагрузки	
				$\frac{P_{cp}}{P_m} = \frac{1}{K_A^2}$	$\frac{P_{cp}}{U_{cp} I_{cp}} = K_F^2$
	\sqrt{q}	\sqrt{q}	q	$\frac{1}{q}$	q
	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} \sqrt{q}$	$\sqrt{2} \cdot \sqrt{q}$	$\frac{\pi}{2} \cdot q$	$\frac{1}{2q}$	$\frac{\pi^2}{8} \cdot q$
	$\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{q}$	$\sqrt{3} \cdot \sqrt{q}$	$2q$	$\frac{1}{3q}$	$\frac{4}{3} \cdot q$
	$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\sqrt{1+2\gamma}}{1+\gamma} \sqrt{q}$	$\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{1+2\gamma}} \cdot \sqrt{q}$	$\frac{2}{1+\gamma} \cdot q$	$\frac{1+2\gamma}{3} \cdot \frac{1}{q}$	$\frac{4}{3} \cdot \frac{1+2\gamma}{(1+\gamma)^2} q$

получить, если зарядный ток имеет вид аperiodич. импульса с крутым фронтом и медл. спадом; тогда при прохождении крутого фронта импульса во вторичной цепи возникает резко нарастающий пик напряжения, т. к. импульсный тр-р представляет собой дифференцирующий элемент. При переходе через максимум импульса первичного тока на вторичной стороне тр-ра напряжение будет равно нулю, далее изменит знак на обратный и медленно спадет до нуля. Аperiodич. импульс с крутым

Г. и. с. т. — электроэрозионная обработка металлов, возможная только при импульсном подведении энергии. При электроэрозионной обработке используются импульсы длительностью 10^{-6} — 10^{-2} сек. со скважностью от 1 до 100 при токе от долей a до десятков тыс. a и частотах от 10 до 10^6 импульсов в сек. Г. и. с. т. выполняются на напряжениях (ср. значение) от 20 v до 150—200 v , мощности от десятков $вт$ до сотен $квт$ и ср. токи до неск. тыс. a . Г. и. с. т. разделяются на зависимые

и независимые. В первых амплитуда, длительность, полярность и частота импульсов во время эрозийного процесса зависят от физич. состояния нагрузки (характера разряда и расстояния между электродами, концентрации в зазоре продуктов эрозии и др.); во вторых — практически не зависят. Различают машинные, магнитнонасыщенные, релаксационные и электронно-ионные Г. и с. т., а также их комбинации.

Форма и скважность q импульса Г. и с. т. характеризуются: коэфф. формы кривой, т. е. отношением действующего значения к среднему; коэфф. амплитуды, т. е. отношением макс. значения к действующему; коэфф. искажения, т. е. отношением действующего значения первой гармоники к действующему значению всей кривой. В расчетной практике пользуются отношением макс. значения к среднему, равным произведению коэфф. формы кривой на коэфф. амплитуды. Независимо от характера кривой ср. значение кривой напряжения или тока обратно пропорционально величине скважности q , действующее значение обратно пропорционально корню квадратному из скважности, коэфф. формы и амплитудный коэфф. кривой пропорциональны корню квадратному из скважности, отношение макс. значения к среднему пропорционально скважности импульсов. В табл. (стр. 221) приведены некие коэфф. для основных форм импульсов.

А. Л. Лившиц, И. С. Роговцев.

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОМАШИННЫЙ (dynamoelectric pulse generator; générateur d'impulsions à machine électrique; Impulskommutatorgenerator) — электр. машина, генерирующая импульсы напряжения. Г. и с. т. разделяются на генераторы с несинусоидальным, в отличие от обычных генераторов, распределением индукции по окружности индуктора и генераторы, в которых импульсная эдс получается путем суммирования пост. и знакоперемен. эдс различной формы. Г. и с. т. различаются по типу генерируемых импульсов (симметричные; несимметричные знакоперемен. и униполярные), по типу исходных электр. машин, взятых за основу того или иного генератора импульсов (синхронные, индукторные, униполярные), по различным конструктивным особенностям (типы обмоток якоря и возбуждения, конфигурация активной зоны магнитной системы, токоєм и др.), по количеству фаз статора и постов нагрузки. Знакопеременные симметричные импульсы в синхронных генераторах получаются путем уменьшения ширины полюсных наконечников, в индукторных генераторах — путем уменьшения ширины зубцов индуктора по сравнению с зубцами статора. Несимметричные знакопеременные импульсы могут быть получены в синхронных генераторах при неравномерном воздушном зазоре под полюсами или, при спец. распределении обмотки возбуждения, — при пост. воздушном зазоре. Получение устойчивой формы импульсов напряжения при переменной нагрузке в этих генераторах затруднительно.

Для получения несимметричного знакоперемен. напряжения можно также суммировать неск. симметричных напряжений, синусоидальных или несинусоидальных, так, чтобы положит. полуволны совпадали во времени и отрицат. были сдвинуты друг относительно друга. Суммирование неск. эдс различной

частоты может быть выполнено в одном индукторном генераторе с 2 или 3 пакетами статора и соответственно с 2 или 3 индукторами, выполненными с различным числом зубцов; обмотки статора отд. пакетов включаются последовательно. Возможные вариации параметров напряжения весьма малы, что ограничивает применение таких генераторов. Униполярные импульсы напряжения получают от генераторов знакоперемен. импульсов путем одно- или двухполупериодного выпрямления или от униполярного Г. и с. т. Выпрямление производится с помощью ПП вентилях (генераторы с внешним выпрямлением) либо механич. выпрямителями коммутаторного типа, а для больших токов — контактного и роликового типов. Известны 3 типа униполярных Г. и с. т.: собственно униполярные, коммутаторные и униполярно-коммутаторные. Униполярные генераторы (рис. 1) базируются на обычной униполярной машине пост.

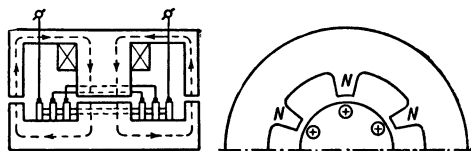


Рис. 1. Принципиальная схема униполярного генератора импульсов.

тока; униполярные импульсы напряжения получают в них благодаря различной магнитной проводимости по окружности статора, что при пост. намагничивающей силе дает соответствующее распределение индукции и подобную ей форму эдс, генерируемой в стержнях обмотки, расположенной на роторе. При этом эдс не падает до нуля, а только до некого миним. значения. Возможная область применения — получение больших импульсных токов при малых напряжениях с частотой до 2000 *имп/сек*. Выполнен пробный образец униполярного генератора на средний ток 150 а, 800 *имп/сек* при амплитуде напряжения 50 в. В коммутаторных Г. и с. т. в обмотке индуктируются знакоперемен. симметричные импульсы напряжения, выпрямляемые в униполярные импульсы механич. выпрямителем коммутаторного типа, конструктивно связанным с якорем машины. В униполярно-коммутаторных генераторах в пределах каждого полюса создается группа импульсов одной полярности, выпрямляемых затем коммутатором. Выполнены пробные образцы на 1000 и 1400 *имп/сек* при 50 а ср. тока и амплитуде напряжения 120 в. Униполярные Г. и с. т. с внешним выпрямлением разработаны на базе синхронных генераторов для частот 100—800 *имп/сек* и на базе индукторных генераторов для частот 2000—10000 *имп/сек*. Выполнены индукторные униполярные Г. и с. т. с внешним выпрямлением с помощью ПП диодов на 3000 и 7000 *имп/сек* и 50 а среднего тока при амплитудном напряжении 120—150 в.

Коммутаторный однофазный генератор униполярных импульсов (рис. 2) состоит из переменного-полюсной магнитной системы с полюсами на статоре (или роторе) и однофазной обмотки якоря, расположенной на роторе (или на статоре). Однофазная обмотка выведена на коммутатор, состоящий из двух систем сег-

ментов, располож. поочередно и изолиров. одна от другой. Число сегментов при однофазной обмотке равно числу полюсов. Сегменты каждой системы электрически связаны между собой и к каждой системе подводится один

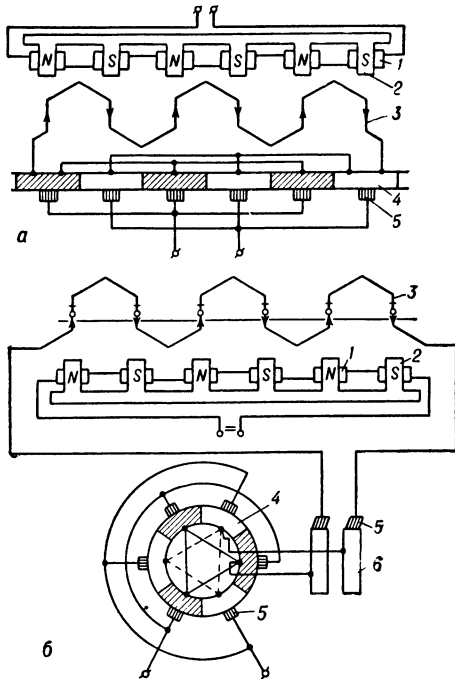


Рис. 2. Коммутаторный однофазный генератор униполярных импульсов: а — с вращающейся рабочей обмоткой; б — с неподвижной рабочей обмоткой; 1 — обмотка возбуждения; 2 — полюсная система; 3 — рабочая обмотка; 4 — контактный сегмент; 5 — щетки; 6 — контактные кольца.

конец обмотки якоря. На коммутатор наложены две системы щеток, каждая из к-рых одновременно находится только на одной системе сегментов и сдвинута относительно дру-

рируемых импульсов при двухполупериодном выпрямлении равна $f = \frac{pn}{30}$, а при однополупе-

риодном $f = \frac{pn}{60}$, где p — число пар полюсов, n — число об/мин. Коммутаторные генераторы — наиболее распространенные источники питания электроимпульсных станков.

В индукторных генераторах униполярных импульсов с внешним выпрямлением частота генерируемых импульсов при двухполупе-

риодном выпрямлении $f = \frac{z_2 n}{30}$, а при одно-

полупериодном $f = \frac{z_2 n}{60}$, где z_2 — число зуб-

цов индуктора. На якоре в коммутаторных Г. и. э. в одних и тех же пазах могут быть две или неск. обмоток, напряжение с к-рых подается на независимые нагрузки (однофазные многопостовые), или обмотки, сдвинутые одна относительно другой, расположенные в различных пазах и включаемые на различные нагрузки (многофазные многопостовые).

Это существенно улучшает использование активных и конструкц. материалов и повышает кпд генераторов, но усложняет выпрямляющее устройство. В целях повышения частоты на якоре могут быть уложены две или неск. обмоток, находящихся в различных пазах, сдвинутых друг относительно друга на одну и ту же величину и включаемых на одну и ту же нагрузку поочередно через коммутатор или ПП выпрямители (многофазные однопостовые).

При этом коммутатор имеет $2pm$ сегментов (m — число независимых обмоток), расположенных для каждой обмотки равномерно по окружности. Частота импульсов при этом равна $f = \frac{mpn}{30}$ при двухполупериодном

и $f = \frac{mpn}{60}$ при однополупериодном выпрям-

лении. Коммутаторные Г. и. э. с однополупе-

риодным выпрямлением могут использоваться для питания двух независимых постов на-

грузки. Все описанные выше Г. и. э. разработа-

ны в 1951—61 в СССР. За границей их освоение начато в 1960—61.

Данные однофазных однопостовых коммутаторных электромашинных генераторов импульсов, выпускаемых или подготовленных к выпуску в СССР

Данные однофазных однопостовых коммутаторных электромашинных генераторов импульсов, выпускаемых или подготовленных к выпуску в СССР

	Тип генератора				
	МГИ-2	МГИ-8	МГИ-2м	МГИ-3м	МГИ-4
Частота импульсов (имп/сек) . .	400	400	400	400	400
Мощность (средняя, кет) . . .	4,3	20,5	6,3	20	32
Напряжение (среднее, в)	26	31	24	23	24
Напряжение (макс., в)	150	140	100	100	100
Ток нагрузки (средний, а)	80	300	100	360	600
Ток нагрузки (действующий, а) .	115	500	145	600	870
Напряжение возбуждения (в) . .	220	160—220	220	220	220
Подведенная мощность (средняя, кет)	6	29,5	8,5	28	45
Скорость вращения (об/мин) . .	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Габариты (мм)	658×448× ×415 130	960×610× ×720 550	658×448× ×415 130	960×610× ×720 550	1304×730× ×783 —
Вес (кг)	130	550	130	550	—

гой на ширину сегментов (полюсное деление). Полюсное перекрытие, т. е. отношение ширины полюса к полюсному делению, выбирается значительно меньшим, чем в обычных машинах, а обмотка якоря расположена под полюсами на узких участках, что позволяет получить кривую эдс, имеющую резко выраженный импульсный характер. Частота гене-

Лит.: Лившиц А. Л., Рогачев И. С. Генераторы для электроимпульсной обработки металлов, «Э-во», 1957, № 3. А. Л. Лившиц, И. С. Рогачев.

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОННО-ИОННЫЙ [electron-ion pulse generator; g-nérateur electronique-ionique d'impulsions; Elektronen-Ionen Impulsgenerator (Impulsgeber, Stossgenerator)] — электронно-ионное устройство, генерирующее периодические импуль-

сы тока, предназначенные для технологических операций. Различают генераторы знакопеременных (симметричных и несимметричных) и унipoлярных импульсов (см. *Генератор импульсов сильного тока*). Для получения унipoлярных импульсов с помощью электронных генераторов используются метод суммирования или метод выпрямления знакоперемен. эдс. Метод суммирования (компенсации) заключается в сложении пост. напряжения и знакопеременного напряжения прямоугольной или трапециид. формы с амплитудой, равной величине пост. напряжения. Схема компенсации по напряжению требует согласования внешних хар-к обоих источников питания и введения разделит. фильтров. Более простой является схема компенсации по току (рис. 1). Сопротивления R_1 и R_2 разделяют источники высокой частоты и постоянного напряжения. Весьма малое сопротивление

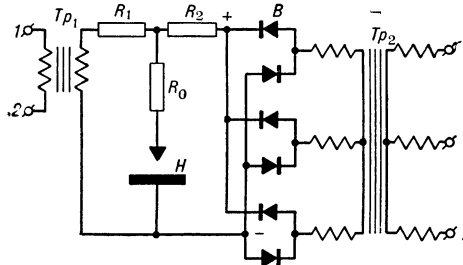


Рис. 1. Схема для получения унipoлярных импульсов с компенсацией по току: T_{p1} — трансформатор высокочастотный (к зажимам 1, 2 подключен электронный генератор периодич. симметричных импульсов); R_1 , R_2 — сопротивления разделительные; R_0 — сопротивление добавочное в нагрузке; H — нагрузка; B — вентили выпрямит. системы; T_{p2} — трансформатор 3-фазный пром. частоты.

($R_1 R_2 \gg R_0$) включается в цепь одного из электродов. Во время работы через R_0 в нагрузку H поступает импульсный ток, причем, ввиду малости R_0 и относительно небольшой величины падения напряжения на нагрузке, основной ток идет через нагрузку. Преимуществом схемы является возможность использования части мощности пост. тока, к-рый получается более простыми средствами, чем высокочастотный переменный. Недостаток — относит. громоздкость схемы выхода, трудности регулирования режимов (необходим регулируемый источник пост. напряжения), малая скважность импульсов, зависящая от величины нижнего основания трапеции, трудности работы на два контура. Компенсация схемы целесообразно применять в ВЧ генераторах унipoлярных импульсов на большие токи (порядка 50—100 а).

В связи с освоением силовых кремниевых, а при более низких частотах — германиевых диодов, позволяющих выпрямлять значит. токи при частоте в несколько десятков кГц без существенных обратных токов, возможно использование метода выпрямления ВЧ знакопеременных токов. Варианты схем выпрямления в таких генераторах показаны на рис. 2. Схемы б и в позволяют использовать обе половинки синусоидального напряжения для работы на две нагрузки, имеющие общий катод. Электронно-полупроводниковые генераторы по схемам рис. 2 работают на частоте до 100 кГц, при ср. значении напряжения до 100 в и ср. токе — до десятков а; их раци-

онально применять для ВЧ чистовой электроимпульсной обработки деталей из стали и твердых сплавов. Эти схемы получают применение также для низкочастотной (50—300 гц) предварит. электроимпульсной обработки импульсами большой энергии (десятки и сотни Дж).

Ионные генераторы работают на частотах от десятков до неск. тыс. имп/сек. Схемы ионных генераторов различаются по методам генерирования (выпрямление или непосредственное генерирование

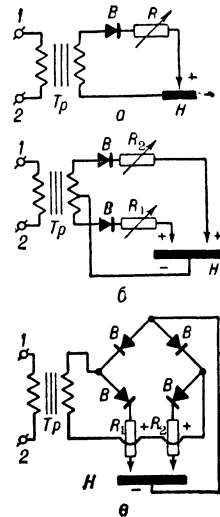


Рис. 2. Схемы выпрямления генераторов унipoлярных импульсов высокой частоты: а — однополупериодная схема; б — двухполупериодная двухконтурная схема с нулевой точкой; в — двухполупериодная двухконтурная схема без нулевой точки; T_p — высокочастотный трансформатор (к зажимам 1, 2 подключен электронный генератор периодич. симметричных импульсов); B — ПП вентиль; R , R_1 , R_2 — добавочные регулирующие сопротивления в нагрузке; H — нагрузка.

при помощи инверторов), типам применяемых управляемых вентилях (тиратроны,

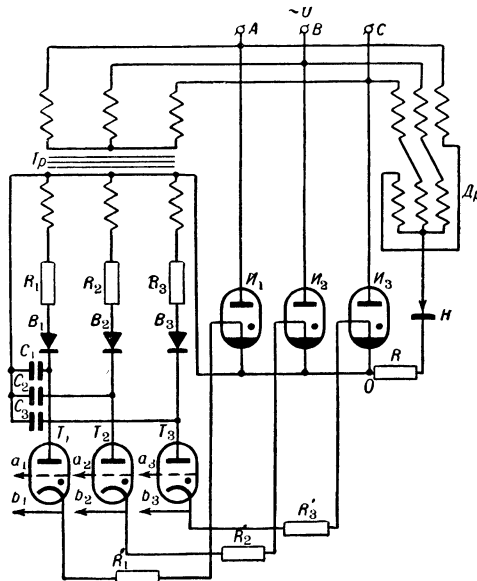


Рис. 3. Схема 3-фазного ионитронного генератора периодич. унipoлярных импульсов: T_p — трансформатор вспомогательный поджигающий; T_1 , T_2 , T_3 — поджигающие тиристоры; B_1 , B_2 , B_3 — вентили системы питания поджигающих тиристоров; R_1 , R_2 , R_3 , R_1' , R_2' , R_3' — токоограничивающие сопротивления; C_1 , C_2 , C_3 — конденсаторы системы питания поджигающих тиристоров; I_1 , I_2 , I_3 — ионитроны; R — токоограничивающее сопротивление в нагрузке ионитронов; D_p — 3-фазный дроссель с искров. нулевой точкой, соединенный по схеме «звезда»; H — нагрузка.

онитроны и др.), преобразователей частоты (машинные, ионные, статические), чис-

лу фаз преобразования, типам инверторов и др. Игнитронный генератор (рис. 3) представляет собой, по существу, управляемый 3-фазный выпрямитель, работающий в режиме прерывистого тока. Игнитроны I_1, I_2, I_3 включены на фазное напряжение пром. или повышенной (при питании от преобразователя) частоты; нагрузка питается от искусств. нулевой точки 3-фазного дросселя Dr и общей точки катодов через токоограничивающее сопротивление R . На поджигатели игнитронов поступают сфазированные импульсы от соответствующих тиратронов T_1, T_2, T_3 . Схема поджигания игнитронов — независимая, релаксационная. Конденсатор C_1 заряжается через сопротивление R_1 и клапан B вторичным напряжением тр-ра поджигания. В момент времени, обусловленный подачей от спец. схемы положит. импульса на тиратрон, напр. T_1 , последний пропускает через поджигатель игнитрона I_1 импульс разрядного тока, ограниченный сопротивлением R'_1 и сопротивлением

поджигателя игнитрона. Напряжение на конденсаторе достигает амплитудного значения фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора Tr и сохраняется таковым до момента отпирания тиратрона T_1 , в результате чего разрядные импульсы, проходящие через поджигатель игнитрона, имеют практически пост. амплитуду, что обеспечивает устойчивую работу игнитрона во всем диапазоне изменения угла зажигания (от 110° до 180°). Игнитроны работают поочередно, пропуская импульсы тока, ограниченные во времени, с одной стороны, моментом поджигания игнитрона и, с другой стороны, переходом через ноль соответствующего фазного напряжения; в нагрузку поступают импульсы тока с частотой питающей сети, умноженной на число фаз. Регулирование режимов работы осуществляется либо изменением угла зажигания (т. е. длительности, скважности и амплитуды импульса), либо изменением токоограничивающего сопротивления R (т. е. амплитуды импульса). Игнитронные Г. и. э.-и. применяются в электроимпульсных установках мощностью до 25 квт; их преимуществом является относительная простота устройства при получении мощных унipoлярных импульсов НЧ (до 150 имп/сек). Увеличение мощности и частоты возможно при применении многофазных схем генераторов (6—12 фаз). Вместо игнитронов можно использовать схемы с магнитнонасыщенными сердечниками. К недостаткам игнитронных Г. и. э.-и. относятся: значит. усложнение схемы при получении высоких частот, низкие коэфф. мощности (0,2—0,25) и кпд, большая типовая мощность тр-ра или нулевого дросселя, нагрузка сети несинусоидальными токами.

Инверторные генераторы относятся к системам непосредств. генерирования. Основное преимущество инверторной схемы — возможность получать высокочастотное импульсное напряжение без преобразования частоты. В трехфазном инверторном генераторе с параллельной коммутацией (рис. 4) сетевое напряжение подается через трансформатор Tr_1 на промежуточный однофазный трансформатор Tr_2 , имеющий три обмотки с выведенной средней точкой, к к-рой подводится фазное напряжение. К каждой из трех обмоток подключается по два управляемых

клапана. Катоды соединены в общую точку и через нагрузку и ограничивающее сопротивление — с нулем тр-ра. К анодам каждой пары клапанов подается соответственно по

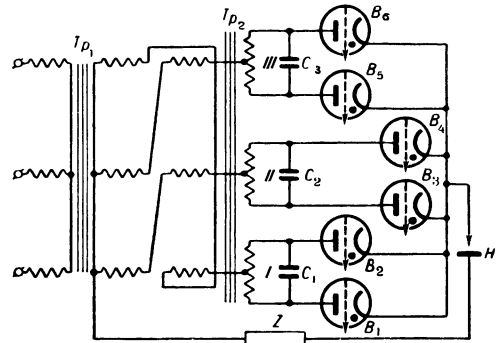


Рис. 4. Схема 3-фазного инверторного генератора с параллельной коммутацией: Tr_1 — трансформатор сетевой по схеме «звезда — зигзаг с нулем»; Tr_2 — промежуточный однофазный трехобмоточный трансформатор; C_1, C_2, C_3 — коммутирующие емкости; $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$ — управляемые клапаны; H — нагрузка; Z — токоограничивающее реактивное сопротивление.

фазам управляющее ВЧ напряжение от вспомогат. генератора малой мощности, подключенного к первичной обмотке Tr_2 (на рис. 4 не показаны).

Когда на фазе I эдс положительна, на сетку B_1 подается положит. импульс, отпирющий B_1 ; ток течет через нижнюю половину обмотки фазы I , через соответствующую фазу вторичной обмотки Tr_2 и нагрузку. Ток в части обмотки фазы I тр-ра Tr_2 индуцирует в верхней половине эдс, к-рая заряжает C_1 прибл. до двойного напряжения; при этом полярность обкладки конденсатора, соединенной с анодом B_1 , отрицательна. В момент подачи отпирющего положит. импульса на B_2 последняя откроется, конденсатор C_1 начнет разряжаться через оба клапана B_1 и B_2 и так как на аноде B_1 был минус, то B_1 погаснет, а B_2 будет продолжать гореть. Далее таким же образом будет погашен B_2 и при подаче на сетку положит. импульса вновь зажжется B_1 . Такое поочередное зажигание клапанов B_1 и B_2 будет продолжаться до тех пор, пока эдс фазы I положительна и больше, чем в фазах II и III . Затем вступают в действие фазы II и III . Паузы между импульсами в цепи нагрузки определяются индуктивностью трансформатора Tr_2 и величиной коммутируемой емкости. Многофазный инверторный Г. и. э.-и. может генерировать унipoлярные импульсы с частотой, равной произведению предельной для данного типа клапана частоты на удвоенное число фаз. Инверторный Г. и. э.-и. перспективен, но мало исследован (особенно при повышенных частотах); затруднительна работа генератора на нестабильную эрозийную нагрузку, т. к. частые кз электродов приводят иногда к срыву генерации импульсных токов.

Лит.: Лившиц А. Л. и Рогачев И. С., Генераторы периодических импульсов сильного тока, М.—Л., 1959; Рейх Г. Д., Теория и применение электронных приборов, пер. с англ., М.—Л., 1948. А. Л. Лившиц, И. С. Рогачев.

ГЕНЕРАТОР ИОННЫЙ ТОКОВ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ, инвертор, ионный преобразователь (ionic me-

dium frequency generator; générateur à fréquence moyenne au tube à gaz; Ionenstromgenerator mittlerer Frequenz), — статич. устройство, преобразующее с помощью управляемых ионных вентилей пост. ток или перем. ток низкой частоты в ток повыш. частоты. Управляемые ионные вентили позволяют изготовлять достаточно мощные генераторы на частоты до 2500 гц. Падение напряжения на ионном вентиле составляет 20—30 в, вследствие чего кпд таких генераторов высок и достигает 92%. Кпд мало зависит от нагрузки благодаря низким потерям хх, составляющим 3—4% от номин. мощности. Поэтому в обычных условиях работы питания индукц. нагревательных установок от ионных генераторов может привести к снижению годового расхода электроэнергии в 1,5—2 раза по сравнению с питанием их от преобразователей с машинными генераторами ВЧ. Из-за недостаточной устойчивости пуска Г. и. т. п. ч. целесообразно применять для питания индукц. нагреват. установок с длит. процессом нагрева. В ионных генераторах лучше всего работают вентили с жидким ртутным катодом (см. *Игнитрон*), обладающие наибольшей перегрузочной способностью. В схеме генератора, питаемого пост. током (рис. 1), вентили 1 и 2 попеременно открываются и закрываются с частотой напряжения, подаваемого на сетки от тр-ра Tp_c . Соответствующий вентиль начинает проводить ток, если напряжение на обкладке коммутирующего конденсатора C , присоединенного к его аноду, положительно в момент подачи положительного напряжения на сетку. Анод второго вентиля в это время находится под отрицат. напряжением. Время, в течение к-рого напряжение на аноде отрицательно (время запирания t_d), должно быть больше времени деионизации вентиля t_d и при неизменной нагрузке увеличивается с увеличением емкости коммутирующих конденсаторов, но не может быть больше четверти периода ВЧ напряжения T . Практически вентиль пригоден для работы при заданной частоте, если $t_d < 0,15 T$. Коммутирующие конденсаторы обычно включают на вторичной стороне тр-ра Tp_a с целью упрощения монтажа. Дроссель L воспринимает разность напряжений источника пост. тока E и конденсатора C . Генераторы (рис. 2) питаются от трехфазного силового тр-ра без промежуточного выпрямителя. Каждая из 3 ячеек генератора питается от отдельной фазы. В нулевом проводе проходит выпрямл. ток. Каждая ячейка работает, как описано выше, в течение $1/3$ периода питающего напряжения, когда напряжение соответствующей фазы выше, чем двух других. Схема рис. 2, а часто применяется в генераторах с ртутными вентилями, однако схемы рис. 2, б, и в особенности рис. 2, в, лучше, т. к. при этом проще конструкция анодного тр-ра Tp_a и меньше его мощность. Схемы рис. 2, б и в требуют изоляции цепей катодов и сеток вентилей отдельных

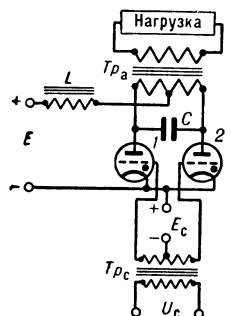


Рис. 1. Ионный генератор с питанием пост. током (с внешней цепью выпрямления).

ячеек, что, однако, не является серьезным недостатком.

Лит.: Васильев А. С., Слухоцкий А. Е., Ионные и электронные инверторы высокой частоты, М.—Л., 1961; Бамунэр А. В., Рубчинский А. В., Слухоцкий А. Е., Ионный преобразователь частоты для питания индукционных нагревателей, в сб.: Высокочастотные электро-термические установки, Сб. статей, М.—Л., 1961.

А. Е. Слухоцкий.

ГЕНЕРАТОР ИСКРОВОЙ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА (spark-type induction heating generator; générateur à étincelles pour chauffage par induction; Funkens oscillator für dielektrische Erwärmung, Funkenschwingungserzeuger für Dielektrikeizung) — генератор периодически повторяющихся импульсов затухающих высокочастотных электромагнитных колебаний, в к-рых источником возбуждения этих колебаний является искровой разряд в воздушном промежутке в цепи LC-контура. Г. и. для и. н., как правило, выполняются по двухконтурным схемам с индуктивной (рис. 1, а) или емкостной (рис. 1, б) связью между контурами. Значительно более простые одноконтурные схемы не применяются из-за их малого кпд, вызываемого большими потерями энергии в искровом разряднике при прохождении через него в процессе разряда полного тока нагреват. контура. Двухконтурная схема позволяет снизить силу и продолжительность протекания тока через разрядник и резко уменьшить потери в нем. Разряды происходят при достижении определенной величины напряжения на разрядном промежутке контура. Разряды в статич. разряднике Г. и. для и. н. при питании контура от сети пром. частоты повторяются 100 раз в сек. (в каждый полупериод питающего напряжения). После каждого разряда в разрядном контуре возникают затухающие периодич. колебания тока (рис. 2, б) с частотой, примерно

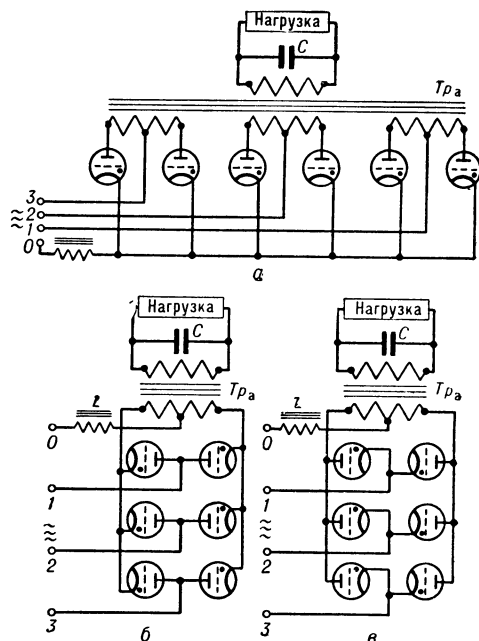


Рис. 2. Схемы ионных генераторов, питаемых от силового тр-ра без промежуточного выпрямителя (с внутренней цепью выпрямления): а — схема с объединенными катодами; б и в — схемы с раздельными катодами.

ячеек, что, однако, не является серьезным недостатком.

Лит.: Васильев А. С., Слухоцкий А. Е., Ионные и электронные инверторы высокой частоты, М.—Л., 1961; Бамунэр А. В., Рубчинский А. В., Слухоцкий А. Е., Ионный преобразователь частоты для питания индукционных нагревателей, в сб.: Высокочастотные электро-термические установки, Сб. статей, М.—Л., 1961.

А. Е. Слухоцкий.

ГЕНЕРАТОР ИСКРОВОЙ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА (spark-type induction heating generator; générateur à étincelles pour chauffage par induction; Funkens oscillator für dielektrische Erwärmung, Funkenschwingungserzeuger für Dielektrikeizung) — генератор периодически повторяющихся импульсов затухающих высокочастотных электромагнитных колебаний, в к-рых источником возбуждения этих колебаний является искровой разряд в воздушном промежутке в цепи LC-контура. Г. и. для и. н., как правило, выполняются по двухконтурным схемам с индуктивной (рис. 1, а) или емкостной (рис. 1, б) связью между контурами. Значительно более простые одноконтурные схемы не применяются из-за их малого кпд, вызываемого большими потерями энергии в искровом разряднике при прохождении через него в процессе разряда полного тока нагреват. контура. Двухконтурная схема позволяет снизить силу и продолжительность протекания тока через разрядник и резко уменьшить потери в нем. Разряды происходят при достижении определенной величины напряжения на разрядном промежутке контура. Разряды в статич. разряднике Г. и. для и. н. при питании контура от сети пром. частоты повторяются 100 раз в сек. (в каждый полупериод питающего напряжения). После каждого разряда в разрядном контуре возникают затухающие периодич. колебания тока (рис. 2, б) с частотой, примерно

равной собств. частоте колебат. контура
 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Если затухание нагреват. контура много меньше затухания разрядного контура, то

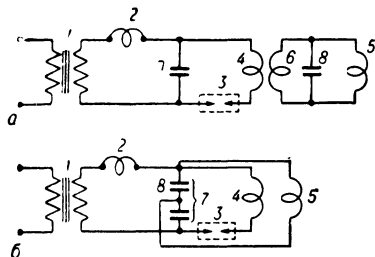


Рис. 1. Принципиальные схемы искровых генераторов: а — с индуктивной связью между контурами; б — с емкостной связью между контурами; 1 — повышающий тр-р; 2 — стопорный дроссель; 3 — разрядник; 4 — индуктивности разрядного контура; 5 — индуктивности нагреват. контура (индуктора); 6 — индуктивность связи; 7 — емкости разрядного контура; 8 — емкость нагреват. контура (для схемы б она же емкость связи).

возникающие после каждого разряда колебания существуют в нагреват. контуре значительно дольше (рис. 2, б и в) и в нем выделяется основная доля энергии. На конденсаторах разрядного контура при разряде возникают значит. напряжения (рис. 2, г); конденсаторы должны быть рассчитаны, по крайней мере, на полуторное значение амплитуды напряжения питающего тр-ра. ВЧ статич. раз-

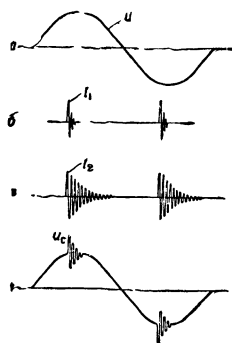


Рис. 2. Кривые напряжений и токов искрового генератора: u — напряжение питающего тр-ра; i_1 — ток в разрядном контуре; i_2 — ток в нагреват. контуре; u_C — напряжение на конденсаторе цепи разряда.

рядник Г. и. для и. н. состоит обычно из большого числа медных пластин с напайками из вольфрама в зонах возникновения разря-

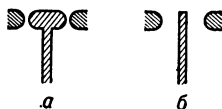


Рис. 3.

Рис. 3. Разрядник с вращающимся диском: а — выступы диска против неподвижных выступов разрядника; б — выступы диска сдвинуты относительно выступов разрядника.

Рис. 4. Кривые напряжения и тока искрового генератора с вращающимся разрядником при 10 выступах на окружности диска и скорости его вращения 3 000 об/мин; u — напряжение питающего тр-ра; i — ток контура.

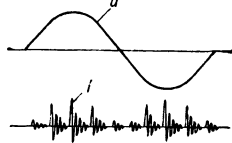


Рис. 4.

рядника обеспечивает достаточно малое время деионизации разрядного промежутка.

Разрядник с вращающимся диском, имеющим в своей верхней части выступы (рис. 3), проходящие с очень малым зазором между неподвижными острыми, позволяет снизить падение напряжения в разряде. Количество импульсов в сек. при данном типе разрядника определяется скоростью вращения диска, а ток каждого импульса зависит от мгновенного значения напряжения на конденсаторах разрядного контура в момент разряда (рис. 4). Изменение скорости вращения диска разрядника позволяет легко регулировать мощность Г. и. для и. н. Недостатками этого типа разрядников являются их меньшая надежность и более короткий срок службы. Г. и. для и. н. ввиду их относительно низкого кд и огранич. диапазона мощностей и генерируемых частот не нашли широкого применения в пром-сти. Однако благодаря простоте своей конструкции и дешевизне они выпускаются нек-рыми зарубежными фирмами.

Д. Б. Мондрю.

ГЕНЕРАТОР КАЧАЮЩЕЙСЯ ЧАСТОТЫ,
 с и п г е н е р а т о р (electronic wobblator, sweep generator; générateur à exploration de fréquence, générateur wobblulé; Kipp-schwingungserzeuger, Wobelfrequenzgenerator, Wobbelgenerator, Heultongenerator), — высокочастотный, частотно-модулированный генератор, позволяющий визуально наблюдать частотные хар-ки фильтров, контуров, усилителей ВЧ, видеоусилителей, дискриминаторов и др. активных и пассивных 4-полосников, а также производить их настройку и регулировку, для чего в состав Г. к. ч. входят осциллографич. индикатор и генератор меток. Принцип действия Г. к. ч. основан на том, что коэфф. усиления (ослабления) любого 4-полосника не одинаков на различных частотах. Поэтому, если на вход исследуемого 4-полосника подавать колебания одинаковой амплитуды, но изменяющиеся по частоте (частотно модулированные), то амплитуда выходного напряжения $U_{вых}$ будет изменяться пропорционально коэфф. усиления (ослабления) на данной частоте. Амплитуды выходных напряжений 4-полосника, огибающую к-рых удобно наблюдать на экране осциллографа, отображат его частотную хар-ку. ЧМ колебания пост. амплитуды подаются с выходного делителя Г. к. ч. (рис. 1) на вход испытываемого 4-полосника. В Г. к. ч., как правило, применяется пилообразный закон модуляции ЧМ генератора (рис. 2, а). Макс. девиация частоты ЧМ колебаний должна быть больше половины ширины полосы пропускания исследуемого 4-полосника. Напряжение с его выхода подается на детектор и после детектирования (рис. 2, в) — на вход усилителя вертик. отклонения осциллографич. индикатора, горизонтальная развертка к-рого осуществляется в точном соответствии с законом модуляции ЧМ генератора (рис. 2, г), т. к. управляющее напряжение для модулятора Г. к. ч. берется непосредственно с генератора развертки осциллографа. Поэтому перемещение луча осциллографа по горизонт. оси экрана пропорционально изменению частоты ЧМ генератора, а отклонение луча по вертикали — коэфф. усилению исследуемого 4-полосника на данной частоте. Изображение на экране индикатора формируется след. образом (рис. 2). В момент времени t_0 луч начинается движение

от левого края экрана. Вертикально-отклоняющее напряжение отсутствует, т. к. при данных значениях частоты Г. к. ч. коэфф. усиления 4-полосника близок к нулю. Луч перемещается по горизонтали. По мере приближения значения частоты на выходе Г. к. ч. к значению

Г. к. ч. вызвана необходимостью получать на его выходе постоянное по амплитуде напряжение, частота к-рого электронным способом изменяется в широких пределах по сравнению со средним значением выходной частоты. В схемах некоторых Г. к. ч. (напр., в ИЧХ-1) имеются каскады автоматической регулировки выходного напряжения. ЧМ осуществляется с индексом модуляции, значительно большим единицы, благодаря чему ЧМ генератор дает спектр, ширина к-рого равна удвоенному значению девиации частоты при относительно равномерном распределении амплитуд гармоник, составляющих. Несущая частота ЧМ генератора фиксирована. Генератор немодулированных колебаний перестраивается в диапазоне частот, который определяет

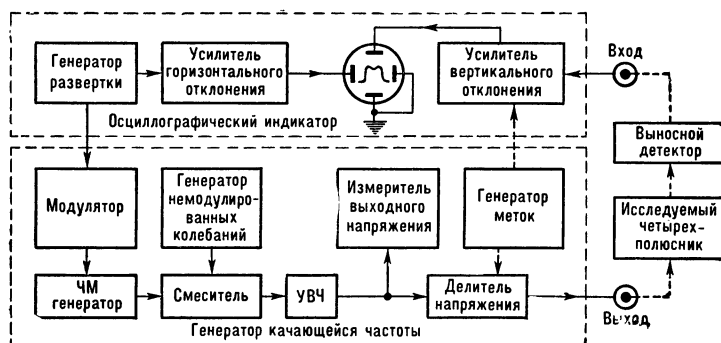


Рис. 1.

f_0 (момент времени t_1) вертикально-отклоняющее напряжение увеличивается, т. к. на данных частотах коэфф. усиления 4-полосника уже не равен нулю, и луч при движении описывает кривую, представляющую собой изображение частотной хар-ки (рис. 2, д).

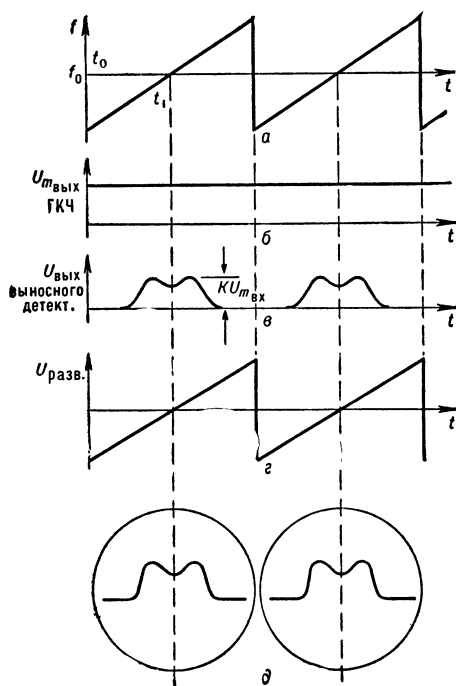


Рис. 2.

В течение след. периода изменения частоты Г. к. ч. луч повторяет свое движение по экрану, и на нем устанавливается изображение частотной хар-ки.

В типовой схеме Г. к. ч. выходное напряжение формируется на выходе смесителя, на вход к-рого подаются напряжения от ЧМ генератора и генератора немодулированных колебаний. Такая сравнительно сложная схема

работный диапазон Г. к. ч. На выходе смесителя получаются колебания разностной частоты ЧМ генератора и генератора немодулированных колебаний. Эти колебания модулированы по частоте и имеют практически постоянную амплитуду. Колебания поступают на выход Г. к. ч. Напр.: в генераторе типа 102-И ЧМ генератор имеет несущую частоту 300 Мгц с девиацией от 0,5 до 15 Мгц. Генератор немодулированных колебаний может быть перестроен вручную в диапазоне от 290 до 200 Мгц. Т. о., на выходе получается разностная частота от 10 до 100 Мгц с девиацией от 0,5 до 15 Мгц.

Чтобы иметь возможность одновременно с наблюдением частотной хар-ки на экране установить масштаб частот по горизонтали и определить частоты отдельных точек кривой, а также определить полосу пропускания 4-полосника или точку перехода хар-ки дискриминатора, в схеме Г. к. ч. имеется кварцевый генератор калибровочных меток. Напряжение гармоник кварца, называемое «калибровочные метки», подается в канал вертикального отклонения осциллографа или смешивается с выходным напряжением Г. к. ч. Метки просматриваются на изображении частотной характеристики в виде небольших вертикальных выбросов или ярких точек.

Изменение частотного масштаба изображения по горизонтали осуществляется изменением амплитуды модулирующего напряжения, т. е. величины девиации частоты. Масштаб по вертикали изменяется за счет изменения коэфф. усиления усилителя вертикал. отклонения осциллографич. индикатора. Амплитуда выходных напряжений Г. к. ч. может изменяться в значит. пределах при помощи делителя выходных напряжений, что дает возможность проводить исследование 4-полосников как с малым, так и с большим коэфф. усиления. Величина выходного напряжения не калируется, поэтому без эталонного усилителя численное определение коэффициента усиления 4-полосника производить нельзя. Данные некоторых Г. к. ч. приведены в таблице.

Наименование	Тип	Диапазон частот (Мгц)	Девияция частоты (Мгц)	Частотные метки (Мгц)	Вес (кг)
Измеритель частотных хар-к . . .	ИЧХ-1	0,1—20	4	1 и 10	200
Генератор качающейся частоты . .	102-И	10—100	0,5—15	1 и 10	22
Прибор настройки телевизоров	ПНТ-3м	6—9 27—70 68—102 174—232	переменная	1 и 10	16,5

Лит.: Ремез Г. А., Курс основных радиотехнических измерений, М., 1955; Осипов К. Д. и Пасынков В. В., Справочник по радиоизмерительным приборам, ч. 1—4, М., 1959—60. Р. В. Фельдман.

ГЕНЕРАТОР КВАРЦЕВЫЙ (quartz-crystal oscillator; oscillateur à quartz piézoélectrique, oscillateur piloté par quartz; Kristall-oszillator, Quarzgenerator, Quarzoszillator) — генератор электромагнитных колебаний с высокой степенью постоянства частоты, в к-ром используются пьезоэлектрич. и механич. свойства кварцевой пластинки. По принципу работы Г. к. является автогенератором с кварцевой стабилизацией частоты. Г. к. применяется как высокостабильный генератор задающий в измерит. аппаратуре, эталонах частоты и времени, кварцевых часах, а также в аппаратуре радионавигационной, радио-локац., ТУ, ТИ и связи. Стабильность частоты Г. к. достигает $1 \cdot 10^{-9}$ за длит. время (неделю, месяц), а верхний предел частоты генерируемых колебаний 150—200 Мгц. Наиболее распространены Г. к. диапазона частот от 100 кгц до 10 Мгц на электронных лампах и ПП приборах. Для уменьшения влияния окружающей среды на стабильность частоты Г. к. вся его схема (кроме электронной лампы) помещается в термостат с высокой степенью постоянства темп-ры. Недостаток Г. к. заключается в том, что он может генерировать только на фиксиров. частотах, определяемых резонансной частотой кварцевого резонатора (кварца), и практически не допускает перестройки частот. Все схемы Г. к. подразделяются на две большие группы в зависимости от того, какой вид резонанса кварца (параллельный или последоват.) в них применен. Наибольшее распространение получили схемы Г. к., в к-рых кварц работает вблизи своей частоты параллельного резонанса. Схемы такого типа наз. осцилляторными. Они представляют собой

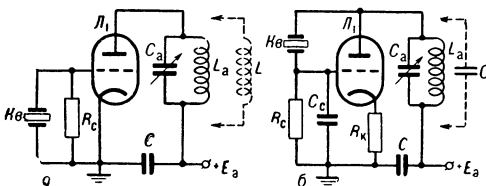


Рис. 1.

обычные схемы автогенераторов, в к-рых на частоте генерации кварц обладает индуктивным сопротивлением и может рассматриваться как индуктивность с высокой собственной добротностью (рис. 1). Условия самовозбуждения этих схем полностью определяются

кварцем; в случае выхода его из строя Г. к. перестает работать. Кварц обычно включается между сеткой и катодом лампы (рис. 1, а) или между ее анодом и сеткой (рис. 1, б). Для обеспечения условий самовозбуждения колебаний в схеме Г. к. рис. 1, а необходимо, чтобы на частоте генерации сопротивление анодного контура носило индуктивный характер, а в схеме Г. к. рис. 1, б — емкостный характер. Для этого анодный контур

должен быть настроен так, чтобы его резонансная частота в первом случае была бы выше, а во втором — ниже частоты паралл. резонанса кварца. В обоих этих схемах Г. к. стабильность частоты генерируемых колебаний зависит от величины расстройки контура и уменьшается с уменьшением последней и увеличением выходного напряжения. Поэтому для увеличения стабильности частоты в таких схемах Г. к. анодный контур часто заменяется соответственно высокодобротной индуктивностью или емкостью. Для уменьшения влияния нагрузки на режим работы Г. к. между нагрузкой и генератором включается буферный каскад или используется включение кварца в автогенератор по схеме Шембеля (см. Генератор с самовозбуждением). Основным преимуществом последней является возможность получения большего выходного напряжения и большей стабильности частоты, т. к. кварц лучше изолирован от влияния нагрузки. В этой схеме кварц включается в сеточную цепь лампы (пентода) по одной из обычных схем Г. к., в к-рой анодом служит экранная сетка лампы, заземленная конденсатором по высокой частоте. Верхняя часть лампы служит буферным усилителем между Г. к. и остальной частью схемы. Она может также выполнять ф-цию умножителя частоты, если анодный контур лампы настроить на соответствующую гармонику частоты Г. к. Стабильность частоты Г. к. зависит от постоянства и величины пульсаций напряжения источников питания, т. к. при изменении напряжения питания нарушается баланс фаз в схеме Г. к. вследствие изменения динамич. параметров лампы. Поэтому Г. к. питают стабилизированным напряжением с низким уровнем пульсаций. Для уменьшения чувствительности Г. к. к колебаниям напряжения питания в нек-рых схемах используется отрицат. обратная связь

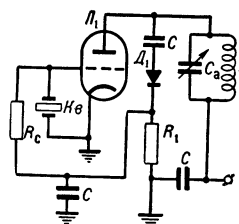


Рис. 2.

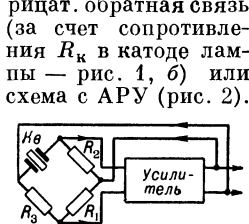


Рис. 3.

При работе АРУ часть выходного напряжения Г. к. выпрямляется диодом D_1 и в виде напряжения смещения поступает на управляющую сетку лампы. Это напряжение, управляя усилением лампы, поддерживает

на выходе Г. к. пост. амплитуду колебат. напряжения. Стабилизация режима работы лампы, а следовательно и ее динамич. параметров, обеспечивает значит. улучшение стабильности частоты. Эти меры позволяют улучшить стабильность частоты примерно в 10 раз. Так, напр., применение АРУ снижает уходы частоты Г. к. до $(1-5) \cdot 10^{-3}$ при изменении напряжений питания на 1%.

В др. большой группе схем Г. к. генерируемая частота находится вблизи частоты последоват. резонанса кварца. Эти схемы менее подвержены влиянию паразитных емкостей лампы и монтажа, т. к. они подключаются параллельно статич. емкости кварца, к-рая не участвует в возбуждении Г. к. на частоте последоват. резонанса. Эти схемы Г. к. значительно более сложны в настройке и регулировке. Последоват. резонанс применяется в мостовых схемах (рис. 3). На частоте последоват. резонанса кварц эквивалентен активному сопротивлению R_4 , к-рое включают в одно из плеч моста. Остальные его плечи образуются 2 активными сопротивлениями R_2 и R_3 , а также сопротивлением R_1 , лампы накаливания L_1 с вольфрамовой нитью. Величина R_1 зависит от тока, протекающего через L_1 . Одна из диагоналей моста включается на вход, а др. подключается к выходу усилителя. При включении напряжений питания сопротивление нити лампочки накаливания R_1 вначале весьма мало и мост разбалансирован. При прогреве нити ее сопротивление возрастает и мост начинает приближаться к состоянию баланса ($R_1 R_4 = R_2 R_3$). Режим Г. к. подбирается так, чтобы мост был слегка разбалансирован, а коэфф. усиления усилителя равен отношению напряжений на входной и выходной диагоналях моста. В мостовых схемах Г. к. амплитуда выходного напряжения регулируется автоматически за счет зависимости величины сопротивления нити лампы R_1 от тока. Влияние дестабилизирующих факторов в этих схемах значительно снижено. Они обеспечивают стабильность частоты до $1 \cdot 10^{-9}$ на частотах до 1 МГц, где еще не сказывается шунтирующее действие статич. емкости кварца. Мостовые схемы Г. к. широко применяются в стандартах частоты и времени. На более высоких частотах распространены схемы с кварцем в контуре (рис. 4, а) и в цепи обратной связи (рис. 4, б).

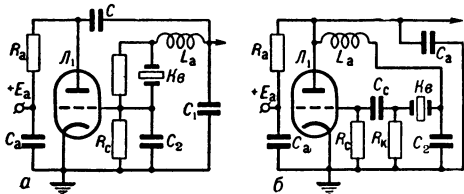


Рис. 4.

При включении кварца в контур Г. к. может возбудиться только на частоте последоват. резонанса кварца. Только на этой частоте кварц обладает малым активным сопротивлением (3—5 ом), вносимым в контур, при к-ром в схеме выполняются условия самовозбуждения. При включении кварца в цепь обратной связи (рис. 4, б) только на частоте последоват. резонанса кварца, с делителя в цепи обратной связи, образованного активным

сопротивлением кварца и сопротивлением R_k , поступает на управляющую сетку лампы напряжение, достаточное для поддержания самовозбуждения схемы Г. к. Эти схемы широко используются при возбуждении кварца на гармониках. В этом случае анодный контур настраивается на соответствующую гармонику частоты последоват. резонанса кварца. Др. распространенной схемой этого типа является схема Г. к. с катодной связью (рис. 5). Она состоит из резонансного усилителя с заземленной сеткой L_1 и катодного повторителя L_2 . Кварцевый резонатор в цепи обратной связи вместе с сопротивлением R_1 в катод L_1 образует делитель напряжения. На частоте последоват. резонанса кварца его сопротивление минимально, и на вход усилителя L_1 поступает напряжение, достаточное для устойчивой работы схемы. Для нейтрализации влияния статич. емкости кварца на частотах выше 40 МГц параллельно ей подключается катушка индуктивности L_k . Она образует с этой емкостью на частоте генерации параллельный резонансный контур с большим сопротивлением. Эта схема Г. к. позволяет сравнительно легко получить стабильность частоты порядка $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-7}$. Б. ч. вышеперечисленных типов схем Г. к. с успехом выполняется на III приборах.

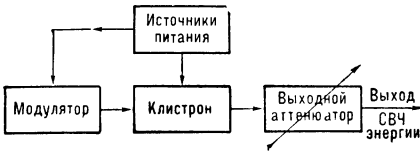
Рис. 5.

Для нейтрализации влияния статич. емкости кварца на частотах выше 40 МГц параллельно ей подключается катушка индуктивности L_k . Она образует с этой емкостью на частоте генерации параллельный резонансный контур с большим сопротивлением. Эта схема Г. к. позволяет сравнительно легко получить стабильность частоты порядка $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-7}$. Б. ч. вышеперечисленных типов схем Г. к. с успехом выполняется на III приборах.

Лит.: П л о н с к и й А. Ф., Пьезокварц в технике связи, М.—Л., 1951; Д р о б о в С. А., Радиопередающие устройства, [2 изд.], М., 1951; Ш т е й н Н. И., Автогенераторы гармонических колебаний, М.—Л., 1961. Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР КЛИСТРОННЫЙ (klystronoscillator; oscillateur klystron; Klystronoscillator) — маломощный СВЧ генератор, в к-ром в качестве генераторной лампы применяется *клистрон*. Г. к. получили широкое распространение в приемниках (гетеродины) и передатчиках (*генераторы задающие*) радиоаппаратуры телеуправления, связи, радионавигации и радиолокации, а также в измерительной аппаратуре, работающей в диапазонах волн короче 40—50 см. В отличие от обычных типов *генераторов высокой частоты*, колебат. контур в Г. к., как правило, образует одно целое с самой лампой (клистроном). Он выполняется в виде тороидального *резонатора объемного*, встроенного в клистрон или иногда присоединяемого к его сеткам снаружи. По принципу работы Г. к. — автогенератор (см. *Генератор с самовозбуждением*). Выходная мощность Г. к. не превышает неск. ватт при очень низком кид (0,03—3,0%). Г. к. работают на фиксированных частотах и допускают сравнительно небольшую перестройку частоты в окрестностях ее номинального значения. Г. к. (рис.) состоит из генераторной лампы с колебат. контуром (клистроном), источников питания и выходного перем. *аттенюатора* для установки необходимого уровня выходной мощности СВЧ колебаний. Во многих случаях применения Г. к. в его схему вводится *модулятор* для импульсной или частотной модуляции. Наибольшее распространение получили Г. к. с

отражат. клистроны. В них грубая установка частоты генерируемых колебаний производится механич. способом путем изменения расстояния между сетками клистрона, к к-рым подключается тороидальный резонатор, или



винчиванием в резонатор подстроечных винтов, изменяющих его объем (механическая настройка частоты). Точная установка частоты колебаний производится изменением напряжения на отражателе клистрона в зоне его генерации (электронная настройка частоты). Наличие электронной настройки частоты делает Г. к. весьма удобным для применения в системах стабилизации частоты, для автоматической подстройки частоты Г. к. (в гетеродине приемника) под частоту передатчика, а также для частотной модуляции частоты Г. к. в системах телеуправления и связи.

Основными параметрами, характеризующими работу Г. к., являются: частота и пределы ее перестройки, выходная мощность, рабочие напряжения на отражателе и резонаторе клистрона в центре зоны его генерации, ток резонатора и диапазон частот электронной настройки частоты клистрона. Пром. образцы клистронов позволяют обеспечить механич. перестройку частоты Г. к. в пределах от ± 2 до $\pm 20\%$ от ее номинального значения при диапазоне электронной настройки порядка 0,5% от номинальной частоты генерации. Вывод энергии СВЧ в Г. к. производится или при помощи жесткой коаксиальной линии или непосредственно в волновод. Нек-рые типы клистронов позволяют работать в режиме с внешним возбуждением, т. е. осуществлять усиление СВЧ колебаний (см. *Усилитель сверхвысокой частоты*). Г. к. подобного типа применяются для получения мощных СВЧ колебаний.

Лит.: Коваленко В. Ф., Введение в электронику сверхвысоких частот, 2 изд., М., 1955; Штейн Н. И., Автогенераторы гармонических колебаний, М.—Л., 1961. Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР ЛАМПОВЫЙ для индукционного нагрева, установка высокочастотная для индукционного нагрева (vacuum tube generator for induction heating; générateurs à tubes thermioniques pour chauffage par induction; Röhrengenerator für Induktionserhitzung, Röhrengenerator für Induktionserwärmung), — устройство, преобразующее с помощью электронной генераторной лампы ток промышленной частоты (50 гц) в ток высокой частоты, используемый для индукционного нагрева.

Основные элементы Г. л. представлены на блок-схеме (рис. 1). Наибольшее распространение в технике получили Г. л., работающие по схеме автогенератора (см. *Генератор с самовозбуждением*) на многоконтурную колебательную систему; режим их работы можно регулировать в широких пределах и согласо-

вывать его с разнообразными нагрузками. Обратная связь на управляющую сетку генераторной лампы осуществляется от анодного колебат. контура по схеме, обеспечивающей отсутствие явления затягивания (самопроизвольного «перескока» частоты колебаний). Технич. хар-ки серийно изготовляемых Г. л. приведены в табл. Все эти установки рассчитаны на питание от трехфазной силовой сети частотой 50 гц. Сообщаемый в табл. расход охлаждающей воды включает потребность на охлаждение анода генераторной лампы, контурных катушек, обмоток ВЧ тр-ра, индуктора и др. элементов Г. л. Установки с индексом ЛЗ предназначены для нагрева под поверхностную закалку и для др. технологич. процессов, связанных с поверхностным или

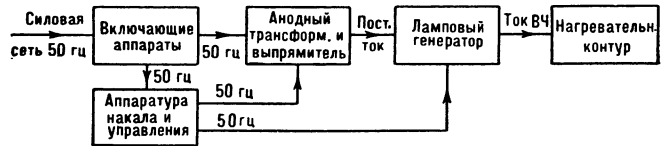


Рис. 1. Блок-схема ВЧ установки для индукционного нагрева.

сквозным нагревом металлич. деталей; установки с индексом ЛП — для плавки металлов; установки с индексом ЛПЗ используются при помощи соответствующих переключений как для нагрева деталей, так и для плавки. Все Г. л. мощностью свыше 10 *квт* (за исключением установок, предназнач. только для плавки) снабжены управляемым выпрямителем и автоматич. стабилизацией выпрямленного напряжения с точностью $\pm 2\%$ при колебаниях в питающей сети в пределах $\pm 10\%$. Г. л. чисто плавильного назначения (серия ЛП), а также установки малой мощности типа ЛЗ-13, снабжены неуправляемым трехфазным двухполупериодным выпрямителем.

Принципиальная схема главных цепей высокочастотной части установок серии ЛПЗ мощностью от 30 до 200 *квт* показана на рис. 2. Анодный колебат. контур состоит из

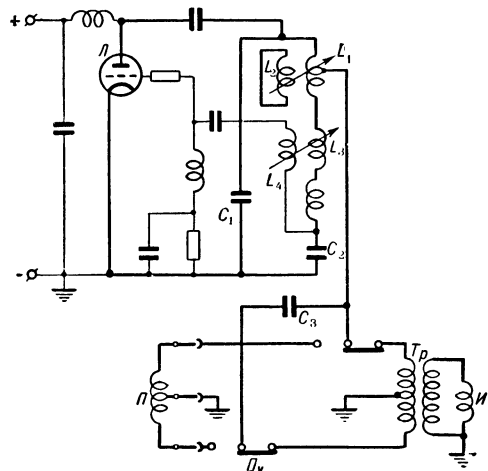


Рис. 2. Принципиальная схема главных цепей ВЧ части плавильно-закалочной установки серии ЛПЗ.

системы индуктивностей L_1 и L_2 и емкостей C_1 и C_2 . С анодным контуром конденктивно связан нагреват. контур, индуктивность кото-

Технические характеристики высокочастотных установок для индукционного нагрева, изготавливаемых ЛЗ ВУ

Технические характеристики	Типы установок						
	ЛЗ-13	ЛЗ-37, ЛП-37	ЛПЗ-37	ЛЗ-67	ЛП-67, ЛПЗ-67	ЛЗ-107	ЛЗ-207
Нсмин. колебат. мощность (квт)	10	30	30	60	60	100	200
Рабочая частота (кГц)	300—350	60—74	60—74	60—74	60—74	60—74	60—74
Напряжение сети (в)	с переключением 220 или 380	220 или 380	220 или 380	(переключения не допускаются)			
Мощность, потребляемая от сети (квт):							
трехфазная	15	50	50	100	100	165	330
однофазная	2	5	5	5	5	5	10
Тип анодного тр-ра	ТС-15/6А	ЗТМ-50/6	ЗТМ-50/6	ЗТМ-100/10	ЗТМ-100/10	ЗТМ-180/10	ЗТМ-320/25
Количество генераторных ламп (шт.)	1	1	1	1	1	1	2
Тип генераторной лампы	ГУ-10А	ГУ-12А	ГУ-12А	ГУ-23А	ГУ-23А	ГУ-23А	ГУ-23А
Анодное выпрямленное напряжение (кв)	8	10	10	10,5	10,5	11	11
Количество вентилей в выпрямителе (шт.)	6	7	7	7	7	7	7
Тип выпрямительных вентилей	ТРИ-6/15	ТРИ-6/15	ТРИ-6/15	ТРИ-6/15	ТРИ-6/15	ТРИ-6/15	ТРИ-15/15 (3 шт.) ВГ-163 (4 шт.)
Емкость батарей конденсаторов анодного контура (нФ)	6500	22000	22000	27000	27000	27000	63000
Емкость батарей конденсаторов нагревательного контура (нФ)	—	81000	81000	108000	144000	144000	288000
Емкость тигля печи (по стали, кг)	—	25	25	—	50	—	—
Расход охлаждающей воды (л/час)	1200	ЛЗ-3360 ЛП-3240	3440	3700	ЛП-3340 ЛПЗ-3940	7000	9200
Габаритные размеры (см) в плане	112×102	ЛЗ 404×220 ЛП 404×285	404×350	404×220	ЛП 404×285 ЛПЗ 404×350	404×220	462×300
высота	205	225	225	225	225	225	225
Вес установки (кг)	850	ЛЗ-2800 ЛП-2960	3100	3100	ЛП-3200 ЛПЗ-3400	3500	6000

рого составляет высокочастотный (закалочный) тр-р Tr с индуктором I или индукц. плавильная печь $П$, а емкость — конденсаторная батарея C_3 . Напряжение обратной связи автогенератора снимается с емкости C_2 . К этому напряжению может добавляться (или вычитаться) напряжение, наводимое во второй обмотке тр-ра обратной связи L_4 . Изменением ее положения относительно обеих секций первичной обмотки L_3 , намотанных в противоположных направлениях, можно плавно регулировать напряжение возбуждения (коэфф. обратной связи). Для плавного регулирования коэфф. связи между контурами служит короткозамкнутая катушка L_2 , перемещающаяся внутри катушки L_1 . Изменением положения катушек L_2 и L_4 можно плавно регулировать режим работы генератора.

Схемы установок, предназначенные только для нагрева при термич. обработке (серия ЛЗ) и только для плавки (серия ЛП), отличаются от схемы рис. 2 соответственно только отсутствием переключателя $П_k$, плавильной печи $П$ или высокочастотного (закалочного) тр-ра Tr с индуктором I . Цепи накала генераторных и выпрямительных ламп всех установок (табл.) питаются от феррорезонансных стабилизаторов, поддерживающих напряжение с точностью $\pm 2\%$ при колебаниях напряжения питающей сети в пределах $\pm 10\%$.

Кроме перечисл. в табл., существует значит. число др. исполнений Г. л., предназначен.

большой частью для различных спец. применений. Так, для нагрева изделий очень малых размеров или материалов с низкой удельной электропроводностью применяются более высокие частоты, часто измеряемые $Mгц$. Примером может служить мощная установка типа ЛПС-500 (рис. 3), предназначенная для индукц. плавки материала, обладающего весьма малой уд. электропроводностью. Колеб. мощность установки 400 квт; рабочая частота 3—6 $Mгц$; максимальная мощность, потребляемая от сети, 800 квт; напряжение питающей сети 50 вт составляет 6 кв. В данной установке применены 2 генераторные лампы типа ГР-5А и 7 управляемых выпрямительных вентилей (тиратронов) типа ТРИ-40/15; расход охлаждающей воды 30 $л^3/час$; вес установки 15 т.

Основными путями сокращения габаритов, уменьшения веса, повышения надежности и срока службы, увеличения КПД являются: применение в выпрямителях ПП диодов (это уже осуществлено для нек-рых установок мощностью менее 10 квт); замена электронных генераторных ламп транзисторами, использование ферритовых сердечников в колеб. контурах высокочастотных тр-ров и в дросселях; применение новых типов керамич. конденсаторов из диэлектрика с высокой электр. прочностью и малым углом потерь, а также новых изоляц. заливочных масс с большей электр. прочностью; создание бо-

лее совершенных схем автоматич. управления и регулирования режима работы установки.

пульсами длительностью от долей до единиц мксек. Мощность в импульсе достигает единиц Мвт при кпд до 60% и частоте повторения импульсов до неск. тыс. в секунду. Наиболее простые типы Г. м. работают на фиксиров. частотах, более сложные допускают перестройку генерируемой частоты в небольших пределах. Импульсный Г. м. (рис.) состоит из магнетрона с магнитной системой, модулятора и источников питания

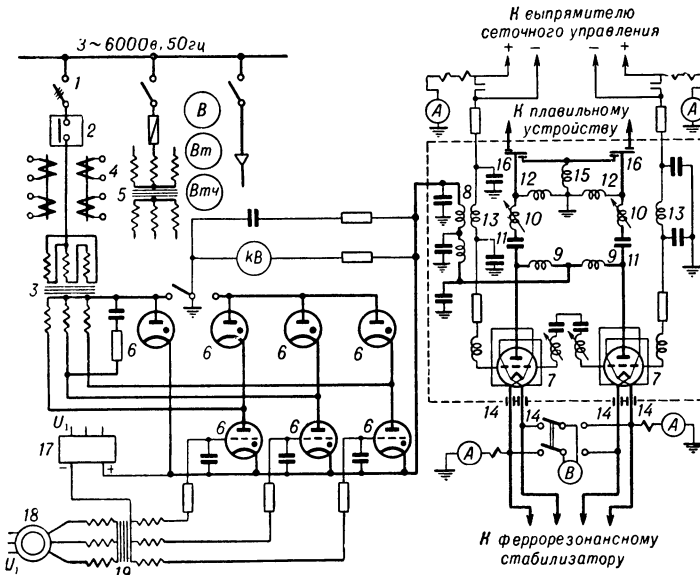
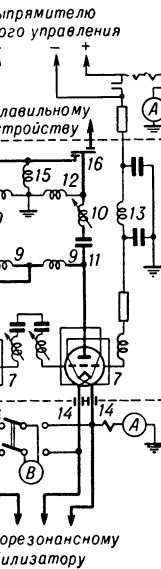


Рис. 3. Принципиальная схема главных цепей ВЧ установки типа ЛПС-500: 1 — разбеднитель высоковольтный; 2 — выключатель масляный; 3 — тр-р анодный; 4 — тр-ры тока; 5 — тр-р понизительный; 6 — тиратроны выпрямителя; 7 — лампы генераторные; 8 — фильтр анодный; 9 — дроссели анодные; 10 — индуктивность регулировочная; 11 — емкость анодно-разделительная; 12 — дроссели безопасности; 13 — фильтры сеточные; 14 — емкость фильтровая цепи накала; 15 — дроссель уравнивательный; 16 — емкость контурная; 17 — смещение сеточного управления анодным выпрямителем; 18 — фазовращатель; 19 — тр-р сеточного управления анодным выпрямителем.

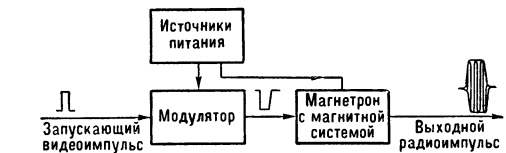
Лит.: Донской А. В., Рамм Г. С., Вигдорovich Ю. Б., Высокочастотные электротермические установки с ламповыми генераторами, М.—Л., 1957; Лозинский М. Г., Поверхностная закалка и индукционный нагрев стали, М., 1949; Вигдорovich Ю. Б., Выпрямление и стабилизация анодного напряжения в высокочастотных электротермических установках, в кн.: Труды конференции-курсов по высокочастотным электротермическим установкам, М.—Л., 1954; Мондрус Д. Б., Дальнейшие пути повышения технического уровня высокочастотных электротермических установок, в сб.: Техинформационный бюллетень ОКБ ЭТО, Л., 1958, № 3; ЦИНТИ электротехнической промышленности и приборостроения. [Каталог №] 6364 — Установки высокочастотные с ламповыми генераторами для плавки и нагрева, [М., 1960]. Д. Б. Мондрус.

ГЕНЕРАТОР МАГНЕТРОННЫЙ (magnetron oscillator; oscillateur magnétron; Magnetronoszillator, Magnetrongenerator) — генератор мощных электромагнитных колебаний СВЧ, в к-ром генераторной лампой служит *магнетрон*. По принципу работы Г.м. является автогенератором (см. *Генератор с самовозбуждением*). Г. м. применяются в качестве источников мощных непрерывных и импульсно-модулированных колебаний. Импульсные Г. м. используются в передатчиках ТУ и связи в радиолокац. и радионавигац. станциях и в др. аппаратуре, работающей в диапазонах волн короче 50 см. Г. м. непрерывных колебаний получили, кроме того, распространение в мощных пром. установках ВЧ *диэлектрического нагрева*. Наиболее широкое применение импульсные Г. м. получили в диапазоне сантиметровых волн, где они обладают большей мощностью и кпд по сравнению с ламповыми генераторами обычных типов (см. *Генератор высокой частоты*). Импульсные Г. м. генерируют СВЧ колебания короткими радиоим-



пульсы для синхронизации работы всех блоков аппаратуры. Этот тип Г. м. распространен гораздо меньше. Он применялся преим. в радиолокац. станциях рапных разработок. Основные параметры Г. м.: длина волны, выходная мощность, длительность и форма

импульсов СВЧ колебаний, анодное напряжение и анодный ток магнетрона, диапазон длительностей импульсов, *скажность*, кид и устойчивость работы (величины затягивания частоты и электронного смещения частоты применяемого магнетрона). Величина затягивания частоты определяет устойчивость частоты Г. м. по отношению к колебаниям нагрузки, а электронное смещение частоты — к колебаниям анодного напряжения. Основными эксплуатационными хар-ками Г. м. являются нагрузочные и рабочие хар-ки используемого магнетрона. По этим хар-кам выбираются оптимальный режим работы магнетрона и допустимая величина рассогласования его нагрузки для обеспечения требуемых выходных параметров Г. м. (см. табл.). В процессе эксплуатации Г. м. (величины контролируются частота генерируемых колебаний (по *волномеру*), режим питания (анодное напряжение и средний анодный ток), форма импульса напряжения на катоде магнетрона (по осцилло-



импульсов СВЧ колебаний, анодное напряжение и анодный ток магнетрона, диапазон длительностей импульсов, *скажность*, кид и устойчивость работы (величины затягивания частоты и электронного смещения частоты применяемого магнетрона). Величина затягивания частоты определяет устойчивость частоты Г. м. по отношению к колебаниям нагрузки, а электронное смещение частоты — к колебаниям анодного напряжения. Основными эксплуатационными хар-ками Г. м. являются нагрузочные и рабочие хар-ки используемого магнетрона. По этим хар-кам выбираются оптимальный режим работы магнетрона и допустимая величина рассогласования его нагрузки для обеспечения требуемых выходных параметров Г. м. (см. табл.). В процессе эксплуатации Г. м. (величины контролируются частота генерируемых колебаний (по *волномеру*), режим питания (анодное напряжение и средний анодный ток), форма импульса напряжения на катоде магнетрона (по осцилло-

Некоторые типовые параметры импульсных магнетронных генераторов

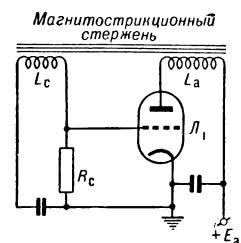
Параметры	Единица измерения	Рабочая длина волны (см)		
		10	3	1
Мощность в импульсе	квт	≤ 2500	≤ 300	≤ 50
Длительность импульсов	мксек	0,5—5,0	0,1—2,0	0,1—0,5
Частота посылок импульсов	гц	2000—200	1000—500	5000—1000
Кпд	%	40—65	25—50	20—25
Перестройка частоты	%	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Затягивание частоты	Мгц	~ 10	~ 15	~ 25
Электронное смещение частоты	Мгц/а	$\sim 0,3$	$\sim 0,5$	$\sim 0,5$

графу) и форма спектра СВЧ колебаний (по анализатору спектра).

У Г. м. непрерывных колебаний величина выходной мощности достигает единиц квт. Кпд такой же, а затягивание частоты неск. больше, чем у импульсных Г. м. Перестройка частоты обеспечивается в значительно больших пределах и достигает 40%.

Лит.: Бычков С. И., Магнетронные передатчики, М., 1953; Коваленко В. Ф., Введение в электронику сверхвысоких частот, 2 изд., М., 1955. Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЙ (magnetostrictor, magnetostriction oscillator; oscillateur à magnétostriction; Magnetostriktiver Oszillator, Magnetostruktionsgenerator) — генератор электромагнитных колебаний с высокой стабильностью частоты, обеспечиваемой использованием магнитоострикционных свойств стержня из ферромагнитного материала. Г. м. — автогенератор (см. Генератор с самовозбуждением), в котором обратная связь осуществляется через ферромагнитный стержень, являющийся высокочастотной механич. колебательной системой с распределенными постоянными. Г. м. применяются в качестве эталонов частоты в измерит. аппаратуре и как генераторы задающие в УЗ аппаратуре. Г. м. работают в диапазоне частот до 100 кгц. Стабильность частоты Г. м. достигает 10^{-4} — 10^{-5} . Колебат. система Г. м. состоит из ферромагнитного стержня с резко выраженными резонансными свойствами и двух катушек индуктивности L_a и L_c , намотанных на его концах. Протекая по катушке L_a (рис.), анодный ток лампы намагничивает этот конец ферромагнитного стержня, вызывая механич. напряжение его материала. Любое изменение анодного тока лампы будет приводить к изменению степени намагниченности анодного конца стержня



и, вследствие магнитоострикции, — к растяжению или сжатию его материала. При этом возникает волна механич. деформации, распространяющаяся к сеточному концу стержня с катушкой индуктивности L_c . Эта катушка включена в цепь управляющей сетки лампы. Волна механической деформации вызывает изменение степени намагниченности сеточного конца стержня и наводит в сеточной катушке напряжение, к-рое, будучи приложено к управляющей сетке, изменяет величину анод-

ного тока лампы. Это вызывает в свою очередь новую волну механич. деформации, распространяющуюся по направлению к сеточному концу стержня. Механич. волны перемещаются по стержню, отражаясь от сеточного конца к анодному и обратно, и т. д. При соответствующем включении концов обеих катушек индуктивности фазы прямых и отраженных волн в стержне совпадут и стержень войдет в механич. резонанс. При совпадении частот механич. и электрич. резонансов колебат.

системы Г. м. будет генерировать колебания макс. амплитуды. Самовозбуждение колебаний в Г. м. не зависит от непосредств. индуктивной связи его анодной и сеточной катушек. Для устойчивой работы Г. м. допускается лишь небольшая отрицательная обратная связь его контуров; поэтому обе его катушки экранируются. В качестве материала для стержня Г. м. используются никель, монель-металл, нихром, инвар и др. никелевые сплавы. С повышением рабочей частоты Г. м. значительно возрастают трудности изготовления стержней с нужной собств. резонансной частотой. Это и ограничивает верхний предел частот, генерируемых Г. м. Очень низкие звуковые частоты могут быть получены в Г. м. при использовании стержней, дополнительно нагруженных на концах или состоящих из ферромагнитной оболочки, заполненной свинцом или др. материалом с малой скоростью распространения волн механич. деформации. Для повышения стабильности частоты Г. м. производится температурная стабилизация всей схемы или стержня с катушками.

Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР МАШИННЫЙ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ (medium frequency generator; génératrice à fréquence moyenne; Mittelfrequenzgenerator) — электрич. машина, преимущественно однофазная, генерирующая ток в диапазоне частот от 100 до 10 000 гц (иногда выше); применяется гл. обр. в качестве источников питания установок индукц. нагрева металлов, ультразвуковой и транспортной аппаратуры. При частотах до 500 гц и больших мощностях (500 квт и более) применяются обычные явнополюсные синхронные генераторы с увеличенным числом пар полюсов. На более высокие частоты, особенно при малых мощностях, изготавливаются только индукторные генераторы. По конструкции магнитной системы различают гомополярные и гетерополярные индукторные генераторы. Гомополярные машины (наз. также одноименнополюсными, кольцевого типа или генераторами с продольным полем) имеют обмотку возбуждения пост. тока в виде кольца, размещаемого между зубчатыми пакетами статора, и рабочую обмотку, заложенную в продольные пазы статора (рис., а). Каждый пакет статора и зубчатый венец ротора таких машин намагничены по всей окружности полярностью одного знака. Гетерополярные генераторы (наз. иначе разноименнополюсными, сегментного типа или генераторами с поперечным полем) имеют обмотку возбуждения и рабочую обмотку, заложенные в продольные пазы стато-

ра. Число магнитных полюсов чередующейся полярности по окружности расточки статора таких машин равно числу пазов об-

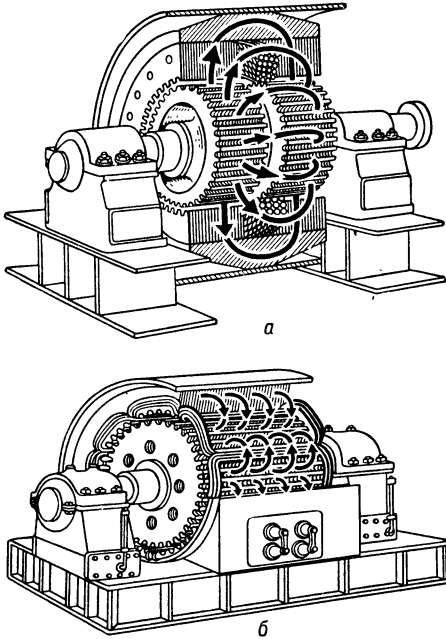


Схема устройства индукторных генераторов тока повышенной частоты: а — кольцевого типа; б — сегментного типа (стрелками показано направление линий потока возбуждения).

мотки возбуждения (рис., б). Периодическая составляющая потока индуцирует перем.

Рабочие хар-ки ненасыщ. индукторного генератора аналогичны хар-кам ненасыщ. синхронного генератора обычного типа. Особенностью индукторных машин является существование максимума на хар-ках возбуждения, в частности на хар-ке холостого хода, связанное с насыщением стали зубцов статора и ротора, приводящим к уменьшению амплитуд перем. составляющей потока при чрезмерном увеличении тока возбуждения. Индукторные генераторы обычно работают на емкостную нагрузку. Реакция емкостного тока увеличивает напряжение на зажимах, что позволяет работать при небольших значениях тока возбуждения, используя машину в ненасыщ. режиме.

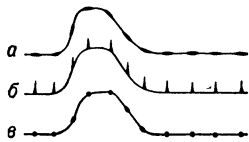
Г. м. п. ч. чаще всего имеют асинхронный привод. При мощности до 200 кВт генератор и двигатель, как правило, размещаются в одном корпусе на общем валу, образуя однокорпусный преобразователь частоты. Преобразователи мощностью до 100 кВт часто выполняются с вертикальным валом, что значительно уменьшает их габариты в плане. При мощности более 200 кВт генератор и двигатель изготавливаются отдельно и устанавливаются на общей раме, образуя преобразовательный агрегат. После выравнивания напряжений холостого хода два и более Г. м. п. ч. могут включаться на параллельную работу на общую линию без применения каких-либо синхронизирующих устройств. Условием нормальной параллельной работы Г. м. п. ч. является совпадение хар-к скольжения приводных асинхронных двигателей. В таблице представлены данные машинных преобразователей частоты, выпускаемых в СССР и предназначенных для питания электротермич. установок.

Характеристика		Единица измерения	Однокорпусные преобразователи			Преобразовательные агрегаты		
			ПВ-50-2500	ПВС-100-2500	ПВВ-100-8000	ВГО-500-1000	ВГО-250-2500	ВГО-500-2500
Генератор	Тип	—	ВГ	ВГ	ВГ	ВГО	ВГО	ВГО
	Частота фактическая	гц	2650	2650	7850	1090	2575	2570
	Мощность полная	квт	56	111	111	525	263	526
	Мощность активная	квт	50	100	100	500	250	500
	Напряжение	в	750/375	750/375	750/375	1500/750	1500/750	1500/750
	Ток	а	74/148	148 296	148/296	333/666	175/350	350/700
	Коэфф. мощности	—	0,9 емк.	0,9 емк.	0,9 емк.	1	0,95 емк.	0,95 емк.
	Зазор	мм	0,8	0,9	0,9	1,5	1,2	1,2
	Напряжение возбуждения	в	60	60	60	115	60	115
	Ток возбуждения	а	6	7	10	7,5	4	4
Двигатель	Тип	—	ВДЭ-60-2	РДЭ-125-2	ВДЭ-120-2	АТМ-700-2	КАМО-350-2	АТМ-700-2
	Мощность	квт	60	125	120	700	350	700
	Напряжение	в	380/220	380/220	380/220	6000/3000	6000/3000	6000/3000
	Ток	а	110/191	292/385	220/380	117/234	42,84	117/234
	Коэфф. мощности	—	0,91	0,92	0,9	0,9	0,87	0,9
Общие данные агрегата	Скорость вращения	об/мин	2950	2950	2950	2970	2970	2970
	Охлаждение	—	Воздушное	Воздушное	Водяное	Воздушное	Воздушное/водяное	Воздушное/водяное
	Расход воды	м³/час	—	—	3	—	35	51
	Коэффициент полезного действия	—	0,7	0,75	0,75	0,82	0,75	0,76
	Размеры в плане	м	1,12/1,04	1,5/1,04	1,57/1,15	—	4,03/1,6	5,46/1,6
Общие данные агрегата	Вес	т	2,1	2,5	4,0	13,1	10,2	16,5

эдс в рабочей обмотке с частотой $f = \frac{Zn}{60}$, где Z — число зубцов на роторе, n — скорость вращения в об/мин.

Лит.: Вологдин В. П. и Спицын М. А., Генераторы высокой частоты, М.—Л., 1935; Жерин Р. П., Индукторные генераторы, М.—Л., 1961. А. В. Бамунер.

ГЕНЕРАТОР МЕТОК [notch generator, range mark(er) generator, mark-pulse generator; générateur de repère, générateur de marques d'étalonnage; Markengenerator] — генератор импульсов, формирующий импульсы напряжения с определенными временными интервалами для временной или дистанц. калибровки разверток ЭЛТ. Г. м. применяются в радиоизмерит. технике для калибровки по времени ждущих разверток, при измерении длительности исследуемых процессов или периода между импульсами, а также в радиолокац. и радионавигац. аппаратуре для калибровки разверток по расстоянию. Основной элемент Г. м. — контур с ударным возбуждением, создающий медленно затухающие синусоидальные колебания при воздействии на него внешнего запускающего импульса и включаемый в анодную и сеточную цепи лампы, а чаще — в катодную цепь пентода, к-рый при его запуске отрицат. импульсом практически не шунтирует контур. Колебания контура возбуждаются передним фронтом импульса и, медленно затухая, срываются по окончании запускающего импульса, когда малое выходное сопротивление лампы шунтирует контур. Частота колебаний контура выбирается т. о., чтобы создать необходимые периоды времени между импульсами Г. м. Полученные пакеты синусоидальных колебаний могут быть использованы для модуляции по яркости луча ЭЛТ. Развертка и исследуемое изображение в этом случае будут иметь вид пунктирной линии. Для улучшения индикации исследуемых процессов выходное напряжение Г. м. преобразуют в серию коротких импульсов. Тогда, при подаче на вертикально-отклоняющие пластины осциллографа, они будут наблюдаться в виде вертикальных рисок. Чаще сформированные импульсы используются для яркостной модуляции луча ЭЛТ.



Изображение импульса, калиброванного метками времени, на экране осциллографа: а — яркостная модуляция синусоидальным напряжением; б — модуляция по вертикально-отклоняющим пластинам трубки короткими импульсами; в — яркостная модуляция короткими импульсами по управляющему электроду.

В этом случае на исследуемую осциллограмму накладываются светящиеся точки — метки времени (рис.). Для получения серии коротких импульсов в Г. м., кроме контура с ударным возбуждением, включаются усилители-ограничители, дифференцирующие цепи и др. формирующие схемы. Г. м. современного осциллографа ИО-4 формирует остроконечные импульсы амплитудой 60—80 в для яркостной модуляции ЭЛТ типа 13Л036. Контур с ударным возбуждением в катод лампы 6Н15П выполнен по схеме индуктивной трехточки и обеспечивает создание меток с периодами в 0,1, 10, 100 и 1000 мксек. Г. м. запускается внешними импульсами, к-рые используются также для запуска генератора развертки и подсвета луча. Благодаря этому фаза меток времени по отношению к напряжению развертки одна и та же.

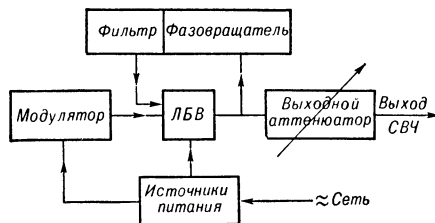
Лит.: Меерович Л. А., Зеличенко Л. Г., Импульсная техника, М., 1953. В. И. Шебанов.

ГЕНЕРАТОР МОЛЕКУЛЯРНЫЙ [molecular generator (oscillator); générateur quan-

tique, générateur moléculaire; Molekulargenerator] — см. Молекулярный генератор.

ГЕНЕРАТОР НА ЛАМПЕ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ (travelling wave tube oscillator; générateur à tube à ondes progressives, générateur à tube à propagation d'onde; Lauffeldröhrengenerator, Wanderfeldröhrengenerator, Wanderwellenröhrengenerator) — генератор СВЧ колебаний, в к-ром в качестве генераторной лампы применяется лампа бегущей волны (ЛБВ). Г. на л. б. в. получили широкое распространение в радиоаппаратуре диапазонов дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн для телеуправления, связи, радионавигации и радиолокации в качестве генераторов задающих и гетеродинов (Г. на л. б. в. с самовозбуждением колебаний), а также мощных усилителей сверхвысокой частоты (Г. на л. б. в. с независимым возбуждением). По сравнению с усилителем сверхвысокой частоты на пролетном клистроне Г. на л. б. в. с независимым возбуждением имеет лучшее соотношение мощностей полезного сигнала и шумов на выходе, более высокий кпд (достигающий 60%) при сравнимых величинах выходных мощностей, а также более широкую полосу пропускания частот (от 800 до 2000 Мгц и больше) за счет использования в ЛБВ нерезонансной колебат. системы. Г. на л. б. в. с самовозбуждением работают на фиксированных частотах и допускают только небольшую перестройку частоты в окрестностях ее номин. значения. Перестройка частоты, генерируемой Г. на л. б. в., производится путем небольших изменений величины напряжения на аноде ЛБВ в пределах области (зоны) существования автоколебаний. В Г. на л. б. в. с независимым возбуждением СВЧ колебания подаются на вход ЛБВ по коаксиальной линии или волноводу. Они возбуждают в ее спирали бегущую электромагнитную волну, распространяющуюся вдоль спирали. Выходной усиленный сигнал снимается с конца спирали ЛБВ, располож. около коллектора лампы. В Г. на л. б. в. с самовозбуждением колебаний положит. обратная связь может осуществляться по внешней цепи, соединяющей вход и выход ЛБВ, или внутри самой ЛБВ за счет обратной волны, возникающей в ней из-за наличия в лампе отражений электромагнитной энергии.

В малоомощных Г. на л. б. в., применяемых для работы в качестве задающих генераторов и гетеродинов, на выходе устанавливается перем. аттенуатор для выбора необходимого



уровня мощности СВЧ колебаний. В схему Г. на л. б. в. вводится также модулятор для частотной или импульсной модуляции колебаний (см. Модуляция частотная и Модуляция импульсная). Г. на л. б. в. с внешней связью (рис.) имеет положит. обратную связь по коаксиальной линии или волноводу с после-

довательно включенными фазовращателем и фильтром, соединяющими вход и выход ЛБВ. Фильтр пропускает по цепи обратной связи без потерь колебания только одной частоты, на к-рой и должны осуществляться условия самовозбуждения генератора. Фазовращателем устанавливается баланс фаз, необходимый для возникновения колебаний на требуемой частоте (см. *Генератор с самовозбуждением*). Применение фильтра ограничивает диапазон частот электронной перестройки. В 10 см диапазоне волн у генераторов этого типа величина электронной перестройки частоты достигает 10%, а в 3 см диапазоне — 2,5%.

В другой группе Г. на л. б. в. применяется иной тип ЛБВ — лампа обратной волны (карцинотроны типа О и М). Они обладают более широким диапазоном частот электронной перестройки, чем генераторы первой группы. Выпускаемые промышленностью карцинотроны типа О обеспечивают работу Г. на л. б. в. в диапазоне волн от 2,5 мм до 30 см, с кпд порядка неск. %; Г. на л. б. в. с карцинотронами типа М (магнетронного типа) имеют более высокий кпд (десятки %). Они могут работать в непрерывном и импульсном режиме с выходной мощностью до единиц кВт.

Лит.: Штейн Н. И., Автогенераторы гармонических колебаний, М.—Л., 1961. Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ (transistor oscillator; générateur à semi-conducteurs; Transistorgenerator, Transistoroszillator) — автоколеб. генератор электромагнитных колебаний, в к-ром в качестве активных устройств с нелинейной

нелинейных диодах интервал рабочих темп-р равен примерно $\pm(150-200)^\circ$. Положительная обратная связь в Г. на п. п. может осуществляться как за счет внешних цепей, содержащих емкости, индуктивности и тр-ры, так и за счет внутренних процессов, протекающих в самом ПП приборе. К первой группе относятся все известные Г. на п. п. с индуктивной, емкостной и трансформаторной связью (рис. 1). В этих схемах применяются ПП приборы с разделенными входом и выходом; сюда относятся транзисторы всех известных типов, включаемые как по схеме с общим эмиттером, так и по схеме с общей базой. Схемы рис. 1, а, б, в с трансформаторной, индуктивной и емкостной обратной связью хорошо работают на частотах ниже критич. Генератор с емкостной обратной связью (рис. 1, г) способен работать на частотах, в неск. раз превышающих критич. частоту транзистора. В такой схеме могут быть применены как сплавные, так и точечные транзисторы. Условия самовозбуждения выполняются при соответствующем выборе емкости C_0 . Г. на п. п., так же как их ламповые аналоги, могут содержать не только LC-контур в качестве резонансной системы. В типовой схеме генератора на плоскостном транзисторе (рис. 1, д) роль фильтрующего элемента, обеспечивающего необходимого сдвиг фазы в цепи обратной связи, выполняют RC-цепи. В отличие от лампового аналога этой схемы, обратная связь в генераторе на транзисторе должна быть рассчитана по току и на частотах, близких к критич., учтен сдвиг фаз в самом транзисторе.

Г. на п. п. с внутр. положит. обратной связью относятся к схемам, содержащим двух-

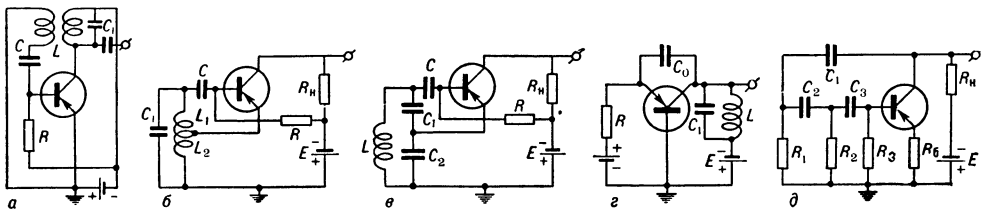


Рис. 1. Схемы генераторов на ПП приборах.

хар-кой применены ПП приборы. По методу генерирования и областям применения различают Г. на п. п. релаксационных колебаний и гармонических колебаний. В зависимости от типа ПП приборов и схемы Г. на п. п. могут генерировать гармонич. колебания в диапазоне частот от долей гц до неск. десятков тыс. Мгц при макс. выходной мощности (в зависимости от диапазона частот) от десятых мквт до сотен вт. По построению схемы Г. на п. п. мало чем отличаются от схем генераторов на электронных лампах. Различия между ними, связанные с разным механизмом передачи тока, проявляются лишь при анализе и расчете генераторов и становятся наиболее существенными на частотах, близких к критич. частоте транзистора. В Г. на п. п. с успехом могут быть использованы все известные методы кварцевой стабилизации частоты. При этом может быть получена стабильность порядка 10^{-7} . Температурный диапазон работы Г. на п. п. без спец. термокомпенсации составляет $\pm(30-50)^\circ$ для германиевых приборов; для кремниевых приборов $\pm 100^\circ$. Для генераторов на тун-

полосником с отрицательным дифференц. сопротивлением, к к-рому подключается LC-или RC-контур, определяющий частоту колебаний в системе. Типичными генераторами этого типа являются схемы на точечных транзисторах (рис. 2, а, б, в) и диодах туннельных (рис. 3). Появление в схемах (рис. 2, а, б, в) падающего участка на вольт-амперной хар-ке связано с лавинным размножением электронов в области коллекторного перехода. За счет этого коэфф. усиления по току в схеме с общей базой у точечных транзисторов может быть больше единицы (порядка 1,5—5) и на объемном сопротивлении базы возникает напряжение внутр. положит. обратной связи, приводящее к появлению отрицат. дифференц. сопротивления между соответствующими электродами транзистора. Если внутр. сопротивление базы мало и условия самовозбуждения не выполняются, то в схему вводится дополнительный сопротивл. R_6 (рис. 2, а, б). Регулируя это сопротивление, можно получить на выходе колебания, близкие к гармонич. В схеме на рис. 2, б необходимая величина об-

ратной связи обеспечивается подбором числа витков у индуктивности L , от которой делается отвод для подключения к базе транзистора. С помощью батарей E_3 , E_k и сопротивления R_3 устанавливается необходимый рабочий режим схемы по пост. току. Генераторы на точечных транзисторах могут работать до частот в неск. десятков $M\mu$ при выходной мощности в несколько $mвт$.

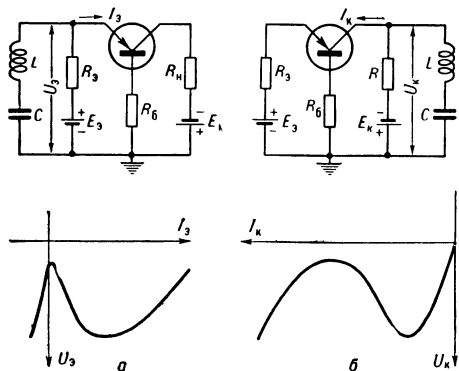


Рис. 2. Схемы генераторов на точечных транзисторах.

Для генерирования колебаний в диапазоне СВЧ наиболее перспективным ПП прибором является туннельный диод. Наличие у него падающего участка характеристики в области прямых смещений (рис. 3) объясняется квантовомеханич. туннельным эффектом, связанным с прохождением электронов «сквозь» потенциальный

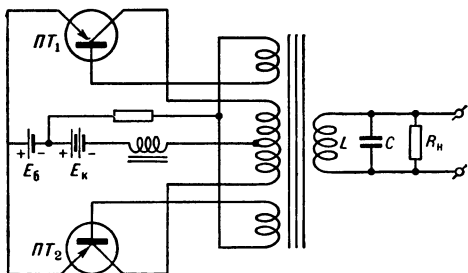


Рис. 4. Схема ключевого генератора.

барьер в узких $p-n$ -переходах, образованных двумя вырожденными ПП. Для построения генератора используется параллельный LC -контур; емкостью C обычно служит собственная емкость $p-n$ -перехода. Туннельные диоды могут быть применены для генерирования миллиметровых волн; при этом выходная мощность не превышает неск. десятков $mвт$. В диапазонах УКВ и СВЧ выходная мощность в генераторах на туннельных диодах может составлять неск. $вт$. Мощность в неск. $вт$ на частоте порядка $100 M\mu$ может быть получена на серийных образцах транзисторов.

Для увеличения выходной мощности в Г. на п. п. могут быть использованы двухтактные схемы генераторов. Применение двухтактных генераторов, работающих в ключевом режиме (рис. 4), перспективно для получения выходной мощности, в неск. раз превышающей допустимую мощность рассеивания на коллекторе. Такой режим практически не осуществим на электронных лампах и возможен на транзисторах вследствие существенного

различия между значениями выходного сопротивления транзистора в области отсечки и насыщения тока коллектора. В двухтактной схеме на транзисторах PT_1 и PT_2 генерируются колебания, близкие по форме к прямоугольным. Потери в колеб. контуре, образованном из LC и R_n , компенсируются за счет периодич. (импульсной) подкачки энергии из первичной обмотки тр-ра. Форма колебаний

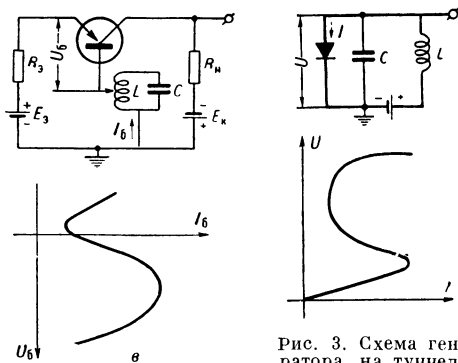


Рис. 3. Схема генератора на туннельном диоде.

на выходе в ключевом генераторе близка к гармонич., если длительность фронтов импульсов тока много меньше периода рабочей частоты. Это условие ограничивает частотный предел применимости ключевого генератора. В ключевом режиме при «мгновенном» переключении мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора, оказывается весьма незначит., поскольку в одном положении он закрыт и через него практически ток не течет, а в др. положении открыт и напряжение на нем близко к нулю. Выходная колеб. мощность в ключевых генераторах оказывается примерно в 10 раз больше допустимой мощности, рассеиваемой на коллекторе, а наибольшая рабочая частота примерно в то же число раз меньше, чем критич. частота. Напр., на транзисторах типа П-3 можно построить ключевой генератор, работающий на частоте в неск. $k\mu$, выходной мощностью в неск. десятков $вт$.

Лит.: Основы полупроводниковой электроники, пер. с англ., М., 1958; Полупроводниковые триоды в радиотехнических схемах. (Сборник, пер. с англ.), М., 1958; Полупроводниковые триоды в регенеративных схемах, М.—Л., 1959; Берестовский Г. Н., Генератор гармонических колебаний на ключевых элементах, «Р и Э», 1960, т. 5, вып. 3. К. С. Рожовкин.

ГЕНЕРАТОР НА СОПРОТИВЛЕНИЯХ И ЕМКОСТЯХ, генератор на R и C (capacitance-resistance oscillator; oscillateur résistance-capacité, générateur à résistance-capacité; RC-Generator), — генератор электромагнитных колебаний с электронными лампами или полупроводниковыми приборами (транзисторами), схема которого содержит емкости и активные сопротивления и не содержит катушек индуктивности. В общем случае колебания такого генератора носят резко несинусоидальный характер (см. Генератор релаксационных колебаний). Для того чтобы Г. на R и C генерировал колебания синусоидальной формы, нужно, чтобы условия самовозбуждения (баланс фаз и баланс амплитуд, см. Генератор с самовозбуждением) выполнялись только для одной из множества гармонич. составляющих несинусоидального колебания. Одна из схем

такого генератора (рис. 1) представляет собой двухкаскадный ламповый усилитель на со-
противлениях с положит. обратной связью. Напряжение с анода лампы L_2 подается через конденсатор C_2 к управляющей сетке

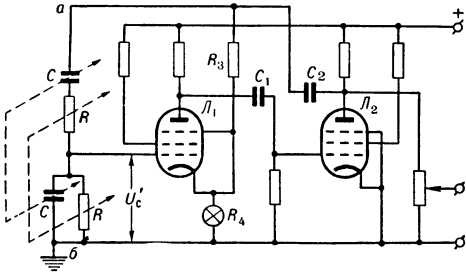


Рис. 1.

лампы L_1 через цепочку из двух одинаковых сопротивлений R и двух одинаковых емкостей C . Анализ схемы показывает, что напряжение обратной связи с анода L_2 совпадает по фазе с напряжением на сетке L_1 (баланс фаз), если выполняется соотношение $\omega = 1/RC$ или $f = 1/2\pi RC$. Кроме того, для обеспечения необходимой амплитуды напряжения обратной связи (баланс амплитуд) коэфф. усиления всего усилителя должен быть равен 3 ($K=3$). Тогда при заданных R и C условия самовозбуждения выполняются только для одной определенной частоты f . Чтобы обеспечить требуемый коэфф. усиления в приведенной схеме, помимо положит. обратной связи, вводится отрицат. обратная связь, напряжение к-рой снимается с сопротивления R_4 (делитель R_3, R_4). Сопротивление R_4 обычно выполняется в виде лампы накаливания (сопротивление ее нити растет с увеличением протекающего тока), что ограничивает амплитуду колебаний областью малой нелинейности хар-ки лампы и тем самым обеспечивает получение колебаний, достаточно близких к синусоидальным. Частоту генератора регулируют изменением величин R и C одновременно в обоих плечах фазосдвигающей цепочки. Г. на R и C по такой схеме дают возможность получать колебания с частотой от долей $\mu\text{гц}$ до 200 кгц . При частотах порядка неск. $\mu\text{гц}$ сопротивление лампы накаливания R_4 , ввиду его сравнительно малой инерционности, успевает изменяться в течение каждого периода, что искажает форму колебаний. В этом случае в делителе R_3, R_4 применяются стабилизирующие сопротивления с большой термической пост. времени (напр., R_4 — пост. сопротивление, а в качестве R_3 — сопротивление термистора). Наивысшая частота генератора (200 кгц) ограничивается уменьшением полного сопротивления участка ab на высоких частотах, шунтирующего анодную цепь лампы L_2 и обеспечивающего необходимый фазовый сдвиг.

Г. на R и C , дающий синусоидальные колебания, можно осуществить и на одной лампе (рис. 2). Обратная связь на управляющую сетку лампы в этом случае подается с анодного сопротивления R_1 через фазовращатель, составленный из 3 ячеек RC . Фазовращатель обеспечивает сдвиг фаз в 180° между перем. напряжениями на аноде и сетке лампы, необходимый для самовозбуждения каскада. Для этой схемы условия самовозбуждения

выполняются при частоте $f = 1/(15,4 \cdot RC)$ и коэфф. усиления $K = 29$, что заставляет выбирать лампу с большим коэфф. усиления μ . Генераторы синусоидальных колебаний на R и C имеют ряд преимуществ перед обычными генераторами с L и C , особенно в диапазоне звуковых частот (см. Генератор звуковой частоты). Они дешевы, просты по конструкции, компактны и имеют высокую стабильность частоты, определяемую только количеством сопротивлений и конденсаторов.

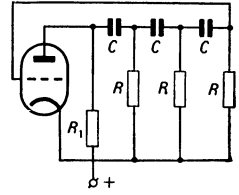
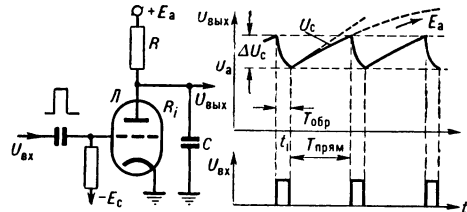


Рис. 2.

Лит.: Ремез Г. А., Курс основных радиотехнических измерений, М., 1955; Асеев Б. П., Основы нелинейной радиотехники, М., 1943; Маркус Д. ж. и Целюф В., Технические применения электронноламповых схем, пер. с англ., М., 1953; Капчинский И. М., Методы теории колебаний в радиотехнике, М.—Л., 1954.

ГЕНЕРАТОР НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ (relaxation generator; g n rateur d'oscillations non-sinusoidales; Oszillator nichtsinusf rmiger Schwingungen) — см. Генератор релаксационных колебаний.

ГЕНЕРАТОР ПИЛООБРАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ (saw-tooth voltage generator; g n rateur   tension en dents de scie; S gezahnspannungsgenerator) — генератор релаксационных колебаний, создающий напряжение, изменяющееся линейно со временем до нек-рой величины, а затем возвращающееся к первоначальному уровню (пилообразное напряжение). При помощи Г. п. н. в электронно-лучевых приборах с электростатич. отклонением создается линейная временная развертка, обеспечивающая перемещение луча по экрану в горизонтальном направлении с постоянной скоростью, широко применяющаяся в осциллографах, радиолаках, индикаторах, радиодальномерах и др. В большинстве существующих схем работа Г. п. н. основана на заряде (разряде) конденсатора C пост. (в течение времени заряда) током. При постоянстве зарядного тока I напряжение на конденсаторе U_c прямо пропорционально времени $U_c = (I/C)T$. Управление зарядом и разрядом конденсатора производится обычно с помощью газонаполненной или электронной лампы. В схеме (рис.) при установившемся процессе



релаксационных колебаний до поступления положит. отпирающего импульса лампа закрыта за счет подачи на управляющую сетку отрицательного напряжения смещения — E_c , а конденсатор C заряжается до напряжения $U_a + \Delta U_c$, где ΔU_c — амплитуда пилообразного напряжения. С приходом положительного импульса (момент времени t_1) лампа отпирается и конденсатор быстро разряжается до напряжения $U_a = I_a R_1$. После окончания действия запускающего импульса лампа защи-

рается, а конденсатор вновь заряжается до напряжения $U_c = U_a + \Delta U_c$. Скорость нарастания заряда конденсатора характеризуется пост. временим заряда $\tau_{зар} = RC$. Для обеспечения линейности пилообразного напряжения — основного требования, предъявляемого к Г. п. н., — необходимо, чтобы длительность прямого хода развертки, равная промежутку времени между двумя положит. импульсами, была значительно меньше пост. времени заряда, т. е. $T_{прям} \ll RC$. Время обратного хода развертки $T_{обр}$ в данном случае равно длительности запускаящего импульса. При этом необходимо, чтобы постоянная времени разряда $\tau_{разр} = R_i C$ была меньше или равна длительности запускаящего импульса. Высокую линейность рабочего участка можно получить только при практически неизменной величине тока, заряжающего конденсатор, что возможно лишь при условии $RC \gg T_{прям}$. Но при этом для заданного времени прямого хода прирост заряда на конденсаторе мал, и амплитуда пилообразных колебаний ΔU_c также мала. Для увеличения ΔU_c необходимо значительно увеличивать напряжение источника анодного питания $+E_a$. Но при этом эффективность его использования будет незначительной, так как отношение $\Delta U_c/E_a$ мало. Для получения большей эффективности использования напряжения источника питания при сохранении высокой линейности применяют схемы, стабилизирующие ток заряда конденсатора. Эффективным является включение в зарядную цепь пентодов, у к-рых анодный ток практически не зависит от изменения напряжения на аноде. Находят применение и др. схемы линейризации пилообразного напряжения. В нек-рых случаях Г. п. н. работают на основе схем *мультивибраторов*, обеспечивая непрерывную генерацию пилообразных импульсов. Используется работа и в ждущем режиме, при к-ром Г. п. н. генерирует один пилообразный импульс заданной амплитуды и длительности с приходом каждого запускаящего импульса.

Лит.: Катаев С. И., Генераторы импульсов телевизионной развертки, М.—Л., 1951; Ицхоки Я. С., Импульсные устройства, М., 1959; Милман Я., Тауб Г., Импульсные и цифровые устройства, пер. с англ., М.—Л., 1960. Р. В. Фельдман.

ГЕНЕРАТОР ПИЛООБРАЗНОГО ТОКА

(saw-tooth current generator; générateur à courant en dents de scie; Sägezahnstrom-generator) — генератор релаксационных колебаний, создающий ток, изменяющийся линейно со временем до нек-рой величины, а затем возвращающийся к первоначальному уровню (пилообразный ток). При помощи Г. п. т. в электроннолучевых приборах с электромагнитным отклонением создается линейная временная развертка луча, используемая в осциллографах, телевизорах, радиолокац. индикаторах и др. В большинстве существующих схем работа Г. п. т. основана на воздействии напряжения трапецеид. формы на катушку индуктивности, в которой должен быть создан пилообразный ток. Эквивалентная схема катушки индуктивности представляет собой цепь из последоват. соединенных R и L (рис. 1), где R — собственное активное сопротивление катушки. Чтобы в активном сопротивлении R протекал пилообразный ток, к нему надо приложить пилообразное напряжение U_R (рис. 1, б). С др. стороны, чтобы в катушке индуктивности L протекал

линейно изменяющийся (пилообразный) ток, к ее зажимам необходимо приложить импульс напряжения U_L прямоугольной формы, длительность к-рого T значительно меньше пост. времени цепи $\tau = L/R \gg T$. В противном случае нарастание тока в катушке не будет оставаться линейным и станет носить экспоненц. характер. Общее напряжение U (рис. 1, в), к-рое необходимо подать на цепь RL для получения в катушке пилообразного тока, является суммой напряжений U_R и U_L . Таким образом, пилообразная составляющая суммарного напряжения компенсирует падение напряжения на активном сопротивлении катушки R , а прямоугольная составляющая создает ток пилообразной формы.

На рис. 2, а изображена схема простейшего генератора трапецеидального напряжения. При отсутствии отрицательного импульса на входе (рис. 2, б) лампа открыта и конденсатор C заряжен до напряжения $U_{a0} = I_{a0} R_i$, где

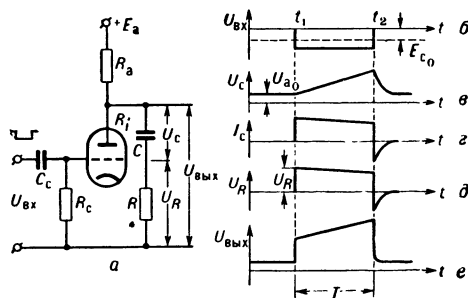
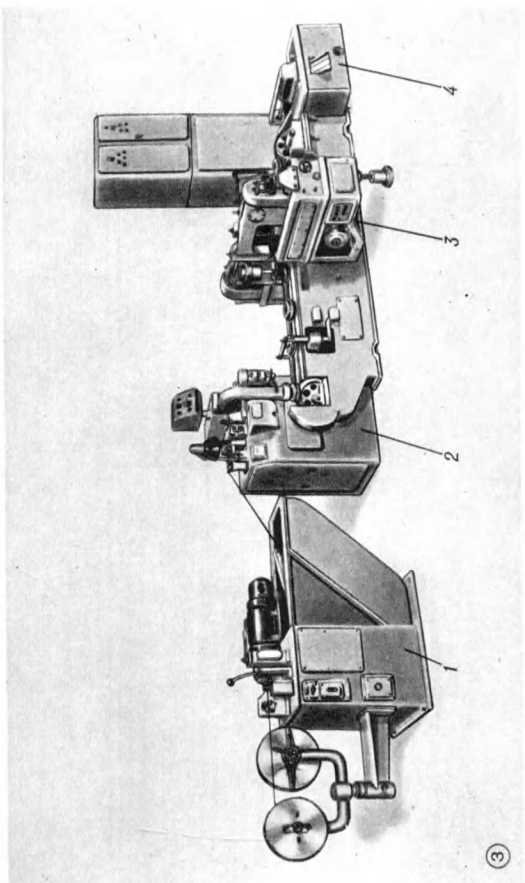
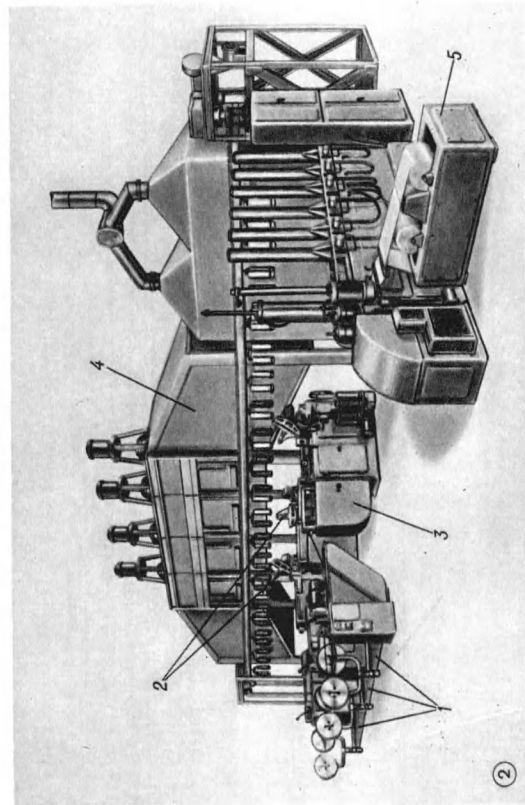
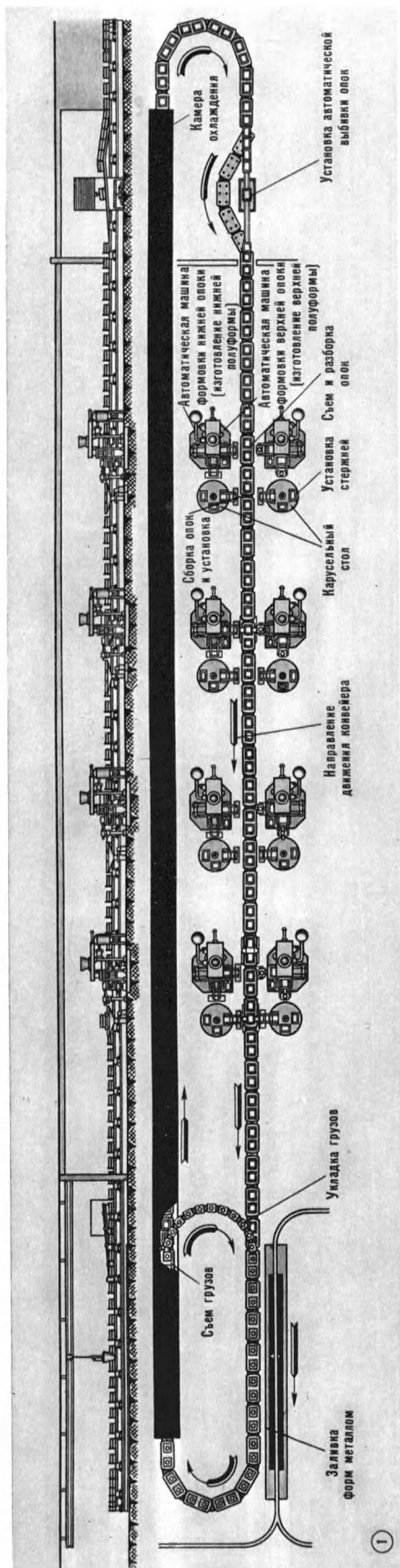


Рис. 2.

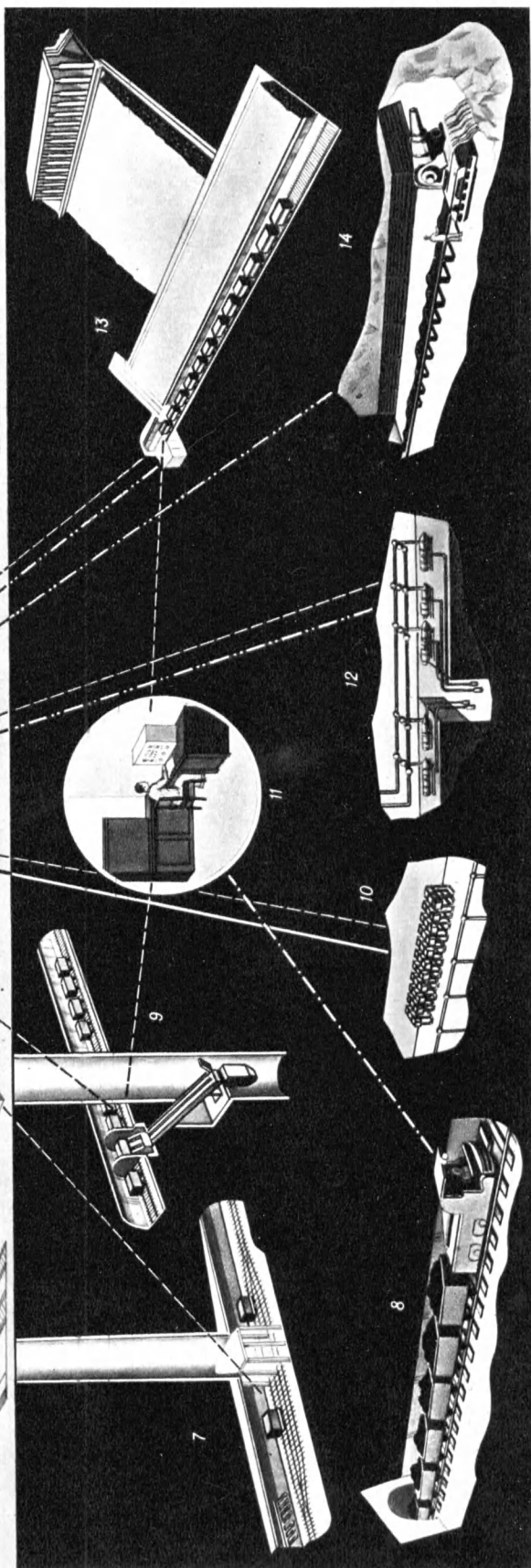
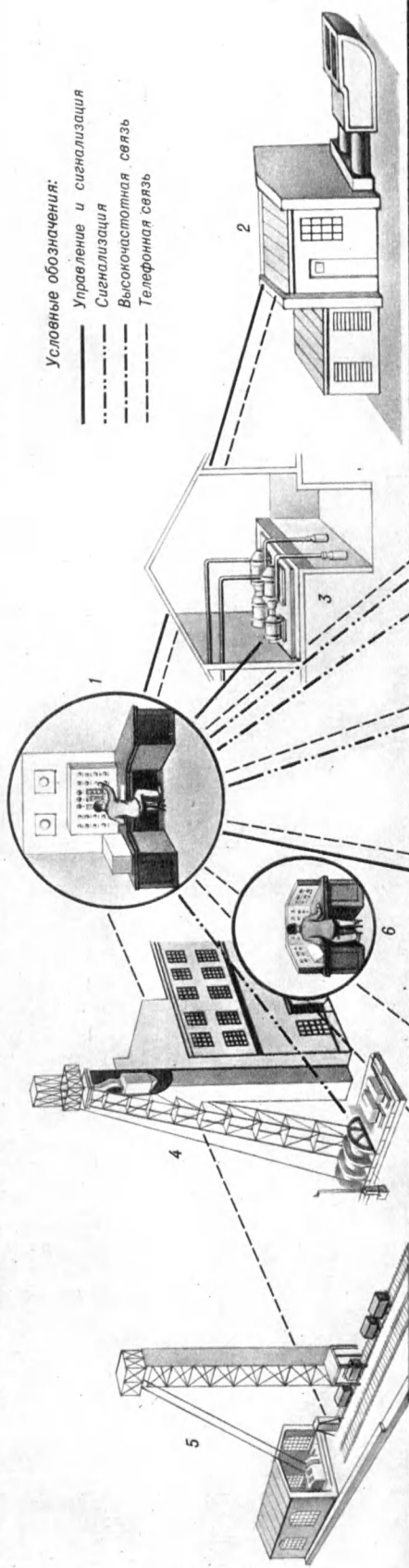
I_{a0} — анодный ток открытой лампы, R_i — внутреннее сопротивление лампы. С приходом отрицательного прямоугольного импульса, амплитуда к-рого $U_{вх}$ больше напряжения запаривания E_c (момент времени t_1), лампа запирается и конденсатор заряжается через большое сопротивление R_a и сопротивление R (рис. 2, в). В момент времени t_1 за счет тока заряда (рис. 2, в) на сопротивлении R создается падение напряжения U_R (рис. 2, д), к-рое и образует передний фронт прямоугольной части трапецеидального импульса (начальный скачок). Величина начального скачка U_R определяет скорость нарастания тока в катушке индуктивности. В промежутке времени $t_1 - t_2$ напряжение на конденсаторе возрастает по экспоненц. закону. С увеличением U_c зарядный ток несколько уменьшается, вследствие чего напряжение U_R также будет уменьшаться. Однако скорость убывания U_R меньше скорости возрастания U_c и сумма $U_R + U_c = U_{вых}$ практически линейно возрастает до момента t_2 — прекращения действия входного отрицат. импульса (рис. 2, е). Затем конденсатор быстро разряжается через лампу и схема возвращается в исходное состояние. Выходное напряжение генератора подается на усилитель, в анодную цепь к-рого включены отклоняющие катушки, электроннолучевые трубки. Схемы Г. п. т.



1. Типовая автоматическая линия формовки мелкого литья. 2. Автоматическая линия изготовления поршневых колец из стальной ленты. Линия состоит из трех бунторазматывателей 1, двух автоматов навивки компрессионных сегментов 2, одного автомата навивки масляных сегментов 3, одной печи для термофиксации 4 и одного полуавтомата комплектовки и упаковки 5. 3. Автоматическая линия изготовления поршневых колец из стальной ленты. Линия состоит из бунторазматывателя 1, автомата изготовления осевых расширителей 2, автомата комплектовки 3 и автомата контроля правильности отсчета комплекта 4.

Условные обозначения:

- Управление и сигнализация
- - - Сигнализация
- - - - - Высококачественная связь
- - - - - Телефонная связь



Диспетчеризация шахты: 1 — общешахтный диспетчер, 2 — вентиляционно-калориферная установка, 3 — насосы хвостового и противопожарного водоснабжения; 4 — скиповый подъем, 5 — клетевой подъем, 6 — диспетчер обогатительной фабрики, 7 — обмен вагонов, 8 — электровозная откатка, 9 — разгрузка вагонов; 10 — подземная подстанция, 11 — подземный диспетчер, 12 — главный водосток, 13 — очистные работы, 14 — подготовительные работы.

работают как в режиме непрерывной генерации, так и в ждущем режиме.

Лит. см. при ст. Генератор пилообразного напряжения.

Р. В. Фельдман.

ГЕНЕРАТОР РАЗВЕРТКИ (time-base generator, sweepgenerator, scanning generator; générateur de balayage, générateur de base de temps; Ablenkgenerator, Sägezahnschwingungserzeuger) — генератор, создающий электрические колебания спец. формы, при помощи которых луч электроннолучевой трубки перемещается по заданному закону. Г. р. применяется в осциллографах, телевизионных устройствах, радиолокац. индикаторах и др. Как правило, Г. р. создают временную развертку, при к-рой перемещение луча по экрану пропорционально времени. Однако в ряде приборов (напр., в анализаторах спектра, генераторах качающейся частоты) горизонтальная составляющая движения луча является функцией частоты. При анализе временных процессов необходимо создать развертывающее напряжение, обеспечивающее горизонтальное перемещение луча с пост. скоростью — линейную временную развертку, которая может быть получена с помощью генератора пилообразного напряжения или генератора пилообразного тока.

Линейная горизонт. развертка наглядна и удобна, но ее недостатком является неполное использование площади экрана трубки. В нек-рых случаях, чаще всего в радиолокации, применяются кольцевые и спиральные развертки. Кольцевая развертка увеличивает длину хода луча по экрану в π раз, благодаря чему, при неизменной длительности развертки, можно получить большой временной масштаб. Генератор кольцевой развертки вырабатывает два синусоидальных напряжения равной амплитуды, но сдвинутых по фазе на 90° посредством фазовращателя. При подаче на одну пару отклоняющих электродов напряжения $u_1 = U_m \sin \Omega t$, а на другую $u_2 = U_m \sin (\Omega t + 90^\circ)$, луч электроннолучевой трубки перемещается по окружности, радиус к-рой зависит от чувствительности трубки по отклонению и амплитуды подводимых напряжений. Угловая скорость вращения луча $n = \frac{\Omega}{2\pi}$ об/сек. Еще более полное использование площади экрана может быть получено при спиральной развертке, что особенно важно при измерении коротких интервалов времени с высокой точностью. Генератор спиральной развертки вырабатывает два синусоидальных напряжения, сдвинутых по фазе на 90° , амплитуда которых изменяется по пилообразному закону. С уменьшением амплитуды колебаний луч перемещается по спирали от периферии к центру, с шагом, определяемым уменьшением амплитуды за один период синусоидального напряжения. Спиральная развертка неподвижна, если период синусоидальных колебаний кратен периоду пилообразного напряжения, модулирующего амплитуду синусоид. колебаний. В противном случае спиральная развертка вращается относительно центра экрана. Генератор спиральной развертки представляет собой генератор высокой частоты, стабилизированный кварцем, напряжение с к-рого подается на балансный модулятор, куда в качестве модулирующего подается пилообразное напряжение. С выхода балансного модулятора синусоид. напряжение, модулированное по амплитуде,

подается через два усилителя на отклоняющие пластины трубки.

В телевидении и радиолокации широко применяются двумерные развертки: растрового типа (в телевидении), радиально-круговая (в индикаторах кругового обзора) и строчные развертки по двум координатам (напр., дальность-азимут, дальность-высота или азимут-угол места) в радиолокации. Г. р. для создания телевизионной растровой развертки служат генераторы пилообразного тока. Движение луча по строкам осуществляется за счет пилообразных импульсов тока, подаваемых в горизонтально-отклоняющие (строчные) катушки, а перемещение строк по вертикали — за счет пилообразных импульсов тока значительно большей длительности, подаваемых на вертикально-отклоняющие (кадровые) катушки. Такая же система развертки луча применяется для записи и считывания информации в электроннолучевых трубках памяти.

При радиально-круговой развертке, наиболее широко применяемой в радиолокационных и радионавигационных индикаторах кругового обзора, луч перемещается по радиусу от центра экрана к периферии пропорционально дальности. Одновременно с радиальным движением луча линия развертки вращается вокруг центра экрана с угловой скоростью, равной скорости вращения антенны, синхронно с ней. Т. о., положение линии развертки в каждый данный момент соответствует определенному азимуту. Отметка целей на индикаторах такого типа осуществляется яркостным методом. В большинстве радиолокац. и радионавигацион. станций для индикации используются ЭЛТ с магнитным отклонением луча, поэтому генератором радиально-круговой развертки служит генератор пилообразного тока. Вращение линии развертки в простейшем случае может быть получено за счет синхронного с антенной вращения отклоняющих катушек. В некоторых радиолокациях, напр. самолетных панорамных бомбоприцелах, вращение линии развертки осуществляется за счет того, что амплитуда пилообразных импульсов, обеспечивающих радиальную развертку, модулируется по синусоид. закону. Огибающие закона модуляции каждой пары катушек, отклоняющих луч во взаимно-перпендикулярных плоскостях, сдвинуты друг относительно друга на 90° . При пилообразном изменении тока в катушках луч движется по радиусу, а за счет модуляции амплитуд развертка совершает один оборот за период модулирующего напряжения. Угловая частота модулирующего напряжения выбирается равной угловой скорости вращения антенны радиолокатора, выраженной в рад/сек. Модулятором обычно служит гониометрич. система, ротор к-рой связан с положением антенны. К ротору подводится трапециевидное напряжение. В неподвижных катушках гониометра, оси к-рых перпендикулярны друг другу, создается пилообразный ток, модулированный по амплитуде, причем фаза огибающей пилообразных импульсов в одной из катушек отстает на 90° от фазы огибающей в другой катушке.

В двухкоординатных индикаторах типа дальность-азимут применяется строчная развертка с яркостной отметкой целей. Если по вертикальной оси индикатора измеряется дальность, то с Г. р. на систему отклонения

по вертикали подаются пилообразные импульсы тока или напряжения, т. е. осуществляется линейная временная развертка. На горизонтально-отклоняющую систему подается напряжение, являющееся обычно линейной функцией угла поворота антенны по азимуту. В качестве датчиков такого напряжения применяются круговые потенциометры или сельсинные передачи, роторы к-рых связаны с осью вращения антенны. В индикаторах типа азимут-угол места электронный луч в трубке повторяет движение луча антенны в пространстве. Функции Г. р. здесь выполняют потенциометрич. датчики. Горизонтальное перемещение луча связано с азимутальным датчиком такого же типа, как в индикаторах дальность-азимут, а вертикальное — с датчиком, напряжение которого пропорционально перемещению антенны в вертикальной плоскости.

Лит.: Катаев С. И., Генераторы импульсов телевизионной развертки, М.—Л., 1951; Врублевский А. В., Развертки индикаторов, М., 1957; Фролкин В. Т., Индикаторные устройства, [ч. 1—2], М., 1956—59. Р. В. Фельдман.

ГЕНЕРАТОР РЕЛАКСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ, релаксационный генератор [relaxation oscillator (generator); générateur d'oscillations de relaxation, relaxateur; Kippgenerator, Kippschwinger], — генератор электромагнитных колебаний, в схеме которого нет резонансных контуров. В Г. р. к. энергия пост. источника питания преобразуется в энергию колебаний с помощью накопит. элемента, к-рым является реактивность (емкость или индуктивность), и нелинейного активного элемента, роль к-рого выполняют газоразрядные или электровакуумные приборы, транзисторы и др. Если Г. р. к. имеет только один накопительный элемент (одна степень свободы), то колебания носят характер разрывных колебаний, когда этапы сравнительно медленного изменения тока или напряжения чередуются со скачкообразным их изменением. Г. р. к., имеющие неск. степеней свободы (много накопительных элементов), могут генерировать непрерывные колебания, близкие по форме к синусоидальным. Такие схемы Г. р. к. получили назв. *генераторов на сопротивлениях и емкостях*. Классич. примером Г. р. к. с одной степенью свободы является генератор с неоновой лампой (рис., а). В момент подключения батареи

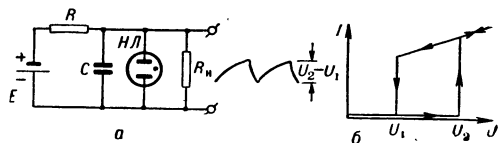


Схема генератора релаксац. колебаний на неоновой лампе (а) и хар-ка неоновой лампы (б).

Е через конденсатор С начинается протекать зарядный ток. В результате емкость заряжается до напряжения U_2 , соответствующего напряжению зажигания неоновой лампы (рис., б). После этого емкость быстро разряжается через малое сопротивление горячей неоновой лампы до тех пор, пока напряжение на ней не достигнет U_1 . В этот момент лампа гаснет, ток через нее прекращается, а ее сопротивление снова становится большим. Далее процессы заряда и разряда емкости повторяются. В рассмотр. схеме конденсатор,

играющий роль накопит. элемента, во время заряда отбирает энергию от источника питания, а разряжаясь, отдает ее на поддержание тока в неоновой лампе. Часть этой энергии рассеивается также в сопротивлении нагрузки R_n . Неоновая лампа выполняет роль клапана, регулирующего количество энергии, поступающей от источника к емкости и от емкости к нагрузке. «Клапан» в Г. р. к. должен иметь два устойчивых положения: «открыт» и «закрыт»; эти состояния должны различаться между собой по значениям энергии, накопленной в емкости. Поэтому, чтобы схема могла работать, используемый в ней «клапан» должен «открываться» при одном значении напряжения на емкости, а «закрывается» при другом. Неоновая лампа обладает таким свойством.

В импульсной технике роль «клапана» с успехом выполняют также электронные лампы, транзисторы, туннельные диоды и др. Амплитуда релаксац. колебаний определяется хар-кой «клапана» и зависит от ее размаха. Частота колебаний в Г. р. к. зависит от скорости обмена энергией между источником, накопителем и нагрузкой. Продолжительность этих процессов определяется временем релаксации, однозначно зависящим от параметров системы. В рассмотренном примере временами релаксации являются пост. времени заряда конденсатора (RC) и постоянная времени разряда конденсатора (rC), где r — внутр. сопротивление неоновой лампы в зажженном состоянии.

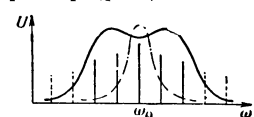
Существенное различие между генераторами электрич. колебаний, имеющими в своем составе колебат. контуры, и Г. р. к. состоит в том, что в Г. р. к. энергия, запасаемая в реактивном элементе-накопителе в течение каждого периода расходуется практически полностью, в то время как в резонансном контуре имеет место лишь пополнение сравнительно небольших потерь колебат. энергии за период. В зависимости от типа накопителя и конструкции схемы можно создать большое количество Г. р. к., различающихся между собой по форме, длительности и частоте повторения импульсов. Наиболее широко известные Г. р. к. — *мульти vibratorы* всех типов, *блокинг-генераторы*, *генераторы разверток* и др.

Релаксац. колебания могут происходить и в механич. системах. Типичным представителем Г. р. к. механич. типа является пневматич. молоток. Здесь роль накопителя выполняет масса поршня, способная запасать кинетич. энергию и отдавать ее при ударе. Роль клапана выполняет распределит. устройство, к-рое в зависимости от положения поршня направляет поток сжатого воздуха в нужном направлении.

Лит.: Ипхок Я. С., Импульсные устройства, М., 1959; Харкевич А. А., Автоколебания, М., 1954; Генерирование электрических колебаний специальной формы, пер. с англ., М., 1951. К. С. Ржевский.

ГЕНЕРАТОР С ЗАДЕРЖАННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ (delay feedback generator; oscillateur à réaction retardée; Verzögerter Rückkopplungsgenerator) — автогенератор с линией задержки в цепи обратной связи. Г. с з. о. с. может генерировать *гармонические колебания* на одной частоте или одновременно на нескольких. Схема Г. с з. о. с. состоит из трех основных частей: лампы, колебат. системы и *линии задержки* в цепи обратной связи. Желательно, чтобы линия задержки,

производящая дополнит. фазовый сдвиг колебаний, поступающих по цепи обратной связи на вход генераторной лампы, имела линейную фазовую хар-ку. В этом случае величина фазового сдвига колебаний нек-рой частоты ω на выходе линии задержки будет прямо пропорциональна величине разности между резонансной частотой колебат. системы ω_0 и частотой ω . Благодаря этому условия баланса фаз, необходимые для самовозбуждения колебаний в автогенераторе, будут выполняться для колебаний целого ряда равноотстоящих друг от друга частот, лежащих в полосе пропускания Δf колебательной системы генератора. Разность фазовых сдвигов ($\Delta\varphi_{n+1} - \Delta\varphi_n$), вносимых линией задержки для соседних частот, генерируемых Г. с з. о. с., должна составлять 360° . Для устойчивой генерации Г. с з. о. с. ряда равноудаленных друг от друга частот необходимо также, чтобы амплитудная частотная характеристика его колебат. системы имела седлообразный характер (рис.). В этом случае будет происходить равномерное и достаточное усиление амплитуд колебаний с частотами, близкими к резонансной частоте колебат. системы Г. с з. о. с., и ослабление колебаний с частотами, лежащими за пределами ее полосы пропускания. При односторонней форме резонансной характеристики колебат. системы и узкой полосе Δf Г. с з. о. с. будет генерировать колебания только одной частоты ω_0 , т. к. в этом случае не будет обеспечиваться достаточное усиление колебаний с частотами, даже близкими к резонансной.



Лит.: Штейн Н. И., Автогенераторы гармонических колебаний, М.—Л., 1961. Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ, с внешним возбуждением (separately excited generator; générateur à excitation séparée, générateur à excitation indépendante; Generator mit Fremderregung), — усилитель электромагнитных колебаний высокой частоты. Г. с н. в. применяется для усиления по мощности колебаний генератора задающего в передатчиках, пром. установках индукц. нагрева, медицине, биологии, эксперимент. физике и др. Основными элементами простейшей схемы (рис.) являются: электронная лампа L_1 , резонансный

ников питания (внутр. сопротивление и выходная емкость) войдут в состав цепей ВЧ и будут влиять на работу схемы.

Для повышения выходной мощности и КПД в Г. с н. в. применяется режим колебаний второго рода (см. Генератора режимы работы). В этом случае лампа работает с отсечкой анодного тока в одном из режимов АВ, В или С в зависимости от выбранных величин напряжений смещения и возбуждения (см. Классы усиления). Анодный ток лампы имеет форму остроугольных импульсов, протекающих в анодной цепи в течение нек-рой части периода колебаний напряжения возбуждения. Анодный ток такой формы (i_a) содержит в себе пост. составляющую I_{a0} и перем. токи основной I_{a1} и высших I_{an} гармоник частоты напряжения возбуждения (см. Спектр частот)

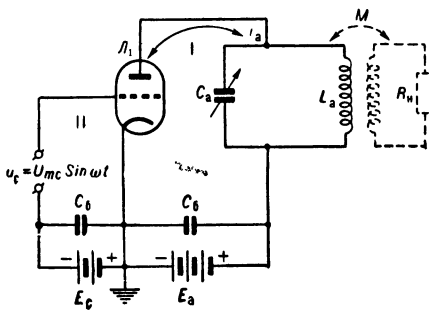
$$i_a = I_{a0} + I_{a1} \cos \omega t + I_{a2} \cos 2\omega t + \dots$$

Относит. величина амплитуды гармоник, составляющей анодного тока (I_{an}) определяется коэфф. разложения α_n , зависящим от величины угла отсечки: $I_{an} = \alpha_n I_{a \text{ макс}}$. Анодный контур Г. с н. в. настраивается на первую гармонику анодного тока лампы. Под воздействием этой гармоники в колебат. контуре генератора выделяется полезная мощность P_1 . Она наз. колебат. ельной. Мощность, отдаваемая схемой Г. с н. в. от источника анодного питания P_0 , наз. подводимой мощностью. Разность между подводимой и колебат. мощностью является мощностью потерь P_a . Основную ее часть составляет мощность, рассеиваемая на аноде лампы в виде тепла, а также мощность, идущая на нагрев остальных элементов схемы: $P_a = P_0 - P_1$. КПД Г. с н. в. равен отношению его колебат. мощности к мощности, потребляемой от источника анодного питания (подводимой мощности). В зависимости от соотношения между величинами положительного напряжения на управляющей сетке лампы и напряжения на ее аноде все режимы работы Г. с н. в. разделяются на недонапряженный, критический и перенапряженный. Анализ работы Г. с н. в. при разных режимах производится по динамическим характеристикам генератора. КПД Г. с н. в. и выходная мощность зависят от величины угла отсечки анодного тока и степени напряженности режима генератора.

Лит.: Дробов С. А., Радиопередающие устройства, [2 изд.], М., 1951; Модель З. И., Радиопередающие устройства, [3 изд.], М., 1961. Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ, автогенератор (self-excited oscillator; oscillateur à auto-excitation; Generator mit Selbsterregung, selbsterregter Schwingungserzeuger), — генератор незатухающих электромагнитных колебаний, в котором колебания поддерживаются за счет подачи части напряжения с выхода схемы на ее вход по цепи обратной связи. Г. с с. применяются в качестве первоисточника электрич. колебаний (задающего генератора) в электронной аппаратуре различного назначения. Частота и амплитуда колебаний Г. с с. полностью определяются параметрами его электрич. схемы, т. е. Г. с с. является полностью автономной колебат. системой (автогенератором)

Для возбуждения колебаний в анодном контуре простейшего Г. с с. на триоде



колебат. контур $L_a C_a$, настроенный на частоту усиливаемого сигнала, сеточный E_c и анодный E_a источники питания. В Г. с н. в. источники питания шунтируются блокировочными конденсаторами C_0 большой емкости. При отсутствии этих конденсаторов параметры источ-

(рис. 1, а) необходимо подвести к управляющей сетке лампы перем. напряжение возбуждения с амплитудой U_{mc} . Это напряжение, будучи усиленным лампой, выделяется на анодном контуре Г. с с., настроенном на его частоту. В Г. с с. напряжение возбуждения снимается с анодного контура и по цепи обратной связи вновь поступает на управляющую сетку лампы. Мощность, расходуемая при этом в цепи управляющей сетки лампы, составляет незначит. часть мощности, выделяющейся в анодном контуре лампы. Необходимая для устойчивой работы Г. с с. величина напряжения возбуждения устанавливается путем соответствующего выбора величины коэф. обратной связи $K = U_{mc}/U_{ma}$. Минимальная обратная связь, при к-рой еще возможно осуществить самовозбуждение колебаний в схеме Г. с с., наз. критической. Для поддержания устойчивых колебаний в схеме Г. с с. обратная связь должна быть положительной, т. е. перем. напряжения на сетке и аноде L_1 должны быть сдвинуты по фазе на 180° . Требуемый сдвиг фаз в схеме Г. с с. достигается соответствующим подсоединением элементов цепи обратной связи. Напр., в Г. с с. с индуктивной связью (рис. 1, а) необходимый сдвиг фаз обеспечивается правильным подсоединением концов катушки обратной связи L_2 .

Колебания в схеме Г. с с. возбуждаются после ее включения след. образом: в момент включения анодного напряжения лампы в контуре под воздействием толчка тока возникают затухающие электр. колебания с частотой, равной собственной частоте контура. Эти колебания наведут в катушке обратной связи L_2 , индуктивно связанной с L_1 , перем. напряжение той же частоты, к-рое поступит на управляющую сетку L_1 . В результате анодный ток лампы начнет изменяться с частотой колебаний, возникших в ее анодном контуре. В установившемся режиме работы Г. с с. энергия источников питания будет передаваться в контур электронной лампы через ее анодный ток и восполнять потери энергии на омич. сопротивлениях его элементов, а также энергию, отдаваемую Г. с с. в нагрузку. Амплитуда незатухающих колебаний в установившемся режиме определяется величиной обратной связи, *добротностью* (потерями) контура и режимом работы генераторной лампы L_1 . Она возрастает с увеличением коэф. обратной связи K , добротности контура Q и анодного напряжения лампы E_a . Частота колебаний f_0 (Мгц), генерируемых Г. с с., определяется параметрами его колебательного контура:

$$f_0 = 159/\sqrt{L_1 C_1},$$

где L_1 — индуктивность контура (мкгн); C_1 — емкость конденсатора контура (мкмкф).

По способу осуществления обратной связи Г. с с. подразделяются на генераторы с индуктивной (рис. 1, а), автотрансформаторной (рис. 1, б) и емкостной (рис. 1, в) обратной связью. Схемы Г. с с. с автотрансформаторной и емкостной обратной связью наз. трехточечными схемами, т. к. в них контур подклю-

чается к лампе тремя своими точками. Все вышеперечисл. схемы Г. с с. образуют группу 1-контурных Г. с с. Др. группа — 2-контурные Г. с с. (рис. 2) имеют настроенные контуры в цепи анода и сетки лампы. Обратная связь в них осуществляется либо через внут-

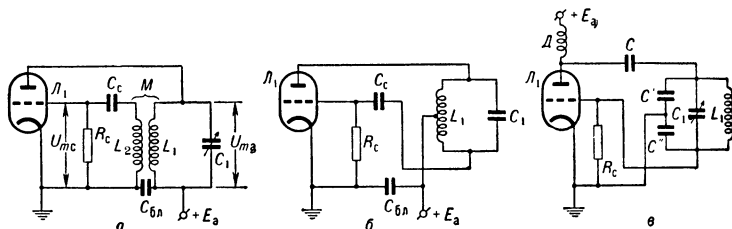


Рис. 1. Одноконтурные схемы генератора с самовозбуждением: а — с индуктивной связью; б — с автотрансформаторной связью; в — с емкостной связью.

риламповую емкость между анодом и управляющей сеткой (C_{ca}), либо через внешнюю емкость, параллельную ей (рис. 2). В схемах Г. с с. обычно применяется критич. режим работы (см. *Генераторы режимы работы*),

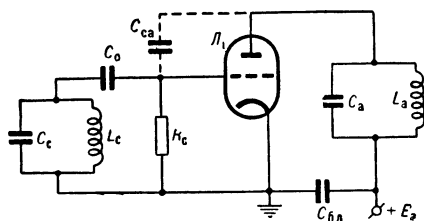


Рис. 2. Двухконтурная схема генератора с самовозбуждением.

обеспечивающий постоянство амплитуды и достаточную стабильность частоты колебаний генератора. Для повышения стабильности частоты Г. с с. применяется кварцевая стабилизация (см. *Генератор кварцевый*).

Выходная мощность Г. с с. может быть повышена при использовании *двухтактных* схем и схемы с электронной связью (схемы Шембеля). В этой схеме (рис. 3) на *тетраде*

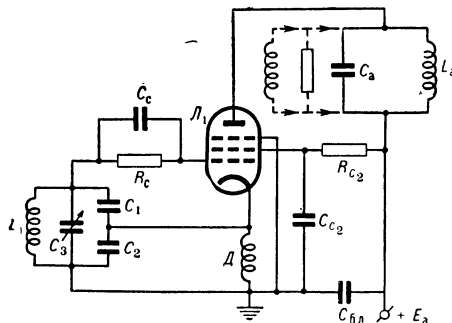


Рис. 3. Схема Шембеля.

или *пентоде* катод, управляющая и экранная сетки вместе с сеточным колебат. контуром L_1, C_1, C_2, C_3 образуют обычную 3-точечную схему Г. с с. с емкостной обратной связью, у к-рой роль анода играет экранная сетка L_1 . Верхняя часть лампы с внешним анодным контуром L_a, C_a образует генератор с независимым возбуждением, усиливающий

колебания автогенераторной части схемы. Обе части схемы Шембеля связаны друг с другом через общий электронный поток внутри лампы. В качестве автогенераторной части в схеме Шембеля может также быть использована любая из схем рис. 1. Схема Шембеля получила большое распространение; при ней нестабильность частоты f с. с. меньше, т. к. верхняя ее часть является *буферным каскадом*, развязывающим собственно автогенератор от нагрузки; для повышения стабильности частоты в схеме Шембеля вместо анодного контура применяется дроссель или активное сопротивление, хотя в этом случае снижается мощность, отдаваемая схемой в нагрузку.

Лит.: Д р о б о в С. А., Радиопередающие устройства, [2 изд.], М., 1951; Е в т я н о в С. И., Радиопередающие устройства, М., 1950; М о д е л ь З. И., Радиопередающие устройства, [3 изд.], М., 1961. Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (ultra high frequency generator; générateur ultra-haute fréquence; Ultrahochfrequenz-generator, Höchsthäufigkeitsgenerator, Mikrowellenoszillator, Mikrowellengenerator) — генератор электромагнитных колебаний от 100 Мгц и выше. Генераторы СВЧ широко применяются в передатчиках (*генераторы задающие, генераторы с независимым возбуждением*) и приемниках (гетеродины) различного назначения метровых, дециметровых, сантиметровых и миллиметровых диапазонов радиоволн, а также в измерит. аппаратуре СВЧ (*генераторы стандартных сигналов*). Выбор типа генератора определяется диапазоном частот: на метровых и дециметровых волнах применяются ламповые генераторы на триодах, а на сантиметровых и миллиметровых — генераторы СВЧ, в к-рых работа электровакуумных приборов основана на явлении инерции электронов. В диапазоне сантиметровых волн появились новые типы генераторов СВЧ, в к-рых используется взаимодействие высокочастотных полей с атомами или молекулами вещества.

Ламповые генераторы СВЧ обладают рядом особенностей по сравнению с обычными ламповыми генераторами высокой частоты. Эти особенности связаны как с условиями работы электронных ламп, так и с количественными соотношениями между параметрами их колеб. контуров. Они сказываются в построении электрич. схем генераторов и в конструктивном их оформлении. Для повышения частоты генерируемых колебаний уменьшают величины индуктивности L_k и емкости C_k колеб. контура генератора. На СВЧ L_k и C_k становятся уже сравнимыми с величинами междueleктродных емкостей и индуктивностей вводов генераторной лампы. С укорочением длины волны эти параметры лампы начинают оказывать все возрастающее влияние на резонансную частоту колеб. контура генератора, входя как составляющие части в значения его L_k и C_k и кладя предел их уменьшению. Поэтому в генераторах СВЧ применяются спец. лампы с небольшими междueleктродными емкостями и с дисковыми вводами, имеющими малую индуктивность.

Помимо этого, с увеличением частоты в колебательной системе генератора СВЧ возрастают активные потери энергии за счет *поверхностного эффекта*, потерь в диэлектрике изоляторов и элементов конструкции, а также по-

терь на излучение. Потери на излучение связаны с тем, что на СВЧ размеры проводников, соединяющих различные элементы и детали схемы генератора, становятся сравнимыми с длиной волны. Поэтому проводники начинают приобретать свойства *антенны* и излучать электромагнитную энергию. Для борьбы с этим явлением необходимо тщательно экранировать схему генератора и особенно его колебательный контур, а на дециметровых и сантиметровых волнах применять замкнутые объемные контуры в виде отрезков коаксиальной линии (см. *Резонатор коаксиальный*) или полых резонаторов (см. *Резонатор объемный*). В таких контурах токи высокой частоты протекают только по внутренней поверхности замкнутого объема и поэтому излучение энергии в окружающее пространство отсутствует. Все вышеперечисленные факторы приводят к снижению кпд и выходной мощности ламповых генераторов СВЧ при укорочении рабочей длины волны.

Другим немаловажным явлением, ограничивающим верхний частотный предел применения ламповых генераторов СВЧ, является инерция электронов, в силу к-рой в диапазоне СВЧ время пролета электронов между электродами лампы становится сравнимым с периодом колебаний; это приводит к уменьшению управляющего действия сетки, увеличению мощности, расходуемой в цепи сетки и уменьшению входного сопротивления лампы (сопротивления участка управляющая сетка-катод). В результате высокочастотная мощность, расходуемая в цепи сетки, может возрасти настолько, что сравняется с мощностью, выделяющейся в анодном контуре лампы. Тем самым лампа теряет свои усилит. и генераторные свойства. Для борьбы с этим явлением необходимо до предела уменьшать расстояния между электродами лампы. В этом смысле наиболее подходящими являются триоды, в к-рых эти расстояния могут быть сделаны минимальными, и инерция электронов начинает сказываться лишь на весьма высоких частотах. Конструкции современных СВЧ триодов, применяемых для генераторов СВЧ, позволяют проектировать ламповые генераторы до частот порядка 3000 Мгц (т. н. *маячковые лампы*).

В диапазонах сантиметровых и миллиметровых волн применяются электровакуумные приборы, основанные на др. принципах управления электронным потоком (см. *Генератор клистронный, Генератор магнетронный, Генератор на лампе бегущей волны*). Применение в качестве генератора СВЧ устройств, основанных на взаимодействии ВЧ полей с атомами и молекулами различных веществ, позволяет получить качественно новые источники СВЧ колебаний с недостижимыми ранее высокими стабильностями частоты, чрезвычайно низкими уровнями собственных шумов и др. особенностями (см. *Молекулярный генератор, Атомные эталоны частоты, Квантовый усилитель*).

Лит.: Д р о б о в С. А., Радиопередающие устройства, [2 изд.], М., 1951; Ш т е й н Н. И., Автогенераторы гармонических колебаний, М.—Л., 1961. Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР СИНУСОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ (sine-wave generator; générateur à onde synusoidale; Sinusgenerator, Sinusoszillator) — см. *Генератор электромагнитных колебаний, Автоколебания, Генератор с само-*

возбуждением, Генератор на сопротивлениях и емкостях.

ГЕНЕРАТОР СТАНДАРТНЫХ СИГНАЛОВ, ГСС (standard-signal generator; générateur de signal-standard; Meßoszillator, Standard-signal-generator, Eichgenerator, Eichgeber, Meßsender), — генератор, создающий в диапазоне высоких частот электромагнитные колебания, калиброванные по форме, частоте и величине выходного напряжения или мощности. Все параметры сигнала — частота, амплитуда напряжения или мощность и глубина модуляции могут изменяться в широких пределах, но точно известны для каждой настройки. ГСС позволяют определять коэфф. усиления усилителей, снимать их частотные и амплитудные хар-ки; определять чувствительность, избирательность, полосу пропускания, ослабление по зеркальному каналу и каналу промежуточной частоты радиоприемника. Кроме того, ГСС применяются для питания ВЧ колебаниями линий передачи при измерении коэфф. стоячей или бегущей волны, полных сопротивлений, а также при построении диаграмм направленности антенных систем. Выходной сигнал в ГСС регулируется от долей mB до 1 B по напряжению и от единиц или долей BT до 10^{-13} — 10^{-14} BT по мощности. ВЧ колебания модулируются по амплитуде синусоидальным или импульсным напряжением или синусоидальным напряжением по частоте. В случае гармоник. АМ глубина модуляции изменяется от 10 до 80—100%. При ИМ изменяется длительность τ и частота повторения F импульсов и их амплитуда; при ЧМ — девиация частоты и частота модуляции. Во всех пром. ГСС предусмотрена возможность модуляции ВЧ колебаний от внешнего источника.

Основным элементом схемы ГСС (рис.) является генератор ВЧ, градуированный по частоте, с плавно меняющейся настройкой. В диапазоне длинных, средних и коротких

волн звуковой частоты. В ГСС диапазонов длинных, средних и коротких волн применяется модуляция на экранирующую и защитную сетки, в УКВ диапазоне — чаще анодная модуляция. Напряжение на модулятор подается от генератора звуковой частоты или от генератора импульсов. Глубина модуляции устанавливается изменением выходного напряжения модулятора. Модулированное напряжение ВЧ подается на делитель выходного напряжения или выходной мощности. Уровень на входе делителя устанавливается по показаниям лампового вольтметра или (в диапазоне СВЧ) по балансу термисторного моста. Относительно этого уровня производится последующее ослабление напряжения или мощности. В диапазоне длинных, средних и коротких волн применяются делители напряжения потенциометрич. типа, состоящие из ступенчатого и плавного делителя. Ступенчатый делитель дает ослабление ступенями с кратностью 10, плавный позволяет регулировать напряжение в пределах каждой ступени. В УКВ диапазоне применяются делители емкостного и предельного типов, в диапазоне СВЧ — предельного и поглощающего типов. Выходные делители ГСС рассчитаны на определенную нагрузку, и их градуировка справедлива только при этой нагрузке.

В отличие от ГСС генераторы сигналов, применяемые также в качестве источника калиброванного сигнала, имеют значительно большую выходную мощность (до 2—3 BT), но менее точную градуировку выходного напряжения или мощности и более низкую стабильность частоты. Специфич. требованием, предъявляемым к ГСС, является возможно более низкий уровень напряженности паразитных электромагнитных полей, создаваемых ими в окружающем пространстве. Эти поля могут наводить в испытываемой аппаратуре паразитные эдс и искажать результаты измерений.

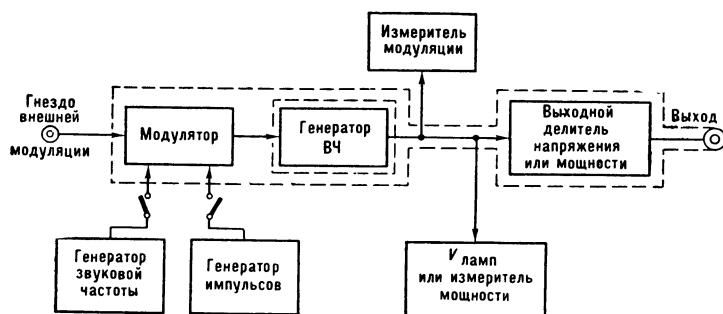
Ослабление паразитных излучений достигается тщательной экранировкой генератора ВЧ и всего прибора в целом.

Лит.: Ремез Г. А., Курс основных радиотехнических измерений, М., 1955.

Р. В. Фельдман.

ГЕНЕРАТОР ТИРАТРОННЫЙ (thyatron generator; générateur à thyatron; Stromtorimpulsgeber, Gastriodenimpuls-generator, Thyatronimpulserzeuger) — генератор электромагнитных колебаний

низкой частоты, в котором электрич. энергия пост. тока преобразуется тиратроном в энергию колебаний низкой частоты. Существуют 2 типа Г. т. — генераторы релаксационных колебаний и преобразователи пост. тока (инверторы). Г. т. 1-го типа применяются в схемах разверток ЭЛТ, в осциллографах и в индикаторных устройствах радиолокац. и навигац. аппаратуры для генерации переменного напряжения пилообразной формы (генератор пилообразного напряжения). Г. т. 2-го типа преобразуют большие мощности пост. тока в мощность перемен. тока в промышл. системах передачи пост. тока высокого напряжения на большие расстояния, в установках для питания электропоездов на ж.-д. транспорте и др. Г. т. в преобразоват.



волн маломощный генератор работает на обычных лампах и контурах с сосредоточ. параметрами. В УКВ диапазоне применяются высокочастотные триоды типа «жолудь», маячковые и металло-керамич. триоды. На частотах свыше 200—300 MHz колебл. системами служат коаксиальные линии или объемные резонаторы. В качестве генераторов в диапазоне СВЧ используются отражат. клистроны. Градуировка по частоте ГСС в диапазонах длинных, средних, коротких волн и УКВ наносится непосредственно на шкалах, связанных с элементами настройки колебл. систем. В диапазоне СВЧ частота клистронного генератора устанавливается с помощью резонансного волномера, являющегося составной частью ГСС. Модулятор представляет собой уси-

режиме применяется также в устройствах автоматики для управления скоростью синхронных и индукц. двигателей путем изменения частоты питающего напряжения. Изменение частоты выходного напряжения Г. т. осуществляется регулированием сеточного напряжения тиратрона. Частотный предел применения Г. т. ограничен инерционностью тиратрона, к-рая определяется сравнительно большим временем ионизации заполняющего его газа. Г. т. могут работать до частот порядка 10—20 кГц. Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР ТРАНЗИТРОННЫЙ (transitron oscillator; oscillateur transitron; Transित्रonoszillator, Transित्रon-schaltung) — генератор незатухающих колебаний, в котором используется падающий участок вольт-амперной характеристики между катодом и экранирующей сеткой в многоэлектродных лампах (пентод, гексод, гептод и т. д.), работающих в транзитронном режиме. При больших отрицат. напряжениях U_3 на антидинатронной сетке (рис. 1, а) электроны не прохо-

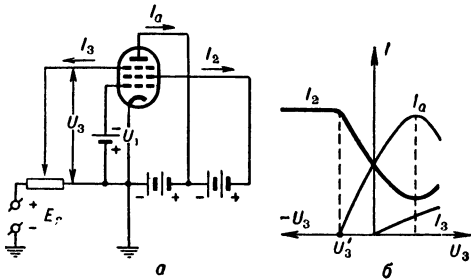


Рис. 1. Транзитронный эффект: а — принципиальная схема; б — характеристики.

дят на анод, и поэтому полный ток катода равен току экранирующей сетки I_2 (рис. 1, б). При нек-ром небольшом отрицат. напряжении U_3 часть электронов начинает проходить через антидинатронную сетку, благодаря чему появляется анодный ток I_a , а ток экранирующей сетки начинает уменьшаться, — появляется падающий участок. При положит. значениях U_3 возникает ток антидинатронной сетки I_3 и начинается вторичная эмиссия электронов из анода. Поток вторичных электронов, попадая на экранирующую сетку, увеличивает ток I_2 , в результате чего образуется нижний загиб хар-ки. Падающий участок

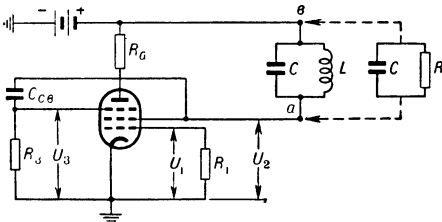


Рис. 2. Схема транзитронного генератора.

хар-ки $I_a = f(U_3)$ эквивалентен наличию отрицат. сопротивления (см. *Сопротивление отрицательное*) между экранирующей сеткой и катодом (транзитронный эффект; от лат. transitus — прохождение).

Практич. схемы Г. т. (рис. 2) питаются от одной анодной батареи. При этом необходимо,

чтобы напряжение на аноде было меньше напряжения на экранирующей сетке, а разность потенциалов между 2-й и 3-й сетками не менялась в процессе работы. Первое условие обеспечивается выбором достаточно большого сопротивления R_a , второе — выбором достаточно большой емкости C_{cb} , при к-рой пост. времени $C_{cb}R_a$ была бы много больше периода собств. колебаний Г. т. Напряжения U_1 и U_2 оказываются близкими к нулю. Поскольку емкость C_{cb} велика и не оказывает заметного сопротивления токам высокой частоты, между точками «ав» появляется отрицат. дифференциальное сопротивление, соответствующее падающему участку хар-ки $I_a = f(U_3)$ (рис. 1, б). Если абс. значение отрицат. сопротивления неск. меньше резонансного сопротивления контура LC , то в схеме возникают гармонич. колебания с частотой, близкой к собств. частоте контура.

Г. т. может быть применен для генерирования релаксат. колебаний, близких по форме к прямоугольным. Для этого вместо колебат. контура к точкам «ав» достаточно подключить цепочку RC (пунктир на рис. 2). Г. т. могут быть также построены на многоэлектродных смесит. лампах. В этом случае удается обеспечить большую крутизну на падающем участке хар-ки.

Лит.: Мигулин В. В., Ястребцова Т. Н., «ЖТФ», 1948, т. 18, вып. 5, с. 603.

ГЕНЕРАТОР УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ — см. *Ультразвуковой ламповый генератор*, *Ультразвуковой машинный генератор*, *Ультразвуковой генератор импульсный*.

ГЕНЕРАТОР ЧАСТОТЫ для систем телемеханики (frequency modulated telecontrol system generator; générateur de fréquence pour télécommande; FM-Generator, Frequenzmodulationsgenerator) — функциональный узел, вырабатывающий заданный избират. признак сигнала (частоту) в системах с частотным разделением сигналов. Г. ч. обычно имеют одну или неск. фиксированных частот, выбираемых в тональном или подтональном диапазоне. Как Г. ч. используют различные источники перем. тока (напряжения) от электромашинных до полупроводниковых с выходной мощностью от 10^{-4} Вт до 10—20 кВт. Электромашинные Г. ч. применяются для циркулярной передачи команд по распределит. сетям электроснабжения. В телемеханич. системах, предназначенных для работы по типовым физ. и уплотненным каналам или радиотрассам, применяются Г. ч. на электронных лампах или ПП приборах. Основные требования к Г. ч. предъявляются по стабильности частоты, выходной мощности и величине клирфактора. Уход частоты при заданных пределах изменения внешних условий не должен превышать 1,0%, а в ряде случаев и меньше, изменение выходной мощности 20—40%, клирфактора 3—10%. Наибольшее распространение получили электронные и ПП Г. ч. с LC -контурами или RC -фазосдвигающими цепями, используемые как задающие генераторы с последующим усилением индивидуальными или групповыми усилителями. Для согласования колебат. LC -контура с нагрузкой Г. ч. на ПП выполняются однокаскадными, слабо связанными с нагрузкой (рис.). Элементами колебат. контура являются конденсаторы повышенной стабильности и сердечники с малыми потерями

(альсиферные тороиды ТЧ-60 или броневые сердечники из оксифера ОБ-30 с воздушным зазором). Полупроводниковые и электронно-ламповые RC -Г. ч. применяются в тональном и подтональном диапазоне. В фазосдвигающих цепях RC -Г. ч. используются высокостабильные детали. ПП Г. ч. этого класса, как правило, включают двухкаскадный усилитель, один из каскадов к-рого обеспечивает согласование входного и выходного сопротивления фазосдвигающей цепи. Для повышения стабильности частоты, особенно в подтональном диапазоне, используются ламповые и ПП Г. ч. с электромеханич. резонаторами (камертонные, язычковые или струнные вибраторы) из спец. температуростабильных материалов. Перестройка одного Г. ч. на неск. фиксированных частот осуществляется изменением параметров колебательного контура или фазосдвигающей RC -цепи. Перестраиваемые Г. ч. применяются только при установке элементов шифратора (напр., ключей управления) непосредственно в общей конструкции с передающим устройством. Более универсальные решения с переключением частот посредством

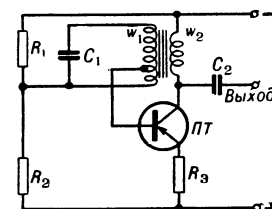


Схема полупроводникового LC -генератора.

дистанц. управления реализуются набором Г. ч., каждый из к-рых имеет одну фиксированную частоту. В Г. ч. применяются различные схемные и конструктивные решения.

Лит.: Мамиконов А. Г., Гешелин М. Г., Телемеханика в нефтяной и газовой промышленности, М., 1961; Манолев А. П., Иравин Г. И., Основы телеуправления и телеконтроля, М.—Л., 1959; Катков Ф. А., Многочастотные узкополосные системы телеуправления, 2 изд., Киев, 1961. А. А. Левин.

ГЕНЕРАТОР ШУМА (noise generator; *générateur de bruit*; Geräuscherzeuger, Rauschgenerator) — генератор случайных непериодич. колебаний, предназначенный для имитации реальных шумовых процессов. Г. ш. применяются: 1) для определения коэфф. шума и предельной чувствительности радиоприемных устройств, помехоустойчивости систем автоматич. регулирования и телеуправления, предельной дальности радиолокац. и радионавигац. систем; 2) в акустике, напр. для маскировки звуков при определении артикуляции, измерении времени реверберации помещений, коэфф. звукопоглощения различных материалов, снятия частотных хар-к громкоговорителей и микрофонов; 3) в качестве калиброванных источников мощности при измерении интенсивности др. случайных процессов, напр. атмосферных помех или шумов внезапного происхождения в радионавигации. Основными хар-ками генерируемых шумовых сигналов являются: спектральная хар-ка, к-рая определяет распределение мощности шума в области генерируемых частот (т. е. плотность мощности спектра, измеряемая в ваттах на единицу полосы частот), и амплитудная или вероятностная хар-ка, определяющая закон распределения мгновенных флюктуаций амплитуды. Спектральный состав колебаний на выходе Г. ш. практически равномерен в полосе частот, в к-рой работает данный Г. ш. Применяемые

на практике Г. ш. позволяют перекрыть очень широкую полосу частот от инфразвуковых до СВЧ порядка $5 \cdot 10^4$ Мгц (рис. 1). По спектру генерируемых частот Г. ш. можно разделить на узкополосные и широкополосные,

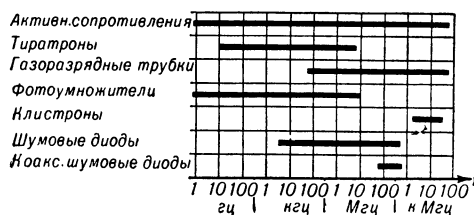


Рис. 1.

инфранизкочастотные, видеочастотные и сверхвысокочастотные. Вероятностная хар-ка любого первичного источника шумов обычно подчиняется нормальному (гауссовому) закону распределения. В некоторых случаях, когда требуется другая вероятностная хар-ка (напр., релеевского типа), в состав Г. ш. вводят корректирующее устройство.

По схемному выполнению Г. ш. можно разделить на две группы: 1) Г. ш. на усилителях с линейными фильтрами (рис. 2, а) и 2) Г. ш. с применением нелинейных элементов (рис. 2, б).

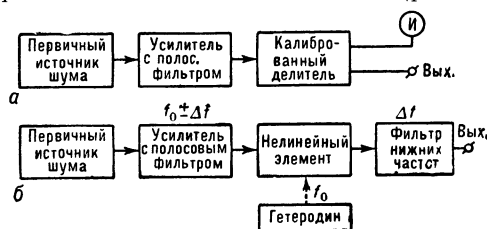


Рис. 2.

Первичными источниками шума для всех схем чаще всего служат газоразрядные элементы — тиратроны и газоразрядные трубки, к-рые обладают наибольшим уровнем шума и позволяют совместно перекрыть всю область радиочастот. Применяются также шумовые диоды и фотоумножители. В тиратронах и газоразрядных трубках газ при прохождении тока находится в состоянии плазмы, состоящей из электронов и положит. ионов. Электроны в плазме под действием ускоряющего электр. поля приобретают значит. скорости; однако, соударяясь с положит. ионами и взаимодействуя с др. электронами, они совершают беспорядочное движение, образуя электронный газ, к-рый вследствие случайных движений электронов генерирует шумовое напряжение. Средней энергии движения электронов соответствует определ. шумовая темп-ра (см. Шумы) электронного газа, к-рая характеризует величину генерируемого шума. Т. к. шумовая темп-ра в неск. десятков раз больше темп-ры самого газа, к-рым наполнен прибор, то газоразрядные приборы обладают высокими шумовыми качествами. Тиратроны при средней шумовой темп-ре порядка 7500—15 000°K создают на нагрузке выходное напряжение от неск. десятых до единиц вольт при полосе шумов от десятков гц до 6—7 Мгц. Обычно тиратроны работают в поперечном магнитном поле пост.

магнита, устанавливаемого таким образом, чтобы магнитные силовые линии в зазоре были перпендикулярны направлению тока через тиратрон. Наличие магнитного поля уменьшает собственные колебания ионов в плазме, что, в свою очередь, уменьшает неравномерность спектральной хар-ки шумов и увеличивает их выходное напряжение в 5—10 раз. Газоразрядные трубки, имея шумовую темп-ру примерно 11 500—12 000°K, позволяют перекрыть диапазон от сотен кГц до $5 \cdot 10^4 \text{ МГц}$. Фотозлектронные умножители создают шумовые токи за счет дробового эффекта фототока (см. *Флуктуационные процессы в электронных приборах*). Величина напряжения шума достигает десятых долей мВ в полосе частот от единиц Гц до 5—6 МГц при более равномерной спектральной хар-ке, чем у тиратронов. Шумовые диоды, работая в режиме насыщения, дают за счет дробового эффекта шумовой ток в диапазоне частот от сотен Гц до 300—400 МГц . Эффективное значение этого тока значительно меньше, чем у фотозлектронных умножителей. Однако Г. ш. на диодах просты в исполнении и настройке и позволяют получить хорошую точность при измерениях коэфф. шума. В сантиметровом диапазоне волн в качестве источника узкополосного шума иногда используются отраж. клистроны, работающие в режиме отсутствия колебаний при малом токе и высоком напряжении.

При построении Г. ш. по схеме рис. 2,а шумовое напряжение, создаваемое первичным источником, усиливается усилителем с полосовыми фильтрами, перестройка к-рых позволяет изменять полосу шумов на выходе. След. элементами схемы являются калиброванный делитель и измеритель уровня шума. Такая схема используется для Г. ш., работающих в диапазоне видеочастот. Генераторы низкочастотного и инфранизкочастотного шума обычно строятся по схеме рис. 2,б. Нелинейным элементом служит смеситель или, реже, ограничитель. Наибольшее распространение получил метод преобразования с переносом спектра. Усилитель с полосовым фильтром усиливает напряжение первичного источника шума до величины, необходимой для нормальной работы смесителя, и одновременно «вырезает» полосу частот $2\Delta f$. При настройке гетеродина на центральную частоту полосового фильтра f_0 на выходе смесителя, в результате преобразования появятся шумовые составляющие низких частот в полосе, равной Δf , к-рые и подаются на выход через фильтр нижних частот. Последний препятствует попаданию на выход ВЧ шумовых составляющих, создающихся на выходе смесителя в полосе $2(f_0 \pm \Delta f)$. Измерителями уровня шума служат измерители мощности, напр. ламповый вольтметр на диоде, работающем на квадратичном участке хар-ки. В диапазоне СВЧ применяются болометрич. и термисторные измерители мощности.

Лит.: Тетерич Н. М., Генераторы шума, М.—Л., 1961; Кузьмин А. Д., Измерение коэфф. шума приемноусилительных устройств, М.—Л., 1955. Р. В. Фельдман.

ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ (electronic generator; oscillateur électronique; oscillateur à tubes électroniques; Schwingungserzeuger, Schwingungsgenerator) — генератор, преобразующий механич. энергию или электрич. энергию пост. тока (или тока промышл. частоты) в энер-

гию электромагнитных колебаний различной формы. Преобразование энергии в Г. э. к. происходит при помощи электрической машины или электронных, ионных и полупроводниковых приборов. В зависимости от диапазона генерируемых частот различают генераторы низкой (звуковой) частоты (от долей Гц до 100 кГц), генераторы высокой частоты (от 100 Гц до 100 МГц) и генераторы сверхвысокой частоты (от 100 МГц и выше). Для генерирования мощных электрич. колебаний промышл. частот (50 Гц , 400 Гц , 800 Гц , 1000 Гц , 2000 Гц и др.) применяются электромашинные Г. э. к. (напр., генераторы машинные повышенной частоты для индукционного нагрева, генераторы импульсов электромашинные для электроэрозионной обработки). Выходная мощность Г. э. к. определяется их назначением. Она лежит в пределах от единиц мВт до тысяч кВт . В Г. э. к. малой мощности широко используются полупроводниковые приборы (генераторы на полупроводниковых приборах). В качестве колебательных систем электронных Г. э. к. используются резонансные LC-электрич. контуры с сосредоточенными или распределенными постоянными, а также RC-цепочки (в генераторах звуковой частоты).

По форме генерируемых колебаний Г. э. к. разделяются на генераторы синусоидальных колебаний и генераторы несинусоидальных колебаний (генераторы релаксационных колебаний, генераторы пилообразного напряжения, генераторы пилообразного тока, генераторы импульсов и др.). Генераторы синусоидальных колебаний находят применение во всех диапазонах частот. Г. э. к. малой мощности используются в измерит. аппаратуре (генераторы низкой частоты, генераторы стандартных сигналов, в гетеродинных волномерах и др.) и в качестве гетеродинов в супергетеродинных приемниках (супергетеродинах). Мощные Г. э. к. высокой и сверхвысокой частоты используются в радиопередатчиках, промышл. установках индукционного нагрева, медицине, биологии. Г. э. к. несинусоидальных колебаний применяются в радиоаппаратуре различного назначения (генераторы развертки, генераторы импульсов, генераторы меток и др.). Г. э. к. различных типов широко применяются в эксперим. физике. По принципу работы Г. э. к. подразделяются на генераторы с самовозбуждением (автогенераторы) и генераторы с независимым возбуждением. Для повышения постоянства частоты колебаний Г. э. к. применяется кварцевая стабилизация частоты (см. *Генератор кварцевый*). Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ [electrostatic generator, influence machine; générateur électrostatique, générateur à accumulation de charges (Van de Graaf); Influenzmaschine, elektrostatischer Generator, Influenz-elektroskopmaschine, Van-de-Graaf-Generator, Bandgenerator] — электрич. машина, преобразующая механич. энергию в электрич. благодаря механич. перемещению электрич. зарядов. Движение при этом происходит против сил электрич. поля, на что затрачивается механич. энергия и в результате чего происходит преобразование энергии. Механич. перенос электрич. зарядов против сил электрич. поля возможен, если заряды связаны нек-рыми силами с движущимся телом или средой, т. н. транспортером. Принципиально

транспортёром могут служить твердые тела, жидкости и газы. Практич. применение получили твердые транспортёры. Попытки использовать для переноса зарядов потоки газа не привели пока к созданию удовлетворит. по экономич. показателям генераторов.

Простейший Г. э. с проводящим дисковым транспортёром схематически дан на рис. 1.

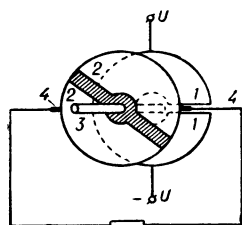


Рис. 1. Схема простейшего электростатического генератора.

Здесь 1 — два изолированных друг от друга неподвижных полудиска системы возбуждения, к к-рым подведено пост. напряжение возбуждения U . В параллельной плоскости расположены два таких же полудиска 2, вращающихся вокруг оси 3. По аналогии с электромеханическими генераторами неподвижные полудиски или др. подобные по назначению части машины наз. статором, а подвижные — ротором. С полудисками ротора соприкасаются щетки 4, к к-рым подключена нагрузка генератора. В пространстве между статором и ротором при включенном напряжении возбуждения возникает электр. поле, а на полудисках ротора индуцируются заряды разных знаков. Величина этих зарядов максимальна при совпадении положения щелей ротора и статора. При взаимно перпендикулярном расположении щелей заряды равны нулю, а при повороте на 180° заряд каждого полудиска ротора опять достигает максимума, но с переменной знака. Т. о., при вращении ротора происходит изменение зарядов полудисков, что сопровождается током в цепи нагрузки. Поскольку при этом щетки попеременно касаются обоих полудисков, то в нагрузке будет протекать ток неизменного направления.

При вращении ротора взаимная емкость между данными полудисками ротора и каждым из полудисков статора периодически изменяется в определ. пределах. Это изменение емкости является непременным условием преобразования механич. энергии в электр. при использовании электр. поля. Поэтому исторически сложившийся термин «Г. э.» целесообразно заменить на генератор емкостный, учитывая, кроме того, невозможность преобразования механич. энергии в электр. в электростатич. поле (поле покоящихся зарядов).

В простейшей схеме дискового Г. э. (рис. 1) используется только одна сторона поверхности ротора. Если диск ротора поместить между двумя дисками статора, подавая на них напряжение возбуждения, то будет использоваться вся поверхность ротора и мощность возрастет вдвое. Подобные простейшие элементы Г. э. могут быть соединены между собой, т. е. число дисков ротора, сидящих на одной оси, увеличено с одного до m , а число дисков статора — с двух до $m + 1$. При этом мощность возрастет в m раз. Дальнейшее увеличение мощности можно получить, разбивая диски ротора на $2p$ секторов. При этом на статоре должно быть p секторов того же размера. Упрощенная схема подобного генератора с двумя дисками и пятью секторами

приведена на рис. 2. Увеличение мощности в многосекц. генераторе обусловлено тем, что цикл генератора в этом случае завершается не за один оборот, а за часть оборота, равную $1/p$.

Мощность генератора определяется не только указанными конструктивными особенностями и скоростью вращения, но и плотностью энергии электр. поля в рабочих зазорах машины. Последняя связана с величиной напряжения возбуждения и соответствующим

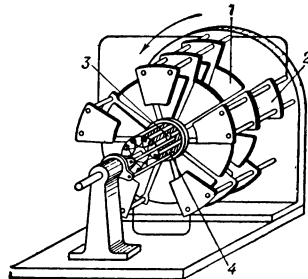


Рис. 2.

Рис. 2. Схема многосекторного многосекторного электростатического генератора: 1 — транспортёр (ротор); 2 — статор; 3 и 4 — щетки.

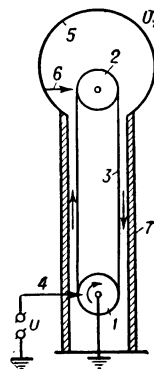


Рис. 3.

Рис. 3. Схема ленточного электростатического генератора.

ему значением напряженности электр. поля в пространстве между элементами ротора и статора. Предельная величина напряженности определяется электрической прочностью среды (напр., газа), заполняющей пространство между ротором и статором. Поскольку электр. прочность возрастает с увеличением давления газа, Г. э. обычно заполняется газом под давлением. Однако при этом увеличиваются потери на трение при вращении ротора. В наименьшей степени это увеличение потерь имеет место при применении водорода, к-рым поэтому часто заполняется Г. э.

Элементами проводящего транспортёра (ротора) могут быть также части поверхности цилиндра или стержни. В соответствии с этим различают цилиндрич., дисковые и стержневые Г. э. с проводящим транспортёром. Первые выполняются на мощности в десятки *вт*, вторые — сотни *вт*, третьи — порядка 1 *квт*. Г. э. могут изготовляться также и с транспортёром из диэлектрика в виде дисков, цилиндров или ленты. Наиболее широко распространенная конструкция Г. э. с транспортёром-диэлектриком — генератор с движущейся лентой, схематич. изображенный на рис. 3. На шкивах 1 и 2 натянута бесконечная лента 3 из изолирующего материала, приводимая в движение нижним шкивом. Напряжение возбуждения U присоединено к зарядному устройству 4, к-рое представляет собой коронирующий электрод (металлич. гребенку). Униполярный поток ионов, образующийся в коронном разряде, обеспечивает зарядку поверхности ленты. Лента переносит заряды вверх, где с помощью коронирующего электрода 6 заряды снимаются с ленты и передаются на металлич. кондуктор 5, поддерживаемый изолирующей колонной 7. Для повышения выходного напряжения Г. э. с движущейся лентой обычно помещается в атмосферу сжатого газа. Для наполнения ленточных ге-

нераторов используются в последнее время чаще всего смеси: азот — углекислота, азот — шестифтористая сера (элгаз) или углекислота — шестифтористая сера. Ленточные Г. э. выполняются на напряжение от 1—2 млн. в до 6 млн. в. Известны отдельные Г. э. и на более высокое напряжение — до 10 млн. в. Токи ленточных Г. э. обычно составляют десятки мка и лишь в отдельных случаях — сотни мка.

Г. э. с транспортером-диэлектриком в виде цилиндра наз. роторным. Он, так же как и роторный Г. э. с транспортером-проводником, обычно заполняется водородом при давлении 10—20 ат. Существенные успехи в создании типовых роторных Г. э. достигнуты в последнее время в Гренобльском ун-те (Франция). Фирма SAMES (Гренобль) выпускает серийные Г. э. разных типов и размеров на напряжения от 45 до 600 кВ и мощности от 50 до 3500 вт. Г. э. представляют собой компактные, надежные и недорогие источники высокого постоянного напряжения. Поэтому они находят широкое применение на практике: роторные Г. э. — в различных установках электронной технологии (электроокраски, электрообогащения, электрогазоочистки, электровосстановления и др.), а также в телевидении и радиолокации; ленточные Г. э. — гл. обр. в ядерной физике в ускорителях частиц прямого действия, нейтронных генераторах, инжекторах для циклич. ускорителей, а также в рентгентехнике, рентгенокристаллографии и металлографии, дефектоскопии.

Дальнейшее развитие Г. э. должно быть направлено по пути повышения удельных мощностей и доведения их до величин, соответствующих удельным мощностям электромагнитных генераторов. С этой целью должны разрабатываться новые, более совершенные конструкции Г. э., исследоваться возможности применения новых диэлектрич. материалов, изучаться и развиваться методы и конструкции систем зарядки транспортеров. Решение этих задач вызвано тенденцией применить Г. э. в нек-рых новых областях науки и техники (напр., в качестве мощного источника высокого напряжения для ракетных ионных двигателей).

Лит.: В о р о б ъ е в А. А. [и др.], Высоковольтное испытательное оборудование и измерения, М.—Л., 1960; П о л о т о в с к и й Л. С., Емкостные машины постоянного тока высокого напряжения, М.—Л., 1960 (библ. 138 назв.); Электростатические генераторы. Сб. статей, под ред. А. К. Вальтера, М., 1959.

В. И. Левитов.

ГЕНЕРАТОРА РЕЖИМЫ РАБОТЫ (generator regime; régime de fonctionnement de générateur; Generatorbetriebsverhalten, Generatorarbeitsweisen) — условия работы лампового генератора, определяющие форму импульса анодного тока, колебательное напряжение, кпд и выходную мощность. Различают две группы Г. р. по форме анодного тока и по величине тока в цепи управляющей сетки генератора. Форма анодного тока генератора определяется выбором нач. рабочей точки на статич. сеточной характеристике электронной лампы и зависит от сеточного тока лампы. Если рабочая точка и напряжение возбуждения (см. Генератор

с самовозбуждением и Генератор с независимым возбуждением) выбраны так, что рабочая точка лежит на середине прямолинейного участка сеточной хар-ки лампы, а амплитуда напряжения возбуждения не выходит за пределы ее прямолинейного участка, то такой

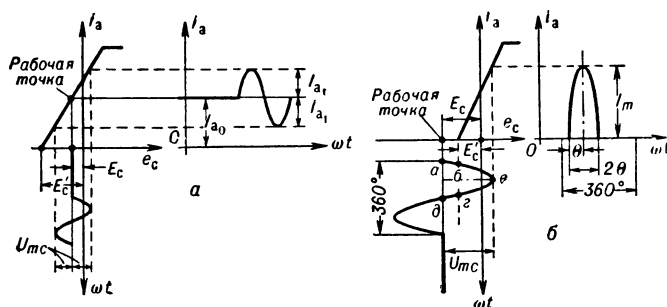


Рис. 1. Виды режимов работы генератора: а — режим колебаний 1-го рода; б — режим колебаний 2-го рода.

режим наз. режимом колебаний 1-го рода (рис. 1, а). При таком Г. р. форма анодного тока лампы совпадает с формой напряжения возбуждения в цепи ее управляющей сетки. Если рабочая точка выбрана за пределами прямолинейного участка сеточной хар-ки лампы (или ее амплитуда напряжения заходит за пределы прямолинейного участка сеточной хар-ки), то режим наз. режимом колебаний 2-го рода (рис. 1, б). Режим колебаний 1-го рода характеризуется низким кпд генератора (не превышающим 50%). Поэтому он применяется в маломощных усилителях напряжения, где главной целью является получение неискаженной формы сигналов. Основным Г. р. является режим колебаний 2-го рода, обеспечивающий гораздо более высокий кпд. В этом случае генератор работает как усилитель мощности. При работе в режиме колебаний 2-го рода происходит искажение формы анодного тока лампы: она перестает соответствовать форме напряжения возбуждения на управляющей сетке лампы. Анодный ток протекает в виде отдельных остроконечных импульсов (рис. 1, б). При отсутствии напряжения возбуждения на управляющей сетке лампа заперта, т. к. напряжение смещения E_c по абс. величине превышает напряжение отсечки идеализиров. сеточной хар-ки лампы E'_c . При подаче на управляющую сетку лампы напряжения возбуждения $u_c = U_{mc} \sin \omega t$ лампа открывается в момент, когда оно достигнет величины, равной $E_c - E'_c$ (точка б на графике). В анодной цепи L_1 потечет ток i_a . Величина его будет возрастать до макс. значения I_m по мере увеличения u_c (от точки б до точки в на графике). Затем i_a начинает уменьшаться и, при уменьшении u_c до величины $E_c - E'_c$, ток прекратится совсем (точка г на графике). Т. о., анодный ток через L_1 будет протекать только в течение нек-рой части периода колебаний на управляющей сетке лампы, определяемой углом 2θ . Величины θ и I_m зависят от амплитуды напряжения возбуждения на управляющей сетке лампы и величины напряжения смещения рабочей точки от начала сеточной хар-ки лампы ($E_c - E'_c$). Половина основания импульса анодного тока θ , выра-

женная в градусах, наз. углом отсечки анодного тока; импульсы такой формы обладают спектром с многочисленными гармонич. составляющими:

$$i_a = I_{a_0} + I_{a_1} \cos \omega t + I_{a_2} \cos 2\omega t + \dots,$$

где I_{a_0} — пост. составляющая тока, ω — круговая частота напряжения возбуждения. Относит. величина амплитуды тока любой гармоники (I_{a_i}) определяется величиной т. н. коэффициента разложения импульса (α_i), к-рый, в свою очередь, зависит от угла отсечки θ (рис. 2). Коэфф. разложения импульса

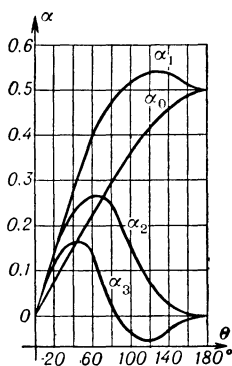


Рис. 2. График для определения коэфф. разложения импульсов анодного тока.

для i -той гармоники равен отношению амплитуды тока этой гармоники (I_{a_i}) к амплитуде импульса анодного тока (I_m). Из графика (рис. 2) видно, что макс. амплитуде тока каждой гармоники анодного тока соответствует своя опт. величина угла отсечки θ . Так, напр., для получения макс. амплитуды 1-й гармоники анодного тока необходимо работать с углом отсечки, равным 120° . Оптим. угол отсечки $\theta_{\text{опт}}$ для n -й гармоники анодного тока равен $\theta_{\text{опт}} = 120^\circ/n$, где $n = 1, 2, 3, \dots$ В зависимости от величины тока в цепи управляющей сетки лампы различают следующую группу Г. р. р.: недонапряженный, критический, перенапряженный.

Степень напряженности Г. р. р. характеризуется коэффициентом использования анодного напряжения ξ , к-рый показывает, какую часть напряжения источника анодного питания E_a составляет напряжение U_{ma} на анодном контуре генератора: $\xi = U_{ma}/E_a$. В недонапряженном режиме электронная лампа работает с небольшим (порядка 4—5% от анодного) сеточным током. Генератор работает с небольшой амплитудой перем. напряжения на анодном контуре (не более 75—80% от пост. напряжения источника питания анодной цепи лампы, т. е. $\xi = 0,80$); при этом величина миним. напряжения на аноде лампы значительно превышает величину положит. напряжения на управляющей сетке. Недонапряженный режим имеет место при малом эквивалентном сопротивлении колебл. контура генератора (вследствие его низкой добротности), а также при малой амплитуде напряжения возбуждения на управляющей сетке лампы. В недонапряж. режиме кпд генератора мал, вследствие чего значит. часть мощности, отбираемой от источника анодного питания, рассеивается на аноде лампы в виде тепла. С увеличением колебл. напряжения на анодном контуре генератора (при увеличении, напр., добротности контура) степень напряж. режима генератора повышается. Одновременно растет кпд генератора, облегчается тепловой режим анода лампы и повышается колебл. мощность в контуре. Когда амплитуда напряжения на контуре достигает 85—90% от пост. напряже-

ния источника анодного питания ($\xi = 0,85—0,9$), величина остаточного напряжения на аноде лампы становится примерно равной макс. положит. напряжению на управляющей сетке лампы. Такой режим работы генератора наз. критическим. При критич. (или пограничном) режиме работы мощность, отдаваемая генератором, приближается к макс. значению при достаточно высоком кпд. В критич. режиме работы сеточный ток лампы возрастает, становится равным 10—15% от анодного (в генераторах на триодах) и 5—8% (в генераторах на тетродах или пентодах).

В перенапряж. режиме работы генератора напряжение на его колебл. контуре возрастает до 90% и более от напряжения анодного питания ($\xi \geq 0,9$). При этом макс. положит. напряжение на управляющей сетке лампы (равное сумме напряжения смещения и возбуждения) уже превышает величину остаточного напряжения на аноде лампы. Импульс анодного тока искажается и заметно уменьшается. Сеточный ток еще более возрастает. При значит. перенапряженности в режиме происходит даже провал середины импульса анодного тока и он приобретает двугорбый вид. В слабо перенапряженном режиме импульс тока генератора искажается только слегка, и от лампы можно получить неск. большую мощность, чем в критич. режиме. При сильно перенапряж. режиме за счет провала верхушки импульса анодного тока величина напряжения на контуре падает. Это приводит к снижению мощности, отдаваемой генератором, но при сохранении достаточно высокого кпд. Расчет Г. р. р. производится по динамическим характеристикам генератора.

Лит.: Дробов С. А., Радиопередающие устройства, [2 изд.], М., 1951; Евтянов С. И., Радиопередающие устройства, М., 1950; Модель З. И., Радиопередающие устройства, М., 1961. Ю. Б. Любченко.

ГЕНЕРАТОР-ДВИГАТЕЛЬ СИСТЕМА, система Г-Д, система Леонарда (motor-generator set; groupe convertisseur, groupe Ward-Leonard; Motorgenerator, Umformergruppe, Leonard-Regelsatz, Leonard-Maschinensatz, Leonardschaltung), — система элек-

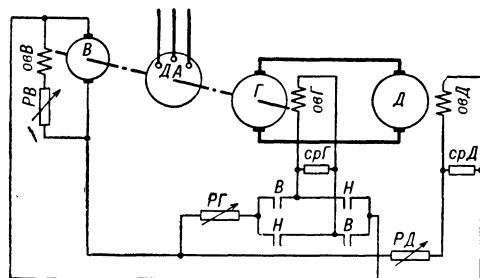


Рис. 1. Схема системы Г-Д.

тропривода, в к-рой исполнит. электродвигатель пост. тока независимого возбуждения питается от генератора также независимого возбуждения. Генератор Г вращается асинхронным или синхронным электродвигателем ДА (рис. 1). Машины в системе Г-Д обычно возбуждаются от возбудителя В. В установках большой мощности применяется также ионное возбуждение в системе генератор-двигатель. Пуск двигателя Д производится по-

степенным повышением напряжения генератора Γ реостатом $РГ$ в цепи возбуждения или включением обмотки возбуждения генератора $овГ$ сразу на полное либо даже на повышенное напряжение. Реверс $Д$ (изменение направления его вращения) производится изменением полярности Γ путем перемены направления тока в $овГ$ переключением контакторов направления $В$ и $Н$. При уменьшении возбуждения Γ или при отключении

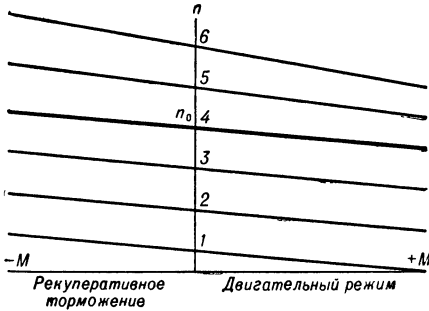


Рис. 2. Механич. хар-ки двигателя в системе Г-Д. 1, 2, 3 — хар-ки при $\Phi_{ДВ} = \Phi_{Н}$ и различных $U_{Г}$ ($U_{Г1} < U_{Г2} < U_{Г3} < U_{ГН}$); 4 — естеств. хар-ка ($\Phi_{ДВ} = \Phi_{Н}$, $U_{Г} = U_{Н}$); 5, 6 — хар-ки при $U_{Г} = U_{Н}$ и различных $\Phi_{ДВ}$ ($\Phi_{ДВ5} < \Phi_{ДВ6} < \Phi_{Н}$).

$овГ$ (для чего необходимо иметь сопротивление гашения поля $срГ$) эдс Γ станет меньше эдс $Д$, $Д$ перейдет в режим генератора, Γ — в режим двигателя, и будет иметь место кратковрем. рекуперация энергии в сеть до момента уравнивания эдс Γ и $Д$. $Д$ А, передавая энергию в сеть, будет работать в режиме асинхронного или синхронного генератора.

Ур-ние скоростной хар-ки (см. Механические характеристики электродвигателей) электродвигателя в системе Г-Д:

$$n = n_0 - \frac{R_0}{k_e \Phi_{ДВ}} I; \text{ механич. характеристики:}$$

$$n = n_0 - \frac{R_0}{k_e k_M \Phi_{ДВ}^2} M; n_0 = \frac{U_{Г}}{k_e \Phi_{ДВ}},$$

где $\Phi_{ДВ}$ — магнитный поток двигателя $Д$; n — скорость вращения двигателя (об/мин); n_0 — скорость идеального хх двигателя; k_e , k_M — постоянные, зависящие от конструктивных параметров электрич. машин системы; I — ток в якоре электродвигателя; $U_{Г}$ — напряжение генератора; R_0 — сопротивление цепи якорей генератора и двигателя. Хар-ки 1–4 (рис. 2) параллельны между собой, т. к. для них $\Phi_{ДВ} = \text{const}$. Хар-ки 5 и 6 получены при ослаблении $\Phi_{ДВ}$. Они идут тем круче, чем меньше $\Phi_{ДВ}$. Устойчивый режим рекуперативного торможения $Д$ может быть получен, если $Д$ имеет скорость вращения, большую n_0 , достигаемую, напр., при опускании груза в подъемном механизме.

В системе Г-Д получают пределы регулирования скорости напряжением Γ (при $\Phi_{ДВ} = \text{const}$) — до 1:10 вниз от основной; полный диапазон регулирования скорости с учетом ослабления $\Phi_{ДВ}$ — до 1:30, причем ослаблением $\Phi_{ДВ}$ скорость регулируется вверх от основной. Пределы регулирования скорости $Д$ могут быть значительно расширены, а жесткость хар-к увеличена применением средств автоматич. регулирования, напр. электромашиного управления электроприводом с

использованием усилителей магнитных и др. Система Г-Д обладает хорошими динамич. свойствами, допуская получение разнообразных хар-к в переходных режимах. Скорость $Д$ регулируется воздействием на ток возбуждения Γ . Принимая хар-ку намагничивания Γ прямолинейной и пренебрегая вихревыми токами в массивном магнитопроводе Γ , получим ур-ние его тока возбуждения:

$$i = I_y (1 - e^{-\frac{t}{T_B}}) + I_1 e^{-\frac{t}{T_B}}.$$

Здесь I_1 , I_y — нач. и установившееся значения тока возбуждения; $T_B = L_B/R_B$ сек — электромагнитная постоянная времени цепи возбуждения Γ . Ускорение процесса изменения тока возбуждения достигается форсировкой возбуждения (рис. 3). Коэфф. форсировки $\alpha = \frac{U_{В \text{ макс}}}{U_{ВН}} = \frac{I_{В \text{ макс}}}{I_{ВН}} = \frac{r_B + r_{\Phi}}{r_B}$. Форсировка снимается посредством реле $РФ$, к-рое срабатывает при повышении $U_{Г}$ примерно до номин. значения $U_{ГН}$. Обычно $\alpha \leq 3$, т. к. дальнейшее

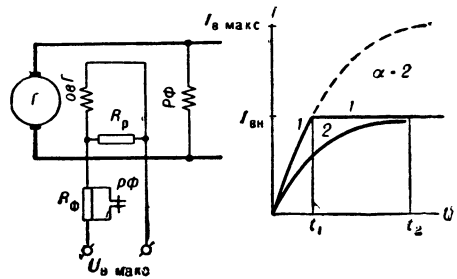


Рис. 3. Схема форсировки и кривые тока: 1 — при форсировке; 2 — без форсировки.

его увеличение мало эффективно. Существует неск. способов (динамич. емкость, встречное включение эдс Γ и др.), при к-рых α , сначала большой, уменьшается в процессе пуска двигателя.

Переходный процесс изменения скорости $Д$ при изменении тока возбуждения Γ описывается ур-нием:

$$n = \alpha n_{0y} - \frac{\alpha n_{0y} - n_{0H}}{T_B - \theta} \left(T_B e^{-\frac{t}{T_B}} - \theta e^{-\frac{t}{\theta}} \right) + (\Delta n_{cy} - \Delta n_{сн}) e^{-\frac{t}{\theta}} - \Delta n_{cy}.$$

Здесь n_{0H} , $\Delta n_{сн}$ — скорость идеального хх и перепад скорости при начальном моменте $M_{сн}$; n_{0y} , Δn_{cy} — те же величины в установившемся режиме при статич. моменте M_{cy} ; $\theta = \frac{GD^2 R_0}{375 C_e C_M}$ — электромеханич. пост. времени привода (секунд). В ур-нии дополнительно принято: электромагнитная постоянная главной цепи $T_0 = \frac{L_0}{R_0} = 0$, $\Phi_{ДВ} =$

$= \text{const}$. При наличии статич. момента M_c двигатель $Д$ начинает вращаться только после достижения током главной цепи значения I_c , при к-ром момент двигателя становится равным M_c (рис. 4). Приведенное ур-ние для n

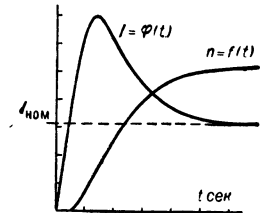


Рис. 4. Кривые скорости и тока при пуске двигателя.

является общим. Оно пригодно для всех режимов, в т. ч. для режима изменения нагрузки и для пуска, если время отсчитывать от начала трогания привода. Ур-ние для тока главной цепи системы Г-Д:

$$I = \frac{(\alpha I_{\text{кУ}} - I_{\text{кН}})^{\eta}}{T_{\text{в}} - \eta} \left(e^{-\frac{t}{T_{\text{в}}}} - e^{-\frac{t}{\eta}} \right) + I_{\text{с}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\eta}} \right) + I_{\text{н}} e^{-\frac{t}{\eta}}.$$

Здесь $I_{\text{кУ}} = \frac{E_{\text{У}}}{R_0}$, $I_{\text{кН}} = \frac{E_{\text{Н}}}{R_0}$ — токи кз при установившемся режиме и в начале переходного процесса; $I_{\text{с}}$ — статич. ток; $I_{\text{н}}$ — ток при начале переходного процесса. Это — общее ур-ние, пригодное для всех режимов, а также и для пуска, если время отсчитывать от момента трогания привода. В этом случае $I_{\text{с}} = I_{\text{н}} = I_{\text{кН}}$ и ур-ние получает вид:

$$I = \frac{(\alpha I_{\text{кУ}} - I_{\text{с}})^{\eta}}{T_{\text{в}} - \eta} \left(e^{-\frac{t}{T_{\text{в}}}} - e^{-\frac{t}{\eta}} \right) + I_{\text{с}}.$$

Максимум тока главной цепи при переходном процессе

$$I_{\text{макс}} = (\alpha I_{\text{кУ}} - I_{\text{кН}}) \left(\frac{\eta}{T_{\text{в}}} \right)^{\frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{в}} - \eta}} + I_{\text{с}}.$$

Время достижения током макс. значения

$$t_{\text{м}} = \frac{T_{\text{в}} \eta}{T_{\text{в}} - \eta} \ln \frac{T_{\text{в}}}{\eta}.$$

Реверс двигателя в системе Г-Д складывается из двух этапов: замедления от начальной скорости до нулевой и разгона от нулевой до установившейся рабочей скорости. При реверсе вхолостую ($M_{\text{с}} = 0$) переходный процесс описывается общими для обоих этапов уравнениями. При $M_{\text{с}} \neq 0$ каждый этап описывается своими ур-ниями, т. к. при переходе скорости через нуль $M_{\text{с}}$ меняет знак. Нелинейность хар-к намагничивания машин может быть учтена графоаналитич. методами.

Достоинства системы Г-Д: простота и экономичность управления пуском, реверсом, регулированием скорости, торможением; сравнит. легкость и малогабаритность аппаратуры управления; отсутствие значит. потерь энергии на управление; большой диапазон и плавность регулирования скорости; возможность получения оптим. переходных процессов и увеличение благодаря этому производительности оборудования. Недостатки системы: сравнительно низкий кпд (0,6—0,8) вследствие трехкратного преобразования энергии; большая установл. мощность машин и высокая стоимость оборудования; значит. расходы по обслуживанию и ремонту. Система Г-Д применяется для напряженно работающих приводов с большим числом включений в час, для приводов с широким регулированием скорости и с особыми требованиями к регулированию скорости (изменение по определенному закону, согласованное вращение, автоматич. поддержание постоянства скорости и др.). В совр. установках система Г-Д обычно сочетается с электромашиными, магнитными, полупроводниковыми и др. усилителями и регуляторами.

Лит.: Андреев В. П., Сабчин Ю. А., Основы электропривода, М.—Л., 1956; Морозов Д. П., Теория электропривода и автоматика реверсивных станков, М.—Л., 1949. Г. И. Хализев.

ГЕНЕРАТОРНАЯ ЛАМПА [oscillator tube (valve), oscillation tube; lampe oscillatrice, tube oscillateur; Oszillatorröhre, Schwingröhre, Senderröhre] — электронная лампа с продольным электростатич. управлением, применяемая в ламповых генераторах для преобразования электрич. энергии пост. или перем. тока в электрич. энергию перем. тока радиочастоты. Г. л. употребляются в передающих устройствах радиосвязи, радиовещания, радиолокации, радионавигации, телевидения, радиоастрономии, радиометеорологии, радиогеологии, радиохимии, радиоуправления и в высокочастотной технике (для индукционного нагрева проводников, диэлектриков и ПП), в высокочастотном транспорте, в ускорителях заряженных частиц. Принцип действия Г. л. такой же, как и у *приемно-усилительных ламп*, но они обладают рядом конструктивных и технологич. особенностей. Простейшая Г. л. — триод — содержит катод, являющийся источником термоэлектронной (а иногда автоэлектронной) эмиссии, сетку — для управления электронным потоком с катода и анод, являющийся приемником (коллектором) электронов. Эти электроды находятся в газонепроницаемой оболочке в высоком вакууме порядка 10^{-5} — 10^{-7} мм рт. ст. Катод — проволочный (прямой, петлевой или спиральный) или трубчатый, изготавливается из тугоплавких металлов (вольфрам, торированный карбидированный вольфрам, тантал) или никеля (чистого или с различными присадками), покрытого смесью окисей щелочноземельных металлов. Сетка — проволочная (иногда пластинчатая — из тонких шайб), в виде спирали, беличьего колеса или чулка, изготавливается из тугоплавких металлов (молибдена, вольфрама, тантала или сплавов). Часто сетка Г. л. малой и средней мощности покрывается слоем веществ. Это делается с целью газопоглощения или для устранения термоэлектронной или вторичноэлектронной эмиссии с сетки. Анод Г. л. имеет вид открытого цилиндра или прямоугольного параллелепипеда, изготавливается из тугоплавких металлов (молибдена, тантала, ниобия и сплавов) или черного никеля, либо графитированного угля. В мощных Г. л. анод выполняется в виде стакана (из меди, феррохрома), имеющего гладкую или ребристую наружную поверхность. В СВЧ Г. л. аноды часто выполняются в виде стержня. Оболочка Г. л. бывает полностью или частично стеклянной или керамич., а в лампах с наружным анодом — частично медной или феррохромовой.

Мощность подводится к ламповому генератору от внешнего источника, в колебат. системе преобразуется большей частью в полезную. колебат. мощность; остальная же часть выделяется в виде тепла на аноде и сетке. Часть мощности расходуется на нагревание катода. Выделяемая внутри Г. л. мощность удаляется излучением или путем принудительного охлаждения (воздушным дутьем, жидкостью — обычно водой, водяным паром).

Г. л. классифицируются: 1) по диапазону генерируемых колебаний (длинноволновые, коротковолновые, ультракоротковолновые, дециметровые, сантиметровые), 2) по числу электродов (*триоды, тетроды, пентоды, комбинированные электронные лампы*), 3) по мощности (маломощные — до 50 вт, среднемощные — 50—5000 вт, мощные — более 5 кт,

обычно с наружным анодом с принудительным охлаждением), 4) по роду работы (непрерывной работы, импульсные), 5) по способу создания вакуума (запаянные, разборные, работающие при постоянной откачке их насосом), 6) по материалу оболочки (стеклянные, металлич., металлостеклянные, металлокерамич.). Ламповые генераторы создаются на основе триодов, тетродов и пентодов. В пентодах защитная сетка дает возможность повысить коэфф. использования анодного напряжения, т. е. снизить остаточное анодное напряжение при работе Г. л. и тем повысить кпд лампового генератора. Экранирующая и защитная сетки часто используются также и для модулирования колебаний, напр. в радиотелефонных передатчиках. Комбинированные Г. л.: двойные триоды, двойные тетроды, двойные пентоды (сочетание двух ламп в одной оболочке) используются в двухтактных схемах ламповых генераторов (особенно метрового диапазона), при этом часто экранирующая сетка делается общей. Иногда применяются Г. л. вида триод — пентод.

С уменьшением длины волны генерируемых колебаний конструкцию Г. л. требуется изменять в направлении уменьшения междуэлектродных емкостей, усиления вводов электродов, дополнительно нагружаемых емкостными токами, снижения диэлектрич. потерь в крепящих изоляторах и оболочке, а также в уменьшении времени пролета электронов в междуэлектродных промежутках и снижении индуктивности выводов (внутренних и наружных). Это имеет особенное значение для Г. л. СВЧ диапазона, где обычно применяются плоские кольцевые выводы электродов, плоские или стержневые (в виде беличьего колеса) сетки. При этом резонансная колеб. система с распределенными постоянными становится частью конструкции лампы («маячковые» лампы, резонаторы, лампы с тормозящим полем и т. п.). Особенно эффективными здесь являются металло-керамич. конструкции Г. л. с оксидным катодом косвенного накала и плоскими кольцевыми выводами. Керамика дает возможность снизить диэлектрич. потери, уменьшить и более точно выдерживать междуэлектродные расстояния, снизить габаритные размеры лампы, устранить менее надежный материал — стекло и связанные с ним затруднит. горячие операции по заварке.

Маломощные Г. л. по конструкции и технологии близки к приемно-усилительным лампам — это лампы массового, высоко механизированного и автоматизированного производства. Среднемощные Г. л. — серийного, менее механизированного производства. В них чаще применяется внутренний анод с естественным охлаждением. Мощные Г. л. — мелкосерийного производства, имеют наружный анод с принудительным охлаждением, металлостеклянную или металлокерамич. оболочку. Наиболее мощные лампы (сотни *квт*) иногда в связи с недостаточной герметичностью мест уплотнения делают разборными. Анодные напряжения Г. л. изменяются в пределах от сотен вольт до 20 *кв*: для маломощных — обычно до 500 *в*, для среднемощных — до 10 *кв* (для импульсных Г. л. до 30 *кв*) и мощных — до 20 *кв*.

Напряжение накала (катода) обычно не превышает 35 *в*, в маломощных Г. л. обычно используются катоды косвенного накала, а в остальных — катоды прямого накала.

Импульсные генераторные лампы, нашедшие широкое применение в радиолокации, радионавигации, радиоастрономии, радиогеологии (в основном в СВЧ диапазоне), работают импульсами длительностью от долей микросекунд до сотен миллисекунд при частоте повторения импульсов порядка 50—10000. Их характерная особенность — мощный катод (рассчитанный на импульсную работу) при маломощном аноде и повышенное анодное напряжение. Импульсные Г. л. изготавливаются на мощности в импульсе до неск. *Мвт*.

Развитие Г. л. началось с открытием в 1913 нем. ученым А. Мейснером возможности использования электронного триода для генерирования колебаний. Большая заслуга принадлежит русским, и в особенности советским, ученым и конструкторам, к-рыми разработаны и пущены в серийное заводское производство Г. л. ряда типов, особенно при освоении СВЧ диапазона волн. Все они нашли широкое применение в различных радиопередаточных устройствах. Более глубокое изучение процессов взаимодействия электронов с электромагнитными полями привело к появлению принципиально нового класса Г. л. с неэлектростатич. управлением (*магнетронов, клистронов, ламп обратной волны* и др.). Для этих приборов характерна работа при больших углах пролета и, следовательно, при больших междуэлектродных расстояниях.

Основные параметры Г. л.: выделяемая на аноде электрич. мощность, анодное напряжение, электронная эмиссия катода, напряжение и ток накала, крутизна, коэфф. усиления (коэфф. проницаемости), анодный ток при нулевом потенциале сетки, междуэлектродные емкости, предельная частота колебаний, прочность и стойкость Г. л., относит. безотказность, предельное механич. воздействие, долговечность, надежность, время готовности (время вступления в работу) и др.

Перспективы развития Г. л.: расширение применения электронной оптики ведет к улучшению междуэлектродного токораспределения и, следовательно, — к уменьшению мощности, подводимой к управляющей сетке (мощности возбуждения), электрич. мощности, выделяемой на электродах, повышению коэфф. использования анодного напряжения и кпд лампы. Применение металло-керамич. оболочки расширяет возможности конструирования Г. л., особенно метрового, дециметрового и сантиметрового диапазонов. Повышение эффективности катодов, кроме снижения мощности накала, ведет к повышению крутизны характеристик и повышению кпд. Потребуются тугоплавкие сплавы и спец. покрытия для устранения динаatronного эффекта и термоэлектронной эмиссии сеток.

Г. л. являются перспективными электронными приборами, обеспечивающими широкий диапазон частот электромагнитных колебаний, дающими преимущество перед др. видами электронных приборов.

Лит.: В л а с о в В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Ц а р е в Б. М., Расчет и конструирование электронных ламп, 2 изд., М.—Л., 1961; К о в а л е н к о В. Ф., Введение в электронику сверхвысоких частот, 2 изд., М., 1955; Ш п а н г е н б е р г К. Р., Электронные лампы, пер. с англ., [т.] 1—2, М., 1953—54; Т я г у н о в Г. А., Электровакуумные и полупроводниковые приборы, М.—Л., 1962; Электровакуумные приборы. Справочник, М.—Л., 1956; Б е р г А. И., Теория и расчет ламповых генераторов, М.—Л., 1932. А. Г. Александров.

ГЕНЕРАЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА в полупроводниках [charge carrier generation; *génération des porteurs électrisés* (des porteurs de charges); Ladungsträgererzeugung] — возникновение электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне вследствие возбуждения электронов. При возбуждении электронов из валентной зоны в зону проводимости одновременно появляются электроны и дырки проводимости. При возбуждении электронов на локальный уровень из валентной зоны или с локального уровня в зону проводимости возникают подвижные носители лишь одного знака. Г. н. з. осуществляется под действием тепловой энергии, различных видов излучения, ионизации, а также в сильном электрич. поле в результате ударной ионизации или туннельного перехода электрона из валентной зоны в зону проводимости при наклоне энергетич. зон (см. *Зинеровский пробой*).

Н. М. Ройзин.

ГЕПТОД, пентагрид (heptode; *heptode*; *Heptode*, *Siebenpolröhre*, *Pentagridröhre*), — семиэлектродная пятисеточная электронная лампа, применяемая в супергетеродинных радиоприемных устройствах для преобразования частоты колебаний. Г. содержит катод-источник и анод-приемник электронов и находящиеся между ними пять сеток (рис. 1). Первая (ближайшая к катоду) и третья сетки часто являются управляющими; вторая

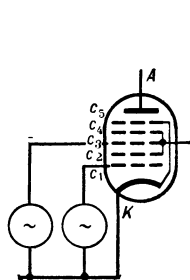


Рис. 1.

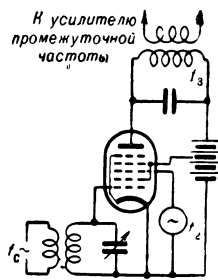


Рис. 2.

и четвертая — экранирующими; пятая — защитной (антидинаatronной), устраняющей вторичноэлектронную эмиссию с анода. Она часто присоединяется к катоду внутри лампы. Третья, четвертая и пятая сетки Г. представляют собою систему электродов (см. *Пентод*). Г. может быть использован в преобразовательных ступенях радиоприемников как смеситель или преобразователь частоты. В первом случае смешиваются два колебания — сигнал и вспомогат. колебание другой частоты, создаваемое гетеродином, работающим на отдельной лампе. Во втором случае генерируются колебания вспомогат. частоты и смешиваются с сигналом. При этом Г. заменяет две лампы: гетеродин (триод) и смеситель (гексод). Таким образом, Г. является лампой с двойным управлением анодным током. Усовершенствованием Г. является *октод* — лампа с восемью сетками. Иногда Г.-преобразователь может быть использован по такой схеме: первая и четвертая сетки — управляющие, вторая — анод гетеродина, третья и пятая — экранирующие.

Г.-смеситель обычно применяется по принципиальной схеме рис. 2. Напряжение сигнала частоты f_c подается в цепь первой

сетки. Переменное напряжение от отдельного местного генератора колебаний (гетеродина) с частотой f_2 подается в цепь третьей сетки, которая, являясь второй управляющей сеткой, вызывает изменения анодного тока путем изменения токораспределения в лампе. Под воздействием переменного напряжения третьей сетки крутизна хар-ки анодного тока по первой сетке изменяется с частотой f_2 . Поскольку при этом напряжение первой сетки изменяется с частотой f_c , в анодном токе возникает ряд переменных составляющих различных комбинационных частот. Из них колебат. контуром в анодной цепи выделяются колебания промежуточной частоты $f_2 - f_c$ (на к-рую этот контур настроен).

Г.-преобразователь обычно применяется по принципиальной схеме рис. 3. Напряжение сигнала подается в цепь третьей сетки. Первая сетка используется для получения вспомогат. колебаний высокой частоты, создаваемых

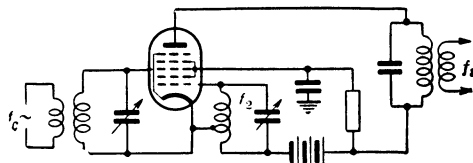


Рис. 3.

с помощью включенного в ее цепь колебательного контура (обычно по трехточечной схеме). При этом первая сетка лампы используется как управляющая сетка гетеродина, анодом к-рого является анод лампы и ее экранирующие сетки, заземленные по высокой частоте через конденсатор достаточно большой емкости. Переменный катодный ток (сумма токов электродов), протекая через часть катушки индуктивности колебат. контура гетеродина (в цепи первой сетки), вызывает на первой сетке переменный потенциал, воздействующий на катодный ток и поддерживающий переменное напряжение на колебат. контуре гетеродина. Частота гетеродина подбирается близкой к частоте принимаемого сигнала. Переменное напряжение гетеродина (первой сетки), воздействуя на электронный поток, проходящий сквозь вторую сетку и тормозящийся перед третьей сеткой, изменяет его плотность с частотой f_2 . Количество электронов, пролетающих сквозь третью сетку, зависит от потенциала на ней, изменяющегося с частотой f_c . При этом анодный ток Г. изменяется одновременно с частотой f_2 и f_c , т. е. в нем происходит смещение двух колебаний. Последующее выделение колебаний промежуточной частоты происходит в настроенном на эту частоту колебательном контуре, помещенном в цепь анода.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, 5 изд., М., 1954; С л е п я н Л. Б., Преобразование частоты и преобразовательные лампы, М., 1939.

А. Г. Александров.

ГЕРМАНИЙ, Ge (germanium; germanium; Germanium), — элемент IV гр. периодич. системы, являющийся одним из основных материалов III техники. Г. извлекается из надсмольных вод, смоляных отходов, германита $[\text{CH}_3(\text{Fe}, \text{Ge})\text{S}_4]$ или получается как побочный продукт при промышл. переработке цинковых руд или при сжигании угля в топках.

Полученный после хлорирования сырья тетрагидрид Г. (GeCl_4) очищается от побочных

продуктов в ректификац. колонках. Очищенный GeCl_4 гидролизуют и полученную чистую двуокись Г. (GeO_2) восстанавливают водородом. После зонной очистки (см. *Зонная плавка*) из слитков Г. получают монокристаллы (см. *Выращивание монокристаллов по Чохральскому*) с определенными параметрами: типом проводимости, уд. сопротивлением и диффузионной длиной (см. *Полупроводника измерение параметров*) для производства ПП приборов.

Г. — по хим. свойствам металлоид, по электрофизическим — ПП. В хим. соединениях может быть 2- и 4-валентным. Последний наиболее устойчив (при 25°). При 600—700° быстро окисляется на воздухе и в кислороде. Легко соединяется при нагревании с галогенами Г., растворяется: в щелочном растворе H_2O_2 , в HNO_3 , в царской водке (в смеси HF и HNO_3), в расплавленных щелочах, разъедается концентрированными H_2SO_4 и HF , не образует карбидов, хорошо соединяется с парами серы; не растворяется в HCl , в разбавленных H_2SO_4 и HF , в H_2O и в щелочах.

Основные физ.-хим. свойства Г. приведены в табл. 1.

Объемные электрофиз. свойства Г. во многом определяются содержащимися в нем примесями. По характеру воздействия на объемные свойства Г., излученные примеси можно разделить на 2 большие группы: 1) Примеси, имеющие в Г. малые энергии ионизации $\sim 0,01$ эв

зарядов (неосновных) — диффузионную длину. Максим. растворимость примесей в Г. и коэфф. диффузии см. в ст. *Диффузия примесей* в ПП; коэфф. распределения для примесей в Г. приведены в табл. 2. Диаграммы состояния для Г. с различными примесями — смотри литературу в конце статьи.

Таблица 2

Элемент	Группа	Коэфф. распределения
Li	I	$> 0,01$
Cu	I	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Ag	I	$3 \cdot 10^{-4}$
Au	I	$2 \cdot 10^{-4}$
Zn	II	$4 \cdot 10^{-4}$
B	III	~ 15
Al	III	$0,10$
Ga	III	$0,1$
In	III	$1 \cdot 10^{-3}$
Tl	III	$4 \cdot 10^{-3}$
Sn	IV	$0,02$
P	V	$0,12$
As	V	$0,03$
Sb	V	$3 \cdot 10^{-3}$
Bi	V	$4 \cdot 10^{-3}$
Mn	VII	$1 \cdot 10^{-6}$
Fe	VIII	$\sim 10^{-6}$
Co	VIII	$1 \cdot 10^{-6}$
Ni	VIII	$2,3 \cdot 10^{-6}$
Pt	VIII	$5 \cdot 10^{-6}$

При термообработке Г. при темп-ре выше 600° и последующем быстром охлаждении наблюдается изменение типа проводимости (см. *Электропроводность полупроводника*) у высокоомных образцов электронной проводимости, а также сильное уменьшение времени жизни. Отжиг при темп-ре 500° частично восстанавливает первоначальные параметры Г.

Причиной указанной термоконверсии является Si, имеющая, как и ряд др. примесей в Г., ретроградную растворимость. В области низких и комнатных темп-р проводимость в Г., легированном элементами V или III групп, обусловлена в основном электронами или дырками, внесенными примесями. При повышении темп-ры увеличивается степень ионизации атомов самого Г. и при нек-рой темп-ре, зависящей от степени легирования, наступает собственная проводимость Г. (см. *Полупроводник собственный*). Г. с сопротивлением 10 ом·см становится собственным при 90°, —1 ом·см — при 120°, —0,01 ом·см — при 200°, —0,001 ом·см — при 500°. Длинноволновый край полосы поглощения собственного Г. лежит вблизи 2,0 мк. Оптич. свойства Г. в области примес-

Таблица 1

Свойства	Единица измерения	Численное значение
Атомный номер	—	32
Атомный вес	—	72,59
Тип решетки	алмазная	—
Постоянная решетки	Å	5,657
Плотность при 25°	г/см ³	5,32
Плотность при 960°	г/см ³	5,571
Твердость по Моосу	—	6,25
Коэфф. линейного теплового расширения при 0°—300°	град ⁻¹	$6,1 \cdot 10^{-6}$
Объемный модуль сдвига	дин/см ²	$1,3 \cdot 10^{12}$
Темп-ра плавления	°C	936—958*
Уд. тепло плавления	кал/г	98,3—114,3*
Темп-ра кипения	°C	2700
Уд. теплоемкость при 0°—100°	кал/г·град	0,074
Теплопроводность при 25°	кал/см·сек·град	0,14
Поверхностное натяжение вблизи точки затвердевания	дин/см	600
Ширина запрещенной зоны при 0°K	эв	0,75
Собств. уд. сопротивление при 25°	ом·см	47
Плотность носителей в Г. с собственной проводимостью	см ⁻³	$2,4 \cdot 10^{13}$
Дрейфовая подвижность носителей в собственном Г. при 300°K электронов	см ² /в·сек	3600 ± 180
дырок	—	1700 ± 90
Показатель преломления	—	4,068—4,143*
Диэлектрич. проницаемость	—	16
Магнитная восприимчивость	ед. СГС	$-1,2 \cdot 10^{-7}$
Температура Дебая	°K	290
Электрохимич. эквивалент	мг/кулон	0,1881

* По данным различных авторов.

(элементы III и V групп), оказывающие основное влияние на концентрацию дырок и электронов и, следовательно, на уд. сопротивление Г. 2) Примеси, имеющие сравнительно большие энергии ионизации в Г. (Cu, Au, Ni, Pt, Co, Fe, Mn и др.), создающие многократно заряженные центры и оказывающие основное влияние на время жизни носителей

ного поглощения зависят от легирующей примеси и степени легирования. Примесная фотопроводимость в Г. (см. *Фотоэлектрические свойства полупроводников*), легированном Zn, Cu или Pt, может наблюдаться при темп-ре жидкого H (20°K); Au, Fe и Co — при темп-ре жидкого N (77°K). Граничные значения длин волн для фотопроводимости в Г., легированном

Sb или Zn, составляют соответственно 120 мк и 40 мк. В электронном Г., легированном Au, фотопроводимость начинается примерно в области длин волн менее 5 мк, дырочном — менее 9 мк.

При облучении Г. медленными нейтронами в нем происходят ядерные реакции с образованием Ga и As; причем образование Ga идет быстрее. При длит. облучении электронного Г. он становится собственным, потом переходит в дырочный и проводимость его постепенно увеличивается. Быстрые нейтроны могут вызвать превращение материала как в электронный, так и в дырочный, в зависимости от соотношения между эффектами разрушения решетки и образования примесей в результате ядерных реакций.

Поверхностные свойства Г. в сильной степени зависят от обработки. Скорость поверхностной рекомбинации может изменяться в широких пределах от 10^4 см/сек на шлифованной поверхности до неск. десятков см/сек на травленной поверхности.

Г. наиболее широко применяется для изготовления радиотехнич. и силовых выпрямит. и усилит. ПП приборов (см. *Диод германиевый, Транзистор германиевый*), фотоприемников, чувствительных к инфракрасной области спектра, термометров сопротивления, датчиков магнитного поля, тензометрич. датчиков и др.

Лит.: Германий. Сб. переводов, под ред. Д. А. Петрова, М., 1955; Д а н л э п У., Введение в физику полупроводников, пер. с англ., М., 1959; Электрофизические свойства германия и кремния. Сб. переводов, М., 1956; Проблемы физики полупроводников. Сб. статей, пер. с англ., под ред. В. Л. Бонч-Бруевича, М., 1957; К р а с ю к Б. А., Г р и б о в А. И., Полупроводники — германий и кремний, М., 1961. См. также лит. при ст. Кремний. О. В. Соколов.

ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ (hermetic sealing of electronic devices; étanchéité des appareils électroniques; scellément des appareils électroniques; hermetischer Abschluß elektronischer Apparatur) — обеспечение непроницаемости заключающих аппаратуру оболочек для жидкостей и газов с целью защиты ее от воздействия влажности. Г. э. а. защищает элементы аппаратуры также от плесени, коррозии, пыли, грязи и от неправильных действий обслуживающего персонала.

В пром. электронике применяются индивидуальная герметизация элементов электронного прибора и герметизация всей аппаратуры в целом. Хорошие результаты дает герметизация тр-ров, дросселей, конденсаторов, переключателей и реле. При индивидуальной герметизации элементов аппаратуры облегчается замена отдельных деталей или узлов при выходе их из строя и ремонт аппаратуры. Однако такая герметизация обходится дороже и приводит к увеличению размеров аппаратуры. Герметизация всего электронного устройства проще и дешевле, но в этом случае доступ к деталям и узлам, находящимся внутри герметичного кожуха, практически невозможен. Выбор вида Г. э. а. зависит от срока службы устройства. Если аппаратура имеет большой срок службы и требует регулярного ухода, то применяется герметизация узлов. При малом сроке службы и отсутствии необходимости в уходе, целесообразно применять герметизацию всего устройства. Г. э. а., обеспечивающая защиту от проникновения воды и водяных паров, может быть достигнута при применении металлов, стекла или спец. керамики, об-

ладающей достаточной непроницаемостью. Органич. материалы, как правило, длит. герметизации не обеспечивают.

Наиболее распростран. способы Г. э. а. — применение металлич. кожухов с воздушным, газовым или жидкостным заполнением и заливка различными смолами (компаундами). Заливочные смолы должны иметь малую диэлектрич. проницаемость, высокую теплопроводность и малый коэфф. температурного расширения, допускать работу при высоких и низких темп-рах, обладать малой гигроскопичностью и хорошим сцеплением с металлом для предотвращения проникновения воздуха и влаги. При Г. э. а. путем заливки отдельных узлов смолой, кроме хорошей защиты от влаги, создается эластичное механич. крепление элементов и ламп, уменьшающее воздействие ударов и вибрации, обеспечивается электрич. изоляция и постоянство взаимного расположения элементов. Это уменьшает количество арматуры для крепления элементов и создает условия для компактного монтажа. Устраняется возможность неразрешенного вскрытия узлов аппаратуры. Стоимость этого вида Г. э. а. сравнительно невысока, но технология сложна. Заливка смолой имеет и ряд существ. недостатков: дополнит. электрич. потери; заметное увеличение паразитных емкостей схемы (в зависимости от величины диэлектрич. проницаемости смолы); недостаточная стойкость смол при повышенных темп-рах; трудность (или невозможность) замены ламп и деталей, находящихся в герметизированном объеме, невозможность применения движущихся деталей, увеличение веса аппаратуры.

Во многих устройствах, используемых в пром. электронике, диэлектрич. потери и паразитные емкости, вносимые смолой, недопустимы; в этом случае всю схему располагают в герметичном кожухе, к-рый затем заполняют инертным газом при атм. (или неск. повышенном) давлении либо сухим воздухом, после чего кожух запаивается. В отличие от смолы, газовое наполнение не вносит в схему дополнит. потерь, не увеличивает паразитных емкостей и не ограничивает рабочие темп-ры. Оно предотвращает окисление смазки движущихся частей, понижает вероятность образования дуги между контактами реле, переключателей и др. и возможность окисления контактов. Применение этого вида Г. э. а. допускает вскрытие кожуха в эксплуатации в случае крайней необходимости. Тепловой режим аппаратуры (по сравнению с заполнением смолой) улучшается, т. к. может быть использовано охлаждение конвекцией газа. Недостатки данного метода Г. э. а.: необходимость иметь прочный герметичный кожух и поддерживать в нем заданное давление, трудность определения утечки после запайки кожуха.

В мощных установках, где важен большой срок службы и безотказная работа, применяется заливка жидким диэлектриком (маслом или заменяющими его кремневыми жидкостями). Жидкий диэлектрик должен удовлетворять след. основным требованиям: иметь высокую теплопроводность; низкие — давление паров, коэфф. теплового расширения, вязкость, поверхностное натяжение, диэлектрич. проницаемость; быть негигроскопичным и инертным по отношению к широко используемым металлам и изолирующим материалам;

не иметь тенденции к окислению или отстою. Жидкое заполнение часто применяется в силовых трансформаторах, дросселях, конденсаторах и др. высоковольтных и мощных устройствах. Оно улучшает охлаждение, давая возможность значительно уменьшать размеры аппаратуры, а также работать с повыш. напряжениями вследствие высокой диэлектрич. прочности заполнителя. Применение жидкого заполнения имеет свои отрицат. стороны: наличие тяжелого кожуха высокой прочности, возможность быстрого выхода аппаратуры из строя при утечке в кожухе, трудность ремонта, увеличение паразитных емкостей.

Е. Ю. Намиот.

ГЕТЕРОДИН (heterodyne; hétérodyne, oscillateur local; Lokaloszillator, Überlagerer, Überlagerungsgenerator) — см. *Супергетеродин*.

ГИГРОМЕТР ВОЛОСЯНОЙ (hair hygrometer; hygromètre à cheveux pileaire; Haarhygrometer) — см. *Влагомер газов гигроскопический dilatометрический*.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ АККУМУЛЯТОР (hydraulic accumulator; accumulateur hydraulique; hydraulischer Akkumulator, hydraulischer Speicher, Druckwasserspeicher, Druckwassersammler, Ölrindkessel) — элемент системы питания гидропривода, служащий для

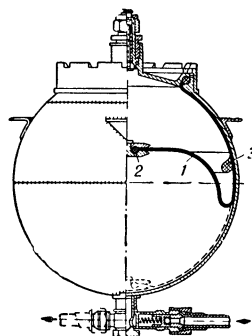


Рис. 1. Пневмогидравлич. аккумулятор с диафрагмой: 1 — диафрагма; 2 — металлич. шайба, предохраняющая диафрагму от продавливания в расходящее отверстие; 3 — утолщение (поясок) диафрагмы.

накопления рабочей жидкости, находящейся под давлением, и для уменьшения колебаний давления. Известны 3 вида Г. а.: пневматич. (наиболее распространенный), пружинный и грузовой. Пневматич. Г. а. представляет собой закрытый сосуд, заполненный предварительно сжатым газом (с точки зрения пожарной безопасности лучше всего — нейтральным, напр. азотом). При подаче в Г. а. рабочей жидкости объем газа уменьшается, а его давление, а следовательно,

и давление рабочей жидкости, повышается. Жидкость отделяется от газа поршнями или резиновыми перегородками (диафрагмами, рис. 1), т. к. газ способен растворяться в рабочей жидкости. При эксплуатации Г. а. следует располагать так, чтобы жидкость была в его нижней, а газ — в его верхней части.

При зарядке или опорожнении давление газа в пневмогидравлич. аккумуляторе изменяется в общем случае по политропич. закону $p/\gamma^n = \text{const}$, где p — давление газа, γ — удельный вес газа, n — показатель политропы, численное значение которого определяется экспериментально и зависит от быстроты зарядки или опорожнения Г. а., а также от условий теплообмена. При медленном наполнении Г. а. и хорошем тепло-

обмене имеет место изотермич. процесс, $n = 1$, а при быстром — адиабатический, $n = 1,4$. Кривые изменения давления жидкости в ф-ции ее объема и объема газа при фиксир-

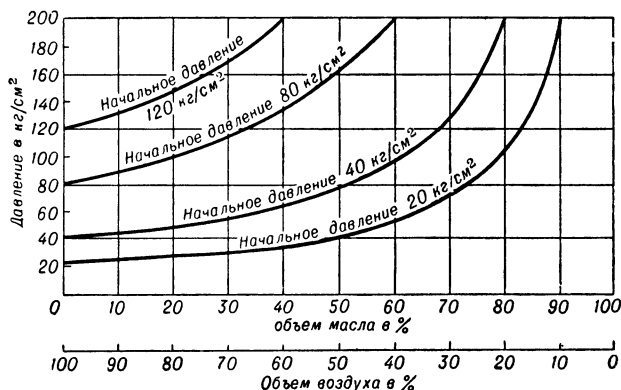


Рис. 2. Кривые изменения давления жидкости в пневмогидравлич. аккумуляторе в функции ее объема и объема газа для изотермич. процесса.

ров. нач. давлениях (рис. 2) построены для изотермич. процесса сжатия газа. При интенсивной зарядке и разрядке Г. а. газ нагревается, его полезный объем уменьшается и возникает опасность загорания жидкости (если она горючая). В этом случае зарядка Г. а. инертным газом обязательна. Темп-ра газа t_2° в конце сжатия определяется ур-нием

$$t_2^\circ = (t_1^\circ + 273) \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 273^\circ,$$

где t_1° — темп-ра газа в $^\circ\text{C}$ в начале сжатия; p_2 , p_1 — давления газа в конце и начале сжатия.

Для низких давлений рабочей жидкости (до 2 кг/см^2) при небольших полезных объемах (меньше 200 см^3) применяются пружинные Г. а. Их работа аналогична работе пневмогидравлич. аккумуляторов, только роль сжимаемого газа выполняет пружина. В грузовых Г. а. давление жидкости поддерживается пост. силой веса балласта, действующей на жидкость через притертый ко втулке поршень. Этот тип Г. а. обладает наиболее стабильными хар-ками по давлению, но редко применяется в системах автоматич. регулирования из-за больших габаритов и веса.

В. А. Хохлов.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ, ГИМ (hydraulic servo motor, hydraulic control motor; organe de réglage hydraulique; hydraulischer Stell motor, hydraulischer Wirkungsmechanismus, hydraulische Verstellvorrichtung), — гидравлический механизм для перемещения органов управления. Имеет ряд преимуществ по сравнению с электрическими механизмами: широкий диапазон плавного изменения скорости силовых двигателей, удобство преобразования энергии потока жидкости в механич. энергию возвратно-поступат. и вращат. движений без промежуточной кинематич. связи (редукторов), сочетание большой выходной мощности с малыми габаритами, высокая надежность и большой срок службы, простота конструкции и малая стоимость, высокие динамич. свойства, обусловленные большими

удельными усилиями на рабочих поверхностях силовых двигателей и сравнительно малой инерционностью, и др. Современные требования повышения мощностей, быстродействия, уменьшения габаритов и весов силовых устройств часто не могут быть удовлетворены без ГИМ. Недостатки ГИМ: отсутствие дистанционности, необходимость тщательного уплотнения, изменение хар-к с колебаниями окружающей темп-ры, потребность в гидравлич. источнике питания.

ГИМ состоят из 2 осн. элементов: управляющего и исполнит. Исполнит. элементом служат гидромоторы и гидроцилиндры силовые. В зависимости от вида управляющего устройства различают ГИМ дроссельного, объемного и струйного управления (рис. 1).

В ГИМ дроссельного управления УУ являются золотниковые пары, иногда, гл. обр. в маломощных механизмах, дроссели типа сопло-заслонка. По числу

радиального, способствует повышению чувствительности механизма. При увеличении начального осевого зазора чувствительность понижается. Одновременно возрастает позиционная ошибка при движении нагруженного поршня и непроизводительно увеличивается расход жидкости. В ГИМ с дроссельным управлением вся энергия жидкости, при отсутствии внешней нагрузки, расходуется на преодоление гидравлич. сопротивлений в окнах золотника и, следовательно, превращается в тепло. В связи с этим такие ГИМ имеют низкий кпд. Для его повышения используются обратные связи по нагрузке и скорости исполнит. двигателей (*гидравлические усилители*). Основным преимуществом ГИМ дроссельного управления является высокое быстродействие, обусловленное малым перемещением золотника. Эти механизмы приводятся, как правило, насосами постоянной производительности и постоянного давления, под-

держиваемого переливным клапаном. В ряде случаев для повышения общего кпд механизмы питаются от регулируемых насосов, работающих совместно с аккумуляторами. Применение ГИМ дроссельного управления целесообразно, когда необходимая мощность потока жидкости, поступающего в золотник, составляет 0,2—10 квт.

В ГИМ с объемным управлением управляющими устройствами служат регулируемые насосы, с помощью которых осуществляется реверс. Для надежной работы исполнит.

механизмов, имеющих замкнутую цепь циркуляции рабочей жидкости, обычно (для предупреждения возникновения кавитации в насосе) применяют дополнит. насосы подпитки. ГИМ такого типа могут быть совмещенные (нераздельное исполнение), в к-рых управляющий насос, гидромотор, насос подкачки и вспомогат. клапаны выполняются в виде единого агрегата, и раздельные, в которых гидромотор и насос располагаются на нек-ром расстоянии друг от друга. В этих ГИМ б. ч. потребляемой энергии расходуется на преодоление внешней нагрузки, поэтому они имеют высокий кпд. Их недостаток — сравнительно высокая стоимость. Применение целесообразно при потребной выходной мощности более 2 квт.

В ГИМ со струйным управлением (рис. 3) управляющим элементом является трубка 1 с конич. сужающимся насадком и плитка с двумя приемными отверстиями, к-рые гидравлически связаны с рабочими камерами исполнит. двигателя. Действие этих механизмов основано на преобразовании



Рис. 1. Классификация гидравлич. исполнительных механизмов.

управляющих дросселей ГИМ бывают 1-, 2- и 4-щелевые (рис. 2). Скорость перемещения поршня в этих механизмах изменяется вследствие изменения гидравлич. потерь в магистралях обычно за счет изменения площади поперечного сечения рабочих окон золотниковых

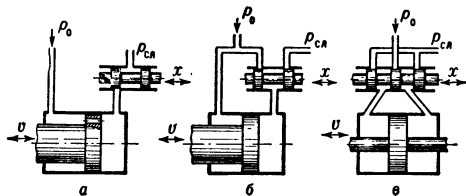


Рис. 2. Принципиальные схемы гидравлич. исполнительного механизма дроссельного управления: а — 1-щелевого; б — 2-щелевого; в — 4-щелевого.

пар. В 2- и 3-щелевых ГИМ применяются 3 вида золотниковых пар: с перекрытием, с нулевым перекрытием (идеальный золотник) и с отрицат. перекрытием (проточный золотник). Золотники с перекрытием понижают чувствительность ГИМ. Однако перекрытия могут быть полезны для отфильтровывания случайных колебаний золотника или в случаях, когда для уменьшения сухого трения золотник подвергается принудит. продольной вибрации (осцилляции) в пределах осевых перекрытий. Применение золотников с небольшим начальным осевым зазором, не превышающим

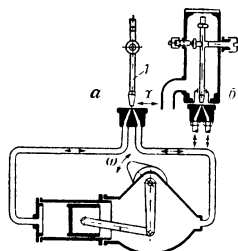


Рис. 3. Гидравлич. исполнительный механизм со струйным управлением: а — принципиальная схема; б — схема механизма поворота трубки.

кинетич. энергии потока жидкости, вытекающей из насадка трубки, в статич. давление, создаваемое в приемных отверстиях, а следовательно, и в камерах силового гидроцилиндра. При симметричном расположении насадка струйной трубки относительно приемных отверстий и отсутствии нагрузки на поршень количество втекающей и вытекающей жидкости из каждого из них одинаково и поршень гидроцилиндра находится в покое. При повороте трубки соотношение количества втекающей и вытекающей жидкости изменится и начнется движение поршня. Преимущество ГИМ этого типа — их высокая надежность, обусловленная отсутствием малых зазоров во всем гидравлич. тракте, а также большая чувствительность. Недостаток — пост. расход жидкости через насадок трубки, вследствие чего их кпд ниже, чем у механизмов с дроссельным управлением, и их применение целесообразно в сравнительно маломощных системах. Часто такие механизмы используются в качестве первого каскада УУ более мощных механизмов дроссельного и объемного управления.

Особенностью ГИМ с точки зрения его динамич. свойств является наличие негolonной связи между движением гидродвигателя и управляющего элемента. Поэтому ур-ние движения ГИМ не может быть записано лишь на основании одного ур-ния сил. Необходимо учесть ур-ние связи. Последним является ур-ние расхода жидкости. Ур-ние движения ГИМ с золотниковым управлением без учета сжимаемости и утечек жидкости имеет вид

$$\frac{dx}{dt} = \mu \sqrt{\frac{g}{\gamma} \frac{l}{F} V p_0} \sqrt{1 - \frac{\Delta p}{p_0} \cdot \text{sign } q} \cdot q, \quad (1)$$

где x — перемещение поршня; μ — коэфф. расхода; g — ускорение силы тяжести; γ — уд. в. жидкости; l — длина рабочих кромок золотника; F — эффективная площадь поршня; p_0 — перепад давлений в напорной и сливной магистралях; Δp — перепад давлений на поршне, создаваемый внешней нагрузкой; q — перемещение золотника; $\text{sign } q$ — знак смещения золотника со среднего положения (учитывает ту особенность исполнит. механизма, что при перемещении золотника в ту или др. сторону от среднего положения меняются местами полости нагнетания и слива гидродвигателя). Перепад давлений на гидродвигателе определяется суммой внешних сил $\Delta p = \Sigma P/F$, где ΣP — сумма всех сил, действующих на поршень. При небольшой нагрузке на гидродвигатель можно пренебречь членом $\Delta p/p_0$, тогда ур-ние (1) принимает вид

$$\frac{dx}{dt} = \mu \sqrt{\frac{g}{\gamma} \frac{l}{F} V p_0} \cdot q. \quad (2)$$

Это линейное ур-ние широко используется в практике регулирования и известно как ур-ние идеального ненагруженного ГИМ золотникового управления.

Движение ГИМ объемного управления, так же как и дроссельного, определяется ур-нием моментов и ур-нием расхода. Первое ур-ние обычно принимается в виде

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = q \cdot \Delta p, \quad (3)$$

где J — сумма моментов инерции гидромотора и приведенного к его валу момента инерции внешней нагрузки; α — угол поворота гидро-

мотора; q — уд. объем гидромотора; Δp — перепад давлений на гидромоторе. Ур-ние расхода с учетом утечек, сжимаемости жидкости и податливости конструкции:

$$\frac{V}{b} \frac{d \Delta p}{dt} + K_{yt} \Delta p + q \frac{d \alpha}{dt} = 2 \pi q \omega_n x, \quad (4)$$

где V — объем, занимаемый жидкостью под давлением; b — упругая постоянная, зависящая от коэфф. сжимаемости жидкости и жесткости конструкции; K_{yt} — коэфф. утечек; ω_n — угловая скорость вала насоса; x — величина управляющего сигнала.

Совместное решение ур-ний (3) и (4) дает

$$\frac{JV d^2 \alpha}{bq dt^2} + \frac{K_{yt} J}{q} \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + q \frac{d \alpha}{dt} = 2 \pi q \omega_n x. \quad (5)$$

Т. о., движение ГИМ объемного управления описывается линейным дифференц. ур-нием 3-го порядка.

Общий кпд ГИМ дроссельного управления, работающего от насоса постоянной производи-

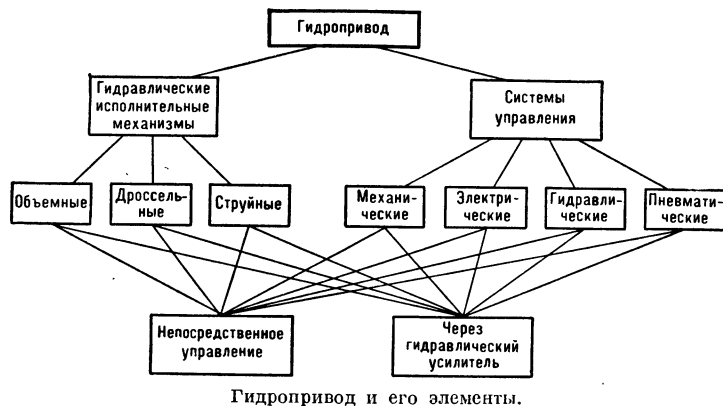
тельности $\eta = \frac{\Delta p}{p_0} \sqrt{1 - \frac{\Delta p}{p_0} f} \cdot \eta_{гд}$, где f — от-

носит. площадь рабочего окна дросселя; $\eta_{гд}$ — кпд гидродвигателя. В этом случае кпд низок и не превышает 38%. Для его повышения используются различного рода разгрузочные устройства, саморегулируемые насосы перем. производительности, а также обратные связи по расходу и нагрузке исполнит. механизмов. Кпд ГИМ при объемном управлении равен произведению механ. и объемного кпд насоса, гидродвигателя и соединит. участка (соединит. магистрали, устройства распределения и подпитки, а также клапанные устройства). Его величина во многом зависит от конструкции насоса и двигателя, качества их изготовления и продолжительности эксплуатации. Пределы изменения кпд ГИМ объемного управления обычно составляют 75—85%.

Лит.: Башта Т. М., Самолетные гидравлические приводы и агрегаты, М., 1951; Хохлов В. А., Мощность и кпд гидравлических исполнительных механизмов с дроссельным (золотниковым) управлением, «Авт.», 1955, т. 16, № 6. В. А. Хохлов.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРИВОД в автоматических системах (hydraulic drive, hydraulic servo; commande hydraulique, transmission hydraulique, mecanisme de transmission hydraulique; hydraulischer Antrieb, Druckwasserantrieb, Ölantrieb) — комплекс гидравлич. устройств, для управления регулирующими органами систем регулирования или выходными элементами следящих систем, управляемых воздействием маломощного сигнала. Г. п. состоит из насоса, гидравлич. исполнит. механизма и систем обслуживания и управления (рис.). В зависимости от вида систем управления и усилителей сигнала ошибки Г. п. наз.: электрогидроприводом, пневмогидроприводом или просто гидроприводом. В Г. п. в качестве силового элемента применяются гидравлич. двигатели; их скорость изменяется: реверсивными регулируемыми насосами (объемный метод управления); различного рода дросселирующими элементами, особенно золотниковыми парами, работающими от нерегулируемых насосов (дроссельный метод управления) и струйными трубками (струйный метод управления). В механ. системах управления Г. п. изменение производительности насосов исполнит. механизмов, перемещение золотников или

струйных трубок осуществляется непосредственным воздействием сигнала ошибки (перемещением или силой). К таким Г. п. относятся гидрокопировальные станки и гидросуппорты, системы управления самоходных тракторов



Гидропривод и его элементы.

и комбайнов, бустерные рулевые и нажимные устройства, гидравлич. усилители моментов и т. д.

В электрогидравлич. приводах управляющие устройства исполнит. механизмов перемещаются электромеханич. преобразователями или электродвигателями перем. и пост. тока; сигнал ошибки усиливается электронными, магнитными, электромашинными и иными усилителями с электрич. выходным сигналом. Совместная работа электрич. и гидравлич. систем позволяет сочетать преимущества электрич. методов изменения, усиления и преобразования сигнала ошибки с положительными свойствами силовых элементов Г. п. Благодаря электрогидравлич. приводам стало возможным широкое использование счетно-решающей техники при управлении и автоматизации производств. процессов. При решении этих задач, как правило, пользуются гидравлич. усилителями мощности, обеспечивающими однонаправленное прохождение сигнала от маломощных электронных или магнитных усилителей к выходным гидравлич. исполнит. механизмам большой мощности. Электрогидравлич. привод применяется в металлорежущих и иных станках с программным управлением, автопилотах и авторулевых, электрогидравлич. следящих системах общепром. и спец. назначения и т. д.

В гидравлич. и пневматич. системах управления каждому значению давления жидкости или газа соответствует определенное перемещение или усилие различного рода мембран, сифонов и плунжеров, управляющих работой гидравлич. исполнит. механизмов.

Лит.: Литвин-Седой М. З., Гидравлический привод в системах автоматики, М., 1956; Башта Т. М., Гидравлические следящие приводы, М. — Киев, 1960.

В. А. Хохлов.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ (hydraulic amplifier; amplificateur hydraulique; hydraulischer Verstärker) — гидравлическое устройство, перемещающее золотник или иное управляющее устройство гидравлич. исполнит. механизма и одновременно усиливающее мощность входного сигнала. Г. у. обеспечивает в системах регулирования однонаправл. прохождение сигнала от электромеханич. преобразователя (или иного маломощного управляющего устройства) к выходному гидравлич. исполнит. механизму большой мощности.

Г. у. по сравнению с др. усилителями мощности, например электромашинными, имеют лучшие динамич. свойства, более надежны, просты и компактны в конструктивном отношении, сочетают большую выходную мощность с малыми габаритами, удобны при преобразовании энергии потока жидкости в механич. энергию. Г. у. используются для построения высококачеств. быстродействующих гидравлич. и электрогидравлич. следящих

счетов большую выходную мощность с малыми габаритами, удобны при преобразовании энергии потока жидкости в механич. энергию. Г. у. используются для построения высококачеств. быстродействующих гидравлич. и электрогидравлич. следящих

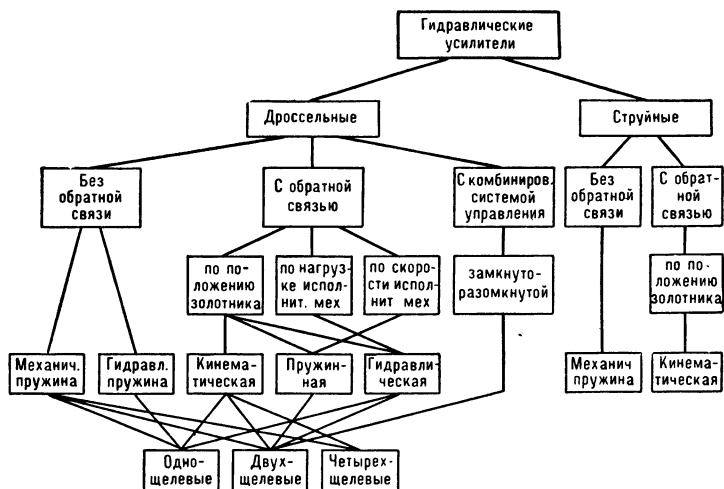


Рис. 1. Классификация гидроусилителей.

систем и систем автоматич. регулирования. Применяют 2 типа Г. у. — с дроссельным и со струйным управлением (рис.1). По методу управления различают Г. у. без обратной связи (разомкнутые), с обратной связью (замкнутые) и с комбиниров. системой управления. Наиболее распространены Г. у. без обратной связи и с жесткой обратной связью по положению управляющего элемента гидравлич. исполнит. механизма. Они просты по конструкции и надежны в эксплуатации. Однако они не улучшают основных статич. хар-к исполнит. механизмов, являясь лишь усилителями сигнала ошибки по мощности и в ряде случаев — по координате. Г. у. с обратной связью по нагрузке и по скорости (расходу жидкости) гидродвигателей существенно улучшают статич. и динамич. хар-ки

гидравлич. привода, повышают его кпд и снижают требования к точности и качеству изготовления. Аналогичные преимущества имеют Г. у. с комбиниров. системой управления.

Г. у. состоят из 2 основных элементов: управляющего и исполнительного. Управляющим элементом служат перем. дроссели: золотниковые пары с начальным осевым зазором и сопло-заслонки. В нек-рых Г. у. для упрощения их конструкции и облегчения технологии изготовления часть регулируемых дросселей заменяют нерегулируемыми, напр. дросселирующими шайб пакетами. Исполнит. элементом обычно является поршень исполнительн. механизма или (в двухкаскадных системах) управляющий золотник. В зависимости от числа регулируемых дросселей Г. у. разделяются на 1-, 2- и 4-щелевые. С увеличением числа регулируемых дросселей повышается чувствительность усилителей, улучшаются их динамич. свойства, но усложняется конструкция и понижается надежность.

В Г. у. без обратной связи (рис. 2) перем. дросселями служат 2 сопла, разделенные

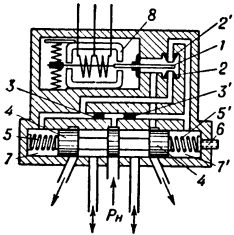


Рис. 2. Схема гидроусилителя без обратной связи.

управляющей заслонкой 1. Рабочая жидкость из напорной магистрали поступает в систему управления через пост. дроссели 3 и 3' к перем. дросселям 2 и 2' и к распределит. золотнику 4, к-рый поджат с двух сторон пружинами 5 и 5'. Нач. положение последнего регулируется винтом 6. Г. у. управляется электромеханич. преобразователем 8. При среднем положении управляющей заслонки 1 давления в рабочих камерах 7 и 7' одинаковы. При смещении заслонки изменяются соотношения проходных сечений рабочих окон Г. у. (зазоров между соплами и заслонкой). Одновременно изменяются давления в камерах 7 и 7' — в одной увеличивается, а в другой уменьшается. Перепад давления на торцах распределит. золотника перемещает последний на расстояние, определяемое этим перепадом и суммарной жесткостью пружин 5 и 5'.

Основные параметры наиболее распространенных гидроусилителей

Наименование параметра	Гидроусилитель без обратной связи	Гидроусилитель с обратной связью
Давление жидкости в напорной магистрали (кг/см ²) . .	35—320	7—280
Наибольший расход жидкости (л/мин)	15—50	2—600
Наибольшая мощность потока жидкости, управляемая гидроусилителем (л.с.) . .	5—25	0,9—280
Расход жидкости в системе управления в % к наибольшему расходу	3—5	1,2—0,0
Вес гидроусилителя (кг) . .	0,25—0,5	0,3—20
Вес на единицу мощности (г/л.с.)	25—50	25—400
Кэфф. усиления по мощности	60 000—320 000	3 000—270 000
Резонансная частота (гц) . .	65—220	30—250

Г. у. без обратной связи имеют общие недостатки, свойственные всем разомкнутым

системам управления. Их статич. и динамич. хар-ки во многом зависят от качества изготовления управляющих элементов, вязкости жидкости, тщательности ее фильтрации, изменения коэфф. гидравлич. сопротивления и перепада давлений на дросселирующих элементах и т. д. Для уменьшения влияния указанных факторов в ряде случаев пользуются основанным на принципе широтно-им-

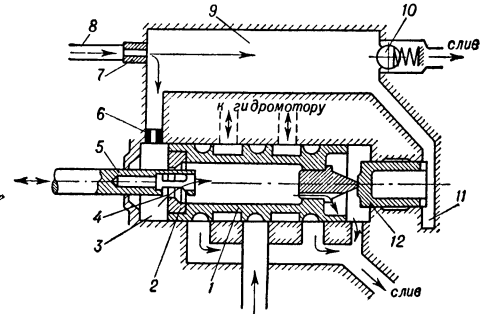


Рис. 3. Схема гидроусилителя с обратной связью по положению распределит. золотника.

пульсной модуляции импульсным способом управления распределит. золотником.

В Г. у. с обратной связью по положению распределит. золотника (рис. 3) часть рабочей жидкости, подаваемой насосом основной гидросистемы исполнит. механизма, поступает через трубопровод 8 и нерегулируемый дроссель 7 в камеру питания 9, давление в к-рой поддерживается постоянным за счет перепуска масла через пружинный шариковый клапан 10 на слив. Из камеры 9 рабочая жидкость по двум каналам поступает во вспомогат. камеру 11 и через нерегулируемый дроссель 6 и рабочее окно 4 — на слив. Давление в камере 11 из-за отсутствия потока жидкости остается постоянным и равным давлению в камере питания. Давление в рабочей камере 3 определяется соотношением гидравлич. потерь в нерегулируемом дросселе 6 и рабочем окне 4. Т. о., распределит. золотник 1 находится под действием двух сил: слева — силы, развиваемой давлением рабочей жидкости в рабочей камере на его левой торцевой поверхности, и справа — усилия, создаваемого давлением рабочей жидкости во вспомогат. камере на торцевой поверхности плунжера 12. При равенстве этих сил золотник находится в равновесии. Очевидно, что последнее имеет место лишь при определенном расстоянии между кромками управляющего золотника 5 и рабочей втулки 2. При перемещении управляющего золотника 5, допустим влево, давление в рабочей камере упадет (вследствие увеличения сечения рабочего окна 4 гидроусилителя), а во вспомогат. камере не изменится; в результате распределит. золотник под действием усилия плунжера также переместится влево. Это движение происходит до тех пор, пока давление в рабочей камере не установится первоначальным. Очевидно, что последнее произойдет в тот момент, когда распределит. золотник переместится на расстояние, равное перемещению управляющего золотника. Перемещение золотника 5 в противоположную сторону вызовет обратное движение золотника 1. Т. о., рассматриваемый

Г. у. представляет собой следящую систему, в к-рой распределит. золотник повторяет движение управляющего золотника. Отрицат. обратная связь осуществляется золотником 1. Наряду с кинематич. обратной связью используется обратная связь по перемещению распределительного золотника, осуществляемая гидравлич. средствами.

Работа Г. у. с обратной связью по нагрузке гидродвигателя основана на сравнении сил, развиваемых на торцах двух золотников давлением, обусловленными входным сигналом и внешней нагрузкой, действующей на поршень гидродвигателя. Аналогичный принцип действия имеет Г. у. с обратной связью по скорости гидродвигателя. Выходная скорость изменяется быстродействующими датчиками расхода. В основу работы Г. у. с комбиниров. системой управления положено совместное действие разомкнутого и замкнутого принципов управления перемещением золотника. Динамич. свойства Г. у. определяются их принципом действия, размерами, параметрами потока жидкости, видом управляющего дросселя и зависят от режима потока жидкости в рабочих окнах. В Г. у. с золотниковым управлением обычно пренебрегают силами, действующими на их управляющие элементы. Тогда ур-ние движения Г. у., при обычно принимаемых допущениях, сводится к ур-нию 1-го порядка $(T_{гус}S+1)q=K_{гус}u$, где $T_{гус}$ — постоянная времени Г. у.; q — перемещение выходного элемента Г. у., напр. золотника гидравлич. исполнит. механизма; $K_{гус}$ — коэфф. передачи Г. у.; u — перемещение управляющего дросселя; S — оператор. В Г. у. с управляющим дросселем типа сопло-заслонка нельзя пренебрегать силами, действующими на их управляющий орган — заслонку. Поэтому их ур-ние движения не может рассматриваться отдельно от элемента, управляющего работой заслонки, особенно если управляющим элементом служит мало-мощный электромеханич. преобразователь. В этом случае приходится записывать их совместное ур-ние движения. Если принять, что движение преобразователя описывается линейным дифференциальным ур-нием 2-го порядка (колебат. звено), то их совместное ур-ние будет иметь вид

$$(T_{п1}^2S^2 + T_{п2}S + 1)(T_{гус}S + 1)q = Ki_y,$$

где $T_{п1}$, $T_{п2}$, $T_{гус}$, K — постоянные времени и общий коэфф. передачи системы преобразователь — гидроусилитель; i_y — ток управления преобразователя.

Лит.: Красов И. М., Гидравлические усилители, М. — Л., 1959; Хохлов В. А., Расчет и анализ динамики дроссельных гидроусилителей, «АиТ», 1956, т. 17, № 10; Савамура Т., Ханафуза Х., Инуги Т., Исследование электрогидравлического сервомеханизма, управление которого основано на принципе широко-импульсной модуляции, в кн.: Труды 1 Международного конгресса Международной Федерации по автоматическому управлению, Москва 27 июня — 7 июля 1960 г., [т. 4], М., 1961; Ли С. У., Сервозолотник с обратной связью по расходу и динамические характеристики системы, состоящей из золотника и инерционной нагрузки, там же; Хохлов В. А., Гидравлические усилители мощности, М., 1961. В. А. Хохлов.

ГИДРОДВИГАТЕЛЬ (hydraulic motor; moteur hydraulique; Wasserkraftmaschine) — см. Гидромотор, Гидроцилиндр силовой.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ УЛЬТРАЗВУКА (hydrodynamic ultrasound

transducer, liquid set-edge transducer; générateur hydrodynamique des ultrasons; hydrodynamischer Ultraschallstrahler, Flüssigkeitspfeife) — устройство для преобразования энергии движущегося потока жидкости в энергию ультразвуковых (или звуковых) колебаний, излучаемых в жидкую среду. Вследствие своей простоты и дешевизны Г. и. у. с успехом применяются для пром. целей, в частности для ультразвукового эмульгирования, гомогенизации, деструкции высокомолекулярных соединений и др. Наиболее широкое распространение получили Г. и. у. типа свистков, в к-рых звук создается при вытекании жидкости через сопло, по-видимому, вследствие изгибных колебаний вытекающей струи. Для усиления этих колебаний вблизи сопла помещается резонирующая система, имеющая вид пластины (язычка) или стержней, со-бств. частоты к-рых совпадают с частотами колебаний струи. Струя жидкости (рис. 1), вытекающая из щелевидного сопла 1, разбивается о заостренный край пластины 2, возбуждая в ней изгибные колебания: колеблющийся т. о. язычок излучает ультразвуковые (или звуковые) колебания в окружающую его жидкость. Основная собственная частота изгибных колебаний язычка

$$f = 0,162 \frac{l}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ гц},$$

где l и t — длина и толщина язычка (см), а E и ρ модуль упругости (дин/см²) и плотность (г/см³) материала. В Г. и. у. с круговым соплом и стержневыми резонаторами, расположенными по окружности цилиндра (рис. 2), струя, выходя из кольцевого зазора

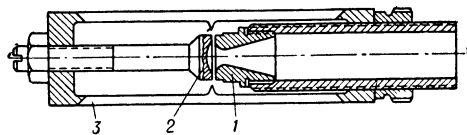


Рис. 2.

между соплом 1 и отражателем 2, попадает на острия выступов, находящихся в середине стержней 3, вызывая колебания последних. Собств. частота стержня, закрепленного с обоих концов,

$$f = 1,03 \frac{l}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ гц},$$

где l — полная длина стержня. Свистки эффективно работают в диапазоне частот 1—20 кгц, требуют подачи жидкости под давлением 3—15 атм и могут отдавать 1—2 ат с 1 см² излучающей поверхности. Этот тип Г. и. у. прост в изготовлении и дешев, но требует хорошего совпадения со-бств. частоты пластины с частотой колебания

струи. Последняя определяется скоростью истечения жидкости из сопла, толщиной струи (ширина ее не сказывается сколько-нибудь существенно на частоте) и расстоянием от среза сопла до вершины лезвия; поэтому даже небольшие изменения скорости истечения, вызываемые колебаниями давления подачи или засорением сопла, приводят к заметному падению эффективности Г. и. у. В этом отношении, по-видимому, более перспективными являются вихревые Г. и. у., в к-рых звукообразование происходит в результате вихревого движения жидкости в цилиндрич. камере, в к-рую через тангенциально расположенные вводы подается жидкость. Этот тип Г. и. у. еще пока недостаточно изучен и только начинает применяться на практике. Представляя интерес, в силу своей простоты, роторные Г. и. у., в к-рых цилиндрич. или конич. ротор быстро вращается по отношению к статору, представляющему собой соосную перфорированную поверхность; однако об их эффективности и надежности есть только самые предварит. данные. Г. и. у. для повышения производительности часто соединяются в батареи, питаемые от одного насоса. Часто Г. и. у., погруженный в жидкость, в к-рой нужно получить эмульсию, питают струей эмульгируемой жидкости. Для достижения лучших результатов иногда обрабатываемую жидкость пропускают два или более раза через Г. и. у.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956; Hueter Th., Bolt R., Sonics, N.Y.—L., [1955]; Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961; Гинслинг А. М. и Барам А. А., Ультразвук в процессах химической технологии, Л., 1960.

Л. Д. Розенберг.

ГИДРОИНТЕГРАТОР (hydraulic integrator; intégrateur hydraulique; hydraulischer Integrator) — см. *Интегратор гидравлический*.

ГИДРОЛОКАТОР (ultrasonic direction finder, Sonar; détecteur ultrasonore; Unterwasserortungsgerät, Unterwasserschallortungsgerät) — гидроакустич. устройство для обнаружения находящихся в воде инородных тел и определения их местоположения. Различают пассивные Г. (шумопеленгаторы) и активные Г. (эхолокаторы). Действие шумопеленгаторов основано на приеме шума корабля или подводной лодки подводным звукоприемником, обладающим направленностью (т. е. способным принимать звук в пределах огранич. угловой зоны). Направл. звукоприемник автоматически или посредством ручного привода вращается вокруг вертик. оси (рис. 1). Интенсивность принимаемого шума оценивается оператором-гидроакустиком либо по отображению шумового сигнала на экране ЭЛТ индикатора, либо на слух посредством телефонов или громкоговорителя. Прием на слух часто позволяет опытному гидроакустику определять скорость хода и даже тип обнаруживаемого корабля. В шумопеленгаторах используется обычно диапазон слышимых частот от 0,1 до 10 кгц, поскольку в этом диапазоне лежит основная часть энергии шумового излучения кораблей и подводных лодок. Недостаток пассивных Г. — невозможность определения расстояния до объекта и невозможность обнаружения цели, не являющейся источником шума, напр. неподвижной подводной лодки, косяка рыбы, айсберга. Пас-

сивные Г. применяются главным образом в системе защиты морских баз (береговые шумовые пеленгаторы) и на подводных лодках для обнаружения надводных кораблей. В последнем случае скрытность действия пассивного Г. является существенным преимуществом.

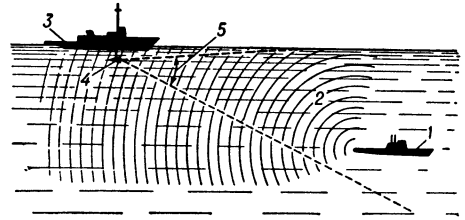


Рис. 1. Схема гидроакустич. шумопеленгования: 1 — обнаруживаемая подводная лодка; 2 — звуковые волны шумового излучения, создаваемого подводной лодкой; 3 — обнаруживающий корабль; 4 — направленный звукоприемник шумопеленгатора; 5 — угловая зона чувствительности направленного звукоприемника.

В активных Г. используется отражение звуковой энергии от подводных препятствий. Ультразвуковой или звуковой импульс малой длительности (1—10 мсек), посылаемый направленным подводным излучателем звука, встретив подводное препятствие, частично отражается обратно к Г., где воспринимается тем же излучателем, работающим на этот раз в режиме приема сигналов (рис. 2). Поэтому в Г. в качестве излучателей-приемников звука применяются только обратимые магнитострикц. или пьезоэлектрич. электроакустич.

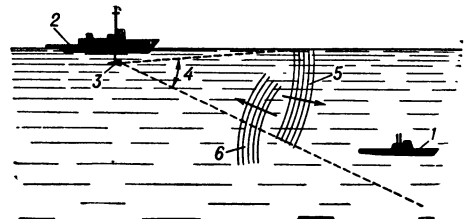


Рис. 2. Схема действия активного гидролокатора: 1 — обнаруживаемая подводная лодка; 2 — обнаруживающий корабль; 3 — направленный излучатель-приемник гидролокатора; 4 — угловая область, в к-рой концентрируется излучаемая звуковая энергия (звуковой пучок), являющаяся одновременно зоной чувствительности при приеме звука; 5 — посылаемый звуковой импульс; 6 — отраженный звуковой импульс.

преобразователи. Расстояние до препятствия определяется в Г. путем измерения времени t , протекающего от момента отправки импульса до момента приема отраженного сигнала, и равно $L=ct/2$, с внесением поправок на зависимость скорости звука c от гидрологич. условий. Посылая импульсы при постепенном медленном повороте направл. излучателя вокруг вертик. оси, можно обследовать всю водную толщу в пределах дальности действия Г. и, определив направление, с к-рого приходит отраж. сигнал, и время t , установить местоположение обнаруженной подводной лодки и др. инородного тела. К активным Г. относятся и эхолоты.

Дальность действия гидроакустич. устройств тесно связана с условиями распростра-

нения звука в море. Уменьшение интенсивности звука по мере удаления от подводного звукового излучателя в неогранич. водной среде обуславливается сферич. расхождением фронта звуковой волны и постепенным поглощением звуковой энергии в воде

$$I = I_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 10^{0,1 (r_0 - r) \beta},$$

где I_0 — исходная интенсивность на нек-ром начальном расстоянии r_0 от излучателя, I — интенсивность на расстоянии r , β — коэфф. затухания звука в водной среде в дБ/км ; β зависит от частоты звука, быстро возрастаая с увеличением последней (см. рис. 3), причем для морской воды β больше, чем для пресной. Поэтому дальность приема подводного звука на высоких частотах (десятки или сотни кгц) может исчисляться тысячами или десятками м, в то время как на очень низких частотах (единицы гц) она может при той же мощности источника подводного звука и благоприятных условиях достигать неск. тыс. км.

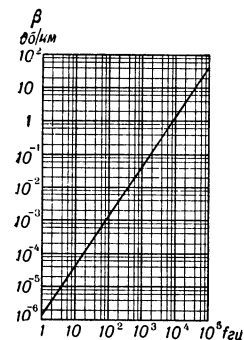


Рис. 3. Зависимость коэфф. затухания звука β от частоты для морской воды.

мый объект тем больше, чем уже звуковой пучок, создаваемый направл. излучателем. Поэтому в активных Г. обычно используются УЗ частоты в пределах от 10 до 40 кгц , позволяющие получить достаточно узкий УЗ пучок при не слишком больших габаритах излучателя. Шумовые помехи (шум моря, ходовые собств. шумы корабля, на к-ром расположен Г.) создают на экране индикатора пост. флуктуирующий фон, затрудняющий обнаружение полезного принимаемого сигнала. В активных Г. реверберац. помехи, обусловл. рассеянием звуковой энергии при распространении УЗ импульса в водном слое, проявляются на экране индикатора дальности в виде флуктуирующего сигнала, спадающего с течением времени (10 на рис. 4). Для уменьшения шумовой помехи применяются обтекатели, защищающие звукоприемник от воздействия завихрений водного потока, и электрич. фильтры в приемном усилителе, ограничивающие полосу принимаемых частот. Уменьшение реверберац. помехи достигается гл. обр. сужением УЗ пучка и уменьшением длительности посылаемого импульса, что приводит к уменьшению объема водной среды, охватываемого распространяющимся импульсом, и, следовательно, к уменьшению интенсивности рассеянного звука, возвращающегося к Г. и воспринимаемого в виде реверберации. Активные Г., как правило, имеют меньшую дальность действия, чем пассивные; их преимущества: возможность обнаруживать искомый объект вне зависимости от его ходового режима и определять не только направление на обнаруживаемый объект, но и расстояние до него. Вместе с тем активные Г. не обладают скрытностью действия. Они находят применение в военно-морском деле, а также в навигации — для обнаружения

препятствий при движении судов в узкостях, и в рыбопромысловой разведке (т. н. рыболокаторы, см. *Ультразвуковая рыбная разведка*).

Реальная морская водная среда не является однородной и, кроме того, она ограничена

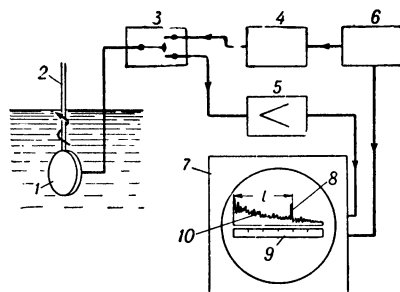


Рис. 4. Принципиальная схема простейшего активного гидролокатора: 1 — магнитострикц. или пьезоэлектрич. направленный излучатель-приемник звука, вращаемый на вертикаль. 2 — ручным или электрич. приводом; 3 — коммутатор, поочередно подключающий излучатель-приемник к звуковому генератору 4 и к приемному усилителю 5; 6 — импульсный модулятор, управляющий генератором 4; 7 — электроннолучевой осциллоскоп со ждущей разверткой, к-рый запускается от модулятора 6 в момент посылки импульса; 8 — вертикальный выброс, создаваемый отраженным сигналом; 9 — шкала для считывания расстояний; 10 — флуктуирующий сигнал.

дном моря и его поверхностью. Поэтому условия распространения звука в таком ограниченном и неоднородном водном слое сложнее, чем условия распространения в неограниченной и однородной водной среде. Самым важным фактором является здесь т. н. гидроакустич. рефракция, т. е. искривление звуковых лучей, обусловленное изменением скорости звука с глубиной. Скорость распространения звука (и ультразвука) в морской воде зависит от темп-ры воды, ее солёности и гидростатич. давления. При давлении в 1 ат , темп-ре 0° и солёности 35‰ она равна $1448,6 \text{ м/сек}$ и возрастает с увеличением темп-ры, солёности и давления (рис. 5). В морских и океанич. водоемах распределение температуры и солёности по глубине различно для различных географич. районов и изменяется также в зависимости от времени года и, в меньшей степени, от времени суток и гидрометеорологич. условий (морское волнение и др.). Соответственно изменяется и распределение скорости звука по глубине. В относительно мелководных морских районах наблюдаются след. типичные случаи: уменьшение скорости звука с глубиной (рис. 6, а) в летний период при интенсивном прогреве верхних слоев воды; увеличение скорости звука с глубиной (рис. 6, б) в зим-

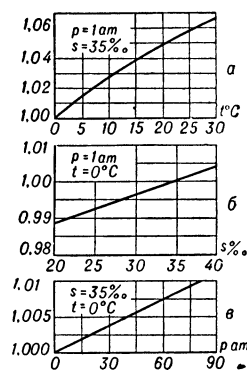


Рис. 5. Относит. изменение скорости звука в морской воде в зависимости: а — от темп-ры t ; б — от солёности s ; в — от гидростатич. давления p .

морских районах наблюдаются след. типичные случаи: уменьшение скорости звука с глубиной (рис. 6, а) в летний период при интенсивном прогреве верхних слоев воды; увеличение скорости звука с глубиной (рис. 6, б) в зим-

ний период, обусловленное охлаждением поверхностного слоя; сложное распределение скорости звука по глубине, характеризующееся наличием на неск-ой глубине минимума скорости звука (рис. 6, в). Последний случай

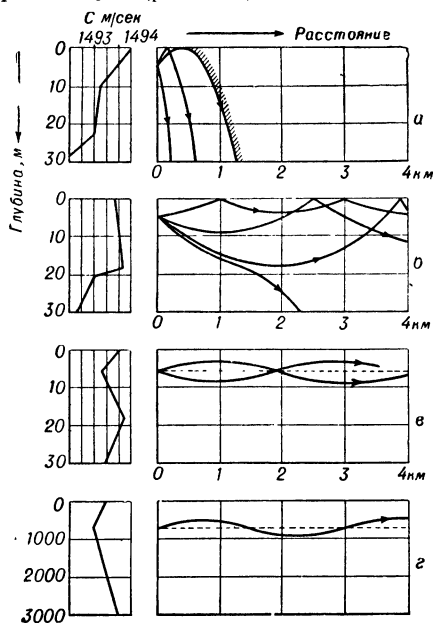


Рис. 6. Типичные распределения скорости звука по глубине (слева) и соответствующие им картины прохождения звуковых лучей в неоднородной морской водной среде (справа). В случае а заштрихованная область — зона акустич. тени. Рис. в и г сильно схематизированы.

является неустойчивым и переходным, т. к. процессы прогрева, охлаждения и перемешивания в конечном счете приводят к устойчивым распределениям типа а и б. Напротив, в глубоких морях и в океанах, где поверхностные слои воды всегда имеют в среднем более высокую темп-ру, чем глубинные, и где существенно сказывается увеличение скорости звука с глубиной за счет возрастания гидростатич. давления, всегда наблюдается минимум скорости звука на относительно больших глубинах (рис. 6, г), изменяющихся для различных районов от неск. сотен до 1200 м. При этом в приповерхностных слоях могут наблюдаться распределения типов а, б и в.

При распределении типа а (т. н. отрицат. градиент скорости звука) условия распространения звука неблагоприятны, т. к. звуковые лучи, преломляясь, отклоняются по направлению к дну, причем возникает т. н. зона акустич. тени, в к-рую звуковая энергия проникает практически только за счет отражения от дна с существенными потерями. Случай б (положит. градиент скорости звука) более благоприятен, т. к. звуковые лучи загнбаются кверху и звук распространяется в приповерхностном слое, испытывая многократные отражения от поверхности, причем потери при отражении от поверхности существенно меньше, чем при отражении от дна. Случай в является исключительно благоприятным, т. к. звуковые лучи проходят, осциллируя в области глубин вблизи минимума скорости звука, не достигая дна и поверхности, а следовательно, не испытывая потерь энергии при отражении.

В тех случаях, когда звуковая энергия распространяется в относительно тонком слое среды, говорят о распространении звука в звуковом канале. Случай б отвечает приповерхностному звуковому каналу, случай в — мелководному и случай г — глубоководному звуковому каналу. В звуковом канале, благодаря концентрации распространяющейся энергии в относительно тонком слое среды, сферич. расхождение волнового фронта сменяется цилиндрическим, и интенсивность убывает с увеличением расстояния от источника звука по закону

$$I = I_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^{0,1} 10^{0,1(r_0 - r)\beta},$$

т. е. значительно медленнее, чем в др. случаях. В морских условиях, вследствие неустойчивости распределения типа в, реализовать преимущества дальнего распространения звука в звуковом канале можно лишь случайно; напротив, в океанах и глубоководных морях наличие стабильного глубоководного канала позволяет принимать низкочастотные звуковые сигналы на исключительно больших расстояниях (неск. тыс. км). Поэтому, напр., океанич. звуковой канал используется для гидроакустич. сигнализации на большие расстояния с применением в качестве источника звука подводных взрывов.

Наличие границ водного слоя, т. е. дна и поверхности, а также присутствие в водной среде множества организмов (планктон, рыбы и др.) приводят к рассеянию звука при его распространении. Звуковая энергия рассеивается и частично поглощается волнующейся и обогащенной воздушными пузырьками поверхностью моря и неровным подводным грунтом. Рассеяние приводит к увеличению скорости спада интенсивности звука с расстоянием (напр., в случае приповерхностного звукового канала) и, с др. стороны, к возникновению при распространении гидроакустич. сигнала, послезвучания водного слоя, называемого морской реверберацией. Морская реверберация является помехой при работе гидроакустич. приборов, так же как и морские подводные шумы, являющиеся следствием движения водных масс (волнение, прибой) и жизнедеятельности морских организмов.

При использовании гидроакустич. устройств на кораблях при движении последних возникают также помехи в виде т. н. ходовых шумов, обусловленных работой винтов корабля, вибрациями его корпуса, а также вихреобразованием при обтекании водным потоком гидроакустич. приемников звука. Для уменьшения шумов обтекания звукоприемники корабельных гидроакустич. устройств всегда защищаются т. н. обтекателями, т. е. заполненными водой металлич. оболочками каплевидной формы.

Лит.: Тюлин В. Н., Сташкевич А. П., Тюрин А. М., Теоретические основы гидроакустики, Л., 1954; Гензель Г. С. и Заездный А. М., Основы акустики, М.—Л., 1952; Физические основы подводной акустики, пер. с англ., под ред. В. И. Мясничева, М., 1955; Хортон Д. У., Основы гидролокации, [пер. с англ.], Л., 1961.

В. С. Григорьев.

ГИДРОМОТОР (hydraulic motor; moteur hydraulique rotatif; Wasserkraftmaschine) — гидродвигатель с вращат. или поворотным движением выходного вала.

Гидромотор с непрерывным вращением выходного вала (на практике часто наз. просто

Г.) широко применяется при автоматизации технологич. процессов и автоматич. дистанц. управлении различными машинами, имеет малые вес и объем на единицу мощности, легко приспособляется к различным механизмам, реверсивен, малоинерционен, скорость выходного вала может легко меняться в большом диапазоне (до 1:1300) за счет изменения количества подводимой к Г. жидкости. Величина вращающего момента M (кгсм), развиваемого на валу Г. с постоянным рабочим объемом, не зависит от скорости вращения вала и определяется выражением: $M=0,159 p \cdot q \cdot \eta$, где p — перепад давления на Г. (кг/см²); q — рабочий объем (см³/об); η — кпд. Наибольший вращающий момент, к-рый может быть получен от Г. данного размера, зависит от принятого для него максимально допустимого давления. Хар-ки совр. Г.: кпд до 93%; моменты — от долей кгсм до десятков тм (высокомоментные Г. обычно тихоходны, применяются в транспортнх и стрит. дорожных машинах); рабочие давления — от 40 до 350 кг/см² (в пром-сти обычно 70—160 кг/см²). Известно много типов Г., но для регулирования чаще всего применяют аксиально-поршневые, радиально-поршневые и лопастные.

В аксиально-поршневом Г. с неподвижным блоком, наклонной шайбой и дисковым распределением (рис. 1) жидкость, нагнетаемая через штуцер 2, попадает в цилиндры через окна распределит. диска 3, насаженного на эксцентриковый палец 1 вала 7, и овальные окна в торце блока 6. Жидкость воздействует на поршни 4, к-рые давят на шайбу подшипника 5. Благодаря наклону оси подшипника к оси вала возникает тангенциальная сила, вращающая вал. По мере вращения вала диск 3, перемещаясь за счет эксцентricности пальца 1, соединяет все новые и новые цилиндры с полостью нагнетания, а другие — с полостью слива 8. Поршни при своем обратном движении выталкивают отработавшую жидкость в сливную магистраль. Г. этого типа имеют особенно малый момент инерции вращающихся частей и, следовательно, большую приемистость; однако высокий объемный кпд

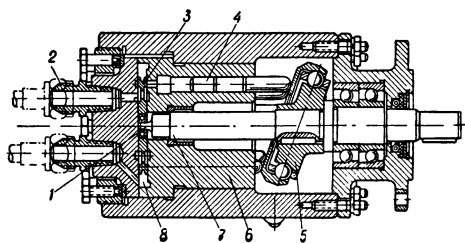


Рис. 1. Аксиально-поршневой гидромотор с неподвижным блоком, наклонной шайбой и дисковым распределением.

возможен только при малых зазорах и высокой точности изготовления распределит. диска и сопряженных с ним деталей. Тангенциальная сила, действующая на поршень, может вызывать его защемление, поэтому обычно угол наклона шайбы не превышает 20°.

В конструкции аксиально-поршневого Г. типа МГ 15 с вращающимся блоком, наклонной шайбой и торцовым распределением устранены нек-рые недостатки описанного выше Г., но неск. увеличен момент инерции вращающихся частей.

Самоустановка и разгрузка торцевой опорной поверхности от радиальных и тангенциальных сил достигается применением блока из 2 частей. Указанные Г. не могут использоваться как насосы, работающие на самовсасывании, т. к. их поршни не соединены с наклонной шайбой и при вращении вала не могут перемещаться. Они могут работать в качестве насоса лишь при условии подпора в линии всасывания. Принцип действия аксиально-поршневого Г. с наклонным блоком цилиндров, торцовым распределением и двойным несилковым карданом аналогичен предыдущим. В этой конструкции Г. наклон блока может быть увеличен до 30° (а в тихоходных Г. — до 45°), что ведет к повышению кпд и увеличению рабочего объема при тех же диаметрах блока и цилиндров. Наличие кинематич. связи поршней с валом позволяет использовать Г. в качестве насоса постоянной производительности и с самовсасыванием.

В радиально-поршневом Г. двойного действия с цапфенным распределением (рис. 2) при нагнетании жидкости в отверстия 1, 3 неподвижной цапфы создается момент,

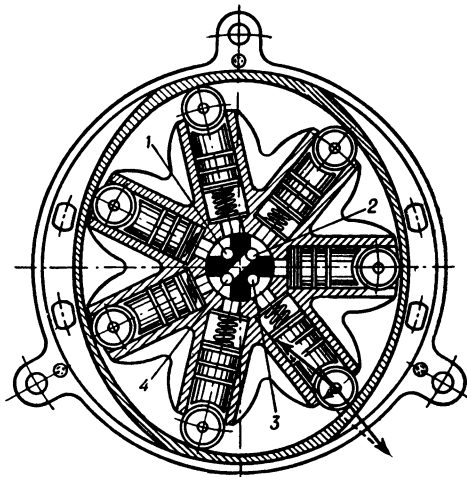


Рис. 2. Схема радиально-поршневого гидромотора двойного действия с цапфенным распределением.

вращающий звездообразный блок цилиндров и вал по часовой стрелке. Этот Г. имеет больший диаметр блока, чем предыдущие, а следовательно и больший момент инерции. Г. такого типа удобно встраиваются в плоские узлы. Кроме того, они могут быть многоходовыми, т. е. за один оборот вала их поршень может совершать неск. рабочих ходов (на рис. 2 — два хода). Все Г., кроме многоходового, могут выполняться и регулируемы за счет изменения угла наклона шайбы, блока, а также за счет изменения эксцентриситета.

В лопастном Г. двойного действия типа МГ 16 (рис. 3) рабочая жидкость через канал 9 поступает в полость 2, давит на лопасть 1 ротора 8 и поворачивает вал 4 Г. Жидкость сливается через окна диска и отверстие 5. Лопасти постоянно прижаты к поверхности статора 3 давлением жидкости и центробежными силами. Для реверсирования вала Г. жидкость подводится к отверстию 5. Чтобы обеспечить при этом прижим лопастей к статору и диска 6 к ротору, имеется золотник

7, перераспределяющий жидкость в соответствующие полости. Эти Г. компактны, но, из-за наличия больших поверхностей трения и трудности уплотнения торцов, имеют общий и объемный кпд более низкий, чем поршневые Г. В табл. приведены основные параметры нек-рых Г.

жидкости из полости А в полость В вызывает поворот вала на $1/3$ шага кулачка. Шаговые Г. найдут применение в системах, в к-рых требуются малые, но точно фиксированные перемещения.

Поворотный гидромотор (часто наз. квадрантом) поворачивает выходной вал в огранич. пределах. В технике автоматич. регулирования применяются поворотные Г. с одной и двумя лопастями. Первый тип имеет больший угол поворота (до 320°), но его лопасть не разгружена от больших радиальных усилий. Второй тип свободен от этих недостатков, но его предельный угол поворота выходного вала обычно не превышает 160° . Преимуществом поворотного Г. по сравнению с др. типами гидравлич. двигателей является возможность пре-

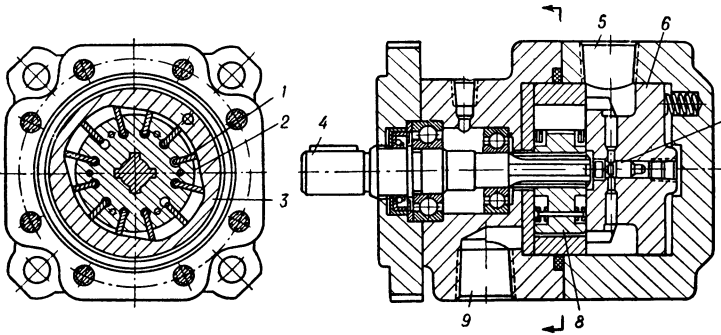


Рис. 3. Лопастный гидромотор двойного действия типа МГ16.

В последнее время появились т. н. шаговые Г. для дискретного вращения вала за один цикл подачи в него жидкости (рис. 4). Масло от насоса поступает в полость Н поворотного золотника 3 и при его вращении последовательно в полости А, Б, В. Когда одна из полостей (на рис. 4, полость А) соединена с полостью Н, две другие соединены с баком (на рис. не показано). При вращении золотника поршни 1, 2, 3 последовательно оказываются под давлением и через торцевой кулачок, развертка к-рого показана на рис., вращают вал Г. Переключение подачи

образования энергии потока жидкости в поворот выходного вала без промежуточных кинематич. элементов. Однако поворотные Г. сложны в конструктивном и технологич. отношениях, имеют большие утечки из-за трудностей уплотнения подвижных элементов. Существенное влияние на динамич. хар-ки систем регулирования с поворотными Г. оказывает сжимаемость жидкости. Последнее особенно сильно проявляется при больших инерционных нагрузках.

Поворотный Г., имеющий угол поворота выходного вала 300° (рис. 5), конструктивно

Основные параметры некоторых гидромоторов

Тип гидромотора	Рабочий объем (см ³ /об)	Максимальная скорость вала (об/мин)	Минимальная скорость вала (об/мин)	Номинальное давление (кг/см ²)	Вращающий момент при номинальном давлении, (кгсм)	Общий кпд, не менее	Объемный кпд, не менее	Момент инерции вращающихся частей (кгсм ² /сек ²)	Вес без жидкости (кг)	Примечание
МГ 151	8	2400	16	50	0,6	0,8	0,95	0,004	4,5	Миним. скорость получена при дросселировании жидкости на выходе. Кпд даны для скорости 1000 об/мин и номинального давления. Гидромотор допускает перегрузку по давлению
МГ 152	18	2100	8		1,25		0,97	0,011	7,0	
МГ 153а	35	1800	4		2,5		0,98	0,035	12,0	
МГ 154а	70	1500	2		5		0,98	0,075	20	
МГ 155а	140	1300	1		10		0,98	0,25	40	
МГ 16-13	35	2200	300	50	2,0	0,5	0,75	0,002	10	Кпд даны для скорости 1000 об/мин и номинального давления. Мгновенное повышение давления допускается до 65 кг/см ²
МГ 16-14	70	1800			5	0,55	0,8	0,013	24	
МГ 16-15а	100	1800			7,5	0,6	0,85	0,013	24	
МГ 16-15	140	1500			10	0,64	0,88	0,07	86	
МГ 16-16а	200	1500			15	0,68	0,90	0,07	86	
ПМ № 0,5	3	2950	3	100	0,4	0,83	0,97	0,0009	1,2	Кпд для макс. скорости и номинального давления. Макс. допустимое кратковрем. давление — 160 кг/см ² . Миним. обороты при работе от регулируемого насоса того же номера. В гидромоторах ПМ № 5 вес дан с клапанной коробкой
ПМ № 1,5	9	2950	3		1,2	0,83		0,004	4,64	
ПМ № 2,5	16	2950	3		2,1	0,83		0,009	7,0	
ПМ № 2,5а	32	1440	1,5		4,2	0,83		0,02	14,7	
ПМ № 5	71	1440	1,5		10,5	0,91		0,056	29	
ПМ № 10	142	1440	1,5		21	0,91		0,175	52,4	
ПМ № 20	251	1440	1,5		37	0,92		0,415	79	
ПМ № 30	501	980	1		74	0,92		1,5	121	
ПМ № 50	790	980	1		117	0,93		3,74	200	

представляет собой цилиндр 5, разделенный жестко укрепленной перегородкой 3 и подвижной лопастью-поршнем 6 на две изолированные друг от друга полости. Лопасть посредством скользящих шпонок соединена с выходным валом 4. Герметичность ме-

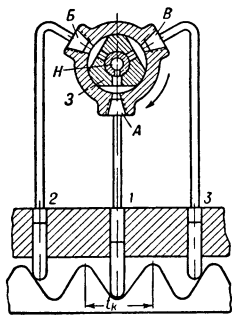


Рис. 4. Схема действия шагового гидромотора.

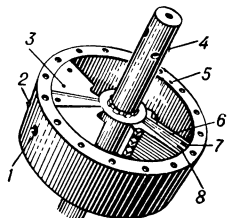


Рис. 5. Однолопастный поворотный гидромотор.

жду рабочими камерами обеспечивается бронзовыми вкладышами 7 и 8, прижимаемыми к внутр. стенкам пружинами. Подвод и слив жидкости осуществляются через отверстия 1 и 2.

Момент M , развиваемый давлением жидкости на выходном валу поворотного Г., рассчитывается по Ф-ле: $M = q \Delta p$, где q — уд. объем Г. (объем, занимаемый жидкостью в одном радиане угла поворота выходного вала); Δp — перепад давлений на Г. Угловая скорость поворота ω выходного вала Г. $\omega = Q \cdot \Delta p / M = Q/q$, где Q — расход рабочей жидкости, подаваемой в поворотный Г.

Лит.: Ба ш та Т. М., Расчеты и конструкции самодетных гидравлических устройств, М., 1961; За й ч ен ко И. З. и М ы ш л е в с к и й Л. М., Малогабаритные и малоинерционные лопастные гидродвигатели, «Станки и инструмент», 1960, № 9; Ка м е н е ц к и й Г. И., Аксиально-поршневые гидродвигатели с торцовым распределением, там же, 1959, № 5; М а л и н о в М. С., Гидростатический привод вентиляторов холодильника тепловоза ТЭП 60, «Электрическая и тепловозная тяга», 1960, № 10; Т р и ф о н о в О. Н., Гидравлический вал, «Станки и инструмент», 1960, № 8; Х а й м о в и ч В. М., Гидроприводы и гидроавтоматика станков, 2 изд., М.— Киев, 1959; Гидравлические приводы. Каталог. Дом техники, 1960; С т у п а к В. Ф., Элементы гидроприборов, в сб.: Системы, устройства и элементы пневмо- и гидроавтоматики, М., 1959. А. И. Мазырин, В. А. Хохлов.

ГИДРОФОН (hydrophone; hydrophone; Unterwasserschallempfänger) — устройство для приема подводного звука (гидроакустический звукоприемник). Первоначально Г. наз. гидроакустические устройства для обнаружения подводных лодок по шуму, создаваемому ими в воде (задача, решаемая современными шумопеленгаторами, см. *Гидролокатор*). Г. часто, но неправильно, называют любой гидроакустич. преобразователь, независимо от того, является ли он излучателем звука (вибратором) или звукоприемником. В. С. Григорьев.

ГИДРОЦИЛИНДР СИЛОВОЙ (hydraulic power cylinder; cylindre hydraulique; hydraulischer Kraftzylinder, Wasserkraftmaschine für Hin- und Herbewegung) — гидродвигатель с возвратно-поступат. движением поршня. Широко применяется в системах регулирования для перемещения органов управления и в рабочих машинах для привода главного движения станков, перемещения навесных орудий строит., дорожных и с.-х. машин, в нажимных устройствах прокатных станков и т. д. Известно 3 типа Г. с.: с двухсторонним што-

ком (рис., а), с односторонним штоком (рис., б) и односторонние (2-я сторона открыта, как в двигателях внутр. сгорания). При одних и тех же расходах жидкости в Г. с. первого типа скорости выходного штока в прямом и обратном направлениях равны, а во втором — различны (при простом способе присоединения магистралей). Г. с. с односторонним штоком обеспечивает при рабочем ходе большие перестановочные усилия, но с меньшей скоростью движения, чем при холостом (обратном) ходе. Для предотвращения удара поршня о торцовые крышки Г. с. в конце его хода часто устанавливаются гидравлич. демпферы.

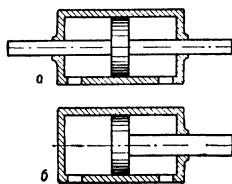


Схема гидrocиллиндров: а — с двухсторонним штоком; б — с односторонним штоком.

В Г. с. внешняя нагрузка преодолевается за счет энергии подводимой жидкости. Сила, развиваемая поршнем $P = p_1 f_1 - p_2 f_2$, где p_1 и p_2 — давления в напорной и сливной камерах Г. с.; f_1 и f_2 — активные площади поршня. При равенстве площадей $f_1 = f_2 = f$ сила $P = f \Delta p$, где Δp — перепад давлений на поршне. Скорость выходного штока Г. с. зависит от расхода поступающей жидкости Q и активной площади поршня, т. е. $v = Q/f$.

Помимо поршневых Г. с., в пром. автоматике применяются мембранные (гл. обр. для перемещения регулирующих органов дросселирующих устройств трубопроводов). При работе Г. с. в системах автоматич. регулирования скорость перемещения поршня или мембраны является ф-цией величины входного сигнала, зависит от внешней нагрузки и метода управления потоком жидкости (см. *Гидравлический исполнительный механизм*).

Лит.: Ку з ь м и н П. И., Выбор и расчет дроссельных регулирующих органов, 2 изд., М.— Л., 1960. В. А. Хохлов.

ГЛАВНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ СИГНАЛ (primary feedback signal (англ.); monitoring feedback signal (англ.); signal de réaction externe; Signal der äusseren Rückkopplung) — сигнал, поступающий с выхода САР на ее вход. Наличие Г. о. с. с., позволяющего получить сигнал ошибки, является необходимым условием построения замкнутых систем управления, обладающих рядом преимуществ по сравнению с разомкнутыми системами. Г. о. с. с. вырабатывается элементами обратной связи и находится в определенной функциональной зависимости от регулируемой величины, в частности может быть пропорционален ей. От точности элементов обратной связи в первую очередь зависит точность САР. Г. о. с. с. может быть непрерывным или дискретным.

Б. И. Андрейчиков.

ГОДОГРАФ (hodograph; hodo-graph; Hodo-graph) — см. Амплитудная фазовая характеристика.

ГОМЕОСТАТ (homeostasis; homeostate; Homöostasis) — самонастраивающаяся кибернетич. система, впервые созданная англ. ученым У. Р. Эшби. Г. моделирует свойство поведения живых организмов — гомеостазис, т. е. возможность поддержания некоторых величин (темпы тела животного, концентрации сахара в крови и т. д.) в физиологически допустимых границах. По Эшби, гомеостазис может осуществляться, если система является

ультраустойчивой. Состояние такой системы описывается набором непрерывно изменяющихся переменных (т. н. главные переменные системы) и рядом параметров, значения к-рых могут меняться скачками, но между скачками они постоянны. Изменения параметров происходят лишь при достижении системой нек-рых критич. состояний.

Рассмотрим область фазовых состояний системы, не содержащую критич. состояний. Если при нек-рых значениях параметров траектория системы неустойчива относительно этой области, то при достижении критич. состояний значения параметров скачком изменятся, и изменится зависящая от них область устойчивости системы. Система станет двигаться по новой траектории, пока снова не попадет в критич. состояние, и т. д. Так будет продолжаться до тех пор, пока не будет найдена такая комбинация значений параметров, при к-рой система устойчива относительно области некритич. состояний. Т. о., ультраустойчивая система самоорганизуется, т. е. меняет свою структуру с целью сохранения гл. переменных в определ. границах. Ультраустойчивость соответствует высокому уровню приспособляемости системы к условиям среды.

Гомеостат Эшби имеет 4 блока, каждый из к-рых содержит поворачивающийся магнит. Гл. переменными являются угловые отклонения магнитов от центральных положений. Каждый блок дает на выходе ток, пропорциональный отклонению магнита. Этот ток проходит через коммутатор и потенциометр и попадает в обмотки магнитов 3 др. блоков, создавая в них вращающий момент. Положения коммутаторов и потенциометров определяют полярность и величину влияния каждого блока на остальные. При достаточно большом отклонении магнита от ср. положения включается случайным образом шаговый искатель, меняющий положение коммутаторов и потенциометров. Работа шагового искателя продолжается до тех пор, пока при нек-рой комбинации положений коммутаторов и потенциометров система не станет устойчивой относительно центр. положений магнитов.

При электр. моделировании систем, подобных Г., выяснилось, что ультраустойчивость усиливается и время поиска сокращается, если гл. переменными являются некоторые комбинации величин, характеризующих отклонения системы от центр. положения, с их производными по времени [4]. Кроме того, была показана большая устойчивость систем, прошедших период «самоорганизации», к внешним воздействиям и повреждениям, вплоть до удаления 10% всех связей.

Лит.: 1) Эшби У. Р., Введение в кибернетику, пер. с англ., М., 1959; 2) Цянь Сюэ-энь, Техническая кибернетика, пер. с англ., М., 1956; 3) Полетаев И. А., Сигнал, М., 1958; 4) Сапигин Г. В., Электрическое моделирование гомеостатических систем, в сб.: Проблемы кибернетики, вып. 4, М., 1960. В. А. Козмидица, Л. Б. Левитин.

ГОМОМОРФИЗМ (homomorphism; homeomorphisme; Homomorphismus) — соответствие между двумя множествами объектов, обобщение понятия *изоморфизма*. Пусть даны множества M и M' , причем над элементами M определено множество соотношений $F = \{f\}$, а над элементами M' — множество соотношений $F' = \{f'\}$. Если можно установить взаимнооднозначное соответствие между соотношениями из F и F' : $f \leftrightarrow f'$, и соответствие

между элементами M и M' такие, что: 1) каждому элементу M соответствует один и только один элемент M' ; 2) каждому элементу M' соответствует по меньшей мере один элемент M ; 3) из выполнения соотношения f' между соответствующими элементами M' , то M' наз. гомоморфным образом M (кратко, M' гомоморфно с M). Такое соответствие между M и M' наз. гомоморфизмом. Г. отличается от изоморфизма тем, что соответствие между M и M' не взаимнооднозначно: один элемент M' может соответствовать многим элементам M .

Пример Г. $M = \{x\}$ — множество натуральных чисел. $M' = \{x'\}$ — множество различных остатков от деления на простое число p (т. е. вычетов по модулю p). Определим системы соотношений F и F' следующим образом:

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, x_3): x_1 + x_2 &= x_3; \\ f_2(x_1, x_2, x_3): x_1 \cdot x_2 &= x_3 \\ f'_1(x'_1, x'_2, x'_3): x'_1 + x'_2 &\equiv x'_3 \pmod{p}; \\ f'_2(x'_1, x'_2, x'_3): x'_1 \cdot x'_2 &\equiv x'_3 \pmod{p} \end{aligned}$$

(причем $f_k \leftrightarrow f'_k$, $k=1,2$). Г. M и M' по системам соотношений F и F' дается соответствием: $x = x' \pmod{p}$.

Часто встречающийся на практике пример Г. дают тригонометрич. ф-ции. Пусть, напр., $M = \{x\}$ — множество всех действит. чисел, кроме чисел вида $\frac{(2k+1)\pi}{2}$ (k — целое число); $M' = \{x'\}$ — множество всех действит. чисел.

Соотношение между элементами $M: x_1 + x_2 = x_3$ (при $x_1 + x_2 \neq \frac{(2k+1)\pi}{2}$). Соотно-

шение между элементами $M': \frac{x'_1 + x'_2}{1 - x'_1 x'_2} = x'_3$

(при $x'_1 x'_2 \neq 1$). Г. M и M' по этим отношениям устанавливается соответствием: $x' = \operatorname{tg} x$; $x = \operatorname{arctg} x' + n\pi$ (n — целое); т. е. одному x' соответствует бесчисленное множество различных x .

Гомоморфный образ является как бы упрощенной, но сохраняющей интересующие нас соотношения, «моделью» исследуемой системы. Как правило, изучение весьма сложных, трудных для непосредств. исследования систем заменяется в науке и технике изучением более простых систем, гомоморфных исходным. Напр., вместо громадного множества частиц, образующих планетную систему, небесная механика изучает гораздо более простую систему, где множеству всех частиц данного небесного тела соответствует материальная точка с массой этого тела. Понятия абсолютно твердого и абсолютно упругого тела в механике (вместо сложных молекулярных систем), метод эквивалентных схем в электротехнике и радиотехнике также основаны на Г.

Лит. см. при ст. Изоморфизм. Л. Б. Левитин.
ГРАДУИРОВКА (calibration; graduation; graduation, etalonnage; Geräteeichung, Instrumenteneichung, Gerätekalibrierung, Instrumentenkalibrierung) — установление значений делений шкалы измерит. прибора или меры, а также выходных величин датчиков в единицах измерения данной физич. величины. Для Г. измерит. приборов, дат-

чиков и мер применяют образцовые меры и образцовые измерит. приборы, по показаниям к-рых определяют действит. значения измеряемой величины. При наличии в приборе готовой шкалы с произвольными делениями определяют действит. значения измеряемой величины, соответствующие отметкам шкалы, и по этим данным вычисляют цену деления градуируемого прибора (при шкале с равномерными делениями) или составляют градуировочные таблицы или графики. Аналогично производится Г. датчиков. Так, для термопар и термометров сопротивления, изготовленных из металлов и сплавов определенных составов и чистоты, составлены стандартные градуировочные таблицы, в к-рых для каждого значения измеряемой темп-ры указаны соответств. значения термоэдс (для термопар) или сопротивления (для термометров сопротивления). При Г. измерит. приборов в процессе их произ-ва на шкалы наносят деления непосредственно в единицах измеряемой величины.

Н. И. Тюрин.

ГРАНИЧНАЯ ЧАСТОТА ф и л ь т р а (edge-frequency; extrémité de bande de fréquences, fréquence limite de bande; Grenz-frequenz) — крайнее значение частоты, напряжения которой проходит через фильтр. В зависимости от того, какие частоты относительно Г. ч. должны быть пропущены, применяют один из следующих типов фильтров: фильтры, подавляющие напряжение частот, лежащих выше граничной (фильтры нижних частот); фильтры, подавляющие напряжение частот, лежащих ниже граничной (фильтры верхних частот); фильтры, подавляющие напряжения частот, лежащих между верхней и нижней граничными частотами (режекторные, заграждающие фильтры); фильтры, подавляющие напряжения частот более низких, чем нижняя граничная частота, и более высоких, чем верхняя граничная частота (полосовые фильтры).

Е. Ю. Намиот.

ГРАФЕКОН [graphchon; graphecon (tube de mémoire à restitution commandée); Grapheconröhre, Graphecon] — электронно-лучевая трубка с двумя электронными прожекторами (записывающим и считывающим) и мишенью из диэлектрика, «запоминающая» электрич. сигналы на длит. срок в виде потенциального рельефа. Г. предназначен для работы в вычислит. устройствах и др. Глубина потенциального рельефа в Г. достигает неск. десятков μ за счет резкого возрастания тока проводимости диэлектрика, бомбардируемого очень быстрыми электронами луча; энергия записывающего луча в Г. порядка 10^4 эв. В зависимости от мгновенной интенсивности луча разные точки диэлектрика (мишени) приобретают различные потенциалы по отношению к сигнальной пластине (рис.). Считывающий электронный луч неизменной интенсивности постепенно повышает потенциалы точек мишени до потенциала коллектора вследствие вторичной эмиссии. При считывании за счет емкостных токов на сопротивлении R_n возникают положит. выходные сигналы. В Г. считывание раз записанных сигналов может производиться до неск. тысяч раз; без считывания записанный потенциальный рельеф может сохраняться десятки суток. Запись и считывание могут происходить одновременно. В зависимости от конструкции мишени (односторонней или двух-

сторонней) прожекторы в Г. расположены по одну или по разные стороны от нее.

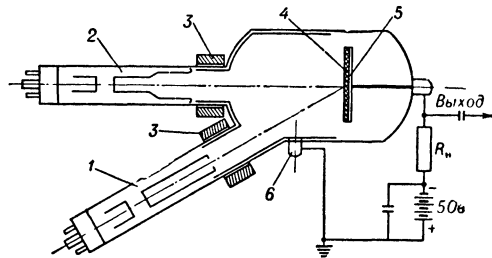


Схема устройства графекона: 1 — считывающий прожектор; 2 — записывающий прожектор; 3 — отклоняющие системы; 4 — диэлектрик-потенциалоносите́ль; 5 — сигнальная пластина; 6 — коллектор.

ГРАФИЧЕСКАЯ ПАНЕЛЬ [graphic panel; panneau de commande; Bedienungstafel (Bedienungsfeld), Steuertafel (Steuerungstafel)] — щит контроля и управления с мнемонич. схемой технологич. процесса и с смонтированными в нее миниатюрными измерит. приборами. Последние размещаются в местах *мнемосхемы*, соответствующих их действительному расположению на объекте (рис.). Так, уровнемеры устанавливаются на изображении барабана котла, расходомеры — на питательных линиях и т. п. На Г. п., как правило, устанавливаются лишь приборы первой необходимости и аварийная сигнализация. Все остальные средства контроля и управления выносятся на отдельные щиты, обычно примыкающие к основному. Мнемосхема Г. п. может быть выполнена несветящейся (мимической) из накладных цветных элементов или нарисованной красками, светящейся из светопроводниковых или электролюминесцентных элементов, а также стеклянной с подсветкой лампами и полусветящейся, в к-рой светятся только узловые точки. Графич. представление технологич. процесса дает более наглядное представление информации оператору; в значит. мере облегчает его труд по обслуживанию сложных объектов; освобождает его от необходимости помнить, какой прибор что измеряет, ибо приборы стоят в местах замеров этих величин; улучшает качество контроля; уменьшает срок обучения новых операторов; сокращает размеры щита.

Лит.: Новик А. В., Graphic panels, «Instruments», 1950, v. 23, № 11, p. 1128—29; Oliver F. I., Design of graphic control panels, «Electr. Manufact.», 1954, v. 53, № 4, p. 108—24; Wall R., Present status of the graphic panels, «Industr. and Engng Chem.», 1957, v. 49, № 12. А. И. Галактионов.

ГРАФОВ ТЕОРИЯ (graphs theory; théorie des graphes; Graphentheorie) — раздел математики, исследующий важные для приложений математич. объекты, наз. графами. Пусть G — произвольное множество элементов двух типов (вершин и ребер). Множество G наз. графом, если каждому ребру сопоставлены две вершины (не обязательно различные) — его концы. Графы делятся на конечные и бесконечные в зависимости от того, конечны или бесконечны множества их элементов. Изложение основ Г. т. содержится в 1-й главе [1], более подробное — в [2]. Понятие графа оказывается полезным при анализе ряда прикладных задач. Схема электрич. цепи с сосредоточ. параметрами может

рассматриваться как граф, вершины к-рого — узлы цепи, ребра — ветви цепи [1]. Г. т. оказывается полезной в вопросах, связанных с рационал. синтезом печатных схем, когда важно реализовать схему с возможно меньшим числом самопересечений соединяющих проводников. Г. т. используется при исследовании нек-рых проблем *математического программирования*, имеющих важное практич. значение. Большинство из них имеет дело с т. н. нормированными графами, когда каждому ребру графа сопоставляется нек-рое число («длина» или норма ребра). Среди подобных задач следует отметить задачу о кратчайшем пути между двумя вершинами графа, задачу коммивояжера, состоящую в отыскании кратчайшего контура, проходящего через заданные вершины графа; *транспортную задачу* на сети. Г. т. используется также при исследовании нек-рых вопросов целочисл. *линейного программирования*. В частности, в геометрич. терминах графов формулируются условия, гарантирующие целочисленность планов задачи линейного программирования.

Нек-рые понятия Г. т., наиболее часто используемые в приложениях, даны ниже. Произвольный набор ребер графа G вместе с их вершинами наз. подграфом графа G . Ребро с концами A_i, B_j обозначается $A_i B_j$. Подграф, образов. ребрами $A_{i_0} A_{i_1}, A_{i_1} A_{i_2}, \dots, A_{i_{s-1}} A_{i_s}$, наз. путем графа, связывающим вершины A_{i_0} и A_{i_s} . Путь графа, в к-ром начальная и конечная вершины совпадают, а остальные вершины различны, наз. контуром графа. Граф наз. связным, если для любой пары его вершин существует путь, соединяющий эти вершины. Связный подграф H графа G наз. максимальным, если в G не существует связного подграфа, содержащего H и с ним не совпадающего. Связный граф, не содержащий ни одного контура, наз. деревом. Изучение произвольного графа G сводится к исследованию макс. связных подграфов, т. к. G может быть представлен в виде их объединения. Пусть α_0 и α_1 — числа вершин и ребер графа G соответственно. Важными хар-ками графа являются числа $R = \alpha_0 - 1$ — ранг графа и $N = \alpha_1 - R$ — число связности графа. Число связности N совпадает с минимальным числом независимых контуров графа, порождающих любой его контур. Число связности произвольного дерева равно нулю. Перенумеруем все вершины и ребра графа G и обозначим их соответственно через $A_1, A_2, \dots, A_{\alpha_0}$ и $L_1, L_2, \dots, L_{\alpha_1}$. Рассмотрим матрицу $E = \|e_{ij}\|$ с α_0 строками и α_1 столбцами, элементами к-рой являются числа:

$$e_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } A_i \text{ является} \\ & \text{концом ребра } L_j \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Числа e_{ij} наз. коэфф. инцидентности ребра L_j и вершины A_i , матрица E — матрицей инцидентности графа G . Переход к матрице инцидентности графа позволяет перевести на аналитич. язык различные геометрич. свойства графа. В нек-рых случаях, наоборот, свойства матрицы инцидентности оказываются удобными формулировать в терминах связанного с ней графа. Графы с одинаковыми матрицами инцидентности наз. эквивалентными. Граф наз. плоским, если существует эквивалентный граф, располож. без самопересечений на плоскости. Ребро графа наз. ориентированным, если задан порядок следования его вершин

(указаны начало и конец ребра). Граф, все ребра к-рого ориентированы, наз. ориентированным графом (матрица инцидентности для ориентированного графа определяется несколько иначе, чем для неориентированного).

Лит.: Кудрявцев Л. Д., О некоторых математических вопросах теории электрических цепей, «УМН», 1948, т. 3, вып. 4(26); Берг К., Теория графов и ее применение, пер. с франц., М., 1962; König O., Theorie der endlichen und unendlichen Graphen, Lpz., 1936. Е. Г. Гольштейн.

ГРУППОВАЯ ОПЕРАЦИЯ (grouped operation; operation de groupe; Gruppenoperation) — операция, выполняемая над группой операндов. Не требует выборки команд при обработке каждого операнда исходного массива. Для переработки любого массива данных Г. о. достаточно однократно задать тип операции, объем и расположение исходной информации, а также размещение результатов. Необходимые преобразования исходных команд осуществляются схемно без обращения к ЗУ.

Г. о. делятся на операции групповых пересылок и групповые арифметич. и логич. операции. При операции групповых пересылок осуществляется обмен произвольными массивами информации между отдельными устройствами вычислительной машины (входными и запоминающими устройствами, оперативными и внешними ЗУ и т. д.). В трехадресных машинах групповую пересылку можно задавать одной командой (напр., «Стрела»), в одноадресных — двумя или более командами. В машине «Урал», напр., групповая пересылка с магнитной ленты в ЗУ осуществляется 3 командами. Для выполнения групповых арифметич. или логич. операций требуется задать признак Г. о. и объем обрабатываемой информации. В многоадресных машинах необходимо, кроме того, определить модифицируемые адреса операндов, над к-рыми осуществляется Г. о. Эти дополнит. данные могут содержаться либо в спец. предварит. команде, указывающей на групповой режим выполнения последующей команды, либо в той команде, групповое выполнение к-рой необходимо осуществить. Так, в «Стреле», напр., для задания групповой арифметич. или логич. операции используется предварит. команда.

И. А. Данильченко.

ГРУППОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ (grouped voltage control; régulation de groupe de tension; Gruppenspannungsregelung) — централизованное автоматич. управление режимом напряжения и реактивной мощности группы генераторов электростанций. Г. р. н. упрощает комплексную автоматизацию электростанций, позволяя рассматривать группу генераторов как единое целое и устанавливать задание на регулирование режима всей группе подачей одного командного сигнала. В первую очередь Г. р. н. предусматривается для генераторов гидроэлектростанций, имеющих идентичные параметры. В этих условиях оптим. режимом по реактивной мощности будет равномерное распределение реактивной нагрузки между генераторами группы. Всякое отклонение от равномерного распределения, помимо увеличения потерь, может вызвать или перегрузку нек-рых генераторов, или недовыработку реактивной мощности. Для гидрогенераторов Г. р. н. наиболее просто может быть выполнено с применением индивидуальных

регуляторов возбуждения, установл. на генераторах группы. В этом случае устройство Г. р. н. содержит лишь групповой задатчик уставок индивидуальных регуляторов. Распределение реактивной мощности между генераторами группы осуществляется по статич. хар-кам индивидуальных регуляторов. Такое устройство Г. р. н. не обеспечивает достаточно точного распределения реактивной нагрузки и требует периодич. корректировки этого распределения персоналом. Более соверш. устройство Г. р. н. содержит групповые измерит. органы напряжения и задатчик уставок, а также индивидуальные усилит. и регулирующие органы для каждого генератора группы. При таком Г. р. н. должно предусматриваться принудит. распределение (уравнивание) реактивной нагрузки между генераторами группы. Критерием равномерного распределения нагрузки является соответствие фактич. нагрузки каждого генератора ср. значению, равному частному от деления всей нагрузки группы на число генераторов.

Схема принудит. распределения нагрузки реагирует на рассогласование между фактич. нагрузками генераторов и средней (заданной) их величиной и отрабатывает корректирующие сигналы, направл. на устранение рассогласования, т. е. на уравнивание нагрузки генераторов. Т. о., система принудит. распределения нагрузок является САР возбуждения группы генераторов по отклонению нагрузки от заданного (среднего) значения и может быть выполнена статической или астатической. В *астатической системе* рассогласование в установившемся режиме равно нулю, а в *статической системе* величина рассогласования зависит от нагрузки группы.

Принудит. распределение нагрузки (уравнивание) может осуществляться либо по реактивной мощности или реактивной составляющей тока генератора, либо по току возбуждения или напряжению на обмотке возбуждения. Использование тока или напряжения возбуждения технически проще и позволяет переводить генераторы в режим синхронного компенсатора без изменений в уставках системы распределения, что является преимуществом этой системы.

При Г. р. н. с распределением по напряжению на обмотке возбуждения требуется осуществлять дополнит. электрич. связи между генераторами группы, что является известным недостатком этой системы. Г. р. н. с принудит. распределением реактивной нагрузки позволяет автоматически регулировать напряжение сборных шин, к к-рым подключена данная группа генераторов, по астатич. хар-ке и даже с отрицат. статизмом, чего нельзя осуществить при индивидуальном регулировании возбуждения генераторов. Для Г. р. н. используется аппаратура выпускаемых промышленностью регуляторов напряжения.

Лит.: Гольдина Л. Л., Кучкин М. Д. и Росман Л. В., Групповое управление возбуждением генераторов на автоматизированных гидростанциях, «ЭС», 1957, № 1.

В. Л. Козис, Е. Л. Сиротинский.

ГУРВИЦА КРИТЕРИЙ (Hurwitz criterion; critère de Hurwitz; Hurwitzsches Kriterium) — критерий, позволяющий определить устойчивость динамич. системы, описываемой линейным дифференциальным ур-нием n -го порядка с пост. коэфф.

$$a_0 x^{(n)}(t) + a_1 x^{(n-1)}(t) + \dots +$$

$$+ a_{n-1} x(t) + a_n x(t) = b_0 f^{(m)}(t) + \dots + b_m f(t).$$

Система является устойчивой, если все корни ее характеристич. ур-ния

$$a_0 \lambda^n + a_1 \lambda^{n-1} + \dots + a_{n-1} \lambda + a_n = 0$$

имеют отрицательные действит. части. Для ур-ний с действит. коэфф. a_0, a_1, \dots, a_n Г. к. формулируется так: для того, чтобы все корни характеристич. ур-ния имели отрицательные действит. части, необходимо и достаточно, чтобы определитель Гурвица

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_n \end{vmatrix}$$

и все его диагональные миноры

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}, \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}, \dots$$

были одного знака с a_0 . Т. к. при соответствующем выборе знаков $a_0 > 0$, то определитель Гурвица и его диагональные миноры должны быть положительными. Как следствие вытекает необходимое условие устойчивости: все коэфф. характеристич. ур-ния должны быть положительными. Г. к. удобно пользоваться до $n=5$.

Г. к. сводится к системам неравенств при $n=5$

$$a_1 > 0; \quad a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0;$$

$$a_1 a_2 a_3 - a_0 a_3^2 - a_1^2 a_4 + a_0 a_1 a_5 > 0;$$

$$a_1 a_2 a_3 a_4 - a_0 a_3^2 a_4 - a_1^2 a_4^2 + a_0 a_1 a_4 a_5 + a_0 a_2 a_3 a_5 -$$

$$- a_1 a_2^2 a_5 + a_0 a_1 a_4 a_5 - a_0^2 a_5^2 > 0;$$

$$a_5 > 0.$$

При $n=4$

$$a_1 > 0; \quad a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0;$$

$$a_1 a_2 a_3 - a_0 a_3^2 - a_1^2 a_4 > 0;$$

$$a_4 > 0.$$

При $n=3$

$$a_1 > 0; \quad a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0; \quad a_3 > 0.$$

При $n=2$ и $n=1$ требуется, чтобы все коэфф. ур-ния были одного знака.

Критерий установлен нем. математиком А. Гурвицом в 1895. В др. форме этот критерий установлен англ. математиком Раусом в 1877.

Ю. Ф. Качатов.

ГУРВИЦА ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ (Hurwitz determinant; determinant de Hurwitz; Hurwitzsche Determinante) — см. *Гурвица критерий*.

Д

ДАВЛЕНИЕ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ, давление звука, радиационное давление (acoustic radiation pressure; pression de radiation acoustique; Schallstrahlungsdruck), — среднее по времени избыточное давление на препятствие, вызываемое падающими на него звуковыми волнами. Д. з. п. определяется импульсом, передаваемым волной в единицу времени единице площади препятствия. Д. з. п., создаваемое звуковым лучом огранич. сечения, окруженным невозмущ. средой, в случае норм. падения луча на отражающее звук препятствие, определяется ф-лой, аналогичной соответствующей ф-ле для давления света,

$$P = (1 + R) \frac{J}{c} = (1 + R) \rho_0 \frac{V^2}{2}.$$

Здесь R — коэфф. отражения по энергии; J — плотность потока энергии (интенсивность звука) в падающей волне; ρ_0 — плотность невозмущенной среды; V — амплитуда колебат. скорости волны; c — скорость распространения звука. При норм. падении звукового луча огранич. сечения на поверхность раздела двух сред она испытывает Д. з. п., определяемое ф-лой $P = (1 + R) \frac{J_1}{c_1} - \frac{J_2}{c_2}$, где J_1 и J_2 — интенсивности звука в первой и второй средах, а c_1 и c_2 — соответственно скорости распространения звука. Д. з. п., действующее на границе раздела двух жидких сред или жидкой и газообразной сред, приводит к прогибанию поверхности раздела, к-рое при достаточной интенсивности звука может перейти в фонтанирование, сопровождающееся диспергированием жидкости. Этим явлением пользуются для получения аэрозолей. Будучи эффектом 2-го порядка, Д. з. п. мало по сравнению с переменным звуковым давлением. Напр., в звуковой волне в воздухе при обычных условиях, при интенсивности порядка 10^{-7} вт/см², что соответствует разговору средней громкости, Д. з. п. составляет 10^{-5} дин/см², в то время как амплитуда звукового давления при этих условиях равна 6 дин/см². В воде при интенсивности звука порядка 10 вт/см² Д. з. п. составляет 10^3 дин/см². Важнейшие применения Д. з. п. основаны на том, что по измерению Д. з. п. можно определить абс. значение интенсивности звука. Д. з. п. измеряют радиометром (полностью отражающим или полностью поглощающим диском, соединенным с динамометром, указывающим величину силы, действующей на диск) или по величине вспучивания границы раздела сред.

Лит.: Стретт Дж. В. (лорд Рэлей), Теория звука, пер. с англ., т. 2, 2 изд., М., 1955, § 253; Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956, гл. 1, § 1; Корнфельд М., Молохова Н., Вспучивание поверхности жидкости под действием ультразвука, «ДАН СССР», 1955, т. 105, № 3, с. 476.

Н. А. Наугольных.

ДАВЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ [working fluid (liquid) pressure; pression hydraulique; Arbeitsflüssigkeitsdruck, Betriebsflüssigkeitsdruck] — сила, развиваемая рабочей жидкостью на единице площади и нормальная к ней в любой точке объема, заполненного этой жидкостью. Выбор рабочего давления гидравлич. привода определяется областью его применения. Для уменьшения габаритов исполнит. механизма привода, а также размеров соединит. магистралей целесообразно пользоваться высокими рабочими давлениями (150—300 кг/см²). Это выгодно также с точки зрения улучшения динамич. свойств систем регулирования. Однако применение высоких давлений связано с жесткими требованиями к качеству и точности изготовления деталей, уплотнению узлов, выбору материалов и т. д. Одновременно увеличивается стоимость гидроагрегатов, уменьшается срок их службы.

В стационарных установках, напр. в гидрокopировальных станках, рабочее давление выбирается в пределах 25—60 кг/см². Более низкие рабочие давления используются в силовых исполнит. механизмах, применяемых при автоматизации медленно протекающих производств. процессов. Давление в системе управления в большинстве случаев выбирается ниже рабочего давления. Объясняется это необходимостью снижения усилий, действующих на управляющие элементы, напр. электромехан. преобразователи. Давление слива определяется обычно условиями эксплуатации гидропривода. Чаще всего это атм. давление.

В. А. Хохлов.

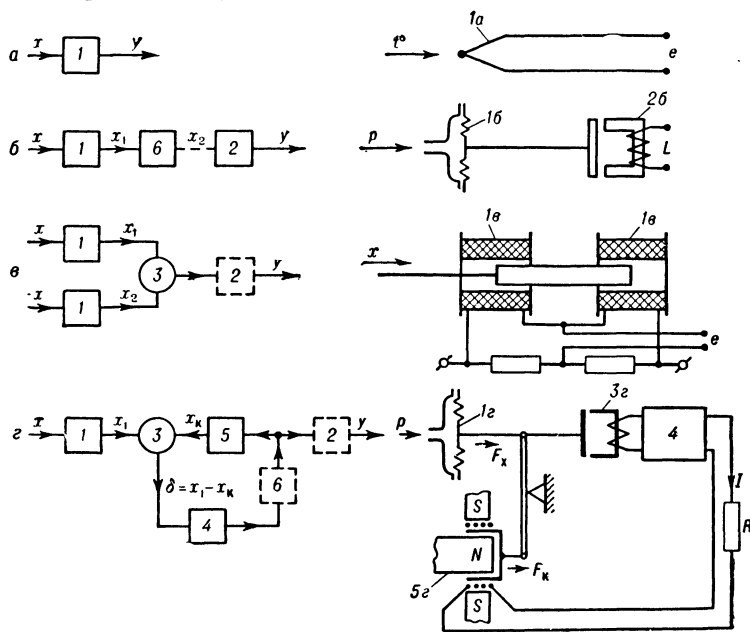
ДАТЧИК, в системе автоматического контроля и регулирования (pick-up, transducer, transmitter; capteur, transmetteur, détecteur; Geber, Meßwandler), — преобразователь контролируемой или регулируемой величины в выходной сигнал, удобный для дистанц. передачи и дальнейшей обработки. Выходные сигналы различаются: по роду энергии — электрич. и пневматич. (реже гидравлич.); по характеру модуляции потока энергии — амплитудные (напряжение, ток, давление газа и др.), импульсные, частотные, фазовые и дискретные (цифровые).

Многие Д. имеют на выходе изменяющиеся сопротивление, индуктивность или емкость и рассчитаны на выдачу указанных выше выходных сигналов не непосредственно, а только после добавления к ним той или иной измерительной схемы, которую обычно располагают во вторичном приборе. В этом случае целесообразно говорить не о выходном сигнале, а о выходном параметре (сопротивлении, емкости, индуктивности).

Основными хар-ками Д. являются: а) вид функциональной зависимости между изменениями входной x и выходной y величин $y=f(x)$; предпочтительна линейная зависимость $y=Sx$; б) чувствительность $S=\Delta y/\Delta x$; в) порог чувствительности — наименьшее изменение входной величины, вызывающее изменение выходного сигнала; г) основная погрешность преобразования — максимальная разность между получаемым значением выходного сигнала и его номинальным значением, соответствующим данному значению измеряемой величины при нормальных внешних условиях; она выражается обычно в процентах от разности предельных значений выходного сигнала; д) дополнительная погрешность — погрешность, вызываемая изменением внешних условий за пределы нормальных значений; за норм. условия обычно принимаются: температура окружающей среды $20\pm 5^\circ$, атм. давление 760 ± 20 мм рт. ст., относит. влажность $60\pm 20\%$; е) в динамике, отношении (см. *Динамические характеристики контрольно-измерительных приборов*) Д. представляют собой в большинстве случаев инерционные звенья (термопары, термометры сопротивления) или колебательные звенья (Д. с упругими чувствит. элементами). Д., включающие длинные неэлектрич. линии связи (манометрич. термометры, газоанализаторы), имеют также чистое запаздывание.

По структуре Д. состоят из одного или неск. соединенных в единую систему элементарных преобразователей. Важнейшим из них является первый преобразователь, воспринимающий контролируемую величину (воспринимающий орган Д. или чувствит. элемент). В простейшем случае выходная величина выбранного чувствит. элемента и его хар-ка совпадают с требуемой выходной величиной и хар-кой Д. При этом Д. состоит из одного преобразователя (рис., а). К такого рода простейшим Д. относятся, напр., термопара, термометр сопротивления, тензодатчик и др. Сложные Д. строятся по след. структурным схемам: 1) Каскадное соединение преобразователей (рис., б) позволяет получить необходимый вид выходного сигнала при выбранном

чувствит. элементе путем последующих преобразований. Нередко Д. содержит в качестве одного из своих органов преобразователь, к-рый в др. случаях используется как самостоятельный Д. Так, напр., многие Д. давления представляют собой каскадное



Структурные схемы датчиков (слева — блок-схемы, справа — примеры выполнения): а — простейший вид датчика (термопара); б — каскадное соединение преобразователей; в — дифференциальный датчик; г — компенсационный датчик; 1 — воспринимающий орган датчика (чувствит. элемент); 1а — термопара; 1б и 1г — мембраны; 1в — соленоидный индуктивный датчик; 2 — выходной орган датчика; 2б — индуктивный датчик; 3 — измеритель рассогласования (вычитающий элемент); 3г — индуктивный датчик; 4 — усилитель; 5 — орган отработки (генератор компенсирующей величины); 5г — магнитоэлектрич. система; 6 — промежуточный орган датчика.

соединение упругого чувствит. элемента, механич. передаточного устройства и индуктивного Д. В качестве выходного органа Д. используются также усилители, поднимающие уровень выходного сигнала. 2) Дифференциальное соединение преобразователей (рис., в) осуществляется т. о., что полезные выходные сигналы их складываются, а сигналы, вызванные изменением внешних условий (темпер., питающего напряжения), а также др. мешающие факторы (напр., втягивающие усилия электромагнитных систем) вычитаются. В ряде случаев дифференциальное включение преобразователей позволяет спрямлять их нелинейную хар-ку. 3) Компенсационные Д. (рис., г), основанные на автоматич. уравнивании измеряемой величины (непосредственно или после предварит. преобразования чувствит. элементом) другой величиной того же рода. Широко применяются Д. с компенсацией усилия и компенсацией перемещения. Компенсационные Д. обеспечивают высокую точность измерений, а Д. с компенсацией усилия обладают при этом еще минимальным порогом чувствительности и являются, как правило, многопредельными, так как соотношение измерительного и компенсирующего усилий легко изменять простой настройкой передаточного отношения плеч рычагов кинематики преобразователя.

Д., в отличие от остальных элементов системы автоматич. контроля и регулирования, находятся в особенно тяжелых условиях эксплуатации: они размещаются непосредственно на объекте контроля, часто при резко переменных темп-рах, давлениях, атм. влияниях, агрессивном действии контролируемых сред; эти условия требуют весьма тщательного выбора принципов построения, конструктивных элементов и материалов с целью обеспечения высокой эксплуатац. надежности. Специфич. требования предъявляются к выходным сигналам и хар-кам Д. при использовании их совместно с машинами централизованного контроля *обогатяющего*. Поочередное подключение многих Д. к одному измерит. устройству требует макс. унификации выдаваемых Д. сигналов по их виду и величине. Необходимость переключения выходных цепей Д., а также используемое в машинах обогатяющего контроля преобразование сигналов в цифровую форму делают предпочтительным использование сигналов цифрового вида, частотных, времяимпульсных или амплитудных высокого уровня (напр., тока 0—5 ма, напряжения 0—10 в). Хар-ки Д., используемые в системах *контроля централизованного*, также должны быть унифицированными, в частности линейными.

Лит.: Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959; Сотсков Б. С., Элементы автоматической и телемеханической аппаратуры, М.—Л., 1950; Турчин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, 3 изд., М.—Л., 1959.

Д. И. Агейкин.

ДАТЧИК ВРЕЯИМПУЛЬСНЫЙ (cycle-repeat timer; capteur impulsif à temps; Impulszeitgeber, Impuls-längengeber, Impulsbreiten-geber, Pulsdauergeber) — преобразователь, выходным сигналом которого является интервал времени, выраженный в виде видеопульса или радиопульса соответствующей длительности или в виде двух сигнальных импульсов, ограничивающих интервал времени. Преимуществами времяимпульсного сигнала являются: высокая помехоустойчивость при передаче по линиям связи и легкость преобразования его в цифровую форму. Соответственно Д. в. применяется преимущественно в телемеханич. системах и в цифровых устройствах централизованного контроля. В зависимости от вида входной величины используются различные принципы построения Д. в. 1) Механич. перемещение или угол поворота преобразовываются в длительность электрич. импульса с помощью устройства, изображ. на рис.

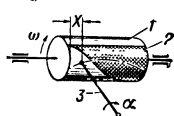


рис. Изоляц. барабан 1 с нанесенной на него проводящей маской 2, представляющей в развертке треугольник, непрерывно вращается с пост. скоростью ω . Контролируемое перемещение передается щетке 3. Время, в течение к-рого щетка замыкает цепь, зависит от ее расстояния X от края барабана: $t = k\omega \cdot X$. Д. в. этого типа выполняются в различных конструктивных вариантах. При пост. значении X могут использоваться для преобразования скорости вращения вала ω . 2) Д. в. расхода газов и жидкостей строятся на принципе измерения времени переноса меченой порции среды на определенное расстояние L : при этом $t = L/v$, где v — линейная скорость движе-

ния жидкости. Для введения меток в поток движущейся среды используются импульсная ионизация искрой или радиоактивным облучением (для газа), выскивание порций нагретой или окрашенной жидкости и др. 3) Д. в. расстояний, размеров, уровня жидкостей основаны на измерении времени прохождения акустич. импульсного возмущения в среде от излучателя до контролируемой точки и обратно (см. *Ультразвуковой измеритель уровня*). Известны также датчики вязкости жидкостей, основанные на измерении времени падения шарика в жидкости, датчики размеров, основанные на измерении времени, в течение к-рого определенный объем газа будет выдавлен через зазор между соплом и контролируемой поверхностью, и др. аналогичные устройства.

Лит.: Жданов Г. М., Телеизмерение. Колоидные системы, М., 1949; Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959.

Д. И. Агейкин.

ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТНЫЙ (fluid pressure transducer; capteur de pression à liquide; Flüssigkeitsdruckgeber) — преобразователь избыточного давления, разрежения или перепада давлений в выходной сигнал; в Д. д. ж. жидкость служит разделит. или уравнивающей средой. Д. д. ж. всех систем содержат сосуд (систему сосудов), заполненный жидкостью так, что образуются две наджидкостные полости, воспринимающие давления P_1 и P_2 , разность ΔP между к-рыми подлжит преобразованию. Величина ΔP уравнивается гидростатич. давлением, образованным разностью h высот уровней жидкости: $\Delta P = \gamma h$, где γ — уд. вес жидкости. Существующие типы Д. д. ж. можно разбить на две группы, с преобразованием в выходной сигнал 1) высоты столба h жидкости и 2) усилия, образующегося за счет действия давления на поверхности сосудов. К последней группе относятся: манометр колокольный дифференциальный, в котором давление воспринимается площадью дна колокола, погруженного в жидкость, и манометр кольцевой дифференциальный, в котором давление воспринимается перегородкой в камере кольцевой формы, заполненной частично жидкостью. В обоих этих типах жидкость играет роль разделительной среды.

Д. д. ж. с измерением величины h делятся на трубчатые, чашечные и поплавковые. Мерой измеряемого давления в этих приборах является уровень жидкости, преобразуемый в выходной сигнал. Пределы измерения Д. д. ж. обычно не превышают 1000 мм столба жидкости. Уравнивающей жидкостью служат спирт, вода, минеральное масло, ртуть. Примером Д. д. ж. трубчатого типа является U-образный жидкостный манометр (рис. 1). Два проволочных сопротивления R_1 и R_2 , включенные в мостовую схему, меняют свое сопротивление в зависимости от уровня электропроводной жидкости в коленях трубки. Д. д. ж. чашечного типа (рис. 2) имеет прямую трубку 1 с укрепленным в ней проволочным сопротивлением 2. Для измерения давления и перепада давлений при статич. давлении используется Д. д. ж. поплавкового типа (рис. 3) с трубкой 1 из нержавеющей немагнитной стали. На поверхности ртути 2, заполняющей трубку, плавает поплавок 3 из магнитного материала.

Снаружи трубки посредством ходового винта 7 и реверсивного двигателя 6 перемещается катушка 4 следящего устройства. При изменении положения уровня ртути 2 поплавков 3

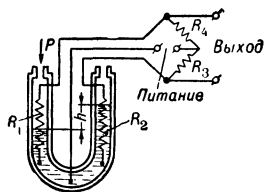


Рис. 1.

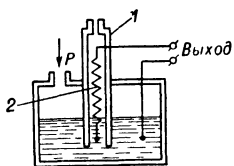


Рис. 2.

смещается относительно катушки 4, и во вторичной ее обмотке возникает эдс рассогласования, усиливаемая усилителем 5 и подаваемая на реверсивный двигатель 6, при вращении

к-рого катушка перемещается вслед за поплавком в новое положение до снятия сигнала рассогласования; выходная величина преобразуется устройством 8 в дискретный сигнал дистанц. передачи; показания счи-

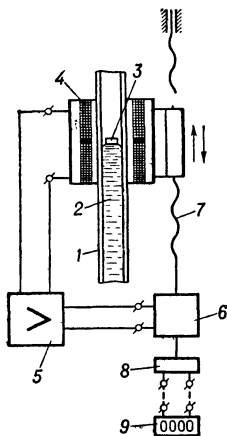


Рис. 3.

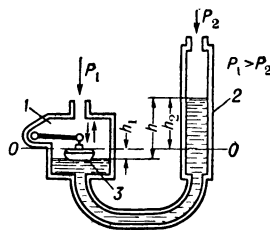


Рис. 4.

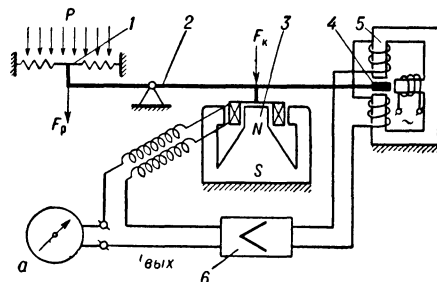
тываются с цифрового счетчика 9.

Поплавковый дифманометр (рис. 4) применяется для измерения перепада давлений, избыточного давления (напора) и разрежения (тяги). Измеряемая разность давлений ΔP есть ф-ция изменения уровня жидкостей в широком сосуде $\Delta P = f(h_1)$. Перемещение поплавка преобразуется в пневматический или электрический сигнал дистанционной передачи.

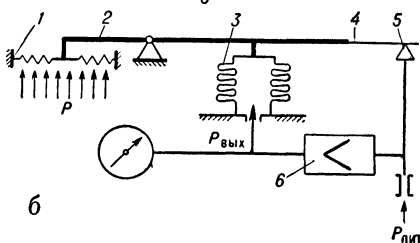
Лит.: Агейкин Д. И., Костина Е. Н. и Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959; Жохановский М. К., Техника измерения давления и разрежения, 2 изд., М., 1952; Преображенский В. П., Теплотехнические измерения и приборы, 2 изд., М.—Л., 1953; Мионов К. А. и Шипетин Л. И., Теплотехнические измерительные приборы. Справочные материалы, 2 изд., М., 1959; Теплотехнический справочник, т. 2, М.—Л., 1958. Э. Т. Шапиро.

ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ КОМПЕНСАЦИОННЫЙ (force balance pressure gauge, pressure pick-up, pressure transducer; capteur de pression à compensation; Kompensationsdruckgeber) — преобразователь давления жидкостей или газов в электрич., пневматический или др. вида выходной сигнал, основанный на компенсации входной величины (непосредственно или после предварит. преобразования) эталонной величиной того же рода, вырабатываемой следящей системой (см. Компенсационный метод). Широкое распространение в системах автоматич. контроля и регулирования получили датчики давления с электрич.

(рис., а) и пневматич. (рис., б) силовой компенсацией. Усилие, создаваемое измеряемым давлением P на чувствит. элементе 1, непосредственно или через рычажную систему 2 уравновешивается усилием от силового устройства



б



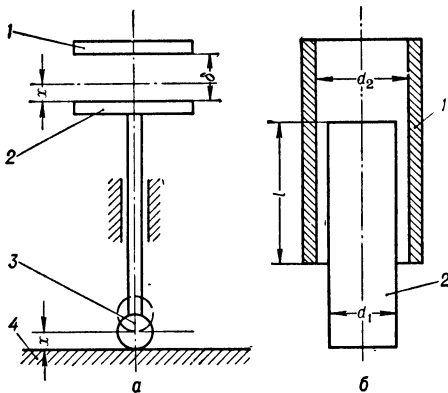
обратной связи 3. При изменении измеряемого давления изменяется положение управляющего органа 4 индикатора рассогласования 5. Возникший при этом сигнал рассогласования усиливается усилителем 6 и поступает в силовое устройство 3. Выходным сигналом может быть любая, однозначно связанная с компенсирующим усилием, величина. Чувствит. элементами датчиков давления служат мембраны, сильфоны, манометрич. трубки и др. упругие элементы, а также жидкостные колокольные системы. В качестве электрич. силовых устройств обратной связи обычно используются: 1) механизм магнитоэлектрич. типа (рис., а). Величина развиваемого усилия F_k линейно связана с током i , протекающим через рамку, к-рый может быть использован как выходная величина; 2) ферродинамич. механизм, отличающийся от магнитоэлектрич. тем, что пост. магнит заменен электромагнитом. При последовательном включении рамки и электромагнита величина усилия связана с током квадратичной зависимостью $F_k = ki^2$, что обеспечивает линейризацию хар-ки при использовании датчика совместно с диафрагмой для измерения расхода; 3) реверсивный двухфазный асинхронный электродвигатель с редуктором, воздействующий на величину натяга пружины. Выходной величиной в данном случае является угол поворота вала (натяг пружины). Датчики с электродвигателем при сравнительно высокой статич. точности обладают большой инерционностью и не получили широкого распространения. Силовыми устройствами обратной связи пневматич. датчиков служат упругие чувствит. элементы, напр. сильфон (рис., б) или мембрана; усилие, развиваемое ими, линейно связано с выходной величиной датчика — давлением $P_{\text{вых}}$.

В качестве индикатора рассогласования могут быть использованы датчики перемещений, обладающие достаточной чувствительностью и стабильностью нулевой точки хар-ки.

В пневматич. Д. д. к. обычно применяется индикатор типа сопло-заслонка (рис., б), в электрических — индуктивный, дифференциально-трансформаторный, емкостный и др. датчики.

Существенные преимущества компенсац. метода при измерении давлений: 1) ничтожно малый прогиб чувствит. элемента (0,01 мм и менее), что обеспечивает длит. срок его службы, постоянство хар-к и хорошую их воспроизводимость; 2) возможность получения удобных видов выходных сигналов высокого уровня — давления, тока и др.; 3) возможность получения линейной хар-ки датчика; 4) возможность перенастройки датчика на разные пределы без смены чувствит. элемента за счет изменения передаточного отношения кинематич. системы; 5) высокая точность. Пром. образцы Д. д. к. выпускаются класса точности 0,5 и 1 с порогом чувствительности не более 0,05% и вариацией показаний не более 0,3% от диапазона измерения. А. Я. Юровский.

ДАТЧИК ЕМКОСТНЫЙ (capacity transducer; capteur capacitif; kapazitiver Geber) — преобразователь неэлектрич. величин (перемещения уровня жидкости, усилия, влажности или состава) в изменение электрич. емкости. Д. е. обладают рядом существенных достоинств: высокая чувствительность, простота устройства, малые габариты и вес, малая инерционность, весьма небольшие усилия электрич.



Емкостные датчики перемещения: а — плоскопараллельный; б — цилиндрический; 1 и 2 — обкладки конденсатора; 3 — шуп; 4 — исследуемая поверхность.

взаимодействия между обкладками датчика. Конструктивно Д. е. представляет собой конденсатор, состоящий из двух или более пластин, разделенных диэлектриком. Емкость простейшего Д. е. с двумя плоскими пластинами равна $C = 0,089 \frac{S \epsilon}{\delta} (нф)$, где S — площадь взаимного перекрытия пластин конденсатора ($см^2$); δ — расстояние между пластинами ($см$); ϵ — относительная диэлектрич. проницаемость диэлектрика конденсатора. В зависимости от того, на какой параметр Д. е. воздействует измеряемая неэлектрич. величина, различают: а) Д. е. перемещения, основанные на изменении зазора δ между пластинами; б) Д. е. перемещения, основанные на изменении площади перекрытия пластин; в) Д. е. уровня, влажности, состава или усилия, основанные на изменении диэлектрич. проницаемости за счет перемещения, дефор-

мации и изменения состава диэлектрика. Конструктивно Д. е. выполняются как плоскопараллельные (рис., а) или цилиндрические (рис., б) конденсаторы. Чувствительность плоскопараллельного Д. е. к изменению зазора между электродами определяется ф-лой

$$\gamma = 0,089 \frac{S \epsilon}{(\delta \pm x)^2} \left(\frac{нф}{см} \right),$$

где x — величина приращения зазора ($см$).

Чувствительность цилиндрич. Д. е. определяется по ф-ле

$$\gamma = 0,56 \frac{\epsilon}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \left(\frac{нф}{см} \right),$$

где d_1 и d_2 — соответственно диаметры внутренней и внешней обкладок конденсатора ($см$). Чувствительность цилиндрич. Д. е. постоянна на всем диапазоне перемещения, что позволяет получить линейную зависимость между перемещением и емкостью. Погрешность Д. е. равна

$$\frac{dC}{C} = \left| \frac{d\epsilon}{\epsilon} \right| + \left| \frac{dS}{S} \right| + \left| \frac{d\delta}{\delta} \right|,$$

где $\frac{dC}{C}$ — относит. изменение емкости Д. е.; $\frac{d\epsilon}{\epsilon}$ — относит. изменение диэлектрич. проницаемости диэлектрика конденсатора; $\frac{dS}{S}$ — относит. изменение площадей обкладок конденсатора; $\frac{d\delta}{\delta}$ — относит. изменение расстояния между обкладками. Относит. изменение площадей обкладок конденсатора и расстояния между ними определяется в основном применяемыми материалами и конструкцией Д. е. В целях уменьшения влияния изменений темп-ры среды, влажности и ряда др. факторов на точность Д. е. вводят слюдяной изолятор между электродами, что повышает надежность датчика, улучшает его частотную хар-ку и приближает ее к линейной. Кроме того, слюда хорошо противостоит высоким темп-рам.

Наиболее широкое распространение получили Д. е. дифференциального типа. Такой датчик, включенный в мостовую схему [3], позволяет вдвое увеличить ее чувствительность и значительно уменьшить погрешности, вызванные изменением темп-ры и влажности окружающей среды. Частота питания мостовой схемы выбирается из расчета получения емкостного сопротивления $x = \frac{1}{2\pi fC}$, сравнимого с сопротивлением нагрузки. Величина емкости датчика обычно составляет 10—100 нф, что приводит к необходимости использования повышенных частот (от 400 гц до неск. Мгц) и ламповых усилителей. Характерные области применения Д. е.: измерение быстроменяющихся давлений, измерение уровня, прецизионное измерение механич. перемещений (емкостные микрометры), преобразование перемещений маломощных механич. систем в электрич. величину и др.

Лит.: 1) Ренне В. Т., Электрические конденсаторы, 2 изд., М.—Л., 1959; 2) НИИ Теплоприбор. Тр. института, сб. № 2(3), М., 1960; 3) Боронов Л. Н., Расчет и проектирование автоматических устройств для контроля линейных величин, М., 1961; 4) Ацюковский В. А., Емкостные дифференциальные датчики перемещения, М.—Л., 1960. В. И. Сафонов.

ДАТЧИК ИНДУКТИВНЫЙ (inductance pick-up; capteur magnétique à induction; induktiver Geber) — преобразователь величин

ны перемещения или угла поворота в изменение индуктивности. Действие Д. и. основано на зависимости индуктивности от магнитного сопротивления системы. Основными частями Д. и. являются катушка и подвижный элемент магнитопровода (якорь), при перемещении которого изменяется величина магнитного сопротивления. Обычно используются дифференциальные системы Д. и., имеющие большую чувствительность, линейные характеристики и значительно меньшее усилие, действующее на якорь датчика. Существует много различных исполнений Д. и., наиболее употребительные из них показаны на рис. 1 и 2.

Д. и. с переменным зазором (рис. 1) используется для малых перемещений от долей мм до 3—5 мм; Д. и. с переменной площадью зазора (рис. 2) — для перемещений от 0,5 до 15 мм.

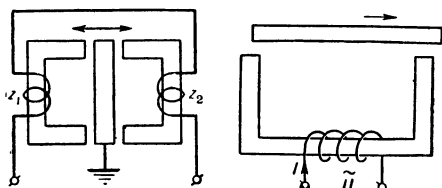


Рис. 1.

Рис. 2.

Индуктивность этих датчиков без учета магнитного сопротивления сердечника выражается ф-лой

$$L \approx \frac{w^2}{\delta} S \mu_0 g_n,$$

где w — число витков; δ — зазор (см); S — площадь пологого наконечника (см²); $\mu_0 = 1,256 \times 10^{-6}$ — магнитная проницаемость вакуума. Индуктивность L можно изменять, меняя длину δ зазора при $S = \text{const}$ или площадь S при $\delta = \text{const}$. Возможно построение систем, в которых одновременно изменяются δ и S . Д. и. соленоидного типа (рис. 3) используется для перемещений от 3 до 50 мм. Существенное его преимущество — возможность отделения обмотки от якоря герметич. трубкой из немагнитного материала.

Для измерения перемещений в малоомощных устройствах, напр. в измерит. приборах, используются Д. и., работающие на высокой частоте (5—50 МГц). Они выполняются обычно в виде двух плоских, соединенных последовательно катушек, между которыми переме-

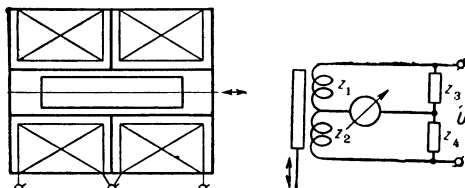


Рис. 3.

Рис. 4.

щается тонкий флажок из немагнитного металла. Основные характеристики Д. и.: 1) линейность характеристик, обычно обеспечиваемая в пределах изменения δ на $\pm 20\%$; 2) величина тяговых усилий, действующих на якорь магнитопровода, определяемая по ф-ле $Q = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\delta}$ кг, где I — ток в катушке (а). Д. и. обычно вклю-

чаются в мостовые измерит. схемы, причем обмотки дифференциальных Д. и. включаются в соседние плечи (рис. 4).

Лит.: Агейкин Д. И., Колосов С. П. и Удалов Н. П., Руководство по проектированию элементов автоматики, вып. 1, М., 1957; Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959; Сотсков Б. С., Элементы автоматической и телемеханической аппаратуры, М.—Л., 1950; его же, Основы расчета и проектирования элементов автоматических и телемеханических устройств, М.—Л., 1953; Турчин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, 3 изд., М.—Л., 1959; Куликовский Л. Ф., Индуктивные измерители перемещений, М.—Л., 1961.

Г. В. Николаев.

ДАТЧИК МАГНИТОУПРУГИЙ (magnetostriction transducer; capteur magnetostrictif; magnetoelastischer Geber, magnetostriktiver Geber) — преобразователь механич.

усилий или деформаций в электрич. величины, действие которого основано на зависимости магнитных характеристик ферромагнитных материалов от механических напряжений в материале. У материалов с положительн. магнитострикцией (удлиняющихся под действием продольного поля) растяжение, не превосходящее предела упругости, вызывает сужение петли гистерезиса и увеличение ее крутизны (рис. 1, а, пермаллой), а у материалов с отрицат.

магнитострикцией — незначительное расширение петли и уменьшение ее крутизны (рис. 1, б, никель). Изменение магнитных характеристик при сжатии противоположно по характеру изменению их при растяжении. При снятии механич. нагрузки магнитные

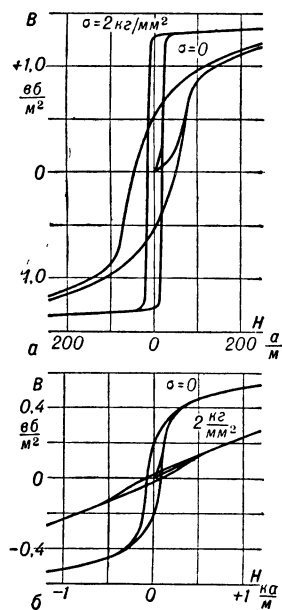


Рис. 1. Изменение формы петли гистерезиса под влиянием растяжения: а — для пермаллоя; б — для никеля; В — магнитная индукция; H — напряженность магнитного поля; σ — растягивающее напряжение.

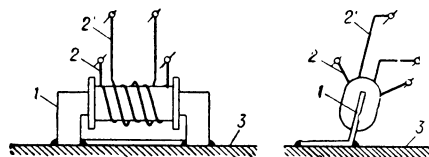


Рис. 2. Рабочий элемент магнитоупругого датчика: 1 — магнитопровод; 2, 2' — обмотки; 3 — исследуемая деталь.

характеристики возвращаются к своему исходному виду при условии, что нагрузка не превосходит предела упругости материала. Основным рабочим элементом Д. м. — магнитопровод 1 (рис. 2) из соответствующего материала, снабженный одной или неск. обмотками 2, 2'. Изменения магнитных характеристик материала магнитопровода под действием приложенных к

нему усилий проявляются в изменениях индуктивности или взаимной индуктивности обмоток. Для преобразования деформаций детали к.-л. машины или сооружения магнитопровод датчика l приклеивают или припаивают к поверхности этой детали 3 вдоль направления, по к-рому происходят преобразуемые деформации растяжения или сжатия.

Относит. чувствительность (по индуктивности) к деформации $k = \frac{\Delta L}{\Delta l} \cdot \frac{l}{L} = \frac{\Delta \mu}{\Delta l} \cdot \frac{l}{\mu}$ у Д. м.

очень высока и при магнитопроводе из 45% пермаллоя превосходит 10^3 ; у этого материала с модулем упругости $E = 15\,000 \text{ кг/мм}^2$ напряжение $\sigma = 1 \text{ кг/мм}^2$ вызывает относит. изменение магнитной проницаемости сердечника $\frac{\Delta \mu}{\mu}$ и индуктивности обмоток $\frac{\Delta L}{L}$ на 9,4%, чему соответствует относит. чувствительность к деформациям $k = \frac{\Delta \mu}{\mu} \cdot \frac{E}{\sigma} = 1\,400$. Здесь L — индуктивность обмотки, μ — магнитная проницаемость материала магнитопровода, l — размер магнитопровода в направлении преобразуемой деформации, ΔL , $\Delta \mu$ и Δl — изменения L , μ и l при возникновении в материале магнитопровода растягивающего (или сжимающего) напряжения σ .

Погрешности преобразования Д. м. вызваны зависимостью чувствительности от магнитного состояния магнитопровода, а следовательно, от его магнитной истории. В частности: а) при изменении напряженности магнитного поля в материале магнитопровода меняются как магнитная проницаемость μ материала, так и характер зависимости проницаемости от механич. напряжений; кривая зависимости μ от σ при разных значениях напряженности магнитного поля H может иметь различную крутизну, различную кривизну и даже разный знак производной $\frac{\partial \mu}{\partial \sigma}$; относит. влияние H на чувствительность преобразователя

лежит обычно в пределах $\frac{\Delta k}{\Delta H} \cdot \frac{H}{k} = 0,3 - 1,5$;

б) магнитные и магнитоупругие свойства материала магнитопровода меняются с темп-рой; при изменении темп-ры на 10°C возникает погрешность ок. 1,5%; в) при циклич. изменении преобразуемой величины (т. е. усилия или деформации) наблюдается неполная повторяемость изменений магнитных хар-к даже при напряжениях в материале магнитопровода, не выходящих за предел упругости; у обычно применяемых материалов необратимые изменения магнитной проницаемости при первом цикле наложения и снятия нагрузки достигают 10—15% и только после неск. циклов они снижаются до 1—1,5%; при неблагоприятных условиях они могут быть значительно больше указанных значений; г) даже очень малые неупругие деформации материала магнитопровода сопровождаются значит. изменениями хар-к преобразования. Недостатком Д. м. является также необходимость индивидуальной калибровки преобразователей вследствие того, что хар-ки отдельных экземпляров однотипных датчиков могут сильно отличаться друг от друга даже при небольших отклонениях условий термич. и механич. обработки сердечников. Указанные недостатки ограничивают область применения Д. м. в устройствах автоматики. Наиболее целесообразно применение их при чувствительных (но не претендующих на вы-

сокую точность) измерениях малых деформаций в лабораторных условиях, когда возможны индивидуальная калибровка и контроль за условиями их работы; магнитоупругие явления могут также служить хорошим средством обнаружения начала пластич. деформаций.

Лит.: Туричин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, 3 изд., М. — Л., 1959, с. 102—12; Бозорт Р., Ферромагнетизм, пер. с англ., М., 1956, с. 477—500; Раевский Н. П., Датчики механических параметров машин, [2 изд.], М., 1959, с. 26—28; Белов К. П., Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнетиках, 2 изд., М., 1957, с. 112—77.

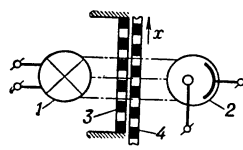
Б. И. Филипович.

ДАТЧИК ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ (photoelectric displacement transmitter; capteur photoélectrique de déplacement; photoelektrischer Verschiebungsgeber, lichtelektrischer Verschiebungsgeber) — преобразователь линейных или угловых перемещений в электрич. величины, состоящий из оптич. системы, преобразующей перемещения в изменения светового потока, и одного или неск. фотоэлементов, преобразующих эти изменения в изменения электрич. тока или напряжения. Активным элементом оптич. системы, непосредственно изменяющим световой поток в соответствии с преобразуемыми перемещениями, обычно (см. рис.) является щель (или неск. щелей) между краями одной группы материальных диафрагм и краями другой группы диафрагм (или их действии. изображений).

Достоинства Д. п. ф.: малая инерционность, определяющаяся только инерционностью фотоэлементов и переходными процессами в выходной электрич. цепи; пригодность применения принципа для преобразования как очень больших, так и очень малых (10^{-3} мм и менее) перемещений; возможность обходиться ничтожными усилиями на входе, что позволяет применять Д. п. ф. для преобразования перемещений в механич. устройствах очень малой мощности. Недостатками Д. п. ф. при нек-рых их применениях являются чувствительность оптич. системы к запылению и загрязнению, возможность помех от постороннего света и малый срок службы большинства фотоэлементов и источников света.

Б. И. Филипович.

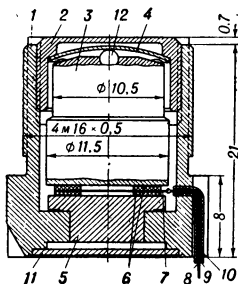
ДАТЧИК ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ (piezoelectric transducer; capteur piézoélectrique; Kristalldruckgeber, Kristalldruckabnehmer, Quarzdruckgeber) — преобразователь усилия в электрич. напряжения, в к-ром используется прямой пьезоэффект, т. е. появление электрич. зарядов на гранях нек-рых кристаллич. тел при их деформировании под действием механич. сил. Д. п. широко применяются для измерения параметров вибраций (см. рис.), переменных усилий, давлений и др. При сдавливании, растяжении или скручивании пьезоэлемента, вмонтированного в Д. п., на соответствующих его гранях появляются электрич. заряды. Величина этих зарядов, в пределах упругих деформаций кристаллов, находится в линейной зависимости от приложенных к ним сил $q_x = d \cdot F_x$, где d — пьезомодуль, F_x — величина усилия. Из материалов, обла-



Упрощенная схема фотоэлектрич. датчика перемещений: 1 — осветитель; 2 — фотоэлемент; 3 — неподвижная гребенчатая диафрагма; 4 — подвижная диафрагма.

дающих пьезоэффектом, в Д. п. применяются: сегнетова соль, кварц, титанат бария и др.

Пьезомодуль сегнетовой соли $d=3 \cdot 10^{-9}$ к/кг. Рабочий температурный интервал от -15° до $+22,5^\circ$. Вследствие этого, а также вследствие малой прочности и большой гигроскопичности сегнетова соль пригодна для весьма огранич. условий применения Д. п. Пьезомодуль кварца $d=2,1 \cdot 10^{-11}$ к/кг, диэлектрич. проницаемость $\epsilon=4,5$, модуль упругости $E=7 \cdot 10^4$ кг/см². Механич. напряжение, допустимое для кварцевых пластин, зависит от качества отшлифованных



Пьезоэлектрич. вибродатчик П-22: 1 — дюралевый корпус; 2 — дюралевая крышка, закручиваемая в корпус при общей сборке; 3 — инерционная масса; 4 — мембранная стальная пружина; 5 — стальной грибок, впрессованный в дно; 6 — пьезокерамическая пластинка; 7 — контактная прокладка из латунной фольги; 8 — вывод; 9 — изоляция вывода; 10 — герметизация выводного отверстия; 11 — крышка, предохраняющая датчик от воздействия импульсных давлений из внешней среды; 12 — стальной шарик для механич. связи инерционной массы 3 с мембранной пружиной 4.

рабочих поверхностей. Остаточные деформации не обнаруживаются вплоть до разрушающих нагрузок (60—100 кг/мм²). Пьезомодуль кварца при изменении темп-ры от комнатной до 400° практически не изменяется, от 400° до 500° — уменьшается примерно на 5%, а после 500° — быстро уменьшается и при темп-ре 573° становится равным нулю. Пьезомодуль керамики из титаната бария $d=1,2 \cdot 10^{-9}$ к/кг, т. е. в 50—60 раз больше, чем у кварца; диэлектрич. проницаемость $\epsilon \approx 1000$, т. е. примерно в 200 раз больше, чем у кварца. Пьезомодуль мало зависит от темп-ры в пределах от неск. градусов до $+80^\circ$; добавление к титанату бария нек-рых присадок расширяет этот предел от -50° до $+200^\circ$. Модуль упругости пьезокерамики из титаната бария $E \approx 1,1 \cdot 10^4$ кг/см². Линейная зависимость между давлением на пьезокерамику и электрич. зарядом на ее гранях сохраняется до давления 400 кг/см².

Чувствительность Д. п. определяется напряжением, подаваемым с граней пьезоэлемента на вход усилителя при воздействии на датчик силы или деформации, равной единице:

$$U_x = \frac{q_x}{(C_1 + C_2)},$$

где C_1 — емкость пьезоэлектрич. элемента, C_2 — емкость соединит. проводов и входа усилителя. Частотная хар-ка Д. п. определяется частотой собств. колебаний f_0 подвижной системы датчика и постоянной времени входа усилителя $\tau_0 = R(C_1 + C_2)$, где R — сопротивление между гранями пьезоэлементов, подключенных ко входу усилителя. Для неискаж. преобразования переменного механич. процесса с частотой f необходимо, чтобы $f_0 \gg f$ и постоянная времени τ_0 была бы значительно больше периода изменения входной величины. Для удовлетворения последнего условия иногда оказывается необходимым применять на входе усилителя электрометрич. лампу, в цепи утеч-

ки к-рой устанавливается сопротивление порядка 10^{10} ом. Однако часто трудно обеспечить необходимую весьма высокую степень изоляции соединит. проводов от датчика к усилителю. Поэтому для стабилизации режима входной лампы усилителя целесообразнее ограничить входное сопротивление величиной порядка 10^8 ом и располагать входную лампу вблизи от Д. п., включая ее по схеме *катодного повторителя*.

Если Д. п. может быть расположен вблизи от входа усилителя так, что емкость соединит. проводов между ними мала, и на входе канала применена электрометрич. лампа, то датчик с кварцевыми пластинами может оказаться чувствительнее датчика с пьезокерамич. пластинами. В др. случаях датчики с пластинами из титаната бария дают лучшие результаты.

Лит.: Рудашевский Г. Е., Пьезокерамические вибродатчики, М., 1956; Агарев Е., Медовар Л., Павлова И., Пьезоэлектрический индикатор для холодильных компрессоров, «Холодильная техника», 1960, № 6; Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования. Справочные материалы, М., 1959; Виброизмерения, ч. 1—2, Л., 1960; Раевский Н. П., Датчики механических параметров машин, М., 1959; Иорш Ю. И., Измерение вибрации, М., 1956.

ДАТЧИК РАЗМЕРОВ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ (pneumatic dimensions transducer; capteur pneumatique de dimensions; pneumatischer Meßwandler für geometrische Größen) — преобразователь геометрич. размера детали в давление или расход воздуха, основанный на измерении гидравлич. сопротивления зазора между измерит. соплом и поверхностью детали. Д. р. п. питают тщательно очищенным воздухом пост. давления. Д. р. п. включают измерит. узел и выходное (отсчетное) устройство. Применяются в машиностроении для контроля размеров и формы изделий, а также для автоматизации металлорежущих станков. По типу измерит. узла подразделяются на бесконтактные и контактные. Сопло (одно или несколько) бесконтактного Д. р. п. располагается непосредственно перед поверхностью измеряемой детали. Иногда контролируемое отверстие детали само служит измерит. соплом. Сопло контактного Д. р. п. располагается перед подвижной деталью датчика, касающейся поверхности измеряемой детали. Контактные Д. р. п. применяются лишь в тех случаях, когда бесконтактное измерение невозможно, напр. из-за низкой чистоты поверхности. В качестве выходного устройства Д. р. п. используются расходомеры и манометры. Обычно выходные устройства снабжаются контактными или бесконтактными сигнализаторами предельных отклонений размеров. Наиболее распространены манометры с упругими элементами — трубчатыми пружинами, мембранами и сильфонами. Сжатый и очищенный воздух поступает в распределит. камеру 1 под постоянным давлением H (рис. 1). Давление в сильфоне 5 зависит от величины зазора S под измерит. соплом 6, определяемого размером изделия 7. Стрелка датчика перемещается под действием разности давлений воздуха в сильфонах 2 и 5 (дифференц. схема), поэтому ее положение не зависит от малых колебаний давления питания H . Отбраковочные электроконтакты 3 и 4 позволяют автоматически контролировать выход размера за пределы допуска

и сортировать изделия на размерные группы. Цена деления таких датчиков 0,2—1 мк; пределы измерения обычно не более 80 мк, погрешность измерения не превышает цены деления. Давление потребляемого из сети воздуха

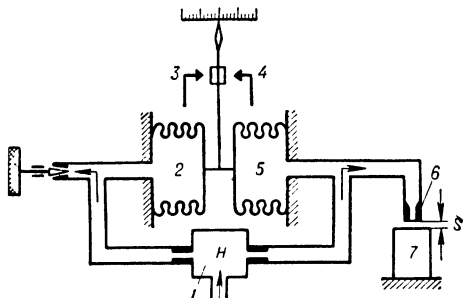


Рис. 1.

4—6 кг/см², входное давление $H=1-2$ кг/см². Наладка датчика производится по предельным установочным калибрам. Отсчет показаний датчика, выходным устройством к-рого является расходомер (рис. 2), производится по положению поплавка 1 в кончик. стекл. трубке 2. Командные импульсы, снимаемые с фотоэлементов 3, могут быть использованы для сортирования.

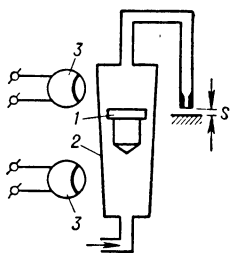


Рис. 2.

Преимущества Д. р. п. перед др. типами датчиков размеров: высокая точность и чувствительность (позволяют измерять сотые доли мк), отсутствие контакта с измеряемой поверхностью изделия, возможность измерения в труднодоступных местах одновременно нескольких размеров. Недостатки Д. р. п.: инерционность показаний (время срабатывания от 0,3 до 1,5 сек), нелинейность хар-ки, необходимость тщат. очистки и стабилизации давления питающего воздуха. Д. р. п. с различными изм. приспособлениями широко применяются при автоматич. контроле диаметра и овальности, огранки, среднего диаметра, конусности вала и др. Метрологич. показатели Д. р. п. вследствие нелинейности их хар-к часто зависят от выбора параметров и способа наладки по калибрам. Для повышения статич. точности датчиков, имеющих манометр в качестве выходного устройства, необходимо увеличивать диаметр отверстия входных сопел, рабочие зазоры, величину и стабильность давления воздуха питания и уменьшать диаметр отверстия изм. сопел. Для повышения динамич. точности необходимо наряду с этим уменьшать объемы камер и трубопроводов, увеличивать собств. частоту колебаний датчика и уменьшать давление питания. Конкретные соотношения между параметрами рассчитываются по заданным метрологич. показателям и уточняются экспериментально.

Лит.: Г и п Б. А. [и др.], Контрольные приспособления, М., 1960. О. Б. Балакишин.

ДАТЧИК РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫЙ [electromechanical dimensions transducer; capteur électromécanique de di-

mensions; Kontaktgeber (Meßwandler) für geometrische Größen] — см. Реле размеров.

ДАТЧИК РЕОСТАТНЫЙ, потенциометрический (resistance transducer; capteur à résistance; Widerstandsgeber), — преобразователь механич. перемещения или угла поворота в изменение величины электрич. сопротивления. Д. р. состоит из пост. сопротивления и подвижного электрич. контакта (движка), при перемещении к-рого изменяется сопротивление, заключенное между крайними точками реостата и движком. Благодаря сравнит. простоте конструкции, широкому диапазону воспроизводимых хар-к и универсальности питающего напряжения (пост. и перем.) Д. р. широко распространены в технике, особенно в качестве электрич. датчиков механич. перемещений в дистанц. следящем приводе и в счетно-решающих приборах. Д. р. делятся на 3 основных вида: проволочные, пленочные и жидкостные. Последние применяются редко, т. к. их электрич. параметры сильно зависят от внешних условий, в частности от темп-ры. По конструкции Д. р. разделяются на датчики с прямолинейным, кольцевым и спиральным (многооборотные датчики) каркасом. Каркасы изготавливаются из керамич. материалов, пластмассы, гетинакса, металлов (алюминия, дюралю), покрытых слоем лака или оксидной изоляцией. Проволочные датчики имеют обмотку из эмалированного или оксидированного провода, покрытого лаком. У пленочных Д. р. обмотка заменена тонким слоем сплава с большим омич. сопротивлением. В качестве материала обмоток проволочных Д. р. применяют обычно след. сплавы: константан (ГОСТ 5307—50), нихром (ГОСТ 2238—55) и сплавы благородных металлов (ПлИ-10, ПдИ-18, ПдСр-40 и т. д. по ГОСТ 8395—57). Скользящие контакты изготовляют из фосфористой или бериллиевой бронзы, а также сплава по ГОСТ 8395—57. Контактное усилие выбирается в пределах 0,5—5 г.

По виду функциональной связи между перемещением движка и сопротивлением Д. р. подразделяются на линейные и функциональные. Хар-ка линейных Д. р. подчиняется закону: $R=kx$, где R — сопротивление, k — коэфф. пропорциональности, x — относит. перемещение движка. Важные параметры линейных Д. р.: чувствительность, т. е. изменение сопротивления датчика на единицу перемещения, и нелинейность, т. е. отклонение хар-ки от линейной. Последние лежат обычно в пределах 0,1—0,5%. Хар-ка функционального Д. р. подчиняется закону: $R=F(x)$, где $F(x)$ — требуемая функция. Функциональные Д. р. получают одним из след. способов. 1) Профилирование каркаса — у каркаса прямоугольного сечения $h \times b$ ширина h делается переменной и находится по ур-нию:

$$h = \frac{q}{2\rho\omega} \cdot \frac{dF(x)}{dx} - b \text{ (см)}, \text{ где } q \text{ — сечение про-$$

вода (см²); ρ — уд. сопротивление материала провода (ом·см·10⁻⁴); ω — число витков обмотки на единицу длины каркаса; b и h — размеры каркаса (см). Функциональные пленочные Д. р. получают изменением ширины токопроводящей пленки. 2) Шунтирование отд. участков обмотки — величина сопротивления шунта определяется по ф-ле

$$r_n = \frac{R_0 \cdot R_n}{R_0 - R_n},$$

где R_0 — сопротивление секции до шунтировки, l_n — требуемое сопротивление n -й секции. 3) Намотка проводом пост. сечения с перем. шагом. 5) Неравномерное перемещение движка относительно контактной дорожки.

Диаметр провода определяется исходя из допустимого по нагреву тока I , к-рый может быть найден из выражения

$$\frac{I^2 R}{\mu S_{\text{охл}}} \leq t_{\text{макс}} - t_{0 \text{ макс}}$$

где μ — коэфф. теплоотдачи (примерно 0,12—0,14 $\text{вт}/(\text{дм}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $S_{\text{охл}}$ — поверхность охлаждения (дм^2); $t_{\text{макс}}$ — макс. темп-ра провода, допускаемая применяемыми материалами или условиями; $t_{0 \text{ макс}}$ — макс. темп-ра окружающей среды; R — омич. сопротивление датчика. Число витков, намотанных на каркас вплотную друг к другу, определяется по ф-ле $n = \frac{l}{d_{\text{из}}} k_n$, где n — число витков; l — длина

намотки (мм); $d_{\text{из}}$ — макс. диаметр намоточного провода с изоляцией (мм); k_n — коэфф., характеризующий плотность намотки. Для плотной намотки $k_n = 0,9—0,95$. Погрешность Д. р. определяется: ступенчатостью изменения сопротивления (макс. погрешность проволочных линейных датчиков составляет $\Delta R = \frac{R}{n}$);

изменением сопротивления от темп-ры; неточностью технологич. процесса изготовления каркасов, намотки, зачистки контактной дорожки и др.

Лит.: Асс Б. А., Жукова Н. М., Детали и узлы авиационных приборов и их расчет, М., 1960; Белыецев А. Т., Технология производства потенциометров, М., 1958; его же, Вопросы точности изготовления потенциометров, М., 1958.

С. В. Зеленков.

ДАТЧИК С ЧАСТОТНЫМ ВЫХОДОМ (frequency output transducer; capteur à sortie dépendant de fréquence; Geber mit Frequenz Ausgang) — преобразователь, выходным сигналом к-рого является переменный электрич. ток с частотой, меняющейся в соответствии с изменением контролируемого параметра. В Д. с ч. в. контролируемый параметр (уровень, толщина слоя вещества и др.) или промежуточная величина, в к-рую он преобразуется (усилие, перемещение и др.), воздействует на элементы частотозависимой цепи колебат. системы, являющейся основой Д. с ч. в. Колебат. система генерирует выходной сигнал и модулирует его по частоте, к-рая является однозначной ф-цией контролируемого параметра.

Д. с ч. в. классифицируются по типу частотозависимой цепи и по длительности наличия выходного сигнала. По первому признаку они разделяются на: 1) датчики с электрич. частотозависимыми цепями, в к-рых преобразованный контролируемый параметр воздействует на величину электрич. параметров (индуктивность, емкость, активное сопротивление, время разряда конденсатора и др.); 2) датчики с механич. частотозависимыми цепями, в к-рых контролируемый параметр влияет на механич. параметр (обычно на жесткость колебат. системы; напр., датчики струнные, датчики с колеблющимся цилиндром, датчики с колеблющейся системой пластин). В датчике рис. 1 частота колебаний f_x стенок цилиндра Π в радиальном направлении зависит от

воспринимаемого им извне давления P :

$$f_x = f_0 + \sqrt{1 - kP},$$

где f_0 — начальная частота (гц), соответствующая $P=0$, k — коэфф.

По длительности наличия выходного сигнала Д. с ч. в. разделяются на: 1) датчики с непрерывным выходным сигналом, напр. датчик рис. 1, в катушке с-ема сигнала к-рого непрерывно возбуждается незатухающий выходной сигнал; 2) датчики, к-рые начинают

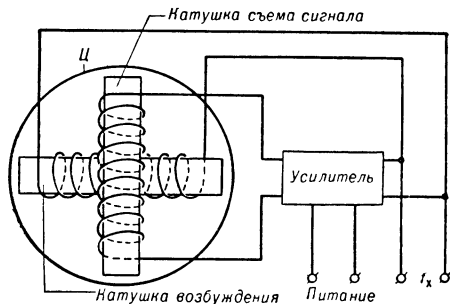


Рис. 1.

генерировать выходной сигнал лишь после послышки в них «запрашивающего» импульса, приводящего элемент частотозависимой цепи в колебат. состояние; выходной сигнал таких Д. с ч. в. имеет вид затухающих колебаний. Появление Д. с ч. в. 2-й группы неразрывно связано с развитием контроля централизованного, которому присуще выборочное получение информации от датчиков. Диаграмма работы таких Д. с ч. в. показана на рис. 2. Большая часть элементов частотозависимых цепей Д. с ч. в. обладает нелинейностью хар-ки, в то время как одно из основных требований, предъявляемых к датчикам, — линейность зависимости между контролируемым параметром и выходным сигналом. Существует неск. методов линеаризации характеристик датчиков.

Лит.: Новицкий П. В., Проблема создания частотных датчиков для всех электрических и неэлектрических величин, «ИТ», 1961, № 4, с. 16; Murray B., Vibrating wire flowmeter extracts square root, «ISA Journal», 1960, v. 7, № 11, p. 52—53.

Е. В. Овчаров.

ДАТЧИК СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ, ДСЧ (random numbers transducer; transmetteur des nombres aleatoires; Zufallsgrössengeber), — устройство для выработки случайных чисел (СЧ), равномерно распределенных в заданном диапазоне. Применяется гл. обр. в САР для имитации реальных условий при испытании систем и в вычислит. технике для решения задач статистич. методами (см. Монте-Карло метод). Формируемые Д. с ч. равновероятные числа при этом используются либо непосредственно, либо являются исходной информацией для дальнейшего получения случайных величин с заданным законом распределения.

Основой Д. с ч. является генератор равновероятных цифр (ГРЦ), производящий последовательность цифр с равной вероятностью появления каждой цифры. Формируемые

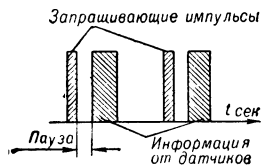


Рис. 2.

Д. с. ч. многоразрядные числа являются наборами таких цифр, взятых с соответствующими разрядными весами. ГРЦ строятся на базе естеств. случайных физич. процессов, напр. шумов радиоэлектронных приборов, радиоактивного излучения и т. д. Приборы или схемы, создающие подобные процессы, наз. источниками первичных случайных процессов (ИПСП). В ГРЦ исходный случайный процесс преобразовывается в цифровую форму.

ГРЦ содержит след. узлы (рис. 1): 1) ИПСП, вырабатывающий флуктуации тока или напряжения; 2) усилитель-формирователь, приводящий эти флуктуации к виду, удобному

производимых датчиком в сек. Вместо скорости пользуются временем $T_{\text{дсч}}$ формирования СЧ. При этом $v_{\text{дсч}} = 1/T_{\text{дсч}}$; 2) относит. разброс β вероятности появления СЧ, к-рый определяется отношением макс. разности вероятностей появления двух чисел ($\Delta P_{ij/\text{макс}}$) к требуемой вероятности появления каждого числа (P_i); 3) разрядность n Д. с. ч. — количество разрядов, содержащееся в формируемых датчиком числах.

Классификация Д. с. ч. дана на рис. 2. По основанию системы счисления, принимаемой для представления СЧ, Д. с. ч. делятся на двоичные, получившие наибольшее распространение, и недвоичные.

В зависимости от способа формирования случайных равновероятных цифр различают: Д. с. ч. с разделенными ИПСП и цифровыми преобразователями (ЦП) (Д. с. ч. с автономным источником случай-

ного процесса) и Д. с. ч. с совмещенными ИПСП и ЦП. В основе датчиков первой группы лежат реальный случайный процесс (напр., шумы кристаллич. диода) и спец. схема, преобразующая этот процесс в ряд дискретных уровней напряжения или тока. По способу цифрового преобразования данный тип делят на Д. с. ч. с пересчетом по $\text{mod } r$ (r — основание системы счисления) случайно

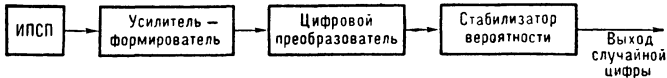


Рис. 1. Схема генератора равновероятных цифр.

для цифрового преобразования; 3) цифровой преобразователь, преобразующий сформированные определ. образом флуктуации тока или напряжения в неск. дискретных равновероятных состояний к.-л. схемы. Каждому состоянию схемы ставится в соответствие определ. цифра. Количество таких равновероятных состояний равно основанию системы счисления, в к-рой представляются формируемые

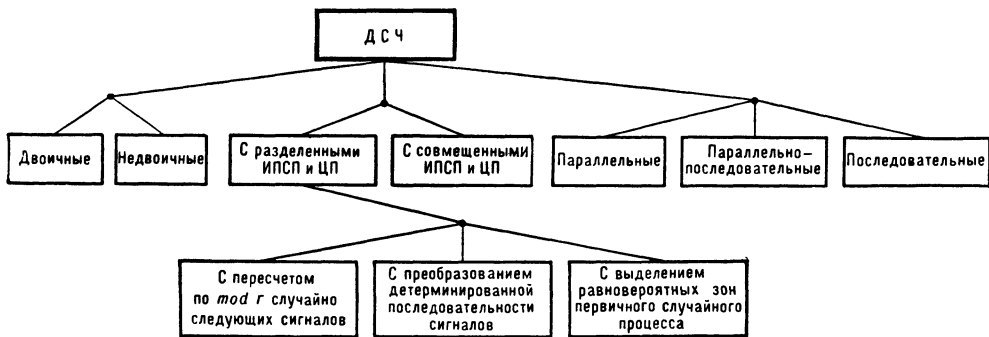


Рис. 2. Классификация датчиков случайных чисел.

Д. с. ч. числа; 4) стабилизатор вероятности, автоматически поддерживающий пост. значение вероятности появления каждой цифры.

ГРЦ характеризуются скоростью $v_{\text{грц}}$ генерирования равновероятных цифр, периодом $T_{\text{грц}}$ формирования каждой цифры и относит. разбросом β вероятностей появления каждой цифры, причем $\beta = \Delta P_{ij/\text{макс}} / P_i$, где $\Delta P_{ij/\text{макс}}$ — макс. разность вероятностей появления случайных цифр, а $P_i = 1/r$ (r — основание системы счисления, принятой в ГРЦ). Вместо относит. разброса вероятностей β часто используют абс. разброс вероятностей $\gamma = \Delta P_{ij/\text{макс}} = |P_i - P_j|_{\text{макс}}$. Абс. разброс вероятностей делят на теоретический — $\gamma_{\text{т}}$, обусловл. способом выработки случайной цифры (СЦ), и на схемный (дрейф вероятности) — $\gamma_{\text{с}}$, возникающий за счет отклонения параметров схемы ГРЦ от номинальных в процессе его эксплуатации. В каждом Д. с. ч. имеется один или неск. однотипных ГРЦ.

К осн. хар-кам Д. с. ч. относят: 1) скорость работы $v_{\text{дсч}}$, определяемую количеством СЧ,

следующих сигналов в течение пост. интервала времени, на Д. с. ч. с преобразованием детерминир. последовательности сигналов в равновероятную случайную совокупность и на Д. с. ч. с выделением равновероятных зон первичного случайного процесса. Схема формирования СЧ пересчетом по $\text{mod } r$ случайных сигналов дана на рис. 3. Генерируемые



Рис. 3. Типовая логич. схема формирования случайных цифр пересчетом по $\text{mod } r$ случайно следующих сигналов.

ИПСП флуктуации, проходя через нормально открытый клапан B_1 , преобразуются усилителем-формирователем в последовательность случайных импульсов с заданной амплитудой и формой и поступают на вход одноразрядного счетчика, к-рый свертывает их по $\text{mod } r$ в течение времени $T_{\text{грц}}$. В конце каждого периода формирования на B_1 посылается запре-

щающий сигнал, прекращающий прохождение флуктуаций на усилитель-формирователь, а следовательно, и запускающих импульсов на одноразрядный счетчик. Счетчик фиксируется в одном из r своих устойчивых состояний, а зафиксированная цифра снимается считывающим сигналом через систему из r вентилях (rB_2) и через стабилизатор вероятности поступает в выходные цепи. Случайность каждой цифры определяется случайностью массива импульсов, свернутого по $\text{mod } r$ в процессе формирования. Разброс вероятности появления СЦ — γ_T при двоичной системе определяется зависимостью

$$\gamma_T = |P_1 - P_0| = e^{-2\lambda T_{\text{грц}}},$$

где λ — математич. ожидание числа случайных импульсов в единицу времени.

Логич. схема выработки СЦ с преобразованием детерминированной последовательности сигналов к случайной совокупности дана на рис. 4.

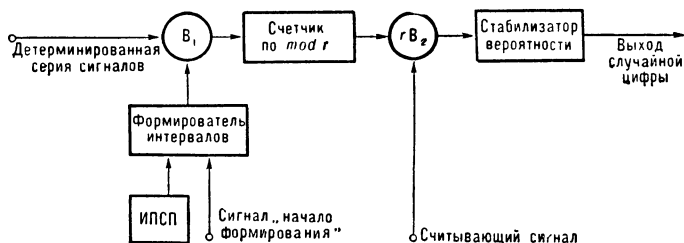


Рис. 4. Логич. схема выработки случайных цифр с преобразованием детерминированной последовательности сигналов к случайной совокупности.

По сигналу «начало формирования» формирователь интервала открывает вентиль B_1 и детерминиров. серия импульсов проходит на запуск одноразрядного счетчика, пересчитывающего эти импульсы по $\text{mod } r$. Первый случайный сигнал, возникающий на выходе ИПСП после прихода импульса «начало формирования», возвращает формирователь интервала в исходное положение и, т. о., перекрывает вентиль B_1 . Счетчик устанавливается в одном из r своих устойчивых положений, отвечающем одной цифре. Считывающий сигнал так же, как и в предыдущем случае, снимается цифры. Расчет схемы для двоичной системы счисления ведется по ф-лам

$$\gamma_T = |P_1 - P_0| = \frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{1 + e^{-\lambda\tau}}, \quad \lambda = \frac{2.99}{T_{\text{грц}}},$$

где τ — период следования детерминиров. импульсов. Выражение для плотности случайных сигналов (λ) получено из требования окончания процесса выработки СЦ в течение периода формирования $T_{\text{грц}}$ с 95%-ной надежностью.

На схеме рис. 5 усиленный и огранич. соответствующим образом шум поступает на селектор равновероятных зон, выделяющий такой уровень шума, для к-рого вероятность возникновения большего и меньшего сигналов оказывается одинаковой. Считывающий сигнал проходит через селектор на выход лишь в

том случае, когда величина шума превышает этот граничный уровень. Этот сигнал воспринимается как единица. Отсутствие сигнала на выходе в момент считывания соответствует нулю (в принципе возможно и обратное соот-



Рис. 5. Схема выработки случайных последовательностей выделением в первичном случайном процессе равновероятных зон применительно к двоичной системе счисления.

ветствие). Пройдя через стабилизатор вероятности, полученные двоичные цифры поступают в выходные цепи. Равная вероятность появления цифр достигается за счет равной вероятности прохождения и непрохождения считывающего сигнала через селектор.

Для обеспечения независимости формируемых СЦ необходимо, чтобы период следования считывающих сигналов (период формирования $T_{\text{грц}}$) превышал интервал корреляции. В связи с этим необходимая ширина спектра исходного шума $\Delta f \geq \frac{1}{2T_{\text{грц}}}$. Длительность считывающего сигнала должна быть существенно меньше ср. длительности шумовых выбросов на уровне селекции. На рис. 6 дан один из вариантов схемы выработки случайной последовательности с совмещением ИПСП и ЦП. В исходном положении схема с r устойчивыми состояниями приводится в симметричный режим. Для двоичной системы это, напр., триггер со снятым питающим напряжением. Для получения СЦ на схеме внезапно по спец. сигналу устанавливается норм. режим работы, приводящий схему в одно из устойчивых состояний, к-рое и воспринимается как СЦ. Для правильного

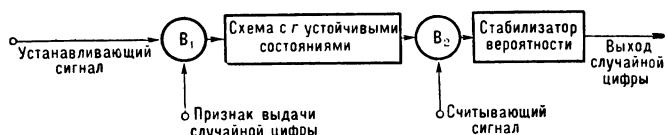


Рис. 6. Схема выработки случайной последовательности с совмещением ИПСП и ЦП.

функционирования схемы необходимо, чтобы выполнялись след. условия:

$$\begin{aligned} T_{\text{грц}} &> \tau_{\text{уст}} + \tau_{\text{н}}, \\ \tau_{\text{уст}} &\geq \tau_{\text{р}} + \tau_{\text{сч}}, \\ \tau_{\text{сч}} &\geq \tau_{\text{уст}} + \tau_{\text{р}}, \end{aligned}$$

где $\tau_{\text{р}}$ — время установки схемы в рабочее положение после прихода устанавливающего сигнала; $\tau_{\text{сч}}$ — длительность считывающего сигнала; $\tau_{\text{н}}$ — время установки схемы в нейтральное состояние после исчезновения устанавливающего сигнала; $\tau_{\text{уст}}$ — длительность устанавливающего сигнала; $\tau_{\text{сч}}$ — время появления считывающего сигнала; $\tau_{\text{уст}}$ — время появления устанавливающего сигнала. Осн. трудность, с к-рой приходится сталкиваться при реализации данного способа, — обеспечение случайности установки того или иного со-

стояния схемы после прихода устанавливающего сигнала, ибо в ряде случаев наблюдается преимуществ. возникновение нек-рых устойчивых состояний схемы.

В зависимости от способа формирования многоразрядных СЧ из элементарных последовательностей равновероятных цифр Д. с. ч. делят на последовательные, последовательно-параллельные и параллельные. В последовательных Д. с. ч. (рис. 7) имеется всего один ГРЦ и формирование n -разрядного СЧ идет в течение n перио-

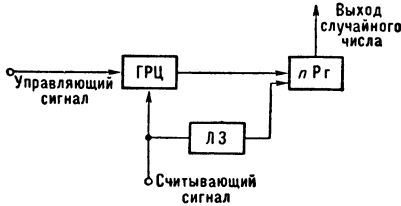


Рис. 7. Схема последовательного датчика случайных чисел.

дов его работы. Выбираемые из ГРЦ цифры поступают на первый разряд сдвигающего регистра nPr и последовательно сдвигаются в нем до полного заполнения всех разрядов регистра СЧ. Линия задержки (ЛЗ) необходима для разделения во времени операций записи СЧ на первый разряд регистра и сдвига их по регистру.

На схеме рис. 8 каждый из k ГРЦ формирует определ. часть n -разрядного числа. Формирование всех групп разрядов идет параллельно,

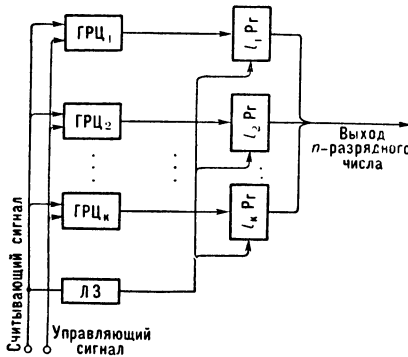


Рис. 8. Схема последовательно-параллельного датчика случайных чисел.

а заполнение СЧ каждой группы разрядов — последовательно. Если число разрядов n не делится точно на k , то выделяется одна неполная группа. Параллельный способ выработки СЧ (рис. 9) требует отдельного ГРЦ для каждого разряда числа. Запись всех цифр на выходной регистр производится одновременно по всем разрядам. Этот способ наиболее быстродействующий, однако нуждается для своей реализации в макс. количестве оборудования.

Способы стабилизации вероятности. В большинстве случаев естеств. для радиоэлектронных приборов уход в процессе эксплуатации отдельных их параметров от номин. значений вызывает в Д. с. ч. недопустимый с точки зрения математич. статистики разброс вероятностей появления от-

дельных цифр или чисел. Подобный дрейф вероятности изменяет закон распределения случайных величин и может привести к существ. искажениям результатов решения задачи. Устранение дрейфа вероятности требует тщательной регулировки узлов Д. с. ч.

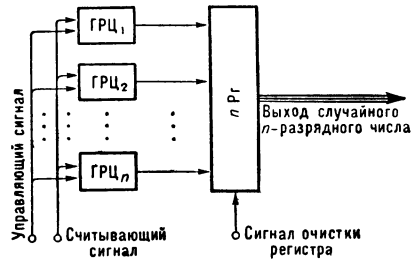


Рис. 9. Схема параллельного датчика случайных чисел.

и спец. подбора деталей, что затрудняет эксплуатацию, особенно быстродействующих Д. с. ч., работающих, напр., в составе ЭВМ. В связи с этим в состав ГРЦ, являющихся основой Д. с. ч., вводятся спец. стабилизирующие системы, к-рые обеспечивают автоматич. устранение дрейфа вероятности и, следовательно, жесткую стабилизацию статистич. параметров СЧ, генерируемых Д. с. ч. Для двоичной системы счисления (наиболее часто используемой в Д. с. ч.) стабилизация вероятности осуществляется выделением равновероятных парных комбинаций и совмещением прямых и инверсных представлений.

Способ выделения равновероятных парных комбинаций состоит в том, чтобы из произвольной двоичной совокупности $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_i, \dots$, в k -ой, вообще говоря, $P_1 \neq P_0$, выбрать лишь комбинации 01 и 10 рядом стоящих цифр и в дальнейшем воспринимать их в виде двоичных цифр стабилизированной совокупности (напр., 01 воспринимается как единица, а 10 — как нуль). При этом остальные возможные комбинации — 00 и 11 — отбрасываются и во внимание не принимаются. Легко видеть, что вероятности появления комбинации 01 и 10 $P_{10} = P_1 P_0$ и $P_{01} = P_0 P_1$ равны между собой и не зависят от соотношения вероятностей P_1 и P_0 появления двоичных элементов в исходной совокупности. Достоинство данного способа — абсолютность стабилизации вероятности, поскольку всегда $\gamma = \gamma_r + \gamma_c = |P_{01} - P_{10}| = 0$. Недостатки: 1) существенное снижение скорости выработки СЧ, поскольку практически из каждых 8 цифр исходной совокупности формируется в среднем не более 2 цифр стабилизиров. совокупности; 2) отсутствие детерминированности интервала формирования СЧ ($T_{грц}$) и СЧ ($T_{лсч}$). Момент окончания выработки каждой СЧ определяется в этом случае появлением одной из рабочих комбинаций и заранее не может быть определен. Это исключает возможность произвольного обращения к Д. с. ч. и поэтому затрудняет его использование.

Способ совмещения прямых и инверсных представлений предполагает компенсацию любого отклонения от 0,5 вероятности выхода одной двоичной цифры (напр., единицы) равным ему по величине, но противоположным по знаку отклонением вероятности выхода второй двоич-

ной цифры (нуля). Для такой компенсации необходимо в процессе выдачи СЦ воспринимать их то в прямом, то в инверсном представлении (единицу считать нулем, нуль — единицей). Управление инвертированием можно осуществлять иной случайной последовательностью, к-рая наз. управляющей. При этом стабилизирующая последовательность $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_i, \dots$ формируется из осн. последовательности $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_i, \dots$ и управляющей — $y_1, y_2, y_3, \dots, y_i, \dots$ по правилу

$$\xi_i = \begin{cases} \xi_i, & \text{если } y_i = 1, \\ 1 - \xi_i, & \text{если } y_i = 0. \end{cases}$$

Дрейф вероятности в этом случае уменьшается не менее, чем на порядок $\gamma_z = \gamma_z \gamma_y$.

Одна управляющая последовательность может принимать участие в стабилизации вероятности выхода двоичных цифр нескольких осн. последовательностей одновременно. Это облегчает практич. реализацию данного способа, к достоинствам к-рого относятся: 1) сохранение исходной скорости выхода СЦ после стабилизирующих цепей, т. к. коррекция вероятности в данном случае осуществляется автоматич. изменением способа представлений СЦ в процессе их выдачи из ГРЦ; 2) полная детерминированность интервала формирования СЧ, что позволяет осуществлять произвольное обращение к датчику.

Недостаток способа — необходимость иметь дополнит. случайные совокупности для управления инвертированием представлений считываемых цифр. Его можно сделать несущественным, если в качестве управляющей последовательности использовать неск. преобразованную (напр., пересчитанную по mod r) осн. совокупность.

Испытания Д. с. ч. проводятся проверкой гипотез: 1) о равномерности распределения формируемых датчиком чисел, 2) «случайности» сформированной совокупности и 3) об отсутствии статистич. зависимости между отдельными числами.

Выбор системы критериев для проверки статистич. хар-к генерируемых Д. с. ч. последовательностей зависит от способа выработки СЧ, от назначения Д. с. ч. и от предъявляемых к нему требований.

Развитие принципов генерирования СЧ и способов построения Д. с. ч. ведется в направлении увеличения скорости генерирования, повышения статистич. надежности закона распределения чисел, формируемых Д. с. ч., и конструктивного упрощения Д. с. ч. Весьма перспективен способ получения двоичных СЧ высокочастотными субгармонич. колебаниями. Цифровым эквивалентом в этом случае может являться, напр., разность фаз двух субгармоник. Случайность определяется флуктуациями фазы колебаний за счет естеств. шумов в цепях генератора субгармонич. колебаний.

Лит.: Ду н и н-Б а р к о в с к и й И. В., С м и р н о в Н. В., Теория вероятностей и математическая статистика в технике, М., 1955; К р а м е р Г., Математические методы статистики, пер. с англ., М., 1948; Г о л е н к о Д. И. [и др.], Датчик случайных чисел на электронной вычислительной машине «Стрела», М., 1960; P a w l a k Z., Flip-flop as generator of random binary digits, «Math. Tables and Other Aids Comput.», 1956, v. 10, № 53.

И. А. Данильченко.

ДАТЧИК СТРУННЫЙ (stringed transducer, vibrating wire gauge; capteur à corde; Fadengeber, Saitengeber) — преобразователь механич. величин (усилий, малых перемещений

и др.) в изменение частоты электрич. тока, основанный на зависимости между частотой резонансных колебаний упругой струны и ее натяжением. Эта зависимость выражается ф-лой:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{P}{\rho_l}},$$

где: f — частота резонансных колебаний струны, P — ее натяжение, l — длина струны, ρ_l — линейная плотность струны. Основные элементы Д. с. — струна и электромеханич. преобразователь, служащий для возбуждения колебаний струны и преобразования их в электрич. ток. Струны выполняются из вольфрама или стали, диаметром 0,01—0,3 мм и длиной 10—100 мм. От материала струны зависит тип электромеханич. преобразователя — электромагнитный или электродинамич. Электромеханич. преобразователь электромагнитного типа применяется, когда струна выполнена из магнитного материала. Ток возбуждения подается в обмотку электромагнита; с нее же снимается выходной сигнал в виде переменной эдс. Этот сигнал обуславливается изменением магнитного сопротивления зазора электромагнита при колебаниях струны. Электродинамич. преобразователь электродинамич. типа применяется со струной из немагнитного материала. В этом случае струна располагается в зазоре пост. магнита, и ток возбуждения подается непосредственно в струну. Со струны же снимается выходной сигнал в виде переменной эдс, индуктируемой в ней при ее колебаниях в поле пост. магнита.

Д. с. может работать в непрерывном режиме и в режиме «по запросу». В непрерывном режиме он включается в качестве элемента, задающего частоту колебаний электронного генератора. При этом, в случае электромеханич. преобразователей электромагнитного типа, Д. с. выполняется с двумя преобразователями — с одного снимается сигнал, а с помощью второго осуществляется обратная связь — возбуждение колебаний струны. В случае электродинамич. преобразователей электродинамич. типа Д. с. включается в мостовую схему, с одной диагонали к-рой снимается сигнал, а на вторую подается сигнал обратной связи. В режиме «по запросу» в Д. с. подается возбуждающий импульс, вызывающий затухающие колебания струны, частота к-рых измеряется. Для послышки возбуждающего импульса и измерения частоты используется одна и та же *двухпроводная линия*. Возбуждающий импульс должен иметь крутой задний фронт для исключения погрешностей, вызванных появлением вынужденных колебаний, частота к-рых отличается от резонансной. Продолжительность импульса должна быть минимальной — не более 3 мсек, во избежание нагрева струны. Д. с., работающие «по запросу», удобны в системах централизованного контроля.

Д. с. могут применяться для измерения усилий, малых перемещений (от единиц до десятков мк), веса, плотности сред, давлений, разрежений, уровней, а также темп-ры (при применении Д. с. совместно с dilatометрич. преобразователем). Д. с. для измерения усилий обладают очень малыми погрешностями. Д. с. для измерения малых перемещений имеют значит. температурные погрешности, в связи с чем при их конструировании должна предусматриваться термокомпенсация.

Лит.: Давиденков Н. Н., Струнный метод измерения деформаций, Л. — М., 1933; Remote measurement and control with vibrating wire instrument, «Electronics», 1945, v. 18, № 6; Пивоваров Ю. И., Цодиков Ю. М., Струнный частотный датчик для телеизмерения, «АиТ», 1961, т. 22, № 4; Dickson A. W., Murden W. P., Vibrating-wire high-Q resonator, «Electronics», 1953, v. 26, № 9.

В. П. Грабовский.

ДАТЧИК ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ (transmitter, telemeter transducer; transmetteur de télémesure; Fernmeßgeber) — преобразователь контролируемой физ. величины в промежуточную величину, подаваемую на вход передатчика телеизмерения. Выходными величинами Д. т. могут быть: напряжение, ток, емкость, индуктивность, сопротивление. Наиболее перспективно использование в качестве унифицированного выходного параметра Д. т. пост. тока или напряжения, связанного линейной зависимостью с контролируемой величиной. В этом случае обеспечиваются: однородность выходных параметров; легкость изменения масштабов преобразования; алгебраич. суммирование выходов Д. т. в многоканальных системах ТИ; возможность использования Д. т. для непосредств. передачи сигналов по кабельной линии связи небольшой протяженности (до 15—20 км). По принципу действия различают Д. т. небалансные (некомпенсационные) и балансные (компенсационные). К первому типу относятся как Д. т., преобразующие угол поворота первичного измерит. прибора в изменение напряжения или тока, емкости, индуктивности, сопротивления, так и Д. т., непосредственно преобразующие в пост. ток измеряемую величину (напряжение, ток, электр. мощность). Д. т., преобразующие угол поворота первичного измерит. прибора в изменение индуктивности, емкости или сопротивления, используются гл. обр. в частотных и время-импульсных системах ТИ. При этом в частотных системах подвижная часть измерит. прибора механически соединяется с ротором вариометра (перем. индуктивность) или конденсатора перем. емкости и, т. о., осуществляется настройка генератора передатчика ТИ на частоту, соответствующую измеряемой величине. Для получения необходимой зависимости между частотой на выходе передатчика и измеряемой величиной конденсаторы перем. емкости выполняются прямоемкостными или прямочастотными. В нек-рых время-импульсных системах ТИ и в системах ТИ по методу интенсивности используются Д. т. с датчиками сопротивления. Для преобразования угла поворота в пропорциональное напряжение перем. тока служит индукц. преобразователь, представляющий собой тр-р с регулируемой взаимоиндуктивной связью между первичной и вторичной обмотками. Первичная обмотка помещена на магнитопроводе и питается от сети перем. тока; вторичная обмотка, выполненная в виде бескаркасной рамки, перемещается (поворачивается) в воздушном зазоре первичным измерит. прибором. При неизменном напряжении питания первичной обмотки эдс, наводимая во вторичной обмотке, в широких пределах пропорциональна углу поворота рамки. Обычно напряжение, снимаемое с рамки, выпрямляется. Такие Д. т. используются как передатчики в устройствах ТИ ближнего действия и как датчики в устройствах ТИ дальнего действия.

В балансных Д. т. осуществляется отрицат. обратная связь по выходному параметру (чаще всего по току выхода). Эти Д. т. действуют по принципу компенсации вращающего момента или усилия. При этом чувствит. элемент Д. т. работает в наиболее выгодных условиях из-за его малого перемещения. Это значительно повышает точность преобразования. Обратная связь в балансных Д. т. обычно осуществляется с помощью магнитоэлектрич. или ферродинамич. измерит. механизма. Д. т. этого типа обладает относительно большой выходной мощностью, в нек-рых модификациях доходящей до неск. Вт, независимостью выходного тока от изменения в широких пределах сопротивления измерит. цепи и изменения хар-к элементов схемы (подробнее см. Телеизмерительная система токоуравновешенная).

А. М. Пишеничников.

ДАТЧИК ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ [inductive pick-off (англ.), inductive pickup (transducer) (амер.); capteur à mutuelle-induction; transformatorischer Geber] — преобразователь механич. величин (перемещения, угла поворота, усилия) в напряжение перем. тока. Действие Д. т. основано на изменении взаимоиндуктивности двух систем обмоток при их взаимном перемещении или при перемещении элементов магнитопровода. Эффективное значение эдс, наводимой в выходной обмотке, равно $U_1 = 4,44 \Phi_m \cdot w f$, где f — частота питающего тока (Гц); w — число витков; Φ_m — амплитудное значение потока, пронизывающего вторичную обмотку (вебер).

Обычно используются двоянные, дифференц. системы Д. т., в к-рых выходная эдс наводится в одной обмотке за счет пересечения ее двумя противоположно направленными потоками или же получается как разность напряжений, наводимых в двух обмотках. Дифференц. Д. т. имеют лучшую линейность, большую чувствительность и подвижный элемент, существенно разгруженный от электромагнитных усилий.

Существующие Д. т. могут быть разделены, в зависимости от способа изменения взаимоиндуктивности, на след. группы: 1) Д. т. с переменным зазором (рис. 1), используются для малых перемещений (до 3 мм). Величина наводимой эдс $U_2 \approx U_1 \frac{w_2}{w_1} \frac{\delta_2 - \delta_1}{\delta_1 + \delta_2}$. Линейность хар-ки обеспечивается в пределах хода $x = (0,3 - 0,4) (\delta_1 + \delta_2)$. 2) Д. т. с переменной

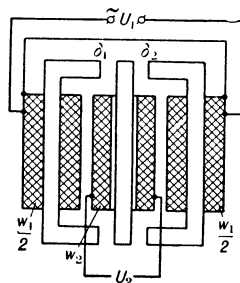


Рис. 1.

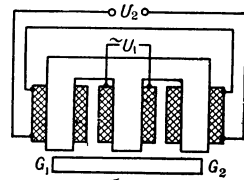


Рис. 2.

площадью зазора (рис. 2) — для перемещений до 10—12 мм. Наводимая эдс $U_2 = U_1 \frac{w_2}{w_1} \frac{G_2 - G_1}{G_1 + G_2}$, где G_1 и G_2 — магнитные проводимости рабочих зазоров. Якорь в датчиках этого типа часто делают поворотным. 3) Соленоидные Д. т. (рис. 3) — для перемещений 1—20 мм. Сущест-

венным их преимуществом перед всеми др. конструкциями Д. т. является возможность отделения сердечника от обмоток герметич. трубкой (изображена пунктиром). Для защиты от влияния внешних полей и железных масс соленоидный Д. т. заключают в экран. 4) Д. т.

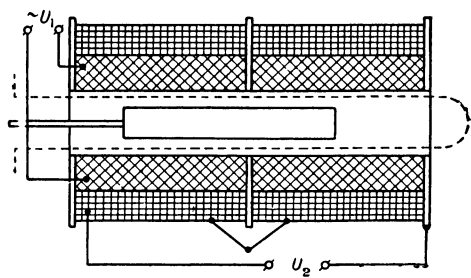


Рис. 3.

с подвижной рамкой (ферродинамич.). Подвижная измерит. обмотка (рамка) охватывает участок магнитопровода с потоками противоположных направлений (рис. 4). При перемещении рамки меняется величина наводимой в ней эдс $U_2 = w_0 \omega \frac{\Phi_M}{2V_2} x$, где w_0 — линейная плотность обмотки рамки (витков/см); x —

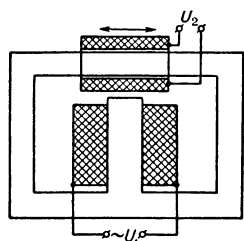


Рис. 4.

ной системы, питаемой перем. током.

Области применения Д. т. те же, что и датчиков индуктивных; в ряде случаев им отдадут предпочтение вследствие простоты измерит.

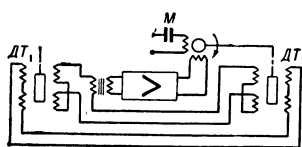


Рис. 5.

меняются в системах дистанц. передачи давления, расхода, уровня (рис. 5).

О. Н. Кувшинский.

ДАТЧИК УРОВНЯ ПОПЛАВКОВЫЙ (float level gauge; capteur à flotteur de niveau; Niveau-Regelgeber, Füllhöhe-Schwimmergeber) — преобразователь высоты уровня жидкости (или уровня границы раздела двух жидкостей) в электрич. или пневматич. сигнал. Д. у. п. используются для измерения уровня жидких сред как в открытых сосудах при атм. давлении, так и в закрытых технологич. агрегатах, находящихся под статич. давлением. Д. у. п. состоит из узла измерит. системы, в к-рый входят: 1) чувствит. элемент — поплавок, непосредственно воспринимающий изменения уровня и преобразующий их в пропорциональные изменения усилия или перемещения;

2) промежуточные передающие механизмы связи, выводящие это усилие или перемещение из полости измерит. среды; 3) узел, преобразующий усилие или перемещение поплавка в пневматич. или электрический сигнал. Поплавок датчика уровня, погруженный в жидкость, находится под действием подъемной силы Q и уравновешивающей силы P . Поплавок находится в равновесии, если $Q=P$.

В зависимости от характера уравновешивающей силы P в технике применяются различные схемы датчиков уровня. Датчик с поплавком постоянного погружения (рис. 1) основан на непрерывном слежении поплавка за уровнем жидкости. Подъемная сила поплавка 1 уравновешивается весом груза 2, не зависящим от изменения уровня, в результате чего перемещение поплавка Δx в точности соответствует

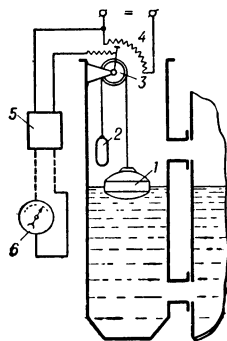


Рис. 1.

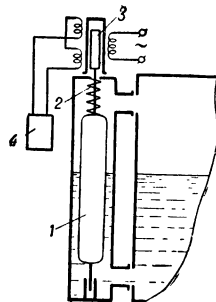


Рис. 2.

Рис. 1. Принципиальная схема датчика уровня с поплавком постоянного погружения: 1 — поплавок; 2 — уравновешивающий груз; 3 — блок; 4 — реостатный датчик; 5 — усилитель; 6 — вторичный прибор.

Рис. 2. Принципиальная схема датчика уровня с поплавком переменного погружения и дифференциально-трансформаторной дистанц. передачей: 1 — поплавок; 2 — пружина; 3 — плунжер дифференциально-трансформаторного датчика; 4 — вторичный прибор.

изменению уровня Δh , т. е. $\Delta x = \Delta h$. Поступат. перемещение поплавка преобразуется во вращат. движение блока 3, с осью к-рого связан движок реостатного датчика 4. Датчик с поплавком перем. погружения (рис. 2) основан на частичном слежении поплавка за уровнем жидкости. Подъемная сила поплавка 1 уравновешивается весом поплавка и усилием пружины 2, пропорциональным поступат. перемещению поплавка Δx . Величина этого перемещения, значительно меньшая, чем вызвавшее его изменение уровня Δh , равна

$$\Delta x = \frac{\gamma \cdot F}{C + \gamma \cdot F} \Delta h,$$

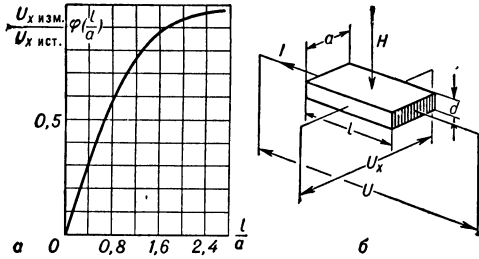
где Δx — перемещение поплавка (m); Δh — изменение уровня (m); C — жесткость пружины (kg/m). Численно она определяется допустимым ходом плунжера дифференциального датчика трансформаторного.

Лит.: Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959; Миرون К. А. и Шипетин Л. И., Теплотехнические измерительные приборы, 2 изд., М., 1958; Прохорова В. П., Теплотехнические измерения и приборы, 2 изд., М.—Л., 1953.

А. Д. Петренко.

ДАТЧИК ЭДС ХОЛЛА, датчик Холла, ДХ, генератор Холла (Hall

effect electromotive force transducer; transmetteur de force électromotrice de Hall; Hallpotentialdifferenzsonde, Hallsonde), — полупроводниковый преобразователь, с выхода к-рого, при подаче на его вход электр. тока I , снимается напряжение (эдс Холла); преобразователь находится в магнитном поле H , при этом его выходное напряжение $U_x = IHR \cdot 10^{-8} d\varphi(l/a)$, где R — постоянная Холла ($\text{см}^3/\kappa$); d , l , a — размеры ДХ; $\varphi(l/a)$ — ф-ция, зависящая от геометрии ДХ (см. рис., а). Основан на эффекте



а — зависимость ф-ции $\varphi(l/a)$ от геометрии кристалла ПП в датчике Холла; б — схема датчика Холла (U — приложенное напряжение, I — сила тока, H — напряженность магнитного поля, U_x — выходное напряжение, l — длина, a — ширина, d — толщина кристалла ПП).

Холла (см. Полупроводника измерения параметров). ДХ совместно с магнитной системой применяются для измерения магнитных полей 10^{-5} — 10^5 э, преобразования сигналов (умножители, делители, модуляторы, смесители), измерения мощностей (от пост. тока до СВЧ), релейной защиты, преобразования неэлектрич. величин (угловых перемещений от 10^{-3} град и линейных от 10^{-7} см) в электрические, анализа спектра электр. и магнитных сигналов, суммирования электр. величин и исследования магнитных потоков, измерения разностей фаз и т. д. ДХ характеризуется: коэфф. преобразования $K = U_x/U = \mu H \cdot \varphi(l/a) \cdot 10^{-8} / l/a$, где U — прилож. напряжение, μ — подвижность носителей заряда ($\text{см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$); вольтовой чувствительностью $\dot{U} = U_x/H = kU/H = \sqrt{\mu R P} \cdot 10^{-8} \cdot \varphi(l/a) / \sqrt{l d a(e/\text{м})}$, где P — рассеиваемая мощность. В эквивалентной мостовой схеме ДХ контакты, через к-рые пропускается ток, наз. токовыми (ток-овая цепь — r_t), с к-рых снимается напряжение — холловскими (холловская цепь — r_x); для большинства ДХ $r_x/r_t = m = 1-2$; один из контактов заземлен; если мост не уравновешен, то часть прилож. напряжения попадает на выход r_x ; все методы балансирования годятся для ДХ; сбалансированный ДХ имеет хорошую эквипотенциальность холловских контактов. Если

$$H = H_0 \sin \omega_1 t \quad \text{и} \quad U = U_0 \sin (\omega_2 t + \varphi),$$

то

$$U_x = K/2 \cdot \cos [(\omega_1 - \omega_2) t - \varphi] - K/2 \cdot \cos [(\omega_1 + \omega_2) t + \varphi].$$

В холловской цепи, кроме U_x , могут присутствовать помехи: напряжения неэквипотенциальности, термоэдс из-за градиента температуры на ДХ, электромагнитные наводки в перем. магнитных полях, емкостное напряжение при перем. токе и шум; при этом учитывается коэфф. устойчивости $k_y = U_x/U_n$, где U_n — сумма всех помех (в). Материалом ДХ служат ПП с высокими подвижностями носителей заряда: германий и нек-рые полупроводниковые соеди-

нения. Монокристалл ПП, разрезанный на пластинки, крепится на подложку из слюды, феррита и т. п. и вместе с припаянными контактами заливается, напр., смолой; размеры кристалликов (мм): $l = 3-20$, $a = 1,5-14$ и $d = 0,03-1$ (рис., б). Пленочные ДХ, изготовл., напр., из HgSe, μ -к-рого $= (1-6) \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$, имеют толщины 0,5—5 мк ; из InSb [$\mu = (1-1,5) \cdot 10^4$] — до 30 мк . Площади ДХ 10^{-5} — 2 см^2 . Температурная зависимость μ для всех материалов близка к $T^{-3/2}$ (она существенна, когда входным сигналом служит напряжение); $R(T)$ тем меньше, чем меньше ρ материала и чем больше в нем примесей. Мощность рассеяния ДХ 0,1—0,2 $\text{вт}/\text{см}^2$. Линейность определяется зависимостями $\mu(H)$ и $R(H)$. Зависимость $U_x(H)$ связана с геометрией ДХ и величиной нагрузки в холловской цепи, что используется для линейризации ДХ. На линейность оказывает влияние и ориентация кристаллографич. осей. Частотные свойства определяются временами установления эдс Холла (10^{-10} — 10^{-14}). Достоинства ДХ: широкий динамич. диапазон (от шумов до теплового перегрева), любые входные и выходные сопротивления, механич. устойчивость и неогранич. срок службы, малые размеры. Недостатки: малый кпд ($\eta = K^2/4m$) и температурная зависимость параметров (последняя устраняется подбором материала, схемными решениями, термостатированием и термокомпенсацией).

Лит.: Жузе В. П., Регель А. Р., Технические применения эффекта Холла, Л., 1957; Богомолов В. Н., Устройства с датчиками Холла и датчиками магнитосопротивления, М.—Л., 1961. В. Н. Богомолов.

ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ в электрическом поле короны (particles motion in corona electric field; mouvement des particules dans le champ électrique de la couronne; Ladungsträgerbewegung im elektrischen Koronafeld) связано с зарядом частиц ионами и воздействием на заряд. частицы сил электр. поля коронного разряда. На заряд. частицу электр. поле коронного разряда действует с силой F , определяемой зарядом частицы Q (кулон) и напряженностью электр. поля E ($\text{в}/\text{м}$):

$$F = QE \text{ (ньютоны)}. \quad (1)$$

Заряд частицы достигает значения, близкого к максимальному, за очень малую долю сек., а Д. ч. обычно продолжается в течение неск. сек. Поэтому можно принимать, что заряд частицы имеет постоянное, не зависящее от времени значение [см. Зарядка частиц в электрическом поле короны, ф-ла (5)].

Кроме силы (1), на частицу действует также механич. сила, вызываемая зарядами, индуктир. электр. полем:

$$f = 4\pi\epsilon_0 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} Q^2 E \frac{dE}{dx}, \quad (2)$$

где x — координата, совпадающая по направлению с электр. полем. Вопрос о соотношении сил (1) и (2) рассмотрен в [4]. В разных точках разрядного промежутка напряженность поля E имеет различные значения. Однако для большей части внешней зоны коронного разряда она изменяется слабо, а в простейшем случае короны в цилиндрич. конденсаторе даже может с достаточным приближением считаться постоянной [2] и равной:

$$E = E_0 \sqrt{\frac{I}{2\pi\epsilon_0 h}} \text{ (в}/\text{м)}, \quad (3)$$

где I — линейная плотность тока короны (a/m) и k — подвижность ионов ($\frac{m^2}{сек \cdot e}$). Т. к. в этой области $\frac{dE}{dx} \approx 0$, то силой (2) можно пренебречь, и осн. силой, действующей на частицу в поле короны, явится:

$$F = Q_m E_0 \text{ (ньютоны)}. \quad (4)$$

Это справедливо для всех случаев, когда $\left| \frac{dE}{dx} \right| \ll \frac{dE}{p}$, и только в малой области у коронирующего электрода напряженность поля изменится очень сильно и $\frac{dE}{dx}$ принимает большое отрицат. значение. Здесь крупные частицы могут двигаться к коронирующему электроду, где и осаждаются.

Заряд частицы осуществляется ионами и имеет знак, совпадающий со знаком потенциала коронирующего электрода. Поэтому Д. ч. будет направлено вдоль поля к некоронирующему электроду. Скорость и расстояние, пройденное частицей под действием сил электр. поля, определяются соотношениями:

$$v = v_k \operatorname{th} \frac{Q_m E_0}{m v_k} t \text{ (м/сек)}, \quad (5)$$

$$x = b + \frac{m v_k^2}{Q_m E_0} \ln \operatorname{ch} \frac{Q_m E_0}{m v_k} t \text{ (м)}, \quad (6)$$

где b — нач. координата частицы (м), m — масса частицы (кг) и v_k — конечная (установившаяся) скорость Д. ч. в вязкой среде (м/сек). Конечная скорость v_k не может быть выражена к.-л. аналитич. ф-цией и вычисляется с учетом числа Рейнольдса для данного случая движения:

$$v_k = 10 \frac{Re \eta}{2\tau} \text{ (м/сек)}, \quad (7)$$

где η — плотность газа (кг/м³), η — вязкость газа (пуаз). Число Рейнольдса Re можно найти из эмпирич. диаграммы Рэлея. Для этого нужно знать значение коэфф. трения ψ , к-рое в случае установившегося движения вычисляют из выражения

$$\psi = \frac{Q_m E_0}{4 c^2 \gamma v_k^2}. \quad (8)$$

В работе [3] дана зависимость $Re = f(Re^2 \psi)$ (преобразованная диаграмма Рэлея). Величина $Re^2 \psi$ получается из ф-л (7) и (8). Приведенные ур-ния пригодны для приближ. расчета Д. ч. (по форме близких к сфере) с $q > 1$ мк под действием сил электр. поля.

В практич. устройствах, использующих коронный разряд (электрофильтры, электро-сепараторы и т. п.), Д. ч. определяется не только силами электр. поля, но и силами др. происхождения (силой тяжести, воздействием электр. ветра и т. д.). Траектории Д. ч. получаются достаточно сложными, и их расчет также чрезвычайно сложен и неточен. Поэтому большое значение имеют эксперимент. исследования Д. ч., результаты к-рых значительно облегчают расчет и конструирование подобных устройств и позволяют судить об их применимости для различных случаев.

Лит.: 1) Балабанов Е. М., Боровик М. Г. и Соломон Л. С., Электрическая сепарация формовочных песков, М., 1951; 2) Капцов Н. А., Коронный разряд и его применение в электро-фильтрах, М.—Л., 1947; 3) Лященко П. В., Гравитационные методы обогащения, М.—Л., 1940.

Е. М. Балабанов.

ДВОИЧНАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ (binary number system; système binaire, système de numération à base deux; binäres System, Dualsystem, Binär-System) — позиционная система счисления, основанием к-рой служит число 2 в а. В Д. с. с. используются две различные цифры: 0 и 1. Основание Д. с. с. (число два) записывается как 10. При записи от-рицат. чисел применяется знак «—» (минус). Последовательные целые числа от нуля до десяти в Д. с. с. записываются как 0; 1; 10; 11; 100; 101; 110; 111; 1000; 1001; 1010; а дроби — со знаменателем, равным степени двух: 0,001 (1/8); 0,01 (1/4); 0,011 (3/8); 0,1 (1/2); 0,101 (5/8); 0,11 (3/4); 0,111 (7/8). Всякое двоичное число можно перевести в десятичную систему счисления («расшифровать»), записывая его в виде $a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + a_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0 + a_{-1} \cdot 2^{-1} + \dots + a_{-m} \cdot 2^{-m}$, где a_i — двоичные цифры, n — количество разрядов целой части, m — количество разрядов дробной части двоичного числа. Напр., 11011,01 (двоичное) = $1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} = 27,25$ (десятичное). Таблицы основных арифметич. действий в Д. с. с. имеют следующий вид:

Таблица сложения	Таблица вычитания	Таблица умножения
0 + 0 = 0	0 - 0 = 0	0 · 0 = 0
0 + 1 = 1	1 - 0 = 1	0 · 1 = 0
1 + 0 = 1	1 - 1 = 0	1 · 0 = 0
1 + 1 = 10	10 - 1 = 1	1 · 1 = 1

Арифметические действия над числами, представленными в Д. с. с., выполняются по правилам, которые аналогичны правилам, разработанным для десятичной системы счисления. Напр., сложение: уравнивают количества знаков после запятой в слагаемых, приписывая справа нужное количество нулей; подписывают одно слагаемое под другим так, чтобы запятая пришлась под запятой; двигаясь справа налево, складывают (с помощью таблицы сложения) одноименные разряды слагаемых и единицу переноса из младшего разряда (если таковая возникла на предыдущем шаге). Младшую цифру результата (если считать его двузначным числом) принимают за соответствующий разряд суммы, а старшую — за перенос в следующий разряд.

Примеры арифметич. действий в Д. с. с.

Сложение: $\begin{array}{r} 1011,0100 \\ + 101,0011 \\ \hline 10000,0111 \end{array}$	Вычитание: $\begin{array}{r} 1011,010 \\ - 110,011 \\ \hline 100,111 \end{array}$
Умножение: $\begin{array}{r} 101,01 \\ \times 11,011 \\ \hline 10101 \\ 10101 \\ 10101 \\ \hline 10001,0111 \end{array}$	Деление: $\begin{array}{r} 1111011,001 : 10,1 \\ 11110110,01 \overline{) 101} \\ \underline{101} \\ 00100001,01 \\ \underline{101} \\ 00100000000 \\ \underline{101} \\ 001000000000 \\ \underline{101} \\ 0010000000000 \\ \hline 10100000000000 \end{array}$

В большинстве существующих ЭЦМ рабочая система счисления — двоичная. Это связано гл. обр. с тем, что в упомянутых ЭЦМ элементы для изображения цифр — двухпозиционные, а простота арифметич. действий в Д. с. с. обуславливает относительно простые конструкции АУ. Применение Д. с. с. в качестве рабочей системы счисления вызывает необходимость переводить исходные данные из десятичной системы в Д. с. с., а результаты

решения подвергать обратному переводу (см. *Перевод чисел из одной системы счисления в другую*). Д. с. с. как рабочая система счисления может быть невыгодна в специализир. ЭЦМ, предназнач. для решения задач с большим количеством исходных данных или результатов и небольшим количеством необходимых арифметич. действий. *Н. А. Крицкий.*

ДВОИЧНАЯ ФУНКЦИЯ (binary function; fonction binaire; binäre Funktion) — однозначная функция одной или неск. двоичных переменных, принимающая только два значения 0 и 1 или одно из этих значений. При этом двоичной переменной наз. переменная, к-рой можно присваивать лишь значения 0 или 1. Существуют только 4 ф-ции одной двоичной переменной (табл. 1)

Таблица 1. Двоичные функции одной двоичной переменной.

x	$f_0(x)$	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$
0	0	0	1	1
1	0	1	0	1

и 16 ф-ций двух двоичных переменных (табл. 2). Вообще число двоичных ф-ций от n двоичных переменных равно 2^{2^n} .

Таблица 2. Двоичные функции двух переменных.

x	y	$F_0(x, y)$	$F_1(x, y)$	$F_2(x, y)$	$F_3(x, y)$	$F_4(x, y)$	$F_5(x, y)$	$F_6(x, y)$	$F_7(x, y)$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1

x	y	$F_8(x, y)$	$F_9(x, y)$	$F_{10}(x, y)$	$F_{11}(x, y)$	$F_{12}(x, y)$	$F_{13}(x, y)$	$F_{14}(x, y)$	$F_{15}(x, y)$
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1

Из ф-ций, приведенных в табл. 1 и 2, четыре являются тождественными постоянными: $f_0(x)=0$, $f_3(x)=1$, $F_6(x, y)=0$, $F_{15}(x, y)=1$. Ф-ции f_2 , F_1 и F_7 образуют полную систему в том смысле, что любую двоичную ф-цию (любого конечного числа переменных) можно представить как суперпозицию этих ф-ций. Напр.,

$$F_6(x, y) = F_1\{F_7(x, y), f_2[F_1(x, y)]\}.$$

В справедливости последнего тождества легко убедиться путем непосредств. проверки с помощью табл. 1 и 2. Каждая пара ф-ций f_2 , F_1 и f_2 , F_7 также образует полную систему. Наконец, полную систему образует одна единственная ф-ция F_{14} . Ф-ции $f_2(x)$, $F_1(x, y)$, $F_7(x, y)$ и $F_{14}(x, y)$ принято обозначать соответственно символами \bar{x} , $x \wedge y$, $x \vee y$ и $x|y$. Знаки \neg , \wedge , \vee и $|$ можно считать знаками двоичных операций (называемых соответственно операциями отрицания, логич. умножения и логич. сложения и Шеффера), описанием к-рых служит табл. 3, получаемая из табл. 1 и 2.

Двоичные ф-ции и операции играют большую роль в приложениях алгебры логики в области ЦВМ. С их помощью можно вычислять значения истинности сложных высказываний, если условиться считать, что всякое истин-

Таблица 3. Двоичные операции.

Операция отрицания	Логич. умножение	Логич. сложение	Операция Шеффера
$\bar{0} = 1$ $\bar{1} = 0$	$0 \wedge 0 = 0$ $0 \wedge 1 = 0$ $1 \wedge 0 = 0$ $1 \wedge 1 = 1$	$0 \vee 0 = 0$ $0 \vee 1 = 1$ $1 \vee 0 = 1$ $1 \vee 1 = 1$	$0/0 = 1$ $0/1 = 1$ $1/0 = 1$ $1/1 = 0$

ное высказывание имеет значение 1, а всякое ложное значение — 0. При этом операции \neg , \wedge и \vee соответствуют логич. связям «не», «и» и «или». Необходимо отметить, что, истолковывая высказывания как двоичные переменные, а логич. связи как двоичные операции, можно свести алгебру логики к теории Д. ф. В системах операций многих ЦВМ предусмотрены поразрядные операции (над двоичными кодами одинаковой длины) отрицания, логич. умножения и логич. сложения, а во вновь конструируемых машинах обычно предусматривают полный набор поразрядных нетривиальных операций.

Ф-цию $F(x, y)$ принято обозначать $x \sim y$. Знак \sim можно рассматривать как знак двоичной операции (называется отрицанием равнозначности), описанием к-рой служит табл. 4.

Поразрядное отрицание равнозначности применяется во многих ЦВМ как операция сравнения двоичных кодов одинаковой длины.

Таблица 4. Двоичные операции.

Отрицание равнозначности

$$\begin{aligned} 0 \sim 0 &= 0 \\ 0 \sim 1 &= 1 \\ 1 \sim 0 &= 1 \\ 1 \sim 1 &= 0 \end{aligned}$$

Если сравниваемые коды между собой тождественны (и только в этом случае), то результирующий код представляет собой набор нулей.

Н. А. Крицкий.
ДВОИЧНО-ДЕСЯТИЧНАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ (bidecimal notation; système de numération binaire-decimale; binäres dekadisches System, Binär-Dezimalsystem) — десятичная система счисления, в к-рой роль цифр 0, 1, 2, 3, ..., 9 выполняют четырехразрядные двоичные коды 0000, 0001, 0010, 0011, ..., 1001, наз. **тетрадами**. Всего различных четверок двоичных цифр существует 16, из них в Д.-д. с. с. используется только 10.

Каждая тетрада, рассматриваемая как двоичное число, равна числу, обозначаемому соответствующей ей десятичной цифрой. Пример: число 90,2 в Д.-д. с. с. записывается как 1001,0000,0010. Д.-д. с. с. является одной из двоично-кодированных систем счисления. Неиспользуемые четверки (тетрады) получили назв. запрещенных комбинаций. В ЭЦМ, рабочая система счисления к-рых является двоичной, Д.-д. с. с. обычно применяется в качестве промежуточной системы счисления при переходе от десятичной к двоичной системе счисления или обратно. В ЭЦМ, предназнач. для решения задач, требующих ввода и вывода большого количества чисел и малого количества арифметич. операций, может быть предусмотрено применение Д.-д. с. с. для представления чисел и непосредств. выполнения операций. Благодаря наличию запрещ. комбинаций числа, представленные в Д.-д. с. с., содержат примерно на 20% больше двоичных цифр, чем те же числа в двоичной системе счисления. Появление запрещ. комбинаций в записях чисел, представленных в Д.-д. с. с., является признаком возникновения ошибок, что иногда используется в целях контроля. Н.А. Криницкий.

ДВОИЧНО-КОДИРОВАННАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ [binary coded (notation) system; système de numération binaire codé; Binär-Code-Darstellung, Dual-Code-Schreibweise, Dyadische Code-Setzung] — система счисления, получающаяся из к.-л. позиционной системы счисления путем замены применяемых в ней цифр двоичными кодами, между собой попарно различными (строками, составленными из нулей и единиц), поставленными во взаимнооднозначное соответствие этим цифрам. Для того чтобы запись числа в Д.-к. с. с. не допускала разночтения без применения дополнит. знаков раздела между кодами, заменяющими цифры (пробел по существу тоже является дополнит. знаком), в качестве этих кодов берут двоичные числа одинаковой разрядности. Если основание p системы счисления удовлетворяет неравенству $2^{k-1} < p \leq 2^k$, где k — целое положит. число, то наиболее экономичным (оптимальным) будет кодирование цифр с помощью k -разрядных двоичных чисел. Разность $2^N - p$, где N — разрядность применяемых двоичных кодов, наз. избытком Д.-к. с. с. и равна количеству двоичных N -разрядных кодов, не применяемых для обозначения цифр (такие коды наз. запрещенными комбинациями). Очевидно, избыточность Д.-к. с. с. будет наименьшей, если $N=k$. Для систем счисления, основаниями к-рых являются целые степени числа 2, избыточность Д.-к. с. с. при оптимальном кодировании равна нулю. Если для таких систем счисления в качестве кодов цифр приняты равные им k -разрядные двоичные числа, то запись всякого числа в Д.-к. с. с. будет совпадать с записью того же числа в двоичной системе счисления. Д.-к. с. с. могут применяться: 1) как промежуточную систему при вводе и выводе чисел в ЦВМ, имеющей рабочей системой счисления — двоичную; 2) в качестве рабочей системы счисления, т. е. для представления чисел и непосредственного выполнения операций. Напр., существуют машины, в к-рых рабочей системой является одна из десятичных Д.-к. с. с. В качестве промежуточной весьма часто используется двоично-десятичная система счисления. Н. А. Криницкий.

ДВОЙСТВЕННОСТИ ТЕОРИЯ (duality theory; théorie de dualité; Dualitätstheorie) — теория, изучающая связь между задачами двойственной пары (см. ниже) и использующая эту связь для построения числ. методов и качеств. исследований в линейном программировании. Выводы Д. т. имеют явно выраженный экономич. смысл. Они позволяют сопоставлять оптим. плану произ-ва систему оценок производств. факторов.

В задаче линейного программирования требуется обратить в максимум линейную ф-цию

$$L(X) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Каждой задаче вида (1) — (3) — т. н. прямой задаче, соответствует двойственная, или сопряженная, задача, в к-рой требуется вычислить минимум линейной ф-ции

$$\tilde{L}(Y) = \sum_{i=1}^m b_i y_i \quad (4)$$

при условиях

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} y_i \geq c_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

$$y_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (6)$$

Задача, двойственная по отношению к задаче (4) — (6), является задачей (1) — (3). Поэтому задачи (1) — (3) и (4) — (6) наз. двойственной, или взаимосопряженной, парой. Условие с номером $i[j]$ системы (2) [(3)] наз. двойственным по отношению к условию с номером $i[j]$ системы (6) [(5)]. Условие задачи наз. закреплённым, если для любого оптим. плана задачи оно обращается в равенство. Условие наз. свободным, если хотя бы для одного оптим. плана оно обращается в строгое неравенство.

В экономич. терминах решение прямой задачи определяет план произ-ва $X = (x_1, \dots, x_n)$, к-рый позволяет получить макс. количество продукта при имеющихся в наличии ресурсах (b_1, b_2, \dots, b_m) производств. факторов. Здесь x_j — интенсивность использования j -го способа произ-ва, которому отвечают затраты a_{ij} i -го производств. фактора в единицу времени и выпуск продукции c_j единиц за то же время. Ф-ция (1) определяет объем произвед. продукции при выбранном плане. Условия (2) фиксируют ограничения в производств. факторах. Двойств. задаче (4) — (6) может быть также дано экономич. истолкование. Ее решение определяет оценки (y_1, \dots, y_m) производств. факторов — меру полезности каждого фактора для данного произ-ва при условиях, строго фиксиров. ограничениями прямой задачи. Оценки производств. факторов [составляющие решения двойств. задачи (4) — (6)] отвечают идеализиров. замкнутой модели произ-ва, в к-рой связи с внешним миром определены условиями задачи (1) — (3). Изменение условий произ-ва, в частности изменение запасов различных производств. факторов, приводит к их переоценке. Оценки y_i измеряются в единицах

ценности выпускаемого продукта. Ценность продукта определяется условиями, внешними по отношению к данному произ-ву. Условия (5) означают, что суммарные оценки затрат при каждом способе произ-ва не могут быть меньше оценок получаемой при этом продукции — всякое произ-во требует соответствующих затрат. Линейная ф-ция (4) представляет собой суммарную оценку ресурсов, к-рыми располагает рассматриваемое произ-во. Рациональная система оценок производств. факторов соответствует миним. суммарной оценке ресурсов.

Важнейшие свойства пары двойств. задач составляют содержание двух осн. теорем двойственности. 1) Если одна из задач двойств. пары разрешима, то и др. задача имеет решение. При этом оптим. значения показателей качества (целевых ф-ций) обеих задач совпадают, т. е. для оптим. планов $X^*=(x_1^*, \dots, x_n^*)$ и $Y^*=(y_1^*, \dots, y_m^*)$ имеет место равенство

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j^* = \sum_{i=1}^m b_i y_i^*. \quad (7)$$

2) Если нек-рое условие одной из задач двойств. пары свободно (закреплено), то двойственное по отношению к нему условие закреплено (свободно).

Из осн. теорем двойственности вытекает ряд следствий, используемых при построении вычислит. схем и качества. анализе задач линейного программирования. В частности, из первой теоремы двойственности следует, что 1) для разрешимости одной из задач двойств. пары необходимо и достаточно, чтобы условия каждой из этих задач были непротиворечивы; 2) если условия одной из задач двойств. пары несовместны, то либо линейная форма др. задачи неограничена на множестве ее планов, либо ее условия противоречивы, и, наоборот, если линейная форма одной из задач неограничена на множестве своих планов, другая задача двойств. пары не имеет ни единого плана; 3) планы X^* и Y^* пары двойств. задач оптимальны в том и только в том случае, если их составляющие удовлетворяют соотношению (7).

Утверждения теорем двойственности (и их следствий) имеют прозрачный экономич. смысл. Обе теоремы могут быть сформулированы в терминах задач о произ-ве однородного продукта и оценке используемых при этом производств. факторов. Первая теорема двойственности означает, что оптим. план произ-ва можно построить лишь в том случае, если можно привести в соответствие всем производств. факторам рациональные оценки, и, наоборот, производств. факторы могут быть оценены лишь при наличии оптим. плана произ-ва. При этом оценка продукта, получ. при реализации любого оптим. плана произ-ва, совпадает с суммарной оценкой имеющихся ресурсов. При любом другом плане оценка результатов произ-ва ниже оценки затрат. Такое произ-во убыточно: его возможности не используются полностью.

Экономич. смысл второй теоремы двойственности удобно проследить отдельно для двойств. пары условий с номерами i и j . Если в оптим. плане i -й производств. фактор используется не полностью ($\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j < b_i$), то

естественно принять его оценку y_i равной нулю. Запасы i -го фактора превышают потребности в нем, поэтому он не представляет ценности для произ-ва. Нек-рое сокращение запасов i -го фактора не уменьшит в этом случае возможностей произ-ва. Однако, как только излишек i -го производств. фактора будет изъят, он приобретет определен. ценность для произ-ва: дальнейшее сокращение его запасов ведет к сокращению выпуска продукции. Способ произ-ва с номером j используется в оптим. плане только в том случае, когда оценка соответствующего ему выпуска продукции совпадает с оценкой затрат ($c_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} y_i$).

Если при нек-ром способе произ-ва расходы превышают доходы, то использование этого способа лишено смысла ($x_j = 0$).

Одно из важнейших приложений Д. т. — формулировка критериев оптимальности плана задачи линейного программирования. Под критерием оптимальности подразумеваются условия, позволяющие проверить любой план на оптимальность, не прибегая к сравнению значений целевой ф-ции (показателя качества решения) на разных планах задачи. Впервые необходимые и достаточные условия оптимальности плана были даны сов. ученым Л. В. Канторовичем. Критерий оптимальности был сформулирован им в т. н. терминах разрешающих множителей (или, что то же самое, объективно обусловл. оценок). Разрешающий вектор (вектор, составляющими к-рого являются разрешающие множители) представляет собой не что иное, как оптим. план двойств. задачи.

Критерий оптимальности плана задачи линейного программирования, записанной в произвольной форме (когда среди условий могут быть как равенства, так и неравенства, и не все перем. задачи ограничены условием неотрицательности), может быть сформулирован следующим образом.

Для оптимальности плана $X=(x_1, \dots, x_n)$ необходимо и достаточно существование разрешающего вектора $Y=(y_1, \dots, y_m)$, связанного с планом X условиями:

$$1. \sum_{i=1}^m a_{ij} y_i = c_j, \text{ если } x_j > 0 \text{ (при всех } j, \text{ для к-рых требуется неотрицательность перем. элементов);}$$

для к-рых требуется неотрицательность перем. элементов);

$$2. y_i = 0, \text{ если } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j < b_i \text{ (при всех } i, \text{ для к-рых ограничения задачи записаны в виде неравенств).}$$

Практич. применение критерия оптимальности для анализа опорного плана сводится к решению одной или нескольких (в вырожденном случае) систем линейных ур-ний.

Разрешающие множители — компоненты решения двойств. задачи — могут быть истолкованы как оценки влияния условий прямой задачи линейного программирования на величину максимума ее линейной формы. Имеет место следующее утверждение. Если $M(b_1, b_2, \dots, b_m)$ — максимум линейной формы невырожд. задачи, то $y_i = \frac{\partial M(b_1, \dots, b_m)}{\partial b_i}$. Общий под-

ход к условным экстрем. задачам приводит к еще одному толкованию решения двойств. задачи. В задаче линейного программирования,

записанной в канонич. форме [т. е. в задаче, в к-рой требуется определить максимум линейной формы $L(X) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ при условиях

$$g_i(X) = - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + b_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n],$$

план X^* оптимален в том и только в том случае, когда ф-ция Лагранжа $L(X, Y) = L(X) + \sum_{i=1}^m y_i g_i(X)$ для нек-рого $Y = (y_1, \dots, y_m)$ достигает максимума при условиях $x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$. Т. о., разрешающие множители задачи линейного программирования представляют собою не что иное, как множители Лагранжа этой задачи.

Решение пары двойств. задач линейного программирования, запис. в произвольной форме, целесообразно также связывать с понятием седловой точки. Точка (X_0, Y_0) наз. седловой точкой ф-ции $L(X, Y)$, если для всех $X \geq 0, Y \geq 0$ имеет место соотношение $L(X, Y_0) \leq L(X_0, Y_0) \leq L(X_0, Y)$.

Векторы $X^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$ и $Y^* = (y_1^*, \dots, y_m^*)$ являются решениями пары двойств. задач линейного программирования в том и только в том случае, если точка (X^*, Y^*) является седловой точкой ф-ции Лагранжа $L(X, Y)$ при условиях $x_j \geq 0$ и $y_i \geq 0$ для всех j , для к-рых требуется неотрицательность переменных прямой задачи, и для всех i , для к-рых ограничения прямой задачи являются неравенствами. Связь между оптим. планами пары взаимосопряж. задач линейного программирования и седловой точкой — основным понятием *теории игр* — позволяет использовать методы теории игр для решения задач линейного программирования и методы линейного программирования для решения прямоугольных игр.

Связь между седловой точкой, множителями Лагранжа и решениями условных экстрем. задач служит теоретич. основой для распространения понятия двойственности на широкий класс задач нелинейного программирования. Двойств. соотношения взаимосопряж. задач используются как в математич. программировании, так и в смежных математич. дисциплинах. Принцип двойственности лежит в основе ряда конечных методов линейного программирования — метода последоват. уточнения оценок (или двойственного) и метода последоват. сокращения невязок. Д. т. устанавливает связь между линейным программированием и теорией матричных игр. Решения пары двойств. задач линейного программирования оказываются оптим. смешанными стратегиями противников в игре двух лиц с нулевой суммой. Д. т. обобщается на широкий класс задач нелинейного программирования и на бесконечномерные пространства.

Лит.: Линейные неравенства и смежные вопросы, сб. статей, пер. с англ., М., 1959; Юдин Д. Б., Гольштейн Е. Г., Задачи и методы линейного программирования, М., 1961. Д. Б. Юдин.

ДВУКРАТНАЯ СХЕМА (push-push circuit; circuit à double action; Verdoppelungsschaltung, Doppelschaltung) — симметричная схема с двумя одинаковыми лампами, у к-рых входное напряжение подается на управля-

ющие сетки в противофазе, а анодные цепи включены параллельно друг другу. В выходном напряжении схемы исключены колебания частоты входного сигнала и все ее нечетные гармоники. Д. с. применяется как *умножитель частоты* в четное число раз. Во время работы каскада, выполненного по Д. с. (рис. 1), входные сеточные напряжения и переменные составляющие анодных

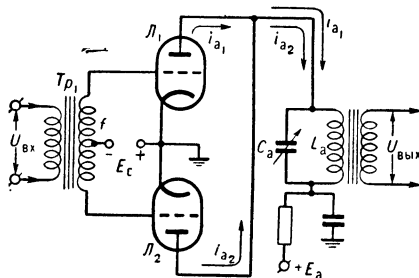


Рис. 1.

токов находятся в тех же фазовых соотношениях, что и в *двухтактной схеме*. Режим ламп в Д. с. такой же, как и в двухтактной схеме. Отличие состоит в способе включения нагрузки. В Д. с. обе лампы имеют общую нагрузку (колебат. контур $L_a C_a$), включенную в анодную цепь, как в однотактной схеме с параллельным включением ламп. В нагрузке протекает удвоенное количество импульсов анодного тока (рис. 2), следующих

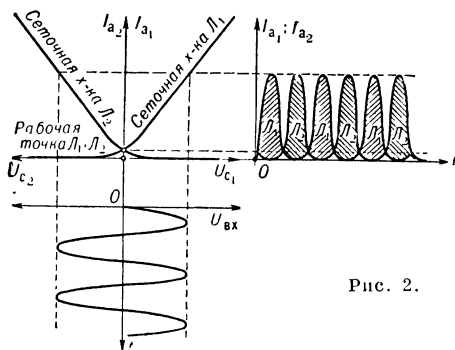


Рис. 2.

через каждый полупериод напряжения на управляющих сетках. Это приводит к подавлению в нагрузке колебаний основной частоты и всех ее нечетных гармоник, что и является основным достоинством Д. с., благодаря к-рому, она находит применение в умножителях частоты в четное число раз. Общий анодный контур $L_a C_a$ обычно настраивается в резонанс на вторую или (гораздо реже) на четвертую гармонику колебаний частоты сигнала на входе Д. с.

Д. с. обладает теми же недостатками и преимуществами, что и двухтактная схема: необходима тщательная балансировка; ограничен верхний частотный предел ее применения; более высокие, по сравнению с однотактным каскадом, кпд и выходная мощность; возможность выполнения на ПП приборах. Отличие расчета электрич. режима работы Д. с. состоит в том, что анодная цепь рассчитывается как для случая параллельного соеди-

нения ламп, а сеточная — как при двухтактной схеме.

Лит.: Дробов С. А., Радиопередающие устройства, 2 изд., М., 1951; Модель З. И., Радиопередающие устройства, М., 1961. Ю. Б. Любченко.

ДВУХАДРЕСНАЯ МАШИНА [two-address computer; calculatrice à deux adresses; Zweiadreß-Rechenmaschine, Zweiadreß-(Parallel-)Maschine] — вычислит. машина, команды к-рой содержат в своей адресной части по 2 адреса. Различают след. варианты Д. м.: 1) Машины, в к-рых каждый адрес команды относится либо к операнду, либо к результату операции. Чаще всего по первому и второму адресу выбирается первый и второй операнд. Запись результата операции осуществляется в ячейку, в к-рой размещался один из операндов. Команды при этом имеют естеств. порядок следования. Примером подобной Д. м. является ЭВМ «Ремингтон-Рэнд 1103» (США); 2) Машины, в к-рых лишь один адрес команды относится либо к операнду, либо к результату операции, а второй — определяет местоположение следующей команды. Этот вариант Д. м. удобен при использовании периодич. ЗУ (напр., магнитных барабанов), не допускающих произвольного обращения к каждой ячейке. В данном случае возможно осуществить т. н. оптим. программирование, обеспечивающее миним. время поиска при любом обращении к ЗУ (пример — амер. машина ИБМ-650).

И. А. Данильченко.

ДВУХПОЛЮСНОЕ СОЕДИНЕНИЕ РЕЛЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ (two terminal switching circuit; connexion bipolaire; doppelpolige Relaiskreisverbindung, zweipolige Relaiskreisschaltung) — соединение двух или большего числа релейных двухполюсников, в результате которого получается *релейный двухполюсник*. Д. с. р. ц. может быть последоват. и параллельным. При последовательном конечный узел (полюс) одной цепи соединяется с нач. узлом (полюсом) др. цепи. При параллельном — все нач. узлы соединяемых цепей объединяются в один нач. узел, а все конечные узлы — в один конечный узел. Двухполюсное соединение релейно-контактных двухполюсников соответствует логич. операциям над булевыми ф-циями (см. *Алгебра логики*), выражающими их проводимость. Последоват. соединение двухполюсников f_1 и f_2 соответствует логич. произведению (конъюнкции, операции «и») $f_1 \cdot f_2$, т. к. проводимость в полученном двухполюснике равна 1 тогда и только тогда, когда обе проводимости f_1 и f_2 равны 1. Параллельное соединение двухполюсников f_1 и f_2 соответствует логич. сумме (дизъюнкции, операции «или») $f_1 + f_2$, так как проводимость в полученном двухполюснике равна 1 тогда и только тогда, когда хотя бы одна из проводимостей f_1 или f_2 равна 1.

В. М. Остиану.

ДВУХПРОВОДНАЯ ЛИНИЯ (two-wire line, double line; ligne à deux conducteurs, ligne bifilaire; Doppelleitung, Paralleldrahtleitung) — электрич. линия, образованная двумя круглыми параллельными проводниками, расстояние между к-рыми мало по сравнению с длиной передаваемой волны. Д. л. применяются в радиоаппаратуре УКВ-диапазона радиоволн для связи приемника или передатчика с антенной. Отрезками Д. л. пользуются в качестве согласующих тр-ров и резонансных контуров в аппаратуре метровых и дециметровых волн. Д. л. является симметричной *длинной*

линией, т. к. ни один из ее проводников не заземляется. Основной недостаток Д. л. в том, что она излучает в окружающее пространство часть электромагнитной энергии, распространяющейся вдоль нее. Величина излучения возрастает с укорочением длины волны передаваемых колебаний. Это сильно ограничивает область применения Д. л. по сравнению с *коаксиальными линиями*. Д. л. является электрич. цепью с распределенными постоянными. Как и всякая длинная линия, она характеризуется 4 основными параметрами, отнесенными к единице ее длины: последовательным сопротивлением R_1 , последовательной индуктивностью L_1 , параллельной проводимостью G_1 и емкостью C_1 . Д. л. называется однородной, если эти ее параметры сохраняют свои значения неизменными по всей длине линии. Значения распределенных постоянных Д. л. определяются соотношением между радиусом r ее проводников и расстоянием b между ними. Они рассчитываются по ф-лам: индуктивность на единицу длины Д. л.

$L_1 = 0,921 \lg \frac{b}{r} \text{ мкГн/м}$; емкость на единицу длины Д. л.

$C_1 = \frac{12,06\epsilon}{\ln \frac{b}{r}} \text{ ммкФ/м}$, где ϵ — относит. ди-

электрич. постоянная среды, в к-рой расположены проводники Д. л. (для воздуха $\epsilon = 1$); сопротивление на единицу длины Д. л. из медных проводов $R_1 = 1,44/r\sqrt{\lambda} \text{ ом/м}$, где r — радиус провода (мм), λ — длина волны электромагнитных колебаний (м). *Волновое сопротивление* Д. л. $W = 276 \lg \frac{b}{r} \text{ ом}$.

Потери электромагнитной энергии при ее распространении вдоль Д. л., кроме излучения в окружающее пространство, связаны с рассеянием мощности на омич. сопротивлении проводников и на сопротивлении утечки между проводниками и с поглощением ее в диэлектрике, окружающем проводники. Величина этих потерь определяется коэфф. затухания β , являющимся нелинейной ф-цией частоты. При возрастании частоты потери в Д. л. растут. Величина β (дБ/м) приводится в справочниках для каждого конкретного типа Д. л. Конструктивно Д. л. выполняются в виде 2 жестких параллельных проводов, укрепл. на изоляторах (воздушная Д. л.), или в виде гибкого кабеля, в к-ром оба проводника помещены в эластичную высокочастотную изоляцию из материала с малыми потерями. Волновое сопротивление пром. Д. л. лежит в пределах 80—300 ом (РД-13, $W = 82—92 \text{ ом}$; РД-18, $W = 100 \text{ ом}$; КАТВ, $W = 300 \text{ ом}$).

Лит.: Асеев Б. П., Основы радиотехники, М., 1947; Кинг Р., Мимно Г., Уинг А., Передающие линии, антенны и волноводы, пер. с англ., М. — Л., 1948. Ю. Б. Любченко.

ДВУХТАКТНАЯ СХЕМА (push-pull circuit; montage push-pull, montage symétrique; Gentaktschaltung, Symmetrieschaltung) — симметричная схема, содержащая две одинаковые лампы, включенные так, что напряжения на их управляющих сетках находятся в противофазе, а напряжения на выходе складываются друг с другом и через обе лампы протекают анодные токи, одинаковые по величине, но противоположные по фазе. Этот тип схем получил широкое распространение в выходных каскадах передатчиков и усилителей НЧ, работающих в режиме усиления мощно-

сти, а также в схемах генераторов с самовозбуждением и умножителей частоты. При работе Д. с. (рис. 1) со вторичной обмотки входного трансформатора T_{p1} на управляющие сетки ее ламп поступают переменные напряжения одинаковой амплитуды, но сдвинутые по фазе друг относительно друга на 180° . Когда на сетку L_1 поступает положит.

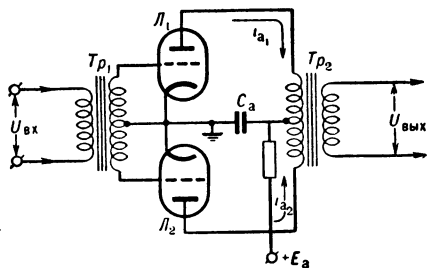


Рис. 1.

полуволна перем. напряжения, на сетке L_2 действует отрицат. полуволна. Поэтому, при возрастании анодного тока через L_1 , анодный ток через L_2 будет уменьшаться (и наоборот — при изменении полярности напряжений на сетках ламп). Т. о., переменные составляющие анодных токов обеих ламп в их анодных цепях текут навстречу друг другу. В Д. с. нагрузка (колебат. контур или первичная обмотка выходного тр-ра) включается так, чтобы ее противоположные концы присоединялись к анодам ламп, а средняя точка заземлялась по перем. току (через конденсатор C_a). В этом случае средняя точка нагрузки имеет нулевой потенциал по перем. току. При таком включении нагрузки перем. составляющие анодных токов обеих ламп протекают через нее в одном направлении (по обеим ее половинкам). Обе лампы в Д. с. работают в режиме усиления класса В (см. *Классы усиления*), при к-ром рабочие точки выбираются вблизи нижних сгибов их сеточных хар-к (рис. 2).

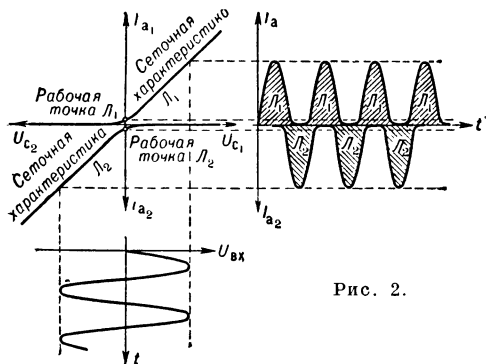


Рис. 2.

Режим класса В для ламп Д. с. выбирается потому, что в этом режиме обеспечиваются высокий кпд каскада и получение большой выходной мощности. Но если однокатный каскад усиления в этом режиме обладает высоким уровнем *нелинейных искажений*, то в Д. с. сохраняются преимущества этого режима (высокие кпд и уровень мощности), а нелинейные искажения практически не имеют места. В двухтактном включении обе лампы работают поочередно (каждая — только в течение поло-

жит. полупериода напряжения на своей сетке). Выходное напряжение в Д. с. формируется обеими лампами (рис. 2) и поэтому практически полностью повторяет форму сигнала на входе схемы. Д. с. работает более устойчиво и менее склонна к самовозбуждению, чем однокатная. Значит. преимущество ее состоит в подавлении на выходе четных гармоник частоты выходного сигнала, возникающих в схеме, т. к. они вычитаются в нагрузке. Это свойство Д. с. широко используется в умножителях частоты. Недостатком Д. с. является сложность и необходимость тщательной балансировки путем подбора ламп с одинаковыми хар-ками и симметрирования самой схемы. Небольшой разброс хар-к ламп может быть скомпенсирован частичным нарушением симметрии схемы. Трудности балансировки Д. с. возрастают при повышении ее рабочей частоты. Хотя теоретически от Д. с. представляется возможным получить увеличение мощности на выходе в два раза (по сравнению с однокатным каскадом), практически за счет неточной балансировки схемы может быть получено увеличение мощности не более чем на 70—80%. Расчет электрич. режима работы Д. с. производится по ф-лам для соответствующих однокатных схем. При расчете Д. с. рассматривается как две одинаковые однокатные схемы, включенные последовательно. В последнее время получили широкое распространение Д. с. на ПП приборах.

Лит.: Дробов С. А., Радиопередающие устройства, 2 изд., М., 1951; Модель З. И., Радиопередающие устройства, М., 1961.

Ю. Б. Любченко.

ДЕБАЯ ДЛИНА (Debye length; longueur de Debye; Tiefe der elektrostatischen Abschirmung, Debye-Länge) — глубина электростатич. экранирования, одна из хар-к электропроводящего материала (проводника или ПП). При помещении электропроводящего тела в электростатич. поле на поверхности тела возникают заряды, обусловленные нарушением равенства концентраций положит. и отрицат. зарядов в теле из-за перемещения их носителей. Эти поверхностные заряды экранируют внешнее поле, в связи с чем в толще материала поля нет. В большинстве задач электростатики, где применяется макроскопич. рассмотрение, эти заряды можно считать сосредоточенными полностью на поверхности. Однако в связи с диффузией носителей эти заряды простираются от поверхности на нек-рое расстояние в глубь материала (т. е. представляют собой пространств. заряды конечной ширины); на такое же расстояние проникает в материал и внешнее поле. Чем выше темп-ра материала и чем меньше концентрация носителей заряда в нем, тем это расстояние больше. Точной границы у пространств. заряда нет. Если материал однороден вплоть до поверхности и если внешнее поле достаточно мало, то плотность пространств. заряда падает экспоненциально с расстоянием от поверхности в глубь материала. Точно по такому же закону убывает и электростатическое поле, проникающее в материал. Поэтому вводится понятие «эффективная ширина области пространств. заряда» (эффективная глубина проникновения поля в материал), определяемое как расстояние от поверхности, на к-ром значения поля и плотности пространств. заряда уменьшаются в е

(основание натурального логарифма) раз по сравнению с их значениями на поверхности. Это расстояние и наз. Д. д.

$$l = \sqrt{\frac{\varepsilon k T}{4 \pi e^2 N}},$$

где ε — диэлектрич. проницаемость материала; k — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура; e — заряд электрона; N — концентрация носителей заряда в нейтральном материале.

Требование малости внешнего поля означает, что отличие проводимости в области пространств. заряда от проводимости нейтрального материала должно быть мало по сравнению с самими проводимостями. Если материал неоднороден, то Д. д. является хар-кой его в данной точке.

Для ПП понятие «Д. д.» ввел Шокли, применительно к материалу с собств. проводимостью σ_i . В дальнейшем этим понятием стали пользоваться по отношению к материалу с любой проводимостью.

Д. д. играет существен. роль в задачах о распределении плотностей носителей заряда в районе p — n -переходов в ПП, у контактов металла с ПП, в поверхностных слоях ПП. При этом размеры областей пространственных зарядов оказываются порядка неск. Д. д. Лит.: Shockley W. [a.o.], «Bell System Techn. J.», 1949, v. 28, № 3, p. 435; Groschwitz E., Ebbhardt R., «Z. angew. Phys.», 1959, Bd 11, H. 1, S. 9. А. Л. Захаров.

ДЕВИАЦИЯ ЧАСТОТЫ (frequency deviation; déviation de fréquence, glissement de fréquence, excursion de fréquence; Frequenzabweichung, Frequenzausflug, Frequenzversatz) — управляемое изменение частоты; термин применяется в теории и практике частотно-модулированных колебаний. При ЧМ амплитуда генерируемых колебаний постоянна, а частота изменяется по закону, отображающему характер модулирующего напряжения. Так, напр., если нужно передать гармонич. тон с частотой F , то круговая частота ω излучаемых колебаний должна изменяться по закону $\omega = \omega_0 + (\Delta\omega) \cos \Omega t$. Здесь $\Omega = 2\pi F$ — круговая частота модуляции; ω_0 — несущая круговая частота; $(\Delta\omega)_m$ — амплитуда изменения частоты, т. е. максимальная Д. ч.

Е. Ю. Намиот.

ДЕВЯТИРИЧНАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ (nine number system; système de numération à base 9; Neunersystem) — позиционная система счисления, основанием которой является число девять. В Д. с. с. с неотрицат. базой используются цифры 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, отвечающие последоват. целым числам от нуля до восьми. Основание системы (число «девять») записывается как 10. Для изображения отрицат. чисел применяется знак «—» (минус) перед целой частью числа. Всякое число можно перевести из Д. с. с. в десятичную систему счисления («расшифровать»), записывая его в виде: $a_{n-1} \cdot 9^{n-1} + a_{n-2} \cdot 9^{n-2} + \dots + a_1 \cdot 9^1 + a_0 \cdot 9^0 + a_{-1} \cdot 9^{-1} + \dots + a_{-m} \cdot 9^{-m} + \dots$, где a_i — девятиричные цифры, m — количество разрядов в дробной части, n — количество разрядов в целой части девятиричного числа. Напр., $432,81$ (девятеричное) = $4 \cdot 9^2 + 3 \cdot 9^1 + 2 \cdot 9^0 + 8 \cdot 9^{-1} + 1 \cdot 9^{-2} = 353,9$ (десятичное). Наибольший интерес представляет Д. с. с. с симметричной базой, в к-рой используются цифры $\bar{4}, \bar{3}, \bar{2}, \bar{1}, 0, 1, 2, 3, 4$, отвечающие последоват. целым числам от минус четыре до плюс че-

тыре. Основание системы счисления (число «девять») в этом случае также изображается в виде 10. В Д. с. с. с симметричной базой запись положит. числа начинается положительной, а запись отрицат. числа — отрицательной цифрой, напр., $\bar{1}\bar{2}$ (плюс семь), а $\bar{1}\bar{2}$ (минус семь). Т. о., знак «минус» перед числом не требуется. Д. с. с. с симметричной базой применяется как вспомогат. система счисления при программировании для некоторых ЭЦМ, имеющих в качестве рабочей троичную систему счисления с симметричной базой (напр., для ЦВМ «Сетунь»). В Д. с. с. с симметричной базой нек-рые правильные дроби имеют целую часть (напр., $1, \bar{1}$ — восемь девятых). Числа, представленные в Д. с. с. с симметричной базой, можно перевести по общим правилам перевода чисел из одной системы счисления в другую (напр., десятичную).

Н. А. Криницкий.

ДЕГАЗАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ (ultrasonic degasing; dégaçage par ultrasons; Ultraschallentgasung) — удаление газа из жидкости под воздействием УЗ колебаний (см. Ультразвук). Это воздействие значительно ускоряет процесс дегазации (рис. 1). Д. у. можно представить в виде трех (последовательных) взаимосвязанных процессов: в жидкости образуются кавитационные полости; растворенный газ диффундирует из жидкости в полости и обратно при периодич. расшире-

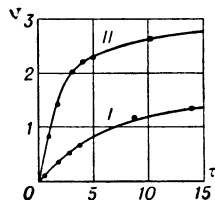


Рис. 1.

Рис. 1. Зависимость дегазации от времени: τ — время дегазации (мин.); V — количество удаленного газа в относит. единицах: I — без УЗ; II — под воздействием УЗ.



Рис. 2.

Рис. 2. Макроструктура алюминиевых образцов: а — до обработки УЗ колебаниями; б — после УЗ дегазации в течение 5 мин.

ний и сжатии кавитационных полостей; гистерезисный характер этого явления увеличивает содержание газа в полости. Под воздействием УЗ колебаний концентрация газа, растворенного в жидкости, снижается на 40—50%. Образовавшиеся ранее пузырьки объединяются в более крупные. На этом этапе ускорение Д. у. наиболее значительно. Появляются силы акустич. происхождения, приводящие к объединению мелких пузырьков. На низких частотах объединение пузырьков происходит под действием сил Бьеркнеса. Эти силы возникают между любой парой синфазно пульсирующих пузырьков и приводят к слиянию их. Величина сил пропорциональна произведению объемной скорости пульсации пузырьков на плотность жидкости и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. В свою очередь, объемная скорость пульсации пузырька зависит от величины звукового давления, резонансной частоты каждого из пузырьков (см. Резонанс) и частоты колебаний. Причины объединения пузырьков на высоких частотах окончательно не установлены. Нек-рые из исследователей наблюдали, что пузырьки, образуясь в пуч-

ности давления, растут до резонансных размеров. Пузырьки размерами больше резонансного перемещаются в места пучности скорости, где совершают колебательные движения. В результате столкновений пузырьки сливаются в более крупные и всплывают на поверхность. На этом этапе УЗ не оказывает сколько-нибудь существенного влияния. Д. у. может найти применение при обезгаживании вязких жидкостей. Практич. применение получают дегазация стекла и расплавы. Развитие этого метода препятствует трудности генерирования УЗ колебаний в расплаве. Успешно проводится дегазация алюминиевых сплавов (рис. 2). Воздействие УЗ колебаний повышает предел прочности и текучести на 10—15% и позволяет полностью избавиться от раковин в отливках.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956 (Обзор работ по дегазации, с. 501—504); Lindström O., Physico-chemical aspects of chemically active ultrasonic cavitation in aqueous solutions, «J. Acoust. Soc. America», 1955, v. 27, № 4, p. 654—671; Esch R., Wenk P., Moderne Ultraschallanlagen für Reinigung, Entgasung und Dispergierung, «Elektrotech. Z.», 1960, Jg. 12, H. 5, S. 97—104; Казанцев В. Ф., Движение газовых пузырьков в жидкости под действием сил Бьеркнеса, возникающих в акустическом поле, «ДАН СССР», 1959, т. 129, № 1, с. 64—67; Эскин Г. И., Ультразвук в металлургии, М., 1960, с. 21—26. В. Ф. Казанцев.

ДЕИОНИЗАЦИЯ (deionization; désionisation de gaz; Entionisierung, Deionisierung, Deionisation) — исчезновение зарядов из газоразрядного промежутка. При снятии напряжения с электродов остаточная плазма разряда, состоящая из примерно одинакового количества ионов и электронов, исчезает не мгновенно. Ослабление концентрации остаточных зарядов происходит вследствие непрерывного ухода ионов и электронов к электродам и стенкам прибора, где они взаимно нейтрализуются и рекомбинируют в нейтральные атомы. Объемная рекомбинация в электроположит. газах (He, Ne, Ar, Kr, Xe), к-рыми наполняются ионные приборы, происходит только при высоких давлениях. В случае, когда напряжение на электродах отсутствует, уменьшение концентрации зарядов частиц n в процесс Д. выражается ф-лой

$$n = n_0 e^{-\frac{t}{\tau}},$$
 где n_0 — нач. концентрация, пропорциональная току, существовавшему в разряде; τ — постоянная времени Д., зависящая от геометрич. размеров поверхностей, физич. свойств и состояния газовой среды. Для приборов с рекомбинацией зарядов на плоских электродах

$$\tau = \frac{3}{\pi^2 c_i} \cdot \frac{1}{1 + \frac{T_e}{T_i}} \cdot \frac{d^2}{\lambda_i},$$

где T_e , T_i — темп-ры электронного и ионного газов; c_i — скорость ионов; λ_i — ср. свободный пробег иона; d — расстояние между электродами.

Послеразрядная проводимость, обусловленная деионизац. процессами, ограничивает в ряде случаев макс. частоту работы прибора (газотрона, декатрона, ионного разрядника, тиратрона, ртутного вентиля). В газотроне после прохождения тока через нуль к аноду прикладывается отрицат. напряжение. У анода образуется оболочка с преобладанием положит. ионов, в к-рой сосредоточено падение потенциала, неск. превышающее напряжение на электродах. Толщина ионной оболоч-

ки зависит от концентрации зарядов в плазме и величины напряжения; в процессе Д. она растет сначала медленно, а потом все быстрее, пока не заполнит всего пространства между электродами. У катода образуется электронная оболочка с падением потенциала в неск. в. Изменение потенциала между электродами газотрона в процессе Д. показано на рис. 1. Кривая 1 соответствует нач. моменту Д., кривые 2 и 3 — промежуточным значениям и 4 — моменту времени, когда остаточные заряды плазмы весьма мало влияют на распределение потенциала, т. е. Д. практически закончена. Обратный ток, создаваемый движением ионов к аноду и электронов к катоду при Д., может привести к обратному зажиганию и поглощению газа электродами.

Процессы Д. в тиратроне и ртутном вентиле определяют восстановление управляющего (запирающего) свойства сетки после гашения дуги. При горении дуги (рис. 2, а) вокруг сетки образуются ионные оболочки, экранирующие отрицат. поле сетки. В результате этого сетка теряет свою управляющую способность. По мере Д. остаточной плазмы толщина ионных оболочек увеличивается и заполняет все отверстия в сетке (рис. 2, б).

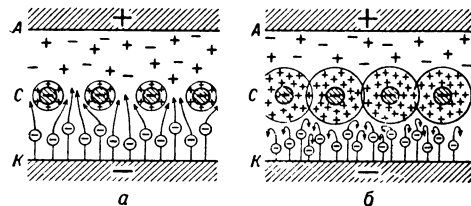


Рис. 2. Физич. процессы у сетки тиратрона: а — при горении дуги; б — в момент восстановления запирающей способности.

Момент смыкания ионных оболочек соответствует началу восстановления запирающего действия сетки. Время начала восстановления можно определить из ф-лы

$$\theta_0 = \tau \ln \frac{j_{c0}}{c U_{s\theta}} \quad \text{и} \quad U_{s\theta} = E_{c0} - j_{c\theta} S_c R_c,$$

где $U_{s\theta}$ — падение напряжения на ионной оболочке в момент восстановления запирающей сетки; τ — постоянная времени Д.; j_{c0} — нач. плотность тока сетки; $j_{c\theta}$ — плотность тока сетки в момент смыкания ионных оболочек; S_c — приемная поверхность сетки; E_{c0} — отрицат. напряжение в сеточной цепи; R_c — сеточное сопротивление; c — постоянная, зависящая от конфигурации сетки, рода и давления газа. Методика определения деионизац. параметров и предельно допустимых частот работы тиратрона в импульсных режимах описаны в работах [2, 3, 4].

Лит.: 1) Грановский В. Л., Деионизация разряженного газа, в кн.: Тр. Всес. электротехн. ин-та, в. 41, М. — Л., 1941; 2) Драбкин Д. С. и Слущкин Е. Х., Разработка методики определения деионизационных параметров и предельной частоты работы тиратронов в импульсном режиме, в кн.: Сборник материалов по вакуумной технике, вып. 5,

М. — Л., 1954; 3) Malter L., Johnson E. O., Studies of thyratron behavior, «RCA Rev.», 1950, v. 11, № 2; 4) Wittenberg H. H., Pulse measuring of deionization time, «Electr. Engng», 1950, v. 69, № 9.

В. Л. Кузьмин.

ДЕКАДА (decade; década; Dekade) — мера измерения интервала частот, соответствующая десятикратному изменению частоты. Число Д., заключенное в интервале частот (ω_2, ω_1), определяется соотношением $\lg \omega_2 / \omega_1$. Д. применяется в теории автоматич. регулирования при определении наклона логарифмических амплитудных характеристик. Так, напр., асимптота логарифмич. амплитудной хар-ки *аперiodического звена* до сопрягающей частоты имеет наклон 0 дБ на Д., а после сопрягающей частоты — 20 дБ на Д.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория. Под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

В. Ю. Рутковский.

ДЕКАТРОН (decatron; dékatron; Dekatron) — многоэлектродный газоразрядный прибор для цифрового счета или коммутации импульсов в десятичной системе счисления. Применяется в вычислит. технике, радиотелеизмерениях, автоматике, ядерной физике и контрольно-измерит. аппаратуре (АУ, схемы хранения информации, преобразователи десятичной системы счета в двоичную, счетчики и распределители импульсов, делители и стандарты частоты, перекладчики ВЧ-сигналов, анализаторы амплитуд импульсов и др.). Достоинства Д. — простая схема включения и управления, визуальная индикация, экономичность (отсутствие накала) и сравнительно большая скорость счета (до 0,1—1 Мгц).

В основе работы Д. лежит направл. перенос тлеющего разряда с одного электрода на др. Этот перенос обусловлен разностью потенциалов между электродами, создаваемой управляющими импульсами. Осн. параметры и хар-ки Д.: коэфф. пересчета (отношение числа входных импульсов к числу выходных, равное 10), скорость счета, рабочий ток (0,5—1,5 мА), параметры управляющих и выходных импульсов. Они определяются временем восстановления анодного запирающего, напряжениями зажигания и горения промежутка анод — катод, к-рые, в свою очередь, зависят от рода и давления наполняющего газа, конструктивных размеров электродов и расстояний между ними.

Д. имеет анод в виде диска с располож. вокруг него стержневыми индикаторными и управляющими катодами. Наполняется смесью

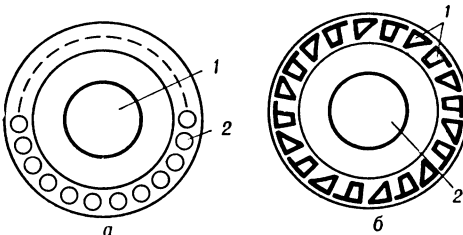


Рис. 1. Форма и расположение электродов в декатроне: а — с симметричными катодами; б — с несимметричными катодами (1 — индикаторные и направляющие катоды, 2 — анод).

газов (Н, Не, Ne) при давлении 30—40 мм рт. ст.

Типы Д. различаются конструкцией электродов (симметричные — рис. 1, а и асимметричные — рис. 1, б), числом групп и числом

электродов в группе, способами управления (одноимпульсные и двухимпульсные), выполняемыми ф-циями (счетные и коммутаторные). В СССР получили распространение Д. с симметричными электродами, управляемые одним и двумя импульсами.

Счетный Д. с симметричными электродами, управляемый двумя импульсами (рис. 2), состоит из 30 штыреобразных электродов, симметрично располож. вокруг анода и разбитых на 3 группы: индикаторные катоды (К), первые (1ПК) и вторые (2ПК) подкатоды. Внутри баллона электроды одинакового назначения соединены кольцом и имеют один общий вывод, за исключением нулевого индикаторного катода (К₀). В коммутаторном Д. все 10 индикаторных катодов выведены раздельно. Электрич. схема включения двухимпульсного Д. дана на рис. 3. Напряжение питания анода (обычно около 450 в) должно быть больше напряжения зажигания (375—430 в). До начала счета разряд устанавливается на одном из катодов, т. к. в результате положит. смещения

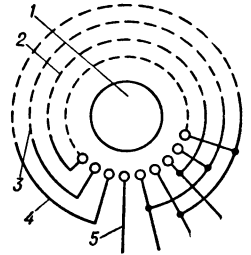


Рис. 2. Схема расположения электродов в декатроне с двухимпульсным запуском и симметричными электродами: 1 — анод; 2 — кольцо индикаторных катодов; 3 — кольцо первых подкатодов; 4 — кольцо вторых подкатодов; 5 — нулевой индикаторный катод К₀.

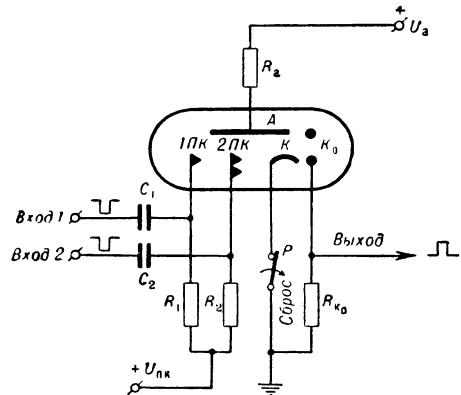


Рис. 3. Электрич. схема включения двухимпульсного декатрона.

(45—50 в) на 1ПК и 2ПК потенциал между анодом и индикаторными катодами больше, чем между анодом и подкатодами. Установка разряда на К₀ (начало отсчета) производится размыканием ключа Р или подачей на этот катод отрицат. напряжения (напряжения сброса) 150—200 в. Благодаря ионизации газа в области около горящего катода напряжение зажигания двух соседних электродов меньше, чем более отдаленных. Поэтому, если разряд находится на К₀, а на кольцо 1ПК подан отрицат. импульс, то разряд перейдет с К₀ на соседний с ним первый подкатод. Если снять отрицат. импульс с 1ПК, то разряд вернется на К₀. Чтобы этого не случилось перед окончанием импульса на 1ПК, второй импульс подают на кольцо 2ПК,

и разряд перемещается на примыкающий к $1PK$ второй подкатод. После окончания второго импульса разряд устанавливается на следующем индикаторном катоде (K_1). Периодич. последовательность двух управляющих импульсов вызывает следующий переброс разряда на K_2, K_3, \dots, K_0 и снова на K_0 . Выходной положит. импульс снимается с катодного сопротивления R_{K_0} . Меняя временную последовательность управляющих импульсов на $1PK$ и $2PK$, можно изменить направление переноса разряда (реверс счета).

Двухимпульсным Д. можно управлять и с помощью одного входного импульса, связывая $1PK$ с $2PK$ интегрирующей RC -цепью. Благодаря этому импульс на $2PK$ оказывается сдвинутым относительно $1PK$, что равноценно подаче двух управляющих импульсов.

Схема включения одноимпульсного Д. дана на рис. 4. Анод окружен четырьмя группами

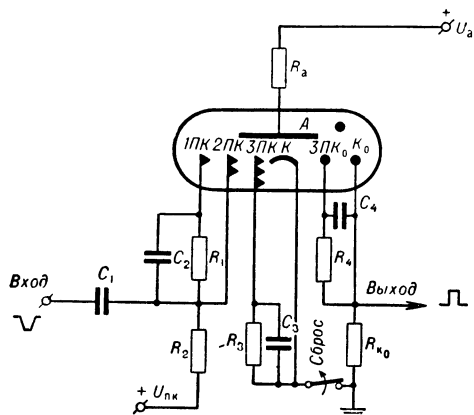


Рис. 4. Электрич. схема включения одноимпульсного декатрона.

10-штырьковых электродов: индикаторные катоды K и первые, вторые, третьи подкатоды — $1PK, 2PK, 3PK$. Работа одноимпульсного Д. во многом аналогична работе двухимпульсного. Входной импульс переводит разряд с K_0 на соседний $1PK$. Конденсатор C_2 заряжается, потенциал $1PK$ по отношению к $2PK$ увеличивается, и разряд переходит на $2PK$. С окончанием импульса на $1PK$ и $2PK$ восстанавливаются нач. потенциалы, и разряд перемещается на смежный $3PK$. Заряжается конденсатор C_3 , и разряд возникает на катоде K_1 .

Амплитуда выходного импульса (обычно 15 в) меньше, чем входного (100—200 в), поэтому при каскадном соединении Д. требуется усиление. Развитие конструкций Д. идет по пути увеличения скорости счета до 1 Мгц, создания Д., не требующих межкаскадного усиления, и Д. с большим рабочим током для непосредств. включения электромеханич. устройств в цепь катода.

Лит.: Липкин В. М., Декатроны и их применение, М., 1960; Брейдо И. Я., Янкин Г. М., Промышленные газоразрядные счетные лампы (декатроны), «Р-ка», 1958, т. 13, № 7; Янкин Г. М., Яблонский Ф. М., Брейдо И. Я., Быстродействующий декатрон одноимпульсного типа, там же, 1959, т. 14, № 5; Aschmooneit E.-K., Die Dekatron-Röhren-Gasgefüllte Zählröhren mit symmetrischen Katoden, «Elektronik», 1956, Jg. 5, № 5, № 12; его же, там же, 1960, Jg. 9, № 4.

И. А. Кондюков.

ДЕКОДИРОВАНИЕ, дешифрация (decoding; décodage; Entcodung, Entschlüsselung, Decodierung, Deschiffrierung), — пре-

образование цифровых данных, т. е. последовательности чисел, представленных в цифровом коде, в непрерывный сигнал. После того как в цифровой части системы управления произведены необходимые вычисления, полученный числовой результат с помощью Д. превращается в непрерывный сигнал, поступающий далее в непрерывную часть системы. Д. в телемеханике — см. Кодирование в телемеханике.

В. М. Байковский.

ДЕКОДИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ (program checking; analyse de programme; Programmprüfung) — метод контроля правильности составленной программы, заменяющий отладку программы (на машине). Д. п. заключается в автоматич. составлении логич. схемы проверяемой программы (см. Логическая схема программы) и описании входящих в логич. схему операторов (в виде расчетных и логич. ф-л). Д. п. осуществляется на ЭЦМ с помощью декодирующей программы. Исходной информацией для Д. п. служит проверяемая программа и нек-рые дополнит. сведения о ней (напр., номера нач. и конечной ячеек, в к-рых должна размещаться программа для выполнения, и т. п.). Составление логич. схемы проверяемой программы включает: разбиение программы на линейные участки (ЛУ), выделение циклов, анализ циклов, выделение входных и выходных ячеек, составление описаний операторов. Описание операторов сводится к декодированию их команд.

Разбиение программы на линейные участки. ЛУ программы — это совокупности команд, обладающая свойствами: упорядоченности (управление извне может получать лишь одна команда — первая; передача управления от одной к др. команде ЛУ происходит только в порядке номеров команд, напр. номеров ячеек, хранящих команды; передавать управление внешним командам может только одна команда ЛУ — последняя); связности (если первая команда ЛУ получит управление, то его получит в свое время каждая команда участка); автономности (условный переход от ЛУ может осуществляться в зависимости от значения сигнала ω , выработанного командой, принадлежащей этому же ЛУ); полноты (участок нельзя расширить путем присоединения новых команд).

Каждому ЛУ программы ставится в соответствие тройка кодов — номер первой команды α_i , номер последней команды β_i и порядковый номер i ЛУ. Затем составляется строка символов Λ_i ($i=1, 2, \dots$), располож. в порядке возрастания номеров i ЛУ. Причем если i -й ЛУ кончается командой условного перехода, то за символом Λ_i в строке ставится

знак операторных связей $\left[\begin{smallmatrix} n \\ m \end{smallmatrix} \right]$, указывающий на передачу управления к ЛУ с номером n , если $\omega = 1$, и с номером m , если $\omega = 0$.

Строку символов Λ_i и знаков операторных связей назовем структурной схемой программы. Элементом структурной схемы наз. символ Λ_i , если в схеме за ним не следует знак операторных связей, или совокупность символа Λ_i и непосредственно следующего за ним знака операторных связей. Структурная схема программы наз. нормальной, если в схеме

нет элементов $\Lambda_i \left[\begin{smallmatrix} n \\ n \end{smallmatrix} \right]$, для к-рых $n \leq i$, либо, если такие элементы есть, но для каждого

из них любой элемент $\Lambda_j \left[\begin{smallmatrix} k \\ n \leq j < i \end{smallmatrix} \right]$ удовлетворяет условиям $n \leq k \leq i$ и $n \leq l \leq i$.

Пример. Структурная схема $\Lambda_1 \left[\begin{smallmatrix} 4 \\ \Lambda_2 \Lambda_3 \left[\begin{smallmatrix} 5 \\ \Lambda_4 \left[\begin{smallmatrix} 5 \\ \Lambda_5 \end{smallmatrix} \end{smallmatrix} \right] \right] \right]$ является нормальной, т. к. в ней отсутствуют элементы, содержащие знак операторных связей, индексы k -рого между собой равны и меньше его номера.

Структурная схема $\Lambda_1 \Lambda_2 \left[\begin{smallmatrix} 3 \\ \Lambda_3 \left[\begin{smallmatrix} 6 \\ \Lambda_4 \Lambda_5 \left[\begin{smallmatrix} 2 \\ \Lambda_6 \end{smallmatrix} \end{smallmatrix} \right] \right] \right]$ не нормальна, т. к. в ней содержится элемент $\Lambda_5 \left[\begin{smallmatrix} 2 \\ n=2, i=5 \end{smallmatrix} \right]$, причем между вторым и пятым элементами присутствует элемент $\Lambda_3 \left[\begin{smallmatrix} 6 \\ j=3, k=6, l=4 \end{smallmatrix} \right]$, для k -рого не выполнено условие $n \leq k \leq i$ (принимавшее вид $2 \leq 6 \leq 5$).

Структурная схема $\Lambda_1 \left[\begin{smallmatrix} 4 \\ \Lambda_2 \left[\begin{smallmatrix} 3 \\ \Lambda_3 \left[\begin{smallmatrix} 5 \\ \Lambda_4 \Lambda_5 \left[\begin{smallmatrix} 2 \\ \Lambda_6 \end{smallmatrix} \end{smallmatrix} \right] \right] \right] \right]$ хотя и содержит элемент $\Lambda_5 \left[\begin{smallmatrix} 2 \end{smallmatrix} \right]$, но является нормальной, потому что среди элементов с номерами 2, 3, 4 ни один не имеет знаков операторных связей с индексом, большим 5 или меньшим 2. Если структурная схема не является нормальной, то ее необходимо привести к нормальной по правилам равносильных преобразований логич. схем (для этого ЛУ нужно рассматривать как операторы).

Выделение циклов. Циклом структурной схемы наз. ее подсхема, последний элемент k -рой в качестве хотя бы одного из индексов своего знака операторных связей имеет номер первого элемента этой подсхемы. Пусть n и $n+t$ — соответственно номера первого и последнего элементов цикла. Тогда совокупность элементов с номерами j , удовлетворяющими одному из неравенств $j < n$ или $j > n+t$, наз. внешней областью цикла. Элемент цикла наз. входом в цикл, если он является первым в цикле и перед ним нет знака операторных связей, либо, если во внешней области цикла есть знак операторных связей, один из индексов k -рого равен номеру этого элемента цикла. Элемент цикла, содержащий знак операторных связей с индексом, равным номеру элемента, принадлежащего внешней области цикла, наз. выходом из цикла. Если один цикл является частью др. цикла, то говорят, что первый цикл вложен во второй. Наконец, если часть одного цикла является частью и др. цикла, то говорят, что циклы пересекаются. О каждом цикле нормальной структурной схемы составляется информация в виде трех кодов — наименьшего и наибольшего номеров элементов, входящих в цикл, и порядкового номера цикла.

Анализ циклов. Пусть $\Lambda_k \left[\begin{smallmatrix} n \\ m \end{smallmatrix} \right]$ принадлежит циклу. Обозначим $v = \max(m, n)$. Если k -л. элемент имеет номер i , удовлетворяющий неравенству $k < i < v$, то говорят, что этот элемент охватывается элементом $\Lambda_k \left[\begin{smallmatrix} n \\ m \end{smallmatrix} \right]$. Анализ

цикла начинается с разбиения его на части, каждая из k -рых состоит либо из одного элемента, не охватывающего других, либо из всех элементов, таких, что начиная со второго каждый из них охватывается хотя бы одним

из предыдущих. Полученные части внутри цикла нумеруются слева направо и обозначаются символами $\Psi_{l,1}, \Psi_{l,2}, \dots$, где l — порядковый номер цикла. Каждому элементу цикла, содержащему знак операторных связей, ставится в соответствие логич. (т. е. двоичная) переменная ω_i , имеющая тот же номер, что и данный элемент. Каждая часть цикла $\Psi_{l,k}$ порождает оператор-функцию $\Psi_{l,k}(\omega_{ik}, \omega_{ik+1}, \dots)$, аргументами k -рой являются отвечающие ее элементам логич. переменные. Если $\Psi_{l,k}$ состоит из одного элемента, не имеющего знака операторных связей, то $\Psi_{l,k}$ представляет собой оператор-константу, не зависящий от логич. переменных. Значениями упомянутых ф-ций являются последовательности символов Λ_j , k -рые получаются след. образом. Аргументам ф-ции $\Psi_{l,k}(\omega_{ik}, \omega_{ik+1}, \dots)$ придают допустимые значения, равные 0 или 1. Слева направо просматриваются элементы части $\Psi_{l,k}$. При этом от элемента, не имеющего знака операторных связей, переходят к стоящему непосредственно справа, а от элемента, имеющего знак операторных связей, переходят в зависимости от значения отвечающей ему логич. переменной: если это значение есть 1, то к элементу, номер k -рого равен верхнему индексу знака операторной связи, а в противном случае — к элементу, номер k -рого равен нижнему индексу знака операторной связи. Символы Λ_j выписывают в порядке их просмотра.

Допустимым значением логич. переменной считается то, при k -ром во время просмотра не происходит выход во внешнюю область цикла.

Пример. Пусть циклом нек-рой структурной схемы программы служит подсхема

$$\Lambda_{16} \left[\begin{smallmatrix} 12 \\ \Lambda_{11} \Lambda_{12} \Lambda_{13} \left[\begin{smallmatrix} 15 \\ \Lambda_{14} \left[\begin{smallmatrix} 17 \\ \Lambda_{15} \Lambda_{16} \Lambda_{17} \left[\begin{smallmatrix} 10 \\ 18 \end{smallmatrix} \end{smallmatrix} \right] \right] \right] \right] \right]$$

Разбиение цикла на части производится следующим образом. Подсхема цикла просматривается справа налево и обнаруживается,

что элементы $\Lambda_{17}, \Lambda_{13}, \Lambda_{12}$ и Λ_{10} не охватываются ни одним элементом цикла. Т. о., цикл разбивается на четыре части: первую часть $\Psi_{1,1}$ составляют элементы $\Lambda_{10}, \Lambda_{11}$, вторую часть $\Psi_{1,2} — \Lambda_{12}$, третью часть $\Psi_{1,3} — \Lambda_{13}, \Lambda_{14}, \Lambda_{15}, \Lambda_{16}$ и четвертую часть $\Psi_{1,4} — \Lambda_{17}$.

Далее элементам цикла $\Lambda_{10}, \Lambda_{13}$ и Λ_{14} , содержащим знаки операторных связей, ставятся в соответствие логич. переменные ω_{10}, ω_{13} и ω_{14} , на каждой из указанных частей определяется оператор-функция $\Psi_{1,1}(\omega_{10}), \Psi_{1,2}, \Psi_{1,3}$ и $\Psi_{1,4}(\omega_{13}, \omega_{14})$. Определяя значения этих ф-ций, можно представить

$$\Psi_{1,1}(\omega_{10}) = \begin{cases} \Lambda_{10} \Lambda_{11} & \text{при } \omega_{10} = 0 \\ \Lambda_{10} & \text{при } \omega_{10} = 1 \end{cases}$$

$$\Psi_{1,2} = \Lambda_{12}$$

$$\Psi_{1,3}(\omega_{13}, \omega_{14}) =$$

$$= \begin{cases} \Lambda_{13} \Lambda_{15} \Lambda_{16} & \text{при } \omega_{13} = 1 \text{ и } \omega_{14} = 1 \text{ или } 0 \\ \Lambda_{13} \Lambda_{14} & \text{при } \omega_{13} = 0 \text{ и } \omega_{14} = 1 \\ \Lambda_{13} \Lambda_{14} \Lambda_{15} \Lambda_{16} & \text{при } \omega_{13} = 0 \text{ и } \omega_{14} = 0 \end{cases}$$

$$\Psi_{1,4} = \Lambda_{17}.$$

Последующий анализ цикла сводится к преобразованию структурной схемы с целью исключения из рассмотрения уже исследованного цикла. Для этого определяются все выходы из рассматриваемого цикла. Затем между последним в цикле символом Δ и его знаком операторных связей (обозначим временно этот знак λ) вписывается символ $\Delta_{\Delta+1}^*$ ($\Delta_{\Delta+1}^*$ — фиктивный элемент цикла), где Δ — наибольший из номеров элементов структурной схемы. После знака λ вписываются все элементы цикла, начиная с первого из них и кончая последним выходом из цикла, не являющимся последним элементом цикла. При вписывании вместо индексов знаков операторных связей, ведущих к элементам цикла, следующим за последним выходом, отличным от конца цикла, ставятся вторые индексы тех же знаков операторных связей (предполагается, что в цикле нет знаков операторных связей, оба индекса к-рых требуют такого изменения). Номера этих элементов и индексы их знаков операторных связей, не уводящие во внешнюю область преобразуемого цикла, а также индекс знака λ , не уводящий во внешнюю область преобразуемого цикла, увеличиваются на $\Delta+1$. В результате такого преобразования рассматриваемый цикл оказывается исключенным. Далее все элементы структурной схемы программы перенумеруются слева направо с соответствующим изменением индексов у всех знаков операторных связей. На этом анализ данного цикла оканчивается. Анализ циклов структурной схемы продолжают до тех пор, пока все циклы не будут исключены.

Выделение входных и выходных ячеек. Для каждого ЛУ Δ_i определяется множество M_i входных ячеек, т. е. таких ячеек, содержимое к-рых используется как исходные величины при выполнении команд этого участка, и множество \bar{M}_i выходных ячеек, т. е. таких ячеек, в к-рых хранятся результаты вычислений после выполнения команд этого ЛУ. Аналогично входные и выходные ячейки определяются для всех значений каждого оператора-функции и каждого цикла в целом. Затем ячейки множеств M_i и \bar{M}_i классифицируются на ячейки памяти величин и памяти параметров. Такая классификация выполняется на основании заданной программистом дополнит. информации о каждом из перечисл. выше типов памяти. В соответствии с указанной классификацией ячеек множеств M_i и \bar{M}_i производится определение типа каждой команды ЛУ. Затем последовательность команд одного и того же типа ЛУ объединяется в элементарный оператор (коротко — в оператор). Здесь под оператором понимается совокупность последоват. команд ЛУ, обладающая свойством, что, во-первых, ее команды могут выполнять только опред. вид работы (являются функционально едиными), и, во-вторых, к этой совокупности нельзя присоединить ни предыдущие, ни последующие команды без нарушения функций единства.

Т. о., в соответствии с определением оператора и классификацией команд на типы производится выделение из ЛУ операторов с присвоением каждому оператору его типа. Осн. типами являются: действующие операторы, логич. операторы, операторы переадресации, восстановления и формирования. Здесь под оператором переадресации пони-

мается совокупность команд, изменяющая в результате выполнения адресную часть команд программы; под оператором формирования — совокупность команд, изменяющая в результате выполнения код операции или код операции и адресную часть команд программы; под оператором восстановления — совокупность команд, восстанавливающая перем. команды (после их переадресации или формирования) в первонач. виде. Последние три типа операторов наз. варьирующими. Наконец, в соответствии со структурной схемой составляется логич. схема программы.

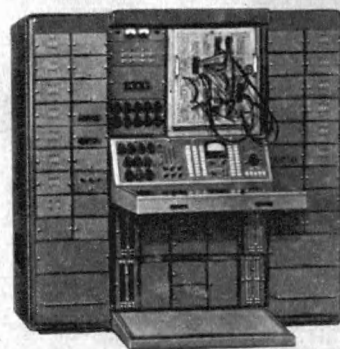
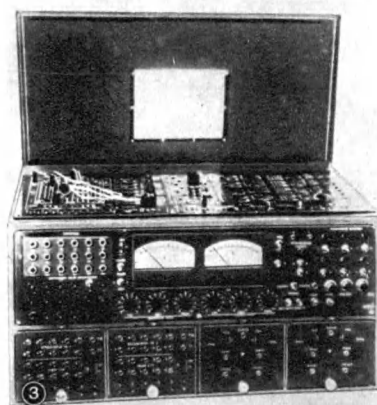
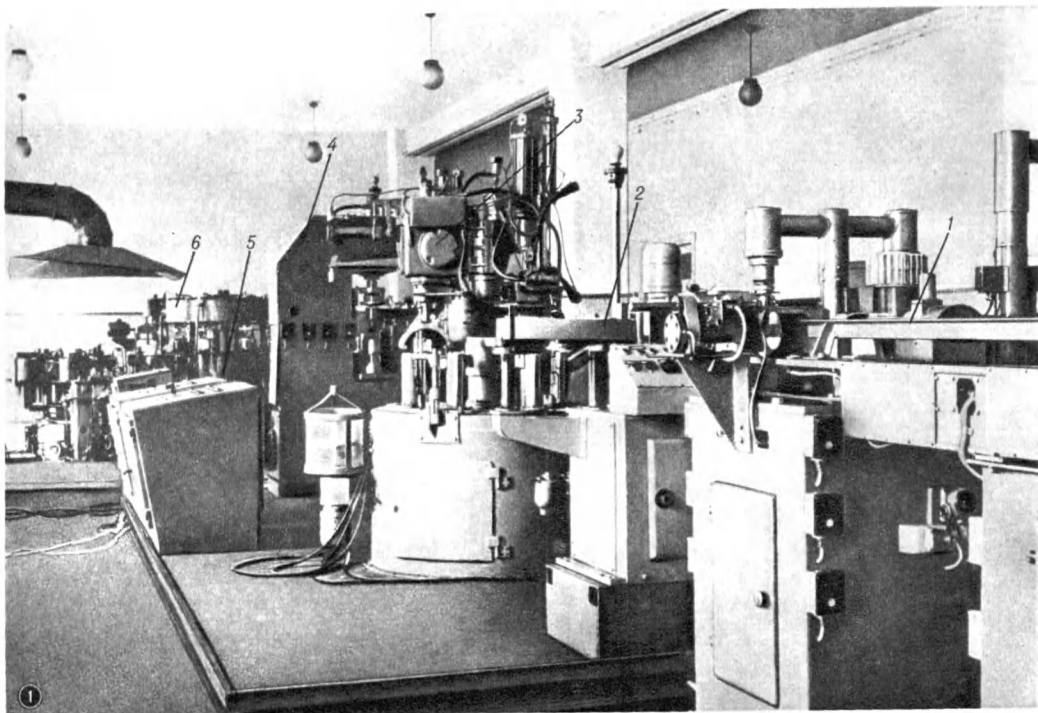
Составление описаний операторов. Декодирование арифметич. оператора сводится к преобразованию команд в равенства $a \div b = c$, где a , b — исходные величины операции со знаком действия θ , c — результат этой операции. Затем производится суперпозиция таких равенств в пределах оператора, в результате составляется комплекс, являющийся его описанием. Декодирование логич. оператора сводится к составлению логич. условий по командам этого оператора. К числу таких условий, напр., относятся условия вида: $x > 0$; $x \geq 0$; $x \leq 0$; $x < 0$; где x — нек-рая величина или выражение.

Декодирование операторов переадресации сводится, во-первых, к определению величин, зависящих от параметров; во-вторых, к определению параметров, от к-рых зависят величины программы; в-третьих, к определению шага переадресации и, в-четвертых, к составлению комплекса, описывающего изменение значений того или иного параметра.

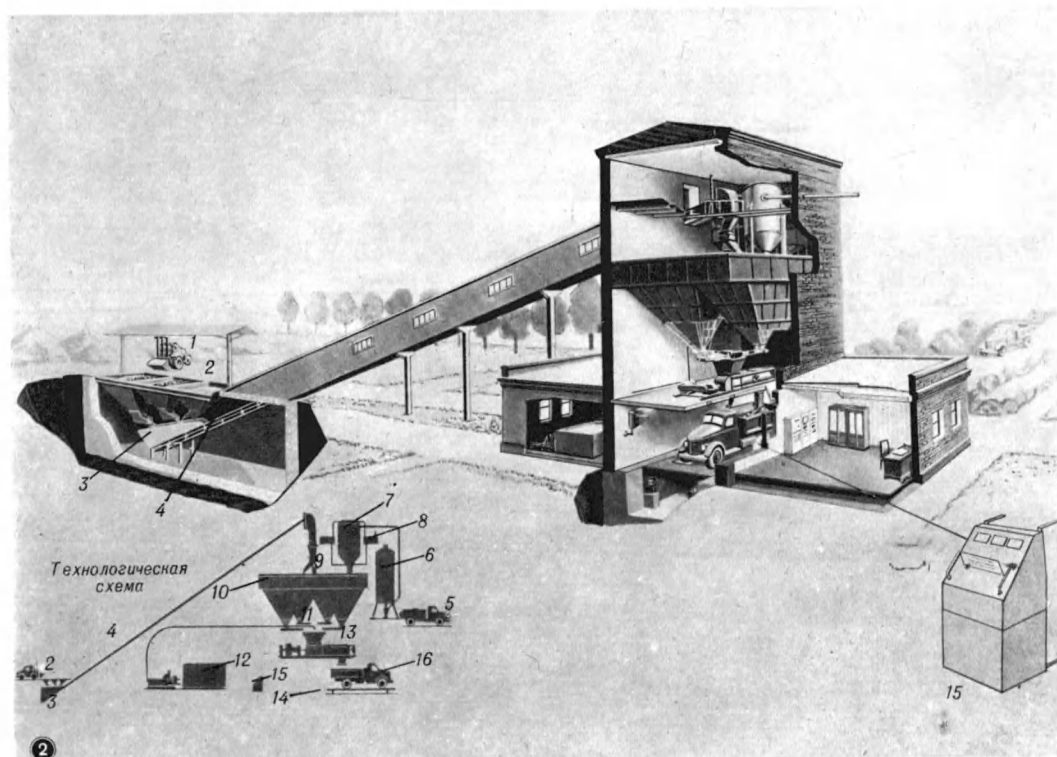
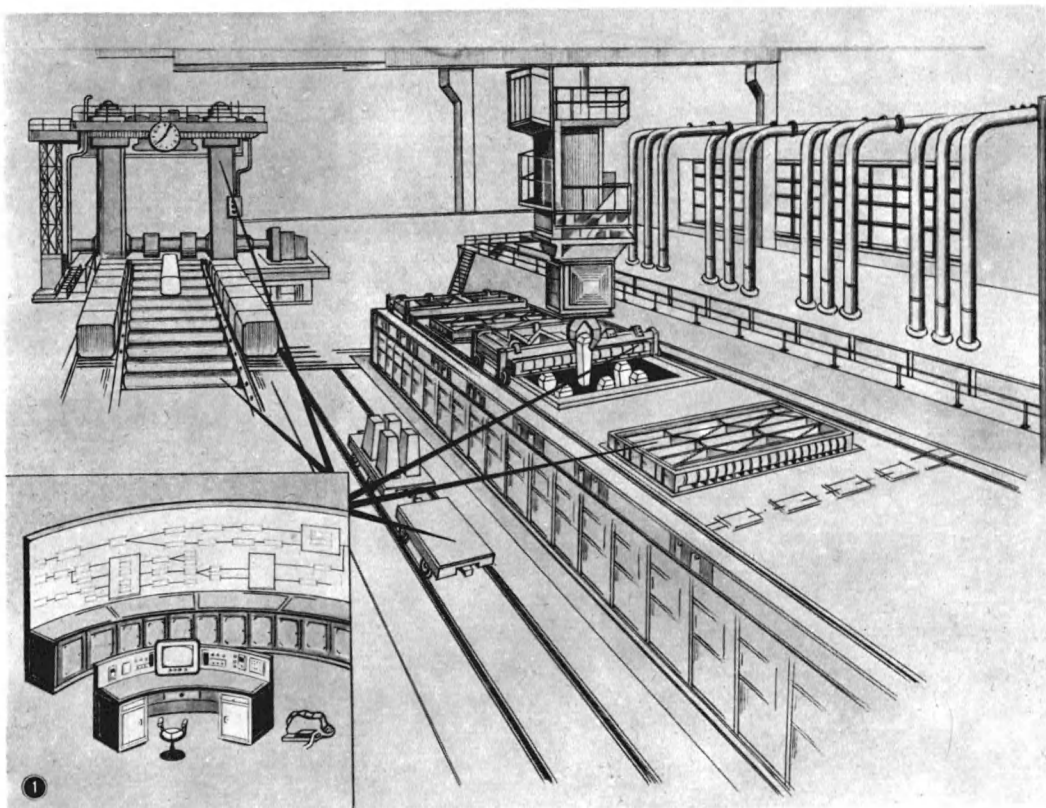
Решение перечисл. задач начинается с того, что двум различным операторам переадресации, не принадлежащим одновременно одному и тому же ЛУ или хотя бы одному значению оператора-функции, приписываются соответственно два различных параметра. Далее по адресной части команд оператора переадресации, по параметру ϵ и по дополнит. информации о памяти параметров определяются величины, зависящие от параметра ϵ , в ряде случаев шаг изменения параметра, если шаг переадресации задан в виде константы программы. В противном случае определяется функция, зависимость шага изменения параметра от исходных величин. Количество значений параметра, изменяемого оператором переадресации, принадлежащим нек-рому циклу, определяется по дополнит. информации к программе и по командам логич. оператора, обеспечивающего повторение цикла. При этом учитывается наличие операторов восстановления по данному параметру.

Декодирование оператора восстановления сводится к указанию параметра, по к-рому производится восстановление. Декодирование оператора формирования зависит от типа нового оператора, команды к-рого составляются в результате выполнения оператора формирования. Если на месте нек-рого оператора формируются операторы типа, отличного от логич., то в логич. схеме в скобках перечисляются все эти операторы в порядке их формирования. Если формируется логич. оператор, то схема повторяется с вновь сформированным оператором. После этого весь анализ повторяется сначала. Г. Д. Фролов.

ДЕКОДИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, в вычислительной технике (дешифратор) (decoder; décodeur; Rückcoder,



1. Автоматическая линия для сборки электродвигателей. Изоляционно-обмоточный участок: 1 — механизм угловой ориентации и установки ротора на приспособления-спутники; 2 — автомат для зарядки пазовой изоляции; 3 — намоточный автомат; 4 — пресс для формования лобовой части; 5 — пульт управления; 6 — автомат для протирки и сушки. 2. Графическая панель. 3. Аналоговая вычислительная машина, работающая в натуральном масштабе времени, — МН-7, малой мощности, нелинейная. 4. Аналоговая вычислительная машина типа ЭМУ-10.



1. Комплексная автоматизация нагревательного отделения блуминга с применением управляющей вычислительной машины. Управляющая вычислительная машина согласует тепловые режимы нагревательных колодцев, программы движения механизмов клещевых кранов, кранов для съема крышек и слитков с работой блуминга. 2. Бетонный завод-автомат: 1 — ковшовый погрузчик; 2 — приемный бункер; 3 — вибропитатель; 4 — ленточный транспортер; 5 — автоцементовоз; 6 — склад цемента; 7 — циклон; 8 — фильтровальное устройство; 9 — поворотная головка; 10 — расходные бункеры; 11 — дозаторы; 12 — дозатор для воды; 13 — смеситель; 14 — высокая платформа; 15 — программное устройство (программа задается с помощью перфокарты); 16 — автобетоновоз

Рückübersetzer, Entzifferungsgerät, Entzifferer, Entschlüsseler, Deschiffriereinrichtung), — устройство, однозначно восстанавливающее исходное сообщение по определенному сигналу (кодовой комбинации). Д. у. применяются для декодирования дискретных сообщений и последующих их преобразований (напр., кода машины, передаваемого по каналам связи, в телефонный код; двоично-десятичного кода в десятичный при выдаче результата и др.). Дешифратором в вычислит. технике наз. также избират. схему или матрицу, имеющую n входов и M выходов, к-рая преобразует параллельную кодовую комбинацию на входах схемы в сигнал, выдаваемый по одной из выходных шин. Для дешифрации кодов операций, кодов признаков команд, кодов адреса и т. д. широко применяются двоичные дешифраторы, число выходов к-рых определяется ф-лой $M=2^n$. Математически условие появления сигнала на одной из выходных шин в этом случае представляется логич. произведением n переменных, а состояние всего дешифратора — системой M ур-ний вида

$$\begin{aligned} M_0 &= \bar{P}_{n-1} \cdot \bar{P}_{n-2} \cdot \dots \cdot \bar{P}_2 \cdot \bar{P}_1 \cdot \bar{P}_0, \\ M_1 &= \bar{P}_{n-1} \cdot \bar{P}_{n-2} \cdot \dots \cdot \bar{P}_2 \cdot \bar{P}_1 \cdot P_0, \\ &\vdots \\ M_{2^n-1} &= P_{n-1} \cdot P_{n-2} \cdot \dots \cdot P_2 \cdot P_1 \cdot P_0, \end{aligned}$$

где $P_{n-1}, P_{n-2}, \dots, P_2, P_1, P_0$ — входные двоичные переменные. Схема дешифратора состоит, по существу, из 2^n схем совпадения на n входов, каждая из k -рых реализует одно из M приведенных выражений (рис., а).

ражением

$$N'_s = 2 \cdot 2^{n'/2} (n/2 - 1) + 2^n$$

при n четном и

$$N_2'' = 2^{\frac{n+1}{2}} \cdot \frac{n-1}{2} + 2^{\frac{n-1}{2}} \cdot \frac{n-3}{2} + 2^n$$

при n нечетном.

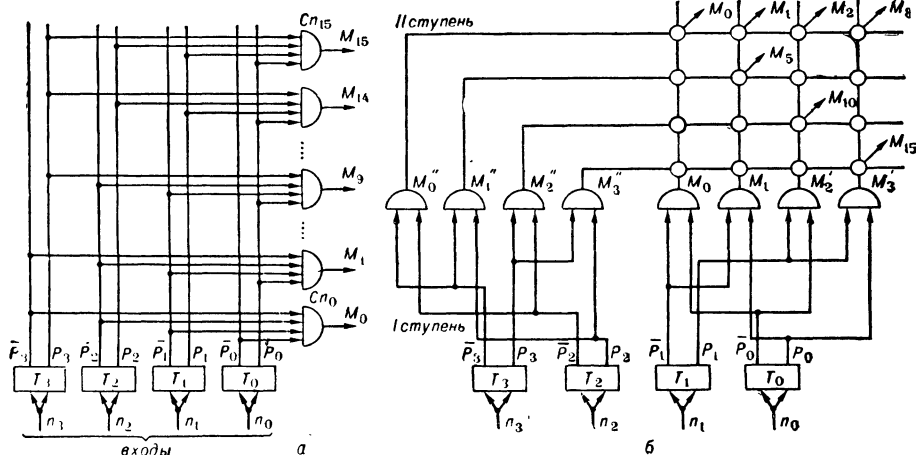
Можно построить более экономичные многоступенчатые Д. у. путем последоват. разбиения входов на ряд групп.

Для дешифрации последоват. кода (серии импульсов, распределенных во времени) используется обычный регистр сдвига, в котором состояние одного разряда последовательно сдвигается входовыми сигналами. Единица оказывается в том разряде, порядковый номер к-рого равен числу входов импульсов.

Свойства Д. у. и их сравнит. оценка определяются: количеством элементов при данных n и M ; быстройдействием, или временем, необходимым для преобразования кода числа, подаваемого на входы Д. у., в управляющий сигнал на одной из выходных шин; величиной отношения сигнала к помехе. Усовершенствование схем Д. у. проводится в направлении улучшения приведенных хар-к, уменьшения габаритов и повышения надежности Г. Б. Смирнов.

ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ (potential divider; diviseur de tension, diviseur de tension, réducteur de tension; Spannungsteiler) — см. *Аттенюатор*.

ДЕЛИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ (frequency divider; démultiplificateur de fréquence, diviseur de fréquence; Frequenzteiler, Frequenzunter-setzer) — электронное устройство, создающее



Схемы дешифратора на 4 входа: а — одноступенчатого; б — двухступенчатого.

Количество схем совпадения на два входа в этой схеме $N_1 = (n-1)2^n$, считая схему совпадения на n входов эквивалентной цепочке $(n-1)$ схем совпадения на два входа.

Для уменьшения числа элементов строят двухступенчатые дешифраторы (рис. 6), все входы k -рых разбиваются при четном n на 2 группы по $n/2$ входов и при нечетном n по $\frac{n+1}{2}$ и $\frac{n-1}{2}$ входов. Количество схем совпадения

1-й ступени равно $2 \cdot 2^{n/2}$ или $2^{\frac{n+1}{2}} + 2^{\frac{n-1}{2}}$.
 2-я ступень собирается на выходах 1-й ступени и имеет 2^n схем совпадения. Общее число схем совпадения на 2 входа определяется вы-

периодич. изменяющееся напряжение, частота к-рого в k раз меньше частоты входного напряжения. Величина $k = f_{\text{вх}}/f_{\text{вых}} = m/n$, где m и n — целые числа, наз. коэфф. деления. Д. ч. широко применяются в радиотехнике (напр., в передающих и телевизионных устройствах), электронной автоматике и измерит. технике. Посредством Д. ч. может быть осуществлено когерентное излучение неск. генераторов, работающих в разных диапазонах частот. В импульсных осциллографах Д. ч. применяются для получения импульсов, запускающих исследуемое устройство и блок ждущей развертки, чем достигается синхронизация импульсов генератора меток, раз-

вертки и исследуемого периодич. напряжения, наблюдаемых на экране ЭЛТ. Получение кратных частот необходимо в радиолокац. и радионавигац. станциях для синхронизации разверток с различными масштабами времени. Д. ч. применяются в эталонах частоты и частотно-измерит. установках для преобразования основных колебаний ВЧ в колебания более низкой частоты той же стабильности. В частности, при практич. использовании атомных и молекулярных генераторов их частота понижается с помощью Д. ч.

При делении частоты возможно использование генерирующих (самовозбужденных) систем, регенеративных (недовозбужденных) устройств, ждущих релаксац. генераторов, а также параметрич. Д. ч. В первом случае процесс деления частоты можно рассматривать как синхронизацию к.-л. автоколебат. системы внешним периодич. напряжением, частота к-рого должна быть уменьшена в k раз. К широко применяемым Д. ч. регенеративного типа относится Д. ч. синусоидального напряжения. На смеситель (рис. 1) поступают

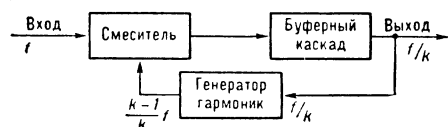


Рис. 1. Делитель частоты синусоидального напряжения регенеративного типа.

2 напряжения: входное (делимое) с частотой f и напряжение с частотой $\frac{k-1}{k}f$, где k — коэфф. деления. Их разность: $f - \frac{k-1}{k}f = \frac{1}{k}f$ подается в выходную цепь или буферный каскад, настроенный на частоту f/k . Это же напряжение используется для запуска генератора гармоник, выходной контур к-рого настроен на частоту $\frac{k-1}{k}f$. Напряжение указанной частоты используется в смесителе как гетеродинирующее напряжение. Только при наличии напряжения $U_{вх}$ в такой схеме будет существовать выходное напряжение. Кварцевая стабилизация частоты генератора гармоник и делимого напряжения обеспечивают высокую стабильность коэфф. деления.

В схемах с параметрич. возбуждением колебаний колебания делимой частоты воздействуют на один из реактивных параметров схемы — на индуктивность или емкость контура. При малом затухании и достаточной глубине модуляции параметра в системе возникают колебания с частотой в k раз меньшей частоты воздействия.

Наиболее широко применяются Д. ч. импульсных (релаксационных) типов. Синхронизируемым генератором в таких Д. ч. чаще всего служит *мультивибратор*, способность к-рого синхронизироваться внешним напряжением позволяет использовать его для деления частоты с коэфф. деления k , выраженным отношением целых чисел. Простейшая

схема Д. ч. (рис. 2, а) запускается положит. импульсами, поступающими через конденсаторы C_1 и C_2 на сетку лампы L_2 . Если входные импульсы имеют отрицат. полярность, то они подаются в катодную цепь. Процессы

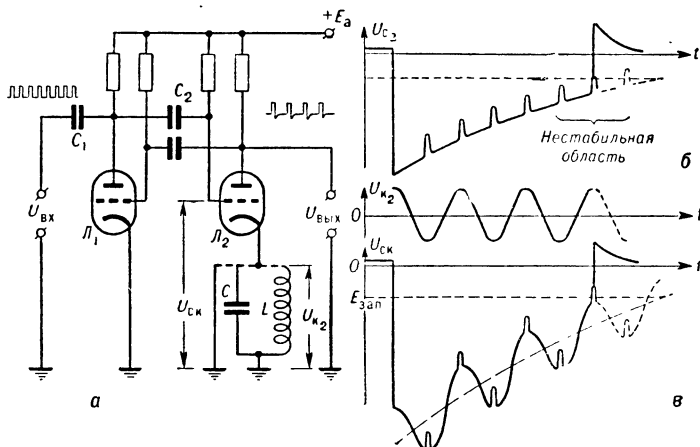


Рис. 2. Релаксационный делитель частоты.

в таком синхронизированном мультивибраторе мало чем отличаются от происходящих в несинхронизированном мультивибраторе. Лавинообразный процесс открывания одной лампы и запираания другой начинается каждый раз, когда импульс внешнего напряжения превысит напряжение запираания $E_{зап}$ лампы L_2 . Лампа L_2 открывается, и на выходе схемы появляется импульс. Следующий импульс на выходе появится только тогда, когда напряжение входного импульса, суммирующееся с отрицат. напряжением разряжающегося конденсатора C_2 , откроет лампу L_2 (рис. 2, б). Частота появления выходных импульсов мультивибратора целиком зависит от параметров мультивибратора и будет в k раз ниже частоты приходящих импульсов. Подбором постоянных времени разряда емкости C_2 и заряда емкости C_2 можно получить режим деления в целое или дробное число раз. Приведенная схема Д. ч. имеет ограничения по величине коэфф. деления. Как правило, для таких схем стабильный коэфф. деления не превышает 6—10.

Для повышения допустимой величины коэфф. деления принимают различные меры по стабилизации амплитуды входных импульсов и периода собств. колебаний релаксатора. Эффективной мерой повышения стабильности коэфф. деления является включение колебат. контура в катодную цепь второй лампы мультивибратора. Контур настраивается так, чтобы частота его собств. колебаний была в 2 раза ниже частоты повторения входных импульсов. Как поясняется на рис. 2, в, применение колебат. контура практически исключает возможность перехода с коэфф. деления k на $k-1$ или $k+1$, т. к. ближайшими вероятными значениями k , на к-рых может произойти срабатывание мультивибратора, будут только $k-2$ и $k+2$. Такой способ стабилизации коэфф. деления в сочетании с др. мерами позволяет повышать величину k до 15—20.

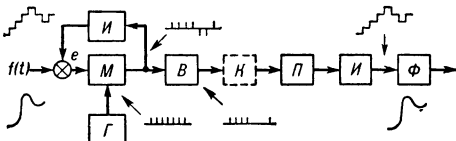
Наряду с Д. ч. на мультивибраторах и блокинг-генераторах, в к-рых используется явление синхронизации релаксац. генераторов,

в схемах Д. ч. также широко применяются одноконтурные мультивибраторы, т. н. кипп-реле (см. *Спусковая схема*). Основное их преимущество заключается в том, что в этих схемах совершенно не имеет места зависимость коэфф. деления от амплитуды входного напряжения. Недостатком Д. ч., выполненного на одноконтурном мультивибраторе, является то, что коэфф. деления может быть только целым числом. Однако его значение может достигать 20—30.

В большинстве случаев применения Д. ч. колебания коэфф. деления не допускаются. Его стабильность зависит от многих факторов, указанных выше, а также от стабильности частоты делителя напряжения. Последнее не обязательно должно быть импульсным. Релаксаторы, и особенно мультивибраторы, хорошо синхронизируются синусоидальным напряжением. Такая синхронизация широко применяется, так как очень удобно непосредственно, без к.-л. формирующих устройств, использовать для синхронизации легко стабилизируемые генераторы синусоидальных колебаний. При необходимости получения очень больших значений коэфф. деления включают последовательно ряд Д. ч.

Лит.: Холоденко Л. П., К теории синхронизации разрывных автоколебаний, «ЖТФ», 1940, т. 10, вып. 2; «ЖТФ», 1944, т. 14, вып. 1—2; 1945, т. 15, вып. 11; 1946, т. 16, вып. 3; 1950, т. 20, вып. 10 (см. ст. В. В. Виткевича); М е р о в и ч Л. А., З е л и ч е н к о Л. Г., Импульсная техника, М., 1953; Т е о д о р ч и к К. Ф., Автоколебательные системы, 3 изд., М.—Л., 1952; И ц х о к и Я. С., Импульсные устройства, М., 1959. В. И. Шебанов.

ДЕЛЬТА-МОДУЛЯЦИЯ (Δ -modulation; modulation en delta, modulation en Δ ; Delta-modulation) — вид импульсной модуляции, при к-ром импульсы, посылаемые регулярно в канал связи, несут информацию только о знаке приращения передаваемой ф-ции. В передающей части системы с Д.-м. (рис.) импульсы от генератора преобразуются модулятором,



Блок-схема системы передачи информации с дельта-модуляцией: И — интегратор; М — модулятор; Г — генератор импульсов; В — выходящее устройство; К — канал связи; П — приемник; Ф — фильтр.

выдающим импульсы одной полярности, если сигнал на выходе сравнивающего устройства положительный, и противоположной полярности, если этот сигнал отрицательный. Сигнал e представляет собой разность передаваемой ф-ции и ступенчатого напряжения, образующегося в результате интегрирования импульсов с выхода модулятора. Подобное ступенчатое напряжение получается в приемнике и после фильтрации поступает на выход системы. Т. о., в процессе передачи при Д.-м. происходит квантование или дискретизация ф-ции $f(t)$ по уровню. При одном и том же числе уровней шум квантования в системе с Д.-м. меньше, чем в случае импульсно-кодовой модуляции.

Воспроизвести любое изменение передаваемой ф-ции $f(t)$ при заданных шаге квантования h и частоте повторения F_i нельзя, т. к. эти величины связаны с максимально возможной величиной $\left(\frac{df}{dt}\right)_{\max}$ соотношением

$\left(\frac{df}{dt}\right)_{\max} F_i \leq h$. Когда уровень шума квантования предопределен, величина h однозначно связана со значением $f(t)_{\max}$ и, поэтому, частота повторения импульсов в системе с Д.-м. зависит от соотношения величин $\left(\frac{df}{dt}\right)_{\max}$ и $f(t)_{\max}$, т. е. от статистич. свойств передаваемой ф-ции. Если со временем статистика сообщения меняется и величина $\left(\frac{df}{dt}\right)_{\max}$ иногда начинает превышать расчетное значение, то возникает т. н. перегрузка и появляется дополнительная ошибка передачи.

Д.-м. относится к двоичным способам передачи информации — в зависимости от знака сигнала e импульсы в канале имеют либо разную полярность, либо амплитуду (импульс — пауза), либо частоту наполнения. Как всякий двоичный способ, она обладает высокой помехоустойчивостью, но имеет специфич. недостаток — накопление ошибки в результате действия в канале сильных выбросов помех. В разомкнутых системах для ликвидации накопления ошибки необходимо производить периодич. корректировку; в замкнутых системах накопление может отсутствовать.

Система автоматич. управления, в к-рой используется Д.-м., является релейно-импульсной системой, поскольку в ней одновременно осуществляется квантование ф-ции $f(t)$ и по уровню и по времени.

Лит.: Харкевич А. А., Очерки общей теории связи, М., 1955. В. М. Байковский.

ДЕЛЬТА-ФУНКЦИЯ, δ -функция, $\delta(x)$ (Δ -function; Δ -fonction, fonction delta; Deltafunktion, Diracsche Funktion), — четная ф-ция, равная бесконечности в нуле и нулю в остальных точках, интеграл от к-рой по любому промежутку, включающему начало координат, равен единице:

$$\int_{-\epsilon}^{\epsilon} \delta(x) dx = 1.$$

Д.-ф. есть предел последовательности обычных ф-ций. Напр., $\delta(x) = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \delta_{\epsilon}(x)$,

где

$$\delta_{\epsilon}(x) = \begin{cases} \frac{1}{2\epsilon} & \text{при } |x| < \epsilon \\ 0 & \text{при } |x| > \epsilon. \end{cases}$$

Д.-ф. обладает тем свойством, что для всякой непрерывной ф-ции $f(x)$ выполняется равенство

$$\int_{-\epsilon}^{\epsilon} \delta(x) f(x) dx = f(0). \text{ В математич. лит-ре}$$

это свойство принимается в качестве определения Д.-ф., принадлежащей к классу обобщенных ф-ций.

С Д.-ф. можно производить многие математич. операции, напр. $\delta'(x)$, $\delta(x-a)$, смысл к-рых ясен из равенств

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \delta'(x) f(x) dx &= - \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) f'(x) dx = -f'(0), \\ \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x-a) f(x) dx &= \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) f(x+a) dx = f(a). \end{aligned}$$

В автоматич. управлении Д.-ф. полезна при исследовании линейных систем, реакция к-рых на Д.-ф. есть импульсная переходная функция.

Л. П. Сысоев.

ДЕМОДУЛЯТОР (demodulator; démodulateur; Detektor, Demodulator) — см. Демектор.

ДЕМПФЕР (damper, antivibrator, shock absorber, dashpot; amortisseur; Dämpfer) — устройство для успокоения (демпфирования) или предотвращения колебаний технич. систем путем поглощения энергии колебаний. Является диссипативным (рассеивающим) элементом; обычно используется для гашения механич. колебаний и присоединяется к элементу, колебания к-рого требуется погасить. При движении Д. развивает силу, направл. навстречу движению и пропорц. его скорости (линейное демпфирование). В измерит. приборах и в системах автоматич. регулирования широко применяются электромагнитные, гидравлич. (катаракты) и пневматич. Д. Роль электромагнитного Д. обычно играет демпферная обмотка, к-рая выполняется в виде отдельной замкнутой катушки или кз витка, располагаемого на подвижной части регулятора, реле, аппарата. В электроизмерит. приборах, напр., демпферная обмотка наматывается на подвижную рамку вместе с рабочей обмоткой. При возникновении колебаний рамки в демпферной обмотке индуцируются токи; поле этих токов, взаимодействуя с основным полем прибора, создает усилия, успокаивающие колебания. Часто сама рамка служит и Д., успокаивая колебания подвижной системы за счет взаимодействия магнитного поля вихревых токов, возникающих в рамке, с полем магнита прибора. Примером Д. магнитного типа может служить алюминиевая пластина (диск), связанная с подвижной частью аппарата и вращающаяся в поле постоянного магнита. При вращении пластины (рис. 1) в ней

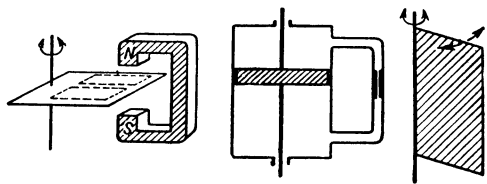


Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 3.

Рис. 1. Схема плоского демпфирующего устройства. Показаны пути вихревых токов, взаимодействие к-рых с магнитным полем обуславливает демпфирующее усилие.

Рис. 2. Схема поршневого воздушного (жидкостного) демпфирующего устройства.

Рис. 3. Схема вихревого демпфирующего устройства.

возникает момент сопротивления, пропорциональный скорости. В электрич. цепях роль Д. играет активное сопротивление. В электрич. машинах устраиваются электромагнитные Д. в виде короткозамкнутых демпферных обмоток (демпферных клеток), расположенных на роторе машины.

Катаракты и пневматич. Д. представляют собой устройства, в к-рых энергия колебаний расходуется на преодоление сопротивления сил вязкого трения. Конструктивно катаракты выполняются в виде поршневых, сильфонных, мембранных и др. устройств с камерами перем. объема, заполненными жидкостью. Ка-

таракты, в отличие от амортизаторов, не имеют упругих частей, и механич. энергия в них не аккумулируется, а превращается в тепловую, рассеиваемую в пространстве. Существуют Д. в виде графитовых поршней в стальном стекле, мехов, ветрянок (вихревые Д.) и др.

В поршневых пневматич. и гидравлич. Д. воздух или жидкость перекачивается из одного отсека цилиндра в другой через гидравлич. сопротивление (дроссели), расположенное в поршне или вынесенное наружу (рис. 2). Потеря энергии при этом приводит к демпфированию колебаний. Д. такого типа могут быть весьма мощными, однако имеют ряд трудностей: с одной стороны, поршень должен плотно прилегать к стенкам цилиндра, с другой — сухое трение должно быть минимальным. Действие вихревых Д. обусловлено сопротивлением, к-рое оказывает воздух или жидкость движущейся пластинке (рис. 3). Сухое трение может быть исключено, но мощность Д. такого типа невысока. Производятся Д. смешанного типа, в к-рых роль пластинки выполняет поршень, а дроссели — зазор между поршнем и стенкой цилиндра.

При слишком большой величине демпфирования системы наряду с полным исключением колебаний может быть слишком малая скорость приближения к установившемуся состоянию. Обратные условия могут привести к значит. колебаниям в переходном процессе (см. Демпфирование). В ряде следящих систем получили применение демпферные элементы с нелинейным демпфированием, у к-рых сила сопротивления убывает с увеличением скорости; такие Д. позволяют системе быстро приближаться к установившемуся состоянию и резко затормаживаться при приближении к нему.

Лит.: Воронов А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954; Егоров К. В., Устойчивость систем автоматического регулирования, М., 1954; Сб. статей по электроприборостроению, под ред. М. Л. Цуккермана, [Л.], 1957; Бедельбаев А. К., К теории устойчивости регулируемых систем, М., 1960; Хохлов А. Ф., Теория и техническое применение автоматических устройств, М., 1959. Ю. В. Иванов, Л. А. Тененбаум.

ДЕМПФИРОВАНИЕ (damping; amortissement; Abdämpfung, Dämpfung) — гашение колебаний динамич. системы введением успокоителя (демпфера). В электрич. цепях роль играет активное сопротивление, в механике применяют жидкие, воздушные и магнитные успокоители, гироскопы и т. д. В линейной системе, колебания к-рой означают периодич. переход энергии из одного вида в другой, Д. приводит к постепенному затуханию колебаний, причем интенсивность затухания зависит от степени рассеяния энергии. При достаточно большом Д. колебл. процесс переходит в аperiodический. В случае автоколебл. системы с огранич. ресурсами источника энергии, поддерживающего автоколебания, введение добавочного Д. приводит к нарушению баланса энергии и вызывает переход системы на режим автоколебаний с меньшей амплитудой. Для примера рассмотрим линейное консервативное звено, ур-ние к-рого $m\ddot{x} + kx = 0$. Если $\dot{x}(0)$ и $x(0)$ не равны нулю одновременно, то такое звено будет совершать гармонич. колебания с постоянной амплитудой, величина к-рой зависит от $\dot{x}(0)$ и $x(0)$ (т. е. нач. запаса энергии), с частотой $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$. При введении в звено успокоителя, оказывающего

сопротивление движению, пропорциональное скорости, уравнение звена будет: $m\ddot{x} + h\dot{x} + kx = 0$. Если h не слишком велико, система совершает колебания с затухающей амплитудой и частотой $\omega = \sqrt{h^2 - 4km}/2m$. Быстрота затухания зависит от показателя затухания $h/2m$. При $h \geq 2\sqrt{km}$ процесс становится аperiodическим.

Лит.: Андронов А. А., Витт А. А. и Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; Основы автоматического регулирования. Теория. Под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

Л. А. Тененбаум.

ДЕМПФИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОЕ (controlled damping; amortissement commandé; regelbare Abdämpfung, steuerbare Dämpfung) — демпфирование, при котором коэфф. демпфирования меняется во времени. Д. у. применяется для улучшения качества переходных процессов систем автоматич. управления и регулирования. Вид переходного процесса любой системы существенно зависит от степени ее задемпфированности. Малая величина Д. у. может привести к значит. колебаниям в переходном процессе около установившегося состояния, хотя скорость приближения к нему при этом относительно велика. Большая величина Д. у. приводит к уменьшению этих колебаний или даже к полному их устранению, однако при этом может получиться значит. время переходного процесса. Если же поддерживать Д. у. малым в начале переходного процесса и увеличивать его по мере приближения системы к установившемуся состоянию, то можно добиться высокого качества процесса — большой скорости при незначит. колебаниях около установившегося состояния или даже при их полном отсутствии. Демпфирование для автоматич. управления качеством переходного процесса системы выполняется с помощью спец. обратной связи, к-рая позволяет, напр., осуществлять скачкообразное увеличение Д. у. в момент первого прохождения через установившееся состояние, монотонное увеличение Д. у. в соответствии с изменением выходной величины по к.-л. закону и т. д.

Лит.: Наумов Б. Н., Приближенный метод построения переходных процессов в нелинейных системах автоматического регулирования, в кн.: Сборник работ по автоматике и телемеханике, Тр. 2 и 3 научно-техн. конференций молодых специалистов ИАТ АН СССР, М., 1956; Lewis J. B., The use of nonlinear feedback to improve the transient response of a servomechanism, «Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs.», 1952, v. 71, pt 2.

Л. А. Тененбаум.

ДЕМПФИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОГО СИСТЕМА (variable damping system; système d'amortissement variable; veränderliches Dämpfungssystem) — САР, в которой коэфф. демпфирования зависит от ее состояния (от ошибки

и ее производных). В структурной схеме Д. п. с. (см. рис.) изменение демпфирования достигается с помощью нелинейной положительной обратной связи по скорости, причем крутизна сигнала этой обратной связи пропорциональна ошибке. Это может осуществляться технически с помощью тахогенератора, на обмотку возбуждения к-рого поступает напряжение, пропорциональное сигналу ошибки.

Лит.: Островский Г. М., Применение нелинейных устройств в системах автоматического регулирования 3-го порядка, «Вестн. МГУ. Сер. мат., мех.», 1956, № 1; Льюис Дж., Применение нелинейной обратной связи для улучшения переходного процесса в системах автоматического регулирования, «Вопр. ракетной техники», 1954, вып. 4(22).

В. А. Таран.

ДЕНДРИТЫ, в полупроводниковой технике (dendrites; dendrites; Dendriten, Tannenbaumkristalle); — лентообразные кристаллы (германий, кремний), образующиеся при кристаллизации из переохлажденного расплава. В отличие от полиздрич. выращивания монокристаллов по Чохральскому при дендритном механизме роста теплоотвод от фронта кристаллизации осуществляется не через растущий кристалл, а через охлажденный ниже точки кристаллизации расплав, поэтому кристалл принимает форму ленты, обеспечивающую при данном объеме кристаллизующегося вещества макс. поверхность, т. е. возможность макс. рассеяния тепла. Необходимыми условиями длит. направленного роста Д. являются: 1) наличие в переохлажд. расплаве т. н. температурной инверсии, т. е. увеличивающегося по мере углубления в расплав переохлаждения; 2) использование затравочных кристаллов, содержащих по крайней мере две близкорасположенные плоскости двойникования, параллельные плоскости $\{111\}$ и создающие в кристалле систему незарастающих «входящих» углов, обеспечивающих быстрый рост в одном из направлений $[211]$. Т. о., методика контролируемого выращивания дендритных лент со структурой алмаза или цинковой обманки заключается в вертикальном вытягивании из расплава, переохлажденного на $10-20^\circ$ ниже точки кристаллизации, на затравку, ориентированную в направлении $[211]$ вдоль кристаллографич. плоскостей $\{111\}$ с наиболее плотной атомной упаковкой, наименьшей свободной энергией и содержащую не менее двух плоскостей двойникования. Линейная скорость роста Д. составляет $15-30$ см/мин. Таким путем удается получить дендритную ленту Ge длиной до 100 м с зеркальногладкими гранями, толщиной от $0,1$ до $0,3$ мм и шириной $1-3$ мм и более. Поскольку поверхность дендритной ленты не имеет микронарушений, создаваемых механич. обработкой, подобная лента обладает повышенной гибкостью. Механизм захвата примесей при дендритном росте не изучен; для Ge установлено, что коэфф. сегрегации донорных и акцепторных примесей зависят от концентрации примеси в жидкой фазе и могут в $10-1000$ раз превышать их равновесные значения. Основные технологич. операции создания дендритного кристалла с заданными свойствами (диффузия, испарение, гальванич. покрытия и т. д.) выполняются в процессе его выращивания. Недостатком дендритных кристаллов пока еще является неоднородность распределения атомов примеси по сечению кристалла.

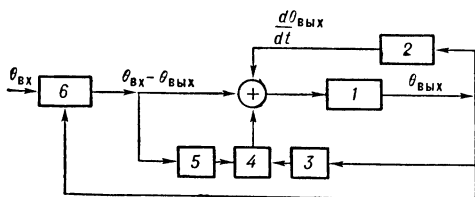


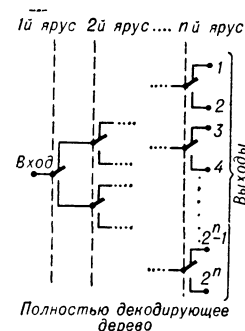
Схема системы перем. демпфирования: 1 — объект; 2 — отрицат. обратная связь по скорости; 3 — положит. обратная связь по скорости; 4 — нелинейная скоростная обратная связь; 5 — возбуждение дифференциатора; 6 — чувствит. элемент; $\theta_{вх}$, $\theta_{вых}$ — входной (управляющая величина) и выходной (регулируемая величина) сигналы; t — время.

Внедрение Д. в произ-во ПП приборов облегчает резку кристаллов, исключает ориентировку и механич. обработку (шлифовка); выход материала для приборов при использовании Д. близок к 100%. На основе Д. могут быть изготовлены *транзисторы микросплавные, диоды туннельные*, различные молекулярные устройства и ПП приборы.

Лит.: Billig E., Growth of monocrystals of germanium from a undercooled melt, «Proc. Roy. Soc. A», 1955, v. 229, p. 346; Wagner R. S., On the growth of germanium dendrites, «Acta metallurgica», 1960, v. 8, № 1; Hamilton D. R. and Seidensticker R. G., Propagation mechanism of germanium dendrites, «J. Appl. Phys.», 1960, v. 31, № 7; Bennett A. J. and Longini R. L., Dendritic growth of Ge crystals, «Phys. Rev.», 1959, Ser. 2, v. 116, № 1. Б. Г. Анохин.

ДЕНСИТОМЕТР (densitometer; densitometre; Densitometer) — то же, что плотнометр, см. *Плотности измерение*.

«ДЕРЕВО» КОНТАКТНОЕ (contact «tree»; «arbre» à contacts; «Kontaktbaum») — контактная структура, образованная последовательным ветвлением от единственного входа и не имеющая ни одного замкнутого контура. Ветвью «Д.» к. является контакт. Каждая точка ветвления служит входом некоего поддерева данного «Д.» к. Практически важно «Д.» к., в к-ром при каждом из 2^n состояний n реле, управляющих его контактами, образуется в точности один путь к одному из 2^n выходов, и все такие пути различны (рис.). Оно носит назв. полностью декодирующего дерева (ПДД), т. к. по пути, образовавшемуся между входом и одним из выходов, можно точно установить, какая из 2^n комбинаций сигналов подана на реле структуры. ПДД имеет ярусное строение. Одноярусное ПДД состоит из входа и соединенного с ним переключающего контакта. $i+1$ -ярусное ПДД ($i=1, 2, \dots, n-1$) образуется присоединением переключающего контакта к каждому выходу i -ярусного ПДД. В i -ом, считая от входа, ярусе, содержится 2^{i-1} переключающих контактов. ПДД наз. нормальным, или стандартным, если каждое из реле управляет контактами одного и только одного яруса; оно обладает наиболее неравномерным распределением контактной нагрузки на реле; для уравнивания нагрузки существуют простые методы. Удаляя из ПДД соответствующие ветви и объединяя оставшиеся выходы, можно построить любой двухполюсник, содержащий контакты не более чем n реле; при этом максимум числа контактов в нем равен $3 \cdot 2^{n-1} - 2$ (о более экономной реализации см. *Синтез релейных устройств*).



Лит.: Бёркс А. У. [и др.], Свернутое дерево, в кн.: Кибернетический сборник: т. 2. Сб. переводов, М., 1961, с. 53—82; Shannon C. E., The synthesis of two-terminal switching circuits, «Bell System Techn. J.», 1949, v. 28, № 1, p. 59—98. Ю. Л. Сагалович.

ДЕСЯТИЧНАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ [decimal notation; système decimal, notation décimale; dezimale Schreibweise, Dezimalsystem] — общепринятая позиционная система счисления, имеющая основанием число десять. В Д. с. с. используются десять раз-

личных цифр (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), отвечающих последовательным целым числам, начиная от нуля и кончая девятью. Основание Д. с. с. (число «десять») записывается в виде 10. Для записи отрицат. чисел применяется знак «—» (минус). Любое десятичное число A можно представить в виде:

$$A = \text{sign } A \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \cdot 10^i,$$

где $\text{sign } A$ — знак числа, a_i — десятичные цифры, m — количество разрядов дробной части, n — количество разрядов целой части. Напр., $325,81 = 3 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0 + 8 \cdot 10^{-1} + 1 \cdot 10^{-2}$. Правила арифметич. действий над числами, представленными в Д. с. с., общеизвестны.

Н. А. Крыницкий.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ (detection; détection, démodulation; Demodulation, Gleichrichtung) — обнаружение электромагнитных колебаний с целью их индикации или выявления закона их изменения во времени. Д. является одним из основных средств изучения электромагнитных колебаний. Широко используется в различных технич. системах и устройствах связи. В системах радиосвязи с помощью процесса Д. производится выявление передаваемого сообщения по радиосигналу, представляющему собой электромагнитное колебание той или иной частоты, один или неск. параметров к-рого изменяются в такт с передаваемым сообщением. Д. — процесс, обратный *модуляции*. В системах связи для передачи сообщений используются электромагнитные колебания радиочастотного диапазона. В зависимости от способа наложения сообщения на электромагнитные колебания *несущей частоты* формируется сигнал в виде амплитудно-, частотно- или фазомодулированных колебаний. *Детекторы* для Д. этих колебаний наз. соответственно детекторами амплитудномодулированных, детекторами частотномодулированных и детекторами фазомодулированных сигналов. Д. происходит путем трансформации частотного спектра сигнала и требует для своего осуществления нелинейных систем либо систем с переменными, вернее управляемыми, параметрами. Детекторы радиочастотного диапазона разделяются на детекторы с нелинейными сопротивлениями и детекторы с управляемыми сопротивлениями. Чаще применяются детекторы с нелинейными сопротивлениями, ввиду того что нелинейность проводников обычно связана с направлением и величиной приложенного напряжения. Наиболее простые детекторы для Д. амплитудномодулированных колебаний, состоящие из нелинейного сопротивления и нагрузки. Детекторы для Д. частотно- и фазомодулированных колебаний обычно состоят из неск-рых линейных систем, преобразующих частотно- или фазомодулированные колебания в амплитудномодулированные колебания, нелинейного сопротивления и нагрузки (см. *Детектор частотный*, *Детектор фазовый*). Детекторы, построенные на основе элементов с управляемыми параметрами, наз. *детекторами синхронными*. Применительно к Д. амплитудномодулированных колебаний такой детектор состоит из управляемого сопротивления, нагрузки детектора и схемы, вырабатывающей воздействие для управления управляемым сопротивлением. Особенность синхронного детектора состоит в том,

что он в целом представляет собой линейную систему и, кроме того, обладает частотной избирательностью.

Процесс Д. модулированных импульсных сигналов обычно совершается в два приема: вначале радиочастотные импульсы преобразуются в импульсы пост. тока, а затем из этих импульсов выделяется модулирующий сигнал. Выделение модулирующего сигнала может быть произведено либо фильтрацией последовательности импульсов пост. тока, либо их Д. и фильтрацией. Вторичное Д. (Д. импульсов пост. тока) позволяет увеличить эффективность Д. Для Д. радиочастотных импульсов с целью их превращения в импульсы пост. тока применяются детекторы, аналогичные детекторам для Д. амплитудномодулированных сигналов с непрерывной несущей. Д. импульсных сигналов, модулированных по амплитуде или длительности, после превращения их в импульсы пост. тока осуществляется детекторами импульсов пост. тока, также аналогичными обычным амплитудным детекторам. При Д. импульсных сигналов, модулированных по фазе, радиочастотные импульсы сначала преобразуются в импульсы пост. тока, к-рые затем спец. схемами преобразуются в импульсную последовательность, модулированную по длительности либо по амплитуде, к-рая, в свою очередь, детектируется обычным детектором импульсов постоянного тока.

В диапазоне ИК, световых и УФ волн для Д. электромагнитных колебаний в качестве детекторов применяются различные устройства, преобразующие энергию воздействующих колебаний в энергию электрич. тока. Детекторы этого диапазона волн подразделяются на фото- и термодетекторы. В фотодетекторах электроны вещества детектора взаимодействуют с каждым падающим фотоном или квантом поступающего на них излучения, в результате чего электроны либо переходят в зону проводимости (у фотосопротивлений, изменяя сопротивление вещества детектора), либо совсем покидают поверхность вещества детектора (у фотоэлементов).

В целом процесс Д., в зависимости от его назначения, оценивается обычно следующими основными хар-ками: чувствительностью — минимальным уровнем входного воздействия, приводящим к заметному эффекту Д.; линейностью — степенью пропорциональности результата Д. величине приложенного воздействия; инерционностью — временем, проходящим от момента приложения воздействия до появления результата детектирования, составляющего нек-рый уровень от его установившегося значения. Указанные хар-ки не являются исчерпывающими, и в каждом конкретном случае процесс Д. оценивается различными способами. См. *Детектор двухтактный, Детектор анодный, Детектор катодный, Детектор отнотенный, Детектор сеточный*.

Лит.: Мандельштам Л. И., Лекции по колебаниям, М., 1955; Харкевич А. А., Нелинейные и параметрические явления в радиотехнике, М., 1956; Гуткин Л. С., Преобразование сверхвысоких частот и детектирование, М.—Л., 1953; Радиофизическая электроника, под ред. Н. А. Капцова, М., 1960; Чистяков Н. И., Сидоров В. М. и Мельников В. С., Радиоприемные устройства, М., 1958. И. М. Мошкурин.

ДЕТЕКТОР, демодулятор (detector; détecteur, démodulateur; Detektor, Demo-

dulator, Empfangsgleichrichter), — элемент электрической цепи, в котором происходит детектирование. Д. является одним из основных и неотъемлемых элементов радиоприемных устройств самого разнообразного назначения, широко применяется в измерит. технике и в эксперимент. исследованиях. С помощью Д. в радио- и телевизионных приемных устройствах, в радиолокац. и радионавигац. аппаратуре, в радиотелефонии связи, в системах автоматич. регулирования и дистанц. управления происходит выделение информации, заложенной в виде амплитудной, частотной или фазовой модуляции несущей частоты. В зависимости от характера модуляции воздействующего сигнала применяются амплитудные, частотные и фазовые Д. В качестве Д. могут применяться как электровакуумные, так и ПП устройства.

Более всего распространены на практике амплитудные Д. для детектирования амплитудномодулированных непрерывных и импульсных сигналов, т. е. для получения напряжения $U_{\text{ВХ}}$, частота и форма к-рого соответствует огибающей кривой напряжения на входе детектора $U_{\text{ВХ}}$; применяются кристаллич. и ламповые амплитудные Д. В первом случае используется нелинейная зависимость между током и напряжением в контакте между кристаллом и металлич. проволокой или между двумя разнородными кристаллами, образующими кристаллич. диод. Во втором случае — нелинейная зависимость анодного или сеточного тока лампы от напряжения сетка-катод или анод-катод. Имеются 4 разновидности ламповых Д.: диодный Д., детектор анодный, детектор катодный и детектор сеточный.

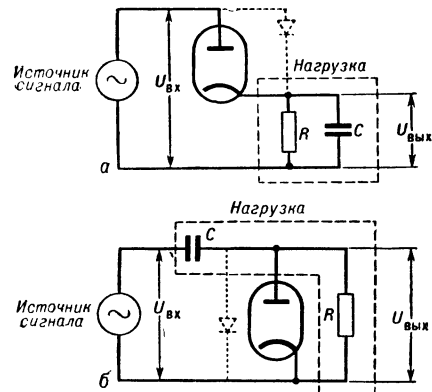


Рис. 1. Схемы диодного детектора.

Наиболее широкое применение получили схемы лампового диодного Д. (рис. 1, а и б) и кристаллич. Д.

Основной зависимостью, позволяющей дать сравнит. оценку различным схемам амплитудного детектирования, является детекторная хар-ка; она показывает, как зависит пост. составляющая тока в цепи Д. $I_{\text{пост}}$ от изменения амплитуды входного перемен. напряжения $U_{\text{ВХ}}$. Детекторная хар-ка диодного Д. показана на рис. 2. Детекторная хар-ка в области малых значений $U_{\text{ВХ}}$ является параболой; а в области больших значений $U_{\text{ВХ}}$ — практически прямой линией. Если (при амплитудномодулированном сигнале) амплитуда входного напряжения изменяется во времени по нек-рому

закону, напр. по гармонич. закону НЧ, то соответствующим образом будет меняться и I_- . Т. о., ток Д. I_- содержит перем. составляющую НЧ, к-рая, проходя по сопротивлению нагрузки R , вызовет на последнем падение напряжения низкой частоты $U_{\text{вых}}$.

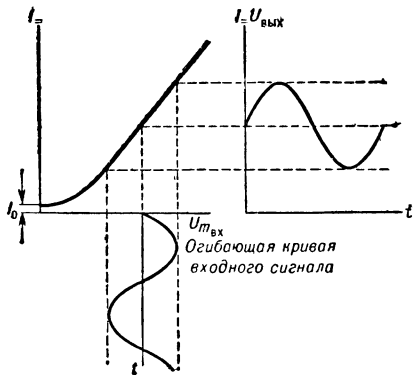


Рис. 2. Детекторная хар-ка диодного детектора $I_- = f(U_{\text{мвх}})$ и диаграмма детектирования амплитудномодулированного сигнала: I_0 — нач. пост. ток в цепи детектора при отсутствии перем. напряжения на входе.

Всякий амплитудный Д., независимо от его схемы, типа лампы или кристалла, величины напряжения на входе и др., можно рассматривать как соединение нелинейного четырехполюсника с пассивным линейным двухполюсником Z , являющимся нагрузкой (рис. 3). Такое представление Д. позволяет охарактеризовать его параметры (аналогичные параметрам усилит. ламп): крутизну хар-ки Д., внутр. сопротивление и коэфф. усиления и составить эквивалентную схему Д. К входным зажимам нелинейного четырехполюсника a, b (рис. 3) подводится немодулированное напряжение ВЧ $U_{\text{вх}} = U_{\text{мвх}} \sin \omega t$. Выходное напряжение (на зажимах c, d) в случае, если нагрузка Z представляет собой весьма малое сопротивление для токов ВЧ, практически будет постоянным ($U_{\text{вых}} = U_-$). Крутизна хар-ки Д. (S_d) определяется отношением приращения пост. тока, протекающего

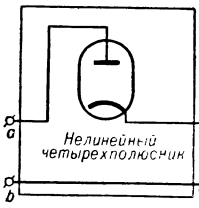


Рис. 3.

Рис. 3. Диодный детектор в виде четырехполюсника.

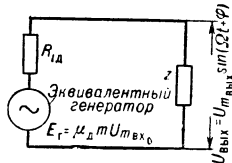


Рис. 4.

Рис. 4. Эквивалентная схема диодного детектора.

через нагрузку ΔI_- , к вызвавшему его приращению амплитуды входного напряжения $\Delta U_{\text{мвх}}$ при неизменном выходном напряжении U_- , т. е. $S_d = \Delta I_- / \Delta U_{\text{мвх}}$ при $U_- = \text{const}$. Внутр. сопротивлением Д. $R_{\text{д}}$ наз. отношение приращения выходного напряжения ΔU_- к соответствующему изменению пост. тока ΔI_- при неизменном значении амплитуды вход-

ного напряжения $U_{\text{мвх}}$ $R_{\text{д}} = \Delta U_- / \Delta I_-$ при $U_{\text{мвх}} = \text{const}$. Коэфф. усиления Д. μ_d определяется отношением таких изменений выходного напряжения ΔU_- и амплитуды входного напряжения $\Delta U_{\text{мвх}}$, при к-рых ток I_- , протекающий через нагрузку, остается неизменным: $\mu_d = \Delta U_- / \Delta U_{\text{мвх}}$ при $I_- = \text{const}$. Между параметрами Д. существует такая же зависимость, как и между параметрами усилительных ламп, а именно $(S_d R_{\text{д}}) / \mu_d = 1$. Параметры Д. чаще всего определяются экспериментально. Для наиболее распространенных схем диодного Д., собранных на лампах типа 6Х6С, 6Х2П, полученные след. данные: $\mu_d = 0,7$; $R_{\text{д}} = 200 \text{ ком}$ при слабых сигналах ($U_{\text{мвх}} < 0,15 \text{ в}$); $\mu_d = 1$; $R_{\text{д}} = 30-50 \text{ ком}$ при сильных сигналах ($U_{\text{мвх}} > 3 \text{ в}$). На рис. 4 изображена эквивалентная схема амплитудного Д., на вход к-рого поступает синусоидально модулированный сигнал $U_{\text{вх}} = U_{\text{мвх}_0} (1 + m \sin \Omega t) \sin \omega t$ с малым коэфф. модуляции m и нагрузка к-рого для токов НЧ модуляции Ω равна нек-рой величине Z , а для токов высокой несущей частоты ω представляет собой кз. Зная параметры Д. и пользуясь эквивалентной схемой, можно найти основные качеств. показатели Д.: коэфф. передачи, степень частотных искажений, степень нелинейных искажений, входное сопротивление. Коэфф. передачи Д. показывает, во сколько раз амплитуда частоты модуляции на выходе Д. отличается от амплитуды обгибающей входного сигнала, и характеризуется соотношением: $K = U_{\text{мвх}} / (m \cdot U_{\text{мвх}_0})$; что, согласно эквивалентной схеме, соответствует след. выражению: $K = \left| \frac{\mu_d Z}{R_{\text{д}} + Z} \right|$ (если на вход Д.

подается амплитудномодулированная последовательность импульсов, под $U_{\text{мвх}_0}$ следует понимать среднее значение амплитуды импульсов; в случае немодулированной последовательности импульсов $K = U_- / U_{\text{мвх}}$, где U_- — постоянное напряжение на выходе Д., $U_{\text{мвх}}$ — амплитуда импульсов).

Степень частотных искажений Д. определяется частотной хар-кой — зависимостью коэфф. передачи K от частоты модуляции Ω входного напряжения, — к-рая показывает, насколько равномерно воспроизводятся Д. различные частоты модуляции. В наиболее распространенных схемах диодного Д. (рис. 1) частотные искажения обычно бывают очень малы. Степень нелинейных искажений Д. характеризуется коэфф. нелинейности (отношением эффективного значения всех высших гармоник выходного напряжения к эффективному значению основной частоты модуляции), показывающим, насколько напряжение на его выходе отличается по форме от обгибающей кривой входного напряжения. Нелинейные искажения в Д. могут возникнуть вследствие нелинейности детекторной хар-ки. Однако, поскольку детекторная хар-ка диодного Д. линейна в широких пределах (от $U_{\text{мвх}} \approx 0,3 \text{ в}$ до неск. десятков в), степень нелинейных искажений, определяемых хар-кой диодного Д., весьма мала. Причиной нелинейных искажений может явиться также комплексность нагрузки Д. для токов НЧ модуляции. Так, напр., в схеме рис. 1, а при больших величинах сопротивления и емкости нагрузки выходное напряже-

ние не будет успевать следовать за изменением амплитуды входного ВЧ напряжения, и в нек-рые промежутки времени форма напряжения на нагрузке будет определяться не формой огибающей кривой входного напряжения, а законом разряда конденсатора через сопротивление.

Входным сопротивлением Д. наз. отношение амплитуды подводимого к нему синусоидального напряжения высокой несущей частоты к амплитуде первой гармоники входного тока ВЧ. В общем случае входное сопротивление является комплексным и может быть заменено эквивалентной схемой, состоящей из параллельного соединения входной емкости $C_{вх}$ и активного входного сопротивления $R_{вх}$. Знание $R_{вх}$ имеет значение для оценки степени шунтирующего действия Д. на колебат. контур, с к-рого снимается перем. напряжение. Для схемы Д., изображенной на рис. 1, а, $R_{вх} \approx 1/2 R$, а для схемы рис. 1, б $R_{вх} \approx 1/3 R$.

Для того чтобы Д. обладал высокими качеств. показателями (большим коэфф. передачи, малыми нелинейными искажениями и др.), необходимо при выборе элементов его нагрузки руководствоваться определенными соображениями. Напр., для элементов схем, указанных на рис. 1, а и б, имеют место след. ограничения: 1) емкость нагрузки C должна быть в неск. раз больше собств. емкости диода C_d , иначе значит. часть подводимого напряжения ВЧ упадет на емкости нагрузки и детектирование будет неэффективным (обычно выбирают $C \geq 10C_d$); 2) в то же время емкость C не может быть выбрана произвольно большой, т. к. это может вызвать значит. частотные и нелинейные искажения. Д. не имеет заметных нелинейных искажений при выполнении условия: $C \leq (\sqrt{1-m^2})/mR\Omega$, где m — коэфф. модуляции синусоидально-модулированного входного сигнала, R — сопротивление нагрузки, Ω — частота модуляции. В случае детектирования последовательности радиоимпульсов (импульсного напряжения ВЧ) макс. величина емкости C определяется соотношением $C \leq \Delta\tau/(2,2 R)$, где $\Delta\tau$ — допустимая длительность на уровне 0,1—0,9 переднего и заднего фронтов импульса на выходе Д. при подаче на его вход прямоугольного импульса ВЧ; 3) сопротивление нагрузки R не должно быть слишком мало, т. к. в этом случае Д. имеет низкое входное сопротивление и небольшой коэфф. передачи (поэтому сопротивление нагрузки следует выбирать большим); 4) однако макс. допустимая величина сопротивления ограничивается требованием отсутствия заметных искажений формы выходного напряжения по сравнению с огибающей кривой входного напряжения (см. приведенное выше соотношение для выбора макс. величины емкости нагрузки). На практике выбирают след. значения C и R : в радиотелефонных приемниках $C=50-200$ нф, $R=200-500$ ком; в радиолокац. приемниках (при детектировании сигналов промежуточной частоты) $C=10-50$ нф, $R=2-10$ ком. Ламповые амплитудные Д. служат для детектирования сигналов с несущей частотой до неск. сот Мгц. В технике СВЧ для детектирования слабых (до 1 мвт) сигналов применяются кристаллич. (германиевые и кремниевые) диоды спец. типов. Кристаллич. СВЧ Д. характеризуются чувствительностью по току, к-рая равна отношению пост. тока Д. к мощ-

ности входного сигнала. Чувствительность по току кремниевых Д. для частот порядка $3 \cdot 10^3$ Мгц составляет 0,5—3 мкА/мквт, германиевых — ок. 2 мкА/мквт для частот порядка $15 \cdot 10^3$ Мгц. С возрастанием частоты чувствительность по току убывает.

Особую группу Д. составляют детекторы частотные: частотноамплитудные и частотно-фазовые Д. (или просто детекторы фазовые). В схемах частотноамплитудного детектирования (дискриминатор, дробный Д.) изменения частоты входного сигнала предварительно преобразуются в соответствующие изменения его амплитуды, а полученные амплитудномодулированные колебания затем детектируются амплитудным Д., б. ч. двухтактным. Частотные амплитудные Д. широко применяются во всех совр. телевизорах и радиовещательных приемниках частотномодулированных сигналов и др. Фазовые Д. встречаются реже частотноамплитудных, находя применение в спец. радиотехнических связях, где часто используется особый вид частотнофазового Д. — детектор синхронный.

Лит.: Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, 5 изд., М., 1954; Гуткин Л. С., Преобразование сверхвысоких частот и детектирование, М.—Л., 1953; Гуткин Л. С., Лебедев В. Л., Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, ч. 1, М., 1961. А. Н. Трифонов.

ДЕТЕКТОР АНОДНЫЙ (anode bend detector, plate detector, grid bias detector; détecteur par la plaque; Anodengleichrichter, Anodenrichtverstärker) — схема детектирования амплитудномодулированных сигналов, в к-рой используется нелинейная зависимость анодного тока триода или др. многоэлектродной лампы от напряжения сетка-катод, а нагрузка детектора включена в цепь анода лампы (рис. 1). На диаграмме анодного детектирования амплитудномодулированного напряжения ВЧ (рис. 2) кривая А — сеточная хар-ка лампы. Поданное на сетку лампы отрицат. напряжение E_c смещает рабочую точку Б на нижний сгиб хар-ки; лампа практически

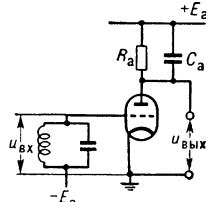


Рис. 1.

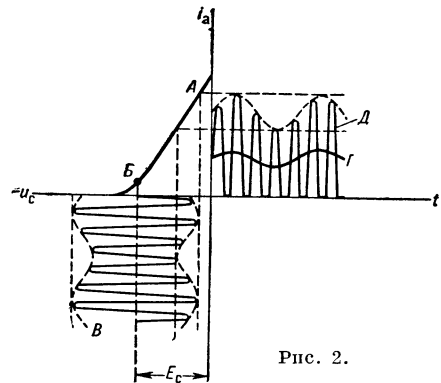


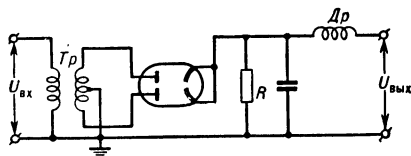
Рис. 2.

запирается. Модулированное напряжение высокой частоты $U_{вх}$ (кривая В), подаваемое на лампу с колебательного контура предыдущего каскада (рис. 1), вызывает изменение анодного тока: в анодной цепи образуются импульсы тока (рис. 2), соответствующие только положит. полуволнам ВЧ напряжения на сетке. Анодный

ток лампы содержит составляющую несущей (высокой) частоты, пост. составляющую и составляющую низкой частоты — частоты модуляции (кривая Γ). В схеме Д. а. анодное сопротивление обычно шунтируется емкостью, величина которой подбирается так, чтобы она представляла малое сопротивление для ВЧ составляющей тока, но не снижала напряжение низкой частоты $U_{\text{вых}}$, выделяющееся на сопротивлении. Вместо сопротивления анодной нагрузки в схеме Д. а. можно использовать также дроссель, тр-р и др.

Детекторная хар-ка Д. а. линейна лишь в области больших значений амплитуд входного напряжения ВЧ. Поэтому для того, чтобы при детектировании не наблюдалось заметных нелинейных искажений, амплитуда несущей частоты должна быть достаточно велика (порядка 1 в). Чем больше сигнал, тем меньше нелинейные искажения. Однако амплитуда несущей частоты не должна быть больше половины сеточного смещения E_c ; иначе, при глубокой (до 100%) модуляции входного сигнала, сетка лампы в некоторые моменты времени будет иметь положит. потенциал. При появлении в этих случаях сеточного тока лампа нагрузит контур и вызовет нелинейные искажения в предыдущем каскаде. Т. о., практически детекторная хар-ка Д. а. имеет короткий прямолинейный участок, что является основным недостатком данной схемы детектирования. Достоинство Д. а. — сравнительно высокое входное сопротивление, что и служит основной причиной частого применения Д. а. в различных измерит. схемах, в частности в ламповых вольтметрах. А. Н. Трифонов.

ДЕТЕКТОР ДВУХТАКТНЫЙ (two-cycle detector, fullwave rectifier; détecteur push-pull; Gegentaktdemodulator, Gegentaktleichrichter) — схема, содержащая 2 одинаковых нелинейных элемента (обычно диоды), в которой происходит поочередное детектирование то одним, то др. диодом соответственно положит. и отрицат. полупериодов (тактов) напряжения несущей (высокой) частоты входного сигнала. На рис. изображен один из возможных

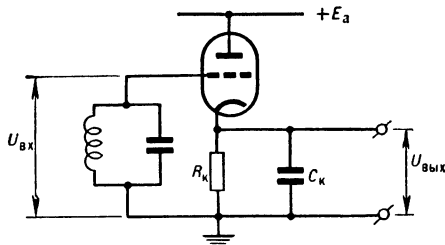


вариантов схемы Д. д., собранный на двойном диоде и предназначенный для выделения огибающей амплитудномодулированного сигнала. В схеме применяется симметричный входной тр-р T_p , на выходных клеммах которого образуются напряжения с одинаковыми амплитудами, но противоположными фазами. Нагрузка обоих диодов общая — цепочка RC . Дроссель Dr является фильтром, не пропускающим на выход напряжение ВЧ. В схеме Д. д. ламповые диоды с успехом могут быть заменены кристаллическими. Д. д. обеспечивает более полную, по сравнению с обычной однотактной схемой, защиту цепей, подключенных к его выходу, от проникновения в них напряжения несущей частоты входного сигнала. Это преимущество особенно существенно в тех случаях, когда несущая частота не может быть выбрана много больше высшей частоты модуляции.

Теоретически напряжение несущей частоты на выходе Д. д. не должно иметь места и наблюдается на практике только в силу асимметрии выходных плеч тр-ра и неидентичности диодов. Достоинством Д. д. является также его более высокое, по сравнению с однотактной схемой, входное сопротивление. К числу недостатков следует отнести сложность схемы, необходимость применения симметричного входного тр-ра и относительно низкий коэфф. передачи. Д. д. широко применяется в радио- и телевизионной аппаратуре, напр. при частотноамплитудном детектировании. Схемы, аналогичные Д. д., используются в выпрямителях.

Лит.: Чистяков Н. И., Сидоров В. М., Мельников В. С., Радиоприемные устройства, 2 изд., М., 1959. А. Н. Трифонов.

ДЕТЕКТОР КАТОДНЫЙ (cathode detector; détecteur par la cathode; Kathodengleichrichter) — схема детектирования амплитудномодулированных сигналов, в которой используется нелинейная зависимость анодного тока триода или др. многоэлектродной лампы от напряжения сетка-катод, а нагрузка детектора включена в цепь катода лампы. В схеме Д. к. (рис.) R_k , C_k — сопротивление и емкость

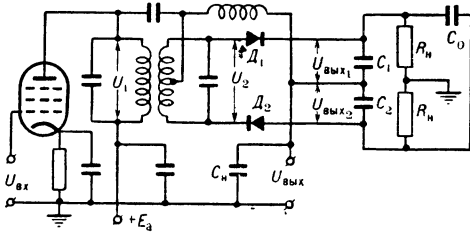


нагрузки. Отличит. чертой Д. к. является то, что в этой схеме используется глубокая отрицат. обратная связь по НЧ, т. к. напряжение НЧ (частоты модуляции), выделяющееся на сопротивлении R_k , оказывается приложенным к сетке лампы с фазой, отличающейся на 180° от фазы огибающей кривой подводимого напряжения ВЧ. Вследствие обратной связи Д. к. обладает высоким входным сопротивлением, а прямолинейный участок детекторной хар-ки Д. к. (см. Детектор) имеет весьма большую протяженность. Наибольшее выпрямл. напряжение, которое можно снять с катодного сопротивления R_k без захода в криволинейный участок детекторной хар-ки, равно прибл. половине напряжения анодного питания, т. е. измеряется десятками в. Коэфф. передачи (см. Детектор) Д. к. немного меньше 1. Д. к. используется в некоторых типах совр. радиоприемников и измерит. устройств. Широкого практич. применения не нашел.

А. Н. Трифонов.

ДЕТЕКТОР ОТНОШЕНИЙ, дробный детектор (ratio detector; détecteur de rapport; Ratiodetektor, Verhältnisdetektor, Quotientenfrequenzdemodulator, Verhältnisgleichrichter, Verhältnisdiskriminator), — одна из схем детектирования частотномодулированных сигналов. Схема Д. о. (рис.) отличается от схемы обычного частотного детектора способом включения диодов и нагрузки. В схеме Д. о. сумма выпрямленных диодами напряжений $U_{\text{вых1}}$ и $U_{\text{вых2}}$ подводится к конденсатору C_0 , имеющему большую емкость, и поэтому почти не меняется за период моду-

лирующей частоты, в случае наличия «паразитной» амплитудной модуляции полезного частотно-модулированного сигнала. Однако при работе меняется отношение $U_{\text{ВЫХ1}}/U_{\text{ВЫХ2}}$, поэтому этот детектор и получил название Д. о. В



обычном частотном детекторе $U_{\text{ВЫХ}}$ пропорционально не отношению, а разности продетектированных напряжений обоих плеч схемы.

Достоинство Д. о. — малая чувствительность к быстрым изменениям амплитуды детектируемых напряжений. Поэтому нет необходимости ставить перед ним ограничитель амплитуды. Объясняется это инерционностью нагрузки диодов. Действительно, при пост. уровне сигнала в цепях диодов устанавливается пост. значение тока. При возрастании сигнала ток диодов увеличивается, что должно было бы пропорционально повысить напряжение на конденсаторах C_1 и C_2 . Но при быстром возрастании (или уменьшении) сигнала, вызванном, напр., паразитной амплитудной модуляцией, это произойти не может вследствие наличия большой емкости C_0 , подключенной параллельно конденсаторам C_1 и C_2 . Поэтому прирост (или уменьшение) тока диодов пойдет в основном на увеличение (или уменьшение) заряда конденсатора C_0 . Даже при глубоких флуктуациях амплитуды входного сигнала напряжение на конденсаторе C_0 увеличится очень мало из-за его большой емкости. Поэтому напряжение на выходе Д. о. не зависит от изменения амплитуды сигнала.

При $U_{\text{рх}} = \text{const}$ и изменяющейся частоте сигнала (случай частотно-модулированного сигнала) работа схемы Д. о. происходит аналогично работе обычной схемы детектора частотного. Схема Д. о. может обеспечить подавление амплитудной модуляции сигнала при совпадении частоты сигнала с резонансной частотой контуров примерно в 40—60 раз и в 10—25 раз при расстройке к границам полосы пропускания. Частотные детекторы такого типа сохраняют указанные показатели в диапазоне входных напряжений от 15—20 мВ до неск. В. Схемы Д. о. находят применение в приемниках частотно-модулированных сигналов. Необходимо отметить, что по сравнению с обычными частотными детекторами Д. о. обладает меньшей чувствительностью — выходное напряжение Д. о. при прочих равных условиях в 3—4 раза меньше.

Лит.: Чистяков Н. И., Сидоров В. М., Мельников В. С., Радиоприемные устройства, 2 изд., М., 1959; Бобров Н. В., Радиоприемные устройства, М.—Л., 1958. И. А. Стрельцов.

ДЕТЕКТОР СЕТОЧНЫЙ (grid detector; détecteur par la grille, audion; Gittergleichrichter) — схема детектирования амплитудно-модулированных сигналов с помощью триода или др. многоэлектродной лампы, где роль детектора выполняет диод, электроды к-рого образованы сеткой и катодом лампы. В анод-

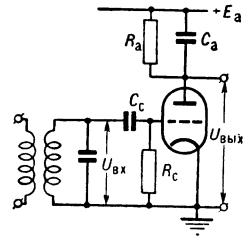
ной цепи лампы происходит обычное усиление продетектированного сигнала (оглавающей). Возможность детектирования в Д. с. основана на нелинейной зависимости сеточного тока от напряжения сетка-катод. В Д. с., выполненном на триоде (рис.), R_c , C_c — сопротивление и емкость нагрузки детектора, R_a — анодная нагрузка, C_a — емкость, шунтирующая ВЧ составляющую анодного тока. При расч. схемы Д. с. сопротивление R_c и емкость C_c выбираются так же, как элементы нагрузки диодного детектора.

Детекторная хар-ка Д. с. на нач. участке, соответствующем малым значениям амплитуды немодулированного входного перем. напряжения, является параболической. При увеличении входного напряжения детекторная хар-ка становится прямолинейной и остается таковой до тех пор, пока рабочая точка лампы не сместится за пределы линейного участка анодно-сеточной хар-ки (за счет отрицат. напряжения на сетке, обусловленного пост. составляющей сеточного тока, протекающей через сопротивление R_c). Т. о., при больших сигналах прямолинейный участок детекторной хар-ки переходит снова в криволинейный (возникают нелинейные искажения). Для неискаженного детектирования амплитуда входного немодулированного сигнала не должна превышать $1/3$ того напряжения, к-рое может быть подведено к сетке данной лампы, работающей как усилитель. Увеличение длины прямолинейного участка детекторной хар-ки (уменьшение нелинейных искажений) может быть достигнуто повышением анодного напряжения лампы.

Преимуществом Д. с. является высокая чувствительность к слабым сигналам, большая, чем, напр., при диодном и анодном детектировании. Это преимущество прежде широко использовалось в приемниках прямого усиления (см. *Супергетеродин*), где до изобретения экранированных ламп трудно было обеспечить подведение к детектору достаточно больших напряжений ВЧ при детектировании малых сигналов. В совр. приемниках указанное преимущество Д. с. не имеет большого практич. значения. Д. с. применяется в основном в импульсных релейных и счетных схемах и в нек-рых телевиз. приемниках.

Лит.: Чистяков Н. И., Сидоров В. М., Мельников В. С., Радиоприемные устройства, 2 изд., М., 1959. А. Н. Трифонов.

ДЕТЕКТОР СИНХРОННЫЙ (synchronous detector; synchrodyne, détecteur synchrone; Synchrondetektor) — устройство для детектирования ВЧ колебаний путем применения элементов электр. цепей с управляемыми параметрами. Д. с. состоит из электр. цепи с управляемыми параметрами и нагрузки (рис. 1). Процесс детектирования в Д. с. легко пояснить по упрощенной условной схеме такого детектора (рис. 2). Если ключ подсоединяет нагрузку к источнику ВЧ колебаний только в те моменты, когда источник выдает положит. полуволны ВЧ колебаний, и отключает нагрузку в те моменты времени, когда источник выдает отрицат. полуволны, то через нагрузку протекает ток (I_n) только от положит. полуволн, к-рые, проходя через нагрузку, вы-



деляют на ней пост. составляющую, к-рая является, как и при обычном детектировании, полезным эффектом детектирования. Моменты подключения и отключения нагрузки от источника ВЧ колебаний (т. е. фаза управляющего воздействия) влияют на эффективность

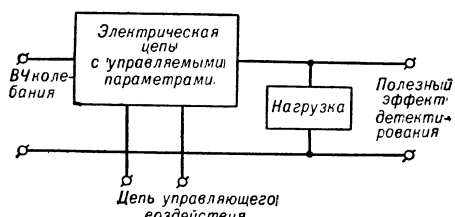


Рис. 1.

детектирования и полярность продетектированного напряжения на нагрузке. При точном совпадении частоты и фазы входного сигнала и управляющего (отпирающего) напряжения

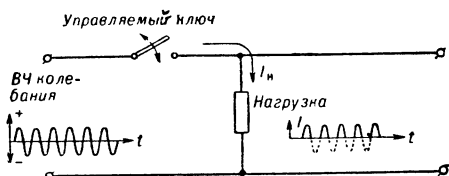


Рис. 2.

на нагрузку Д. с. поступает положительная (либо, сдвинутая на половину периода, отрицательная) полуволна (рис. 3, б и д). Пост. составляющая в этих случаях, отличаясь знаком, достигает макс. значения. Во всех др. случаях пост. составляющая тока нагрузки меньше (рис. 3, а, г) либо равна нулю (рис. 3, в).

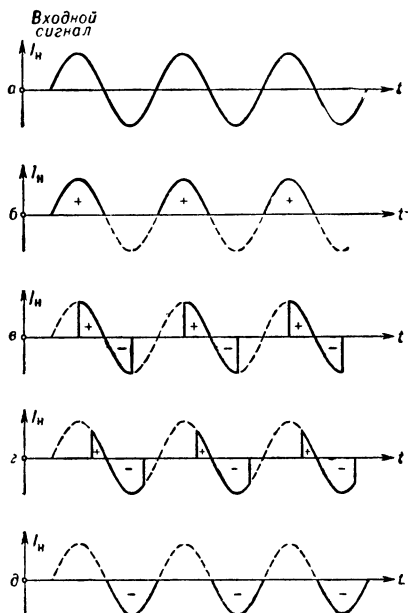


Рис. 3.

Д. с. в целом является преобразователем частоты, работающим в режиме преобразования к нулевой промежуточной частоте. Как и

обычный преобразователь частоты, Д. с. переносит спектр входного сигнала, только с той разницей, что обычные преобразователи частоты переносит спектр сигнала на нек-рую промежуточную частоту, в то время как Д. с. переносит спектр сигнала к промежуточной частоте, равной нулю, т. е. к пост. току. Таким обр., Д. с. по отношению к сигналу является линейным четырехполюсником. Это свойство Д. с. позволяет строить приемные устройства, способные принимать сигналы, сравнимые с уровнем их собственных шумов, осуществляя последовательную линейную фильтрацию смеси сигнала и шума, существующей на входе приемника. Кроме того, как указывалось выше, результат детектирования Д. с. зависит от соотношения фаз детектируемого и управляющего колебаний. Это свойство Д. с. позволяет использовать его в качестве фазового дискриминатора. Фазовые дискриминаторы на основе Д. с. применяются в системах фазовой автоматич. подстройки генераторов и в ряде др. систем. Практич. схема Д. с. приведена на рис. 4. Детектор выполнен

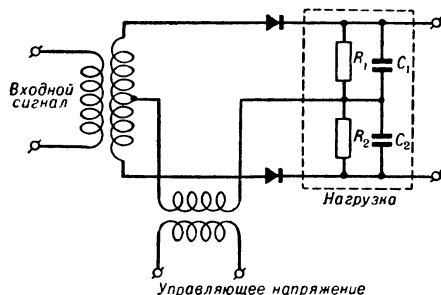


Рис. 4.

по балансной схеме для того, чтобы при отсутствии сигнала напряжение на нагрузке было равно нулю. Управляемыми ключами в данной схеме служат диоды.

Лит.: Харкевич А. А., Нелинейные и параметрические явления в радиотехнике, М., 1956. И. М. Мошуктов.

ДЕТЕКТОР ФАЗОВЫЙ, ф а з о в ы й д и с к р и м и н а т о р (discriminator, phase detector; démodulateur de phase, détecteur de différence des phases, discriminateur de phase; Phasendetektor, Phasendiskriminator). — 1) В радиотехнике — устройство, преобразующее колебания, модулиров. по фазе, в колебания, форма к-рых повторяет закон фазовой модуляции (ФМ). При ФМ вместо Д. ф. обычно применяют *детектор частотный*, т. к. ФМ и ЧМ однозначно связаны между собой; различия в передаче закона модуляции компенсируются соответствующими схемными построениями.

2) В автоматике — устройство, выходное напряжение к-рого определяется разностью фаз двух, совпадающих по частоте, колебаний. Д. ф. широко применяется в автоматич. радиотехнич. устройствах подстройки и отслеживания частоты. Изменения частоты и фазы неразрывно связаны друг с другом. Разность фаз двух колебаний может оставаться пост. во времени только при равенстве частот этих колебаний и, наоборот, поддержание пост. разности фаз обеспечивает полное равенство частот. На этом принципе основано применение Д. ф. в устройствах фа-

зовой автоподстройки частоты (ФАП). Там, где требуется особо высокая (практически абсолютная) точность автоподстройки частоты вместо систем АПЧ применяются системы ФАП, в к-рых Д. ф. является основным функциональным элементом. Д. ф. в системах ФАП аналогичен по своим ф-циям частотному детектору в системах АПЧ. В Д. ф. фаза напряжения опорного сигнала (сигнала с эталонной частотой) сравнивается с фазой подстраиваемого генератора. Напряжение регулирования, пропорциональное разности фаз, через управляющий элемент изменяет частоту подстраиваемого генератора так, что разность фаз стремится к нулю, а частота совпадает с частотой эталона. При работе Д. ф. образуются многочисл. комбинац. частоты и их гармоники, для устранения к-рых применяют фильтры нижних частот, а сами Д. ф. выполняют по балансным и мостовым (кольцевым) схемам. В балансных Д. ф. (рис. 1) напряжение опорной частоты берется значительно большим,

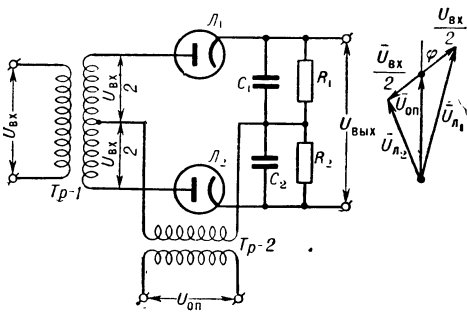


Рис. 1. Балансный фазовый детектор.

чем напряжение входного сигнала. Схема тщательно балансируется так, что если $U_{вх}$ или $U_{оп}$ на схему не поступает, то сигнала на выходе схемы не получается. Величина выходного напряжения не зависит от $U_{оп}$ и целиком определяется величиной $U_{вх}$. Направление тока в нагрузке зависит только от сдвига фаз сравниваемых напряжений, т. е. напряжение $U_{вых}$ равняется алгебраич. сумме напряжений на сопротивлениях R_1 и R_2 , образующихся в результате детектирования напряжений U_{L1} и U_{L2} , приложенных к диодам L_1 и L_2 .

Д. ф. широко применяются в САР и усилителях дистанц. следящих систем в качестве элементов, на к-рых производится сравнение

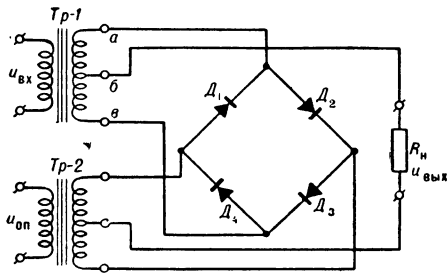


Рис. 2. Схема мостового фазового детектора с ПП выпрямителями.

двух параметров, задаваемых в виде перем. напряжений. В качестве Д. ф. пользуются мостовыми фазочувствит. схемами на ПП выпрямителях (рис. 2). Д. ф. такого типа наз.

также фазочувствит. выпрямителями. Принцип работы подобных схем заключается в том, что опорное напряжение (большее по величине) коммутрует работу диодов, а второе напряжение $U_{вх}$ создает ток рассогласования в нагрузке, величина и направление к-рого определяются разностью фаз этих напряжений. Величина

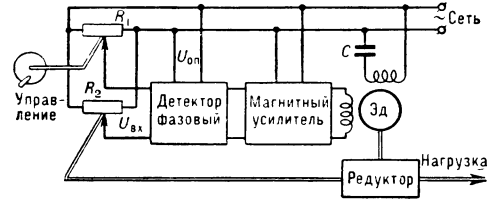


Рис. 3. Функциональная схема системы автоматич. регулирования с фазовым детектором.

выходного напряжения мостового Д. ф., так же как и балансного Д. ф., определяется амплитудой напряжения $U_{вх}$ и разностью фаз между $U_{вх}$ и $U_{оп}$ и не зависит от величины $U_{оп}$. В системах дистанц. управления Д. ф. работает, как правило, на усилителях магнитных (рис. 3). Потенциометрич. датчики в такой системе могут быть заменены сельсинами в трансформаторном режиме, что расширяет возможности применения схемы для систем с круговым вращением.

Лит.: Капланов М. Р., Левин В. А., Автоматическая подстройка частоты, 2 изд., М.—Л., 1956; Куликовский А. А., Частотная модуляция в радиовещании и радиосвязи, М.—Л., 1947; Шляндин В. М., Основы автоматики, М.—Л., 1958. В. И. Шебанов.

ДЕТЕКТОР ЧАСТОТНЫЙ, дискриминатор частотный (frequency sensitive detector; discriminateur de fréquence, démodulateur de fréquence; Frequenzdetektor, Frequenzgleichrichter), — устройство для преобразования ВЧ напряжения, модулированного по частоте, в низкочастотное напряжение, к-рое изменяется в соответствии с законом ЧМ входного сигнала. В Д. ч. постоянные по амплитуде ЧМ колебания сперва подвергаются дополнит. амплитудной модуляции, точно отвечающей закону ЧМ входного сигнала. Затем получившиеся колебания, модулированные одновременно по амплитуде и частоте, подвергаются амплитудному детектированию. В результате выявляется модулирующий сигнал низкой частоты. Д. ч. обеспечивает также получение сигналов, знак и величина к-рых зависят от степени расстройки контролируемого сигнала относительно номин. частоты. Д. ч. применяются для детектирования ЧМ сигналов в системах передачи информации, а также в схемах контроля и управления частотой генераторов, в системах АПЧ сложных радиовещат. приемников КВ диапазона и в системах АПЧ генераторов СВЧ радиолокац. станций.

Основные хар-ки Д. ч.: крутизна детекторной (дискриминаторной) хар-ки, чувствительность, коэфф. нелинейных искажений. Детекторная хар-ка Д. ч. представляет собой зависимость мгновенных значений выходного напряжения от частоты на входе (рис. 1). Крутизна хар-ки определяет коэфф. преобразования Д. ч., а величина линейного участка характеризует рабочий диапазон частот детектора с малыми нелинейными искажениями. Простейшим Д. ч. является детектор с расстроенным

резонансным контуром (рис. 2). Контур L_1C_1 настраивается на частоту f_p , отличную от номинальной частоты f_0 приходящих сигналов примерно на 0,7—0,9 полосы пропускания контура. Из-за нелинейности ветви частотной характеристики контура напряжение на выходе Д. ч. изменяется не точно по закону модуляции входного напряжения, поэтому процесс детектирования сопровождается нелинейными искажениями, достигающими до 10—12%. При наличии паразитной АМ входного сигнала появляются дополнительные искажения на выходе, для исключения которых требуется

Рис. 1. Детекторная (дискриминаторная) характеристика частотного детектора.

где Δf — девиация частоты. Напряжения, образующиеся на вторичных контурах, детектируются диодными детекторами L_2 и L_3 и выделяются на их нагрузках R_1C_1 и R_2C_2 в виде разности: $U_{\text{вых}} = U_2 - U_1$. При сигналах с частотой, равной f_0 , выходное напряжение равно нулю даже при наличии АМ.

При правильно выполненной схеме детекторная характеристика $U_{\text{вых}} = F(f)$ получается линейной и выходное напряжение точно отображает закон изменения частоты входного напряжения. Наибольшая крутизна детекторной характеристики и наилучшая линейность получаются, если добротности контуров будут выбраны равными: $Q_2 = Q_3 = 2Q_1 = \frac{2f_0}{3\Delta f}$. Однако из-за сложности

изготовления и настройки Д. ч. с взаимно расстроенными контурами применяются редко. В двухтактных Д. ч. с двумя взаимно связанными контурами (рис. 4) оба контура настраиваются точно на частоту f_0 . Контурные имеют индуктивную связь, и поэтому между напряжениями U_1 и U_2 образуется фазовый сдвиг в 90° . Второй контур средней точкой присоединяется к первому через емкость связи C_5 . Поэтому напряжения $U_2/2$ на концах индуктивности L_2 сдвинуты относительно U_1 на $\pm 90^\circ$. Этот сдвиг фаз будет изменяться при девиации частоты приходящих сигналов относительно частоты f_0 . К каждому из диодов L_1 и L_2 (рис. 4, а) подводится напряжение, состоящее из суммы напряжений $U_1 + \frac{U_2}{2}$ с раз-

ностью фаз, зависящей от частоты (рис. 4, б). Следовательно, мгновенные значения результирующих напряжений на анодах диодов для частот, отличных от f_0 , будут отличаться по величине. Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ равно разности напряжений, получаемых на сопротивлениях R_1 и R_2 , по которым протекают продетектированные токи обоих плеч схемы, и изменяется по закону модуляции частоты приходящих сигналов. Емкости C_3 и C_4 не представляют

заметного сопротивления на частоте f_0 . Наоборот, дроссель D_1 на ВЧ обладает очень большим сопротивлением, на контур L_2C_2 практически не влияет и служит только для замыкания цепи постоянных составляющих токов

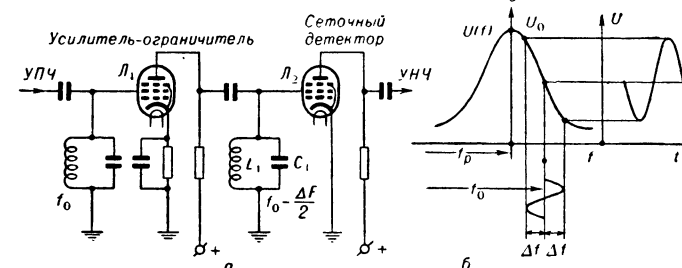


Рис. 2. Частотный детектор с расстроенным резонансным контуром: а — схема; б — принцип работы.

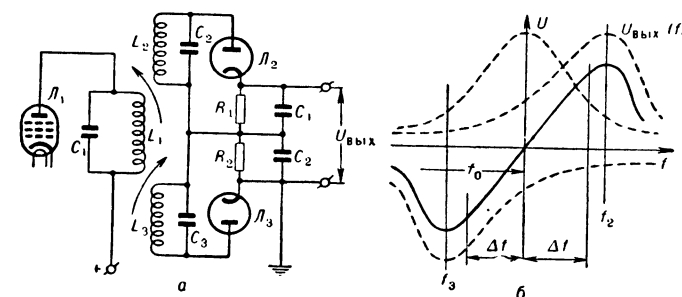


Рис. 3. Дифференциальный частотный детектор с расстроенными контурами: а — схема; б — частотные характеристики.

амплитудный ограничитель на входе. Д. ч. такого типа применяются редко и только в простейших радиовещательных приемниках.

Лучшими показателями обладают двухтактные схемы Д. ч., которые подразделяются на дифференциальные и мостовые. В двухтактных Д. ч. дифференциального типа выходное напряжение пропорционально разности выпрямленных напряжений в двух плечах схемы. Такие Д. ч. выполняются с взаимно расстроенными или с взаимно связанными контурами. Д. ч. с расстроенными контурами состоит из первичного контура L_1C_1 (рис. 3, а), настраиваемого на частоту f_0 , и двух вторичных контуров L_2C_2 и L_3C_3 , резонансные частоты которых f_2 и f_3 расположены симметрично относительно частоты f_0 :

$$f_2 \geq f_0 + \Delta f; f_3 \leq f_0 - \Delta f,$$

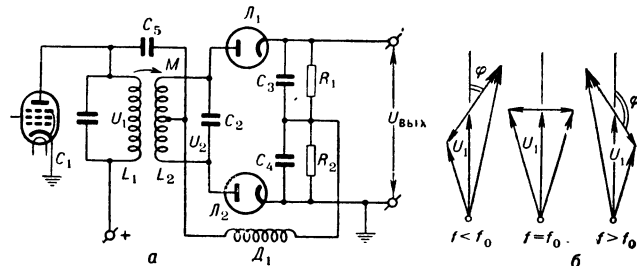


Рис. 4. Дифференциальный частотный детектор со связанными контурами: а — схема; б — векторные диаграммы напряжений на диодах.

чески не влияет и служит только для замыкания цепи постоянных составляющих токов

диодов. Д. ч. такого типа в лит-ре иногда наз. дискриминаторами Фостера и Силя.

Двухтактные Д. ч. мостового типа еще сильнее подавляют паразитную АМ и, следовательно, обеспечивают меньшие нелинейные искажения по сравнению с описанными выше Д. ч. Схема такого Д. ч. (рис. 5) отличается

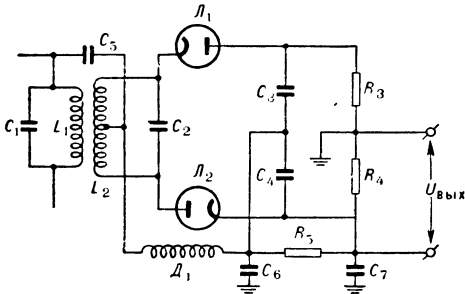


Рис. 5. Схема двухтактного симметричного частотного детектора мостового типа.

от схемы дифференц. Д. ч. тем, что детекторы L_1 и L_2 включены последовательно, а выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ снимается между конденсаторами C_3 и C_4 и сопротивлениями R_3 и R_4 . Оно определяется средним уровнем сигнала на входе и пропорционально отношению напряжений, развиваемых каждым из детекторов L_1 и L_2 в нагрузке, т. е. пропорционально девиации частоты. Д. ч. такого типа наз. также симметричными детекторами отношений или дробными детекторами. Выходное напряжение Д. ч. мостового типа практически не зависит от амплитудных изменений входного сигнала, что позволяет не ставить на входе Д. ч. ограничитель, а это, в свою очередь, повышает его чувствительность. Норм. работа Д. ч. обеспечивается при уровне сигналов на контуре L, C_1 порядка 0,3—0,5 в. Подавление входной амплитудной модуляции достигает 20—30 дб. Кроме Д. ч. на резонансных контурах, для систем АПЧ иногда применяются также апериодич. схемы. К таким детекторам может быть отнесена схема дискриминатора нулевых биений. Выходное напряжение Д. ч. в этом случае получается в виде пост. тока, знак к-рого зависит от знака расстройки. Во всех типах Д. ч. в качестве детекторов могут использоваться как ламповые, так и ПП диоды.

Лит.: Сифоров В. И., Радиоприемники сверхвысоких частот, 2 изд., М., 1957; Капранов М. Р., Левин В. А., Автоматическая подстройка частоты, 2 изд., М.—Л., 1956; Куликовски й А. А., Частотная модуляция в радиовещании и радиосвязи, М.—Л., 1947. В. И. Шебанов.

ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ МАШИНА (disciplined machine, determined machine; machine déterminée; determinierte Maschine, Turing-Maschine) — дискретная система, состояние к-рой в последующий момент времени и выходной символ однозначно определяются состоянием и входным символом в данный момент времени. Различают Д. м. с конечным (конечный автомат) и бесконечным (напр., Тьюринга машина) числом состояний. Д. м. задается таблицами переходов от одного состояния к др. (в зависимости от входного сигнала) и выходных символов (в зависимости от состояний) или же диаграммой переходов — графом, вершины к-рого соответствуют состояниям, а ребра — возможным переходам. Д. м. представляет собой динамич.

систему, фазовое пространство которой есть пространство состояний. Понятие Д. м. весьма широко. Оно служит полезным описанием функционирования различных механизмов, ЦВМ, САР, биол. и социальных систем. Изучение Д. м., их возможностей, методов синтеза стало особенно важным в связи с успехами вычислит. техники. Д. м. с конечным или счетным числом состояний является во многих случаях разумной идеализацией тех физич. и биол. устройств, с к-рыми мы имеем дело — будь то математич. машины дискретного действия, релейно-контактные схемы или мозг.

Часто Д. м. рассматривается как «черный ящик», внутр. устройство к-рого неизвестно. Такой подход целесообразен в игр теории, при изучении нервной системы и т. д. Задачей является установление свойств такой Д. м. (напр., изоморфизма двух данных Д. м.) путем экспериментов — задания входных и наблюдения выходных сигналов. Реальные системы (мозг, счетно-решающие устройства) трактуются как Д. м. лишь приближенно, т. к. могут допускать ошибки, т. е. неправильные переходы. Важной проблемой является разработка методов синтеза из ненадежных элементов систем достаточно надежных, т. е. близких к идеальной, Д. м.

Лит.: Эшби У. Р., Введение в кибернетику, пер. с англ., М., 1959; Мур Э. Ф., Умозрительные эксперименты с последовательностными машинами, в сб.: Автоматы, М., 1956; Нейман Дж., Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент, там же; Яблонский С. В., Основные понятия кибернетики, в сб.: Проблемы кибернетики, вып. 2, М., 1959; Мерсер Ф. Дж., Механизмы и автоматы, в кн.: Кибернетический сборник 1. Сб. переводов, М., 1960.

В. А. Козмидицки, Л. Б. Левитин.

ДЕФЕКТОСКОПИЯ [defectoscopy, flam detection; contrôle de défaut (défectuosité); Defektoskopie, Fehlererkennung] — контроль качества изделий, полуфабрикатов и материалов без их разрушения. К Д. относится также разработка: методов контроля без разрушения, аппаратуры (дефектоскопов) для контроля, методики контроля изделий, полуфабрикатов и материалов и норм их браковки. Д. позволяет проверять качество каждого отдельного изделия, что особенно важно для изделий ответственного назначения. По своим задачам методы Д. разделяются на: 1) методы, позволяющие контролировать отклонения в размерах, напр. измерять толщину стенок труб и др. деталей при одностороннем доступе, толщину защитных и термостойких покрытий, диаметр прутков и труб; 2) структурный анализ, связанный с контролем качества термич. обработки, выявлением отклонений по химич. составу, зон структурной неоднородности, наклепа и др.; 3) методы выявления несплошностей в материале (трещин, раковин, рыхлот, заобин, засоров, включений и др.).

По характеру физич. явлений, положенных в их основу, методы Д. разделяются на визуальные, рентгенодефектоскопию, β - и гамма-дефектоскопию (и близкое к ней просвечивание β -лучами, получаемыми от бетатрона), люминесцентную и цветную Д., ультразвуковую дефектоскопию, магнитно-порошковые и электромагнитные методы Д. Каждый из этих методов решает задачу контроля неполнотой. Поэтому практикуется применение неск. методов одновременно. На выбор метода Д. влияет характер технологич. операций, качество обработки поверхности, строение металла, место

расположения, протяженность и характер дефекта. Так, поверхностные и подповерхностные дефекты выявляются методом магнитного порошка, электромагнитными методами, УЗ методами; дефекты, залегающие в глубине материала, выявляются УЗ методом и рентгено-и γ -просвечиванием. Для ускорения процесса контроля методами, связанными с необходимостью осмотра подозрительного участка, оценки дефектограммы и характера дефектов (напр., методом магнитного порошка) создают полуавтоматич. установки, на к-рых работают квалифицированные операторы. Дефектоскопы-автоматы сортируют детали на годные и негодные, отмечают место дефекта, подсчитывают количество забракованных объектов. При контроле в производственном потоке дефектоскопы выдают информацию, необходимую для изменения режима обработки, длительности операции и др. Контроль размеров деталей, полуфабрикатов и заготовок, не подающихся или с трудом поддающихся прямому измерению, а также быстрый контроль диаметра прутков, внутреннего и наружного диаметра труб, измерение толщины защитных слоев, контроль чистоты обработки поверхности также решаются методами Д.: магнитными, электрич., термоэлектрич., радиотехнич., ультразвуковыми, рентгено-и γ -просвечиванием. Структурный дефектоскопич. анализ основан на связи между физич. свойствами объекта испытаний и его микро-и макроструктурой. Электропроводность, магнитная проницаемость, магнитная индукция, коэрцитивная сила, упругие свойства материала зависят от структуры, химич. состава, от поверхностного насыщения углеродом и азотом, от наличия мягких зон, наклепа, пережогов и др. Во многих случаях анализ проводится по суммарному действию ряда факторов, напр. электропроводности и магнитной проницаемости. В ряде случаев разрушающие методы структурного дефектоскопич. анализа, применяемые на различных стадиях производства, приходят на смену механич., химич., металлографич. и др. разрушающим контролируемый объект методам. Для структурного анализа применяют магнитные и электромагнитные методы, электроконтактный, радиотехнич., ультразвуковой, акустич. и термоэлектрич. методы. Преимуществом их является быстрота и возможность применения автоматизированных приборов и приборов с непрерывной регистрацией.

Люминесцентный и цветной (метод красок) капиллярные методы Д. основаны на явлении капиллярного проникновения хорошо смачивающей жидкости в трещины, поры и др. поверхностные несплошности. При люминесцентном методе трещины и поры заполняются жидкостью, способной светиться в ультрафиолетовых лучах. При сорбционном варианте люминесцентного метода обезжиренную деталь выдерживают в индикаторном люминесцирующем растворе; после его удаления с поверхности ее сушат и посыпают сорбентом (порошком), к-рый в местах трещин пропитывается раствором и закрепляется на поверхности. Излишки сорбента удаляются и затем поверхность облучается ультрафиолетовым светом. Беспорошковый вариант отличается тем, что контролируемую деталь погружают в ванну с раствором кристаллов люминофора в летучем растворителе; при извлечении из

ванны растворитель легко испаряется, люминофор остается на кромках дефектов. Основной частью аппаратуры для люминесцентного контроля является источник ультрафиолетовых лучей (ртутные кварцевые лампы низкого, высокого и сверхвысокого давления). В цветной Д. места дефектов окрашиваются краской: на поверхность детали погружением или распылением наносится подкрашенный темно-красным красителем раствор, обладающий высокой капиллярностью и низким поверхностным натяжением. Затем раствор с поверхности удаляется. Для проявления дефектов применяется быстросохнущая суспензия белого порошка. Она образует белый фон и в то же время обладает высокими абсорбционными свойствами, вытягивая красный краситель на поверхность контролируемой детали. Для повышения чувствительности и сокращения времени пропитки детали помещают в камеру с вакуумом или подвергают воздействию ультразвука. Дефектоскопы люминесцентного и цветного контроля механизмируют труд контролера. Детали размещаются в проволочных сетках-сортовиках и проходят ряд камер, где выполняются различные технологич. операции. Для распыления красок и водной суспензии из порошка сорбента применяют пистолеты-пульверизаторы.

Магнитная порошковая Д. основана на выявлении магнитного поля рассеяния, возникающего около дефекта, ферромагнитными частицами. Ферромагнитные частички затягиваются полем рассеяния и оседают на контролируемой поверхности. В магнитно-порошковой Д. используют железные порошки, получаемые термич. разложением пентакарбонила железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$ или распылением железа электрической дугой в керосине; порошки из окалины железа или отходов стали; порошки из магнетита и ферромагнитной окиси железа; порошки из феррита. Для увеличения контрастности изображения применяют цветные порошки желтого, красного и светло-желтого цветов. Люминесцирующие порошки улучшат возможность автоматизации контроля этим методом. Для увеличения накопления порошка над дефектом применяют магнитную суспензию. При контроле детали намагничивают в поле пост. или перем. тока, к-рый пропускается через деталь или через медный стержень. На магнитном дефектоскопе деталь намагничивается, автоматически перемещаются зажимы, регулируется и выключается ток, деталь поливается магнитной суспензией, освещается и размагничивается после контроля. Примером такого универсального дефектоскопа является дефектоскоп УМД 9000-ВИАМ, в к-ром максимальный намагничивающий ток 10000 а плавно регулируется до нуля. Для продольного намагничивания имеются два соленоида; макс. напряженность магнитного поля каждого соленоида 500 э. Длина испытуемых деталей до 1600 мм, диаметр сплошных деталей до 335 мм, пустотелых — до 800 мм. В магнитных дефектоскопич. полуавтоматах весь процесс, начиная с загрузочного конвейера до процесса осмотра, автоматизирован. Люминесцирующий порошок позволяет автоматизировать и эту последнюю операцию. Образец освещается лампой черного излучения с длиной волны 3200—4000 Å. Изображение дефекта оптич. системой подается на фотоумно-

Сводная таблица основных методов дефектоскопии.

Наименование метода	Области применения	Обнаруживаемые дефекты, измеряемые величины или контролируемые параметры	Возможности и способы автоматизации
Рентгено- и гамма-просвечивание	Контроль литых и стыковых соединений, измерение толщины стенок пустотелых деталей	Поверхностные и глубинные трещины, раковины, рыхлоты, ликвационные зоны, включения. Предельная толщина просвечивания (стали) — 200 мм, при бетатронах — 400 мм	Применение скинтилляционных счетчиков, электронноопт. преобразователей, кинофотометодов и телевизионных систем
Люминесцентная и цветная дефектоскопия	Контроль поверхностных слоев деталей на изделиях из любых металлов	Выявляются небольшие трещины, поры, рыхлоты	Механизация труда контролера. Устройства с рядом камер, где выполняются различные операции
Ультразвуковая дефектоскопия	Теневой метод. Контроль изделий небольшой толщины и несложной формы, при двухстороннем доступе	Выявляются раковины, расслоения и др. дефекты	Возможность наблюдения видимого контура дефекта. Запись на фототермич. бумаге. Использование большого числа вибраторов
	Импульсный метод. Контроль поковок, труб, профилей с достаточно чисто обработанной поверхностью (при иммерсионном варианте и с грубо обработанной поверхностью)	То же, а также трещины и зоны крупнозернистости	Программное сканирование. Запись величины импульса на дефектограмме
	Резонансный метод. Контроль качества и измерение толщины стенок листов и труб	Выявляется расслой. Толщина измеряется в пределах от 0,8 до 15 и более мм	Непосредственный отсчет толщины
	Импедансный метод. Контроль непрочной и непрочной	Выявляются непропаянные и непрочные зоны при соединениях тонких листов толщиной до 1,5 мм	Программное сканирование. Звуковой, световой сигнализаторы дефектов с записью на электротермич. бумаге
Метод магнитного порошка	Контроль поверхностных слоев магнитных деталей	Выявляются поверхностные и подповерхностные несплошности (трещины, волосовины и др.). Магнитная структуро-скопия	В полуавтоматич. дефектоскопах весь процесс, кроме осмотра, механизирован
Метод феррозондов	Контроль поверхностных слоев и измерение магнитных полей	Выявление дефектов и контроль структурного и химич. состояния. Измерение толщины и качества термохимич. слоев	Весь процесс автоматизируется. Детали раскладываются на группы
Магнитографический метод	Контроль сварных соединений из магнитных металлов	Выявляются трещины и непровары глубиной в 10% от толщины стенки	Механизация перемещения намагничивающего устройства и ленты в воспроизводящем устройстве, контроль за наличием дефектов на телевизионном экране
Метод вихревых токов	Метод накладной катушки. Выявление несплошностей в поверхностных слоях деталей, измерение электропроводности и связанных с ней хар-к. Измерение толщины лакокрасочных и гальванич. покрытий, толщины стенок листов и труб, толщины защитных покрытий	Выявляются трещины глубиной от 0,1 мм при протяженности ок. $\frac{1}{2}$ Ø катушки. Измеряется электропроводность немагнитных металлов и графита (в слое толщиной до 1—2 мм), толщина неэлектропроводящих покрытий до 30 мм, толщина листов и стенок труб до 2—3 мм	Запись показаний на ленте самописца, релейные пороговые устройства. Сканирование контролируемой поверхности. Отметка и сигнализация о наличии и месте дефекта
	Метод проходной катушки. Выявление дефектов и контроль качества, а также измерение диаметра проволоки, прутков, труб	Вытянутые в длину несплошности, качество поверхностных слоев, контроль по маркам, термобработке	При контроле прутков и труб — применение рольгангов с сортировочными приспособлениями, отметка дефектов и сигнализация. Автоматизация технологич. процесса, напр. при производстве проволоки. Полная автоматизация контроля мелких деталей
	Экранный метод. Контроль толщины листов, качества точечной сварки, выявление несплошностей	Скоростной контроль толщины с точностью до 2—4% от измеряемой величины	Автоматизация процесса производства тонких листов и фольги

житель. Полученные электрич. импульсы усиливаются и подаются на самописец или исполнительное устройство. Методом магнитного порошка выявляются дефекты, выходящие на поверхность, а также дефекты на глубине до 2 мм под поверхностью. Наиболее эффективно выявляются различного рода

трещины. Хуже выявляются относительно широкие дефекты типа рисок.

К электромагнитным методам контроля относится большое число различных методов, из к-рых наиболее распространены: метод феррозондов, магнитноиндуктивный, магнитографический мето-

ды и метод вихревых токов (см. *Измерения возбуждением вихревых токов*). Метод феррозондов связан с обнаружением полей рассеяния, возникающих вокруг дефекта при намагничивании детали. Его применяют для магнитометрич. измерений, обнаружения ферромагнитной фазы в немагнитных сплавах, выявления ферромагнитных включений, определения степени размагниченности. Феррозонд — это катушка с ферромагнитным сердечником из материала с малой коэрцитивной силой, напр. пермаллоя. По обмотке феррозонда пропускают перемен. ток ВЧ, при этом индукция сердечника симметрично колеблется относительно нулевых значений. При воздействии на сердечник небольшим пост. магнитным полем кривая намагничивания смещается параллельно самой себе в горизонтальном направлении, и на выходе феррозонда появляется эдс второй гармоники, амплитуда которой зависит от напряженности пост. подмагничивающего поля. Это дает возможность измерять напряженность пост. магнитного поля или его градиент. Чувствительность некоторых феррозондовых приборов достигает 10^{-6} на одно деление шкалы. Размеры зондов могут быть очень небольшими (диаметр 1 мм, длина ок. 3 мм). При сортировке по магнитным свойствам детали, расположенные на ленте транспортера и предварительно намагниченные, проходят между двумя элементами феррозонда; электронным устройством остаточное поле детали преобразуется в электрич. сигнал, в зависимости от величины к-рого деталь направляется в один из трех ящиков (если сортировка производится, напр., на нормальные, мягкие и слишком твердые детали). Если контролировать детали значительных размеров, то феррозонды с намагничивающим устройством перемещают по контролируемой поверхности. Напр., в рельсовых феррозондовых дефектоскопах сигнал о наличии дефекта в головке рельса подается в виде звука или отклонения стрелки индикатора. Недостатком метода феррозондов является отбраковка вместе с трещинами и другими опасными дефектами обезуглероживания, «мягких пятен», структурных изменений, которые могут и не быть браковочными признаками. В магнитоиндуктивном методе индикатором потоков рассеяния в намагниченном контролируемом изделии служит катушка с сердечником, питаемая перемен. током с частотой не более неск. сот гц и включенная в мостовую схему. В диагональ моста включаются усиленное и индикаторное устройства. В др. варианте этого метода на контролируемое изделие устанавливается электромагнит, питаемый перемен. током. Потоки рассеяния выявляются искательной катушкой. Э. д. с., возбужденная потоком рассеяния от дефекта, усиливается и подается на телефон, самописец или осциллограф. Такими дефектоскопами выявляются трещины и непровары в сварных соединениях, но поры и шлаковые включения не обнаруживаются. Разработано несколько конструкций толщиномеров, в основу работы которых положены такие же или близкие к ним методы. Напр., в толщиномере МТ-ДАЗ измеряется сила притяжения подвижного сердечника электромагнита к поверхности контролируемой детали. Мерой этой силы является ток, протекающий через катушку электромагнита в момент его отрыва. В магнитогр-

фическом методе потоки рассеяния, возникающие вокруг дефектов, фиксируются на ферромагнитной ленте, обычно применяемой для звукозаписи. Этим методом контролируют сварные швы в трубопроводах. Зона контролируемого сварного шва намагничивается, к шву прикладывается ферромагнитная лента, после чего воспроизводятся записанные на ленте сигналы от дефектов. Намагничивание производится поперек зоны шва дисковыми магнитами или в направлении, нормальном к поверхности свариваемых листов, многovitковым соленоидом; последние, как более простые и легкие, применяют в полевых условиях. Большая часть опасных дефектов расположена вдоль сварного шва. Поэтому при воспроизведении сигналов ленту передвигают не только вдоль, но и поперек. Этим методом выявляются трещины и непровары глубиной 10% от толщины стенки и более, цепочки газовых пор и крупные шлаковые включения.

Радиотехнические методы контроля предполагают использование волн сантиметрового диапазона. Для контроля этим методом используются волноводные тракты, автоматич. измерительные контрольные линии. Радиотехнич. методы применяют для контроля очень тонких слоев металла (толщиной $< \mu\text{к}$). Этим методом можно контролировать качество термич. обработки, выявлять зоны наклепа, контролировать состояние поверхности после механич. обработки и др.

Лит.: Приборостроение и средства автоматизации контроля, [Сб. ст.], под ред. С. И. Фрейберга, кн. 1, М., 1961; Современные методы контроля материалов без разрушения, [Сб. ст.], под ред. С. Т. Назарова, М., 1961; Дефектоскопия металлов, Сб. ст., под ред. Д. С. Шрайбера, М., 1959; Новые методы контроля и дефектоскопии в машиностроении и приборостроении, Киев, 1958; Неразрушающие методы контроля в промышленности. Сопределение по неразрушающим методам контроля в промышленности. Тезисы докл., Л., 1961; Дефектоскопия материалов. Указатель литературы. 1957—1960 гг., Л., 1961.

ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛА (crystal lattice defect; irrégularités de réseau cristallin, défauts de réseau cristallin; Kristallgitterfehler) — несовершенство решетки идеального кристалла. Обычно рассматривают реальные однородные кристаллы с малым числом несовершенств. Д. к. делят на нульмерные, одномерные и двумерные. Нульмерные (точечные) подразделяют на энергетические, электронные и атомные. Основные энергетические несовершенства реального кристалла — фононы (кванты тепловых колебаний). К этим Д. к. относятся также временные несовершенства, или возбужденные состояния, вызываемые световыми, рентгеновскими или γ -лучами, α -частицами или потоком нейтронов. К электронным Д. к. относят избыточные электроны, дырки и экситоны — дефекты, состоящие из электрона и дырки, связанные кулоновскими силами. Атомные дефекты есть нарушения в виде вакансий, случайно не занятых атомами (или ионами), неправильно расположенные атомы; избыток или недостаток атомов одного из элементов или присутствие в решетке посторонних атомов. К одномерным (линейным) Д. к. относятся краевые и винтовые дислокации. К двумерным (плоскостным) — границы двойников кристаллов, ряды линейных дислокаций, границы между зернами кристаллов. Строго говоря, поверхность кристалла также можно рассматривать как дефект. Взаимодей-

стве между перечисленными элементарными дефектами в первую очередь ведет к образованию различных Д. к., связанных с полупроводниковыми, люминесцентными и др. свойствами. Случаем таких дефектов в ПП может быть примесь замещения, захватившая электрон, напр. атом фосфора в кремнии. Д. к. возникают в процессе его роста и после его образования в результате внешнего воздействия. Минимум дефектов почти совершенный кристалл имеет при абс. нуле. С повышением темп-ры он «заполняется» фононами. При значит. повышении темп-ры самопроизвольно разрушается часть валентных связей и образуются электронные Д. к. Флуктуации теплового движения ведут к переходу отдельных атомов в междоузлия и к образованию в решетке вакансий. Часть атомов выходит на поверхность, также образуя вакансии, мигрирующие внутрь кристалла последоват. замещением их атомами. Вблизи темп-ры плавления концентрация таких Д. к. достигает 1—2% общего числа атомов. Неравномерный нагрев, охлаждение и механич. воздействия вызывают сдвиги и дислокации. Различная радиация влечет смещения атомов решетки, возбуждения и ионизации их. В совершенной решетке движение атомов или ионов мало вероятно. Д. к. резко меняют их пластичность, вязкость, пределы упругости и прочности, тепло- и электропроводность (сопротивление). Природа и поведение дефектов в ПП определяют их электронную и дырочную проводимость (см. *Электропроводность полупроводников*), фотопроводимость (см. *Фотоэлектрические свойства полупроводников*), спектры поглощения, испускания и люминесценции, диффузию примесей в полупроводниках и т. д. Технология создания ПП и ПП приборов связана с преднамеренным созданием или уничтожением Д. к. Теория Д. к. основана на статистич. термодинамике и квантовой механике.

Лит.: Риз А., Химия кристаллов с дефектами, пер. с англ., М., 1956; Френкель Я. И., Кинетическая теория жидкостей, Собр. избр. трудов, т. 3, М.—Л., 1959; его же, Введение в теорию металлов, 3 изд., М., 1958; Иоффе А. Ф., Физика полупроводников, [2 изд.], М.—Л., 1957; The defect solid state, N.Y.—L., 1957, p. 1; Seeger A., Theorie der Gitterfehlerstellen, в кн.: Handbuch der Physik, hrsg. von S. Flügge, Bd 7, Tl 1, B., 1955, S. 383.

ДЕЦИБЕЛЛ (decibell, db.; décibel, dB; Dezibel) — см. *Логарифмические единицы усиления и ослабления*.

ДЕШИФРАТОР систем ТУ—ТС (decoder, demodulator, selector; circuit d'encodeur, décodeur; Deschiffriereinrichtung, Entzifferer, Entzifferungsgerät) — устройство, выявляющее соответствие между структурой принимаемых сигналов и кодом сообщения. Д. расшифровывает (декодирует) коды сообщений по структуре принимаемых сигналов. Структура сигналов создается приданием импульсам, образующим сигналы, различных качеств — импульсных признаков: полярность, частота, продолжительность, амплитуда, количество импульсов, порядок их следования, группировка импульсов различных качеств и др. Одно из осн. свойств Д. избирательность (селективность), благодаря к-рой из совокупности поступающих на вход сигналов он выделяет лишь сигналы, предусмотренные при составлении кода данного сообщения. Д. анализирует структуру принимаемых сигналов и выбирает индивидуальные объекты телеуправления (телесигнализа-

ции) путем воздействия на входные цепи исполнитель. механизмов. Избират. свойство Д. обуславливает защиту входных цепей управляемых объектов от мешающего действия посторонних сигналов, поступающих на его вход.

В зависимости от способа передачи сообщений Д. можно разбить на две группы. Первая группа — Д. многоканальных и одноканальных одноимпульсных систем (см. *Телемеханическая система*), в к-рых каждый передаваемый импульс несет всю необходимую информацию. Вторая группа — Д. одноканальных систем с комбинац. избиранием, при к-ром отдельный импульс не имеет самостоят. значения и каждый сигнал передается комбинацией импульсов.

Д. первой группы представляет собой совокупность избирателей (селекторов) импульсных признаков. Д. имеет один вход, общий для всех импульсов с импульсными признаками 1, 2, ..., K (рис. 1). В анализирующем узле Д.

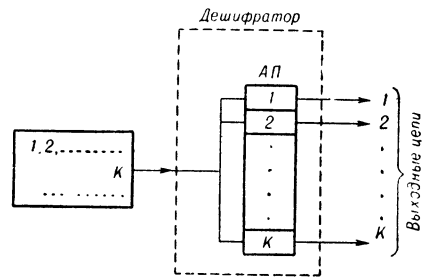


Рис. 1. Дешифратор одноимпульсных сигналов: АП — анализатор импульсных признаков; 1, 2, ..., K — импульсные признаки и соответствующие анализаторы.

эти признаки расфилтровываются: в зависимости от поданных на вход Д. импульсных признаков возникает ток (напряжение) на выходе соответствующих анализаторов, чем и достигается выбор одного из N объектов. Количество выходных цепей равно количеству импульсных признаков: $N=K$.

Импульсы на вход Д. могут поступать как одновременно (если импульсные признаки не смешиваются, как, напр., частотные), так и разновременно. Второй способ более универсален, т. к. он пригоден для любого вида импульсного признака. Для увеличения числа выходных цепей Д. при пост. числе импульсных признаков каждому импульсу с одинаковым качеством может быть присвоен свой порядковый номер, в соответствии с к-рым осуществляются поочередная посылка импульсов в канал связи и синхронное переключение входной и выходной цепей Д. Номер импульса также является его «качеством», в результате чего общее количество выходных цепей Д. увеличивается в n раз: $N=K \cdot n$. Если поочередная посылка импульсов осуществляется автоматически с помощью распределителей импульсов, получаем распределит. метод избирания. Д. при этом состоит из K анализирующих элементов и распределителя импульсов на n позиций для определения порядкового номера импульса. На рис. 2 представлена блок-схема Д. с синхронным переключением цепей при миним. количестве импульсных признаков ($K=2$).

Д. второй группы воздействует на ту или иную выходную цепь в зависимости от приня-

той комбинации импульсных признаков данного сигнала. Для таких Д. характерно наличие комбинационного логич. узла; поэтому они часто наз. комбинационными. К выходных це-

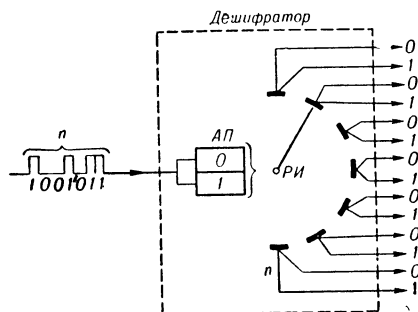


Рис. 2. Дешифратор одноимпульсных сигналов с синхронным переключением выходных цепей: РИ — распределитель импульсов; n — количество импульсов и выходных цепей РИ.

пей анализирующего узла Д. (по числу импульсных признаков, участвующих в образовании сигналов) воздействуют на комбинац. узел, число выходных цепей к-рого равно числу всех комбинаций, использованных при составлении сигналов. Так, если сигналы образуются любым сочетанием из K импульсных признаков, то число выходных цепей $N = C_K^1 + C_K^2 + \dots + C_K^K$. Импульсы, составляющие данный сигнал, могут подаваться на вход Д. одновременно или разновременно. При неодновременной подаче импульсов необходимо ЗУ, к-рое запоминало бы поступление импульсов данного сигнала до окончания набора соответствующей комбинации.

Для увеличения числа выходных цепей Д. применяют последоват. посылки импульсов. В этом случае число выходных цепей Д. на все сочетания $N = K^n - 1$, где n — количество импульсов в сигнале. На рис. 3 показана блок-схема комбинац. Д. на все сочетания при

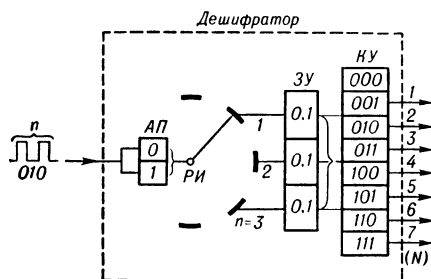


Рис. 3. Комбинац. дешифратор для двоичного кода на все сочетания ($K=2$, $n=3$).

$K=2$ и $n=3$. Там же в символич. форме обозначены возможные кодовые комбинации.

Наиболее распространенные в телемеханике схемы комбинац. узлов Д. для двоичных ко-

дов могут быть разбиты на схемы матричного типа и схемы типа дешифраторных пирамид (рис. 4), где роль запоминающих элементов

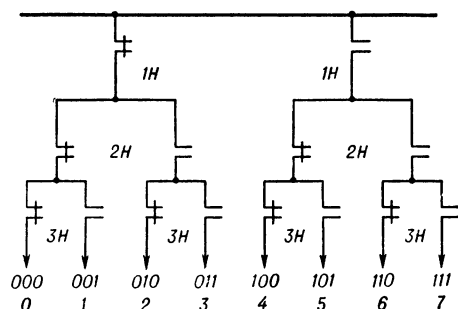


Рис. 4. Дешифраторная пирамида в контактном исполнении для двоичного кода при $N=2^n - 1$, $n=3$.

выполняют т. н. наборные реле $1Н \div 3Н$, комбинации соединений, из контактов к-рых образуют выходные цепи пирамиды. Схема дешифраторной пирамиды может быть построена и на бесконтактных элементах, напр. диодах, триодах, элементах с прямоугольной петлей гис-

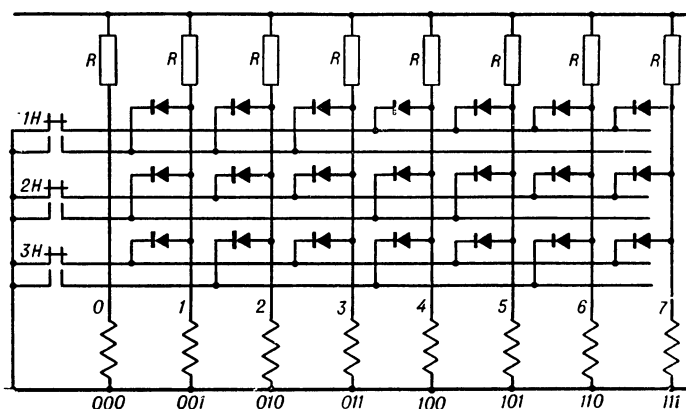


Рис. 5. Дешифраторная матрица; $n=3$, $N=2^n - 1$.

терезиса и т. п. Общим недостатком схемы пирамиды является резкое увеличение числа коммутрующих элементов с ростом ступеней Д. Так, при $n=4$ наборное реле первой ступени имеет один тройник, а последней — 8 тройников. Имеются способы выравнивания количества выходных цепей у наборных элементов. Один из них состоит в изменении на обратный порядок составления ступеней одной из половин пирамиды. Такие Д. пирамиды наз. обращенные или уравновешенные. Всего по одной или две выходные цепи от наборных элементов требуют матричные схемы. На рис. 5 дана матричная схема, выполненная на диодах для тех же условий, что и схема рис. 4. Выбор индивид. объектов производится дешифрованием выходной цепи при срабатывании соответствующих наборных реле. Благодаря большей простоте реализации на бесконтактных элементах матричные схемы получают преимущественное распространение в бесконтактных устройствах.

Д. обладают защитными свойствами, повышающими общую помехозащищенность и надежность работы телемеханич. систем.

Защитные свойства Д. первой группы и комбинац. Д. на все сочетания должны обеспечиваться достаточно высокой избирательностью анализаторов импульсных признаков и непосредств. контролем искажения последних. Однако качественные искажения импульсных признаков (переход одного фиксиров. импульсного признака в другой), а также повреждения в цепях Д. такими Д. не обнаруживаются, что может привести к выбору ложного объекта. Комбинац. Д., в к-рых исполь-

зуется на противоположные (единица — в ноль, а ноль — в единицу). Для построения комбинац. узла Д. с обнаружением двух, трех или более искажений требуется отобрать коды, отличающиеся друг от друга соответственно на два, три или более единичных расстояния. Схема такого узла с защитой (обнаружением) от 3-кратных искажений получается из схемы рис. 6, если в ней использовать только две выходные цепи (1001 и 0110), а остальные отключить. Выбор одного объекта вместо другого возможен в

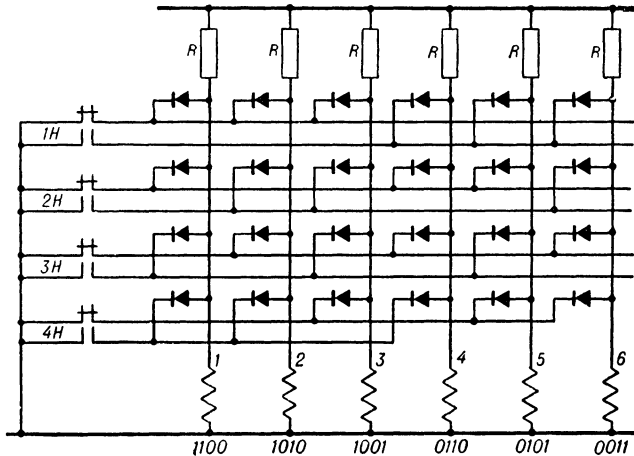


Рис. 6. Дешифраторная матрица; $N = C_n^m (n=4, m=2)$.

зуются не все возможные комбинации, а, напр., только C_n^m комбинаций или только четные (нечетные) комбинации, дают дополнит. возможности для защиты от искажений. Так, комбинац. узел Д. двоичных кодов на сочетании C_n^m (рис. 6) обнаруживает одиночное искажение в коде и лишь при двойном (и более) искажении может дать ложный выбор. Из рис. 6 следует, что для выбора ложной

данном случае лишь при 4-кратном искажении импульсных признаков. Однако данная схема вместо шести объектов управления позволяет избирать только два. Могут быть построены комбинац. узлы Д. с исправлением одного и более искажений в коде. Пример такого узла для двоичного самокорректирующегося 4-элементного кода с исправлением одного и защитой от двух искажений дан на рис. 7. В скобках обозначены искаженные коды (коды — спутники), к-рые воспроизводятся Д. как правильные.

См. также *Кодирование в телемеханике*.

Лит.: Горьянов О. А. и Райнес Р. Л., Телеуправление, М.—Л., 1954; Мановцев А. П. и Раввин Г. И., Основы телеуправления и телеконтроля, М.—Л., 1959. К. Г. Митюшкин.

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ПОДПРОГРАММА (diagnostic program; sous-programme de diagnostic; Fehlersuch-

unterprogramm) — программа, предназначенная для определения места неисправности в ЦВМ. Д. п. работают после того, как контролирующей подпрограммой обнаружен факт наличия неисправности. Д. п. вместе с контролируемыми подпрограммами составляют *испытательные программы*. Г. А. Миронов.

ДИНАМИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ (sweep balance; compensation dynamique; dynamische Kompensation, dynamischer Ausgleich) — разновидность компенсационного метода изме-

рения, в к-рой компенсирующая величина принудительно изменяется по закону пилообразной кривой, а момент компенсации отмечается импульсным сигналом. При Д. к. устраняются неустойчивые или длит. процессы реверсивного слежения и уравнивания, характерные для автоматич. приборов со статич. (следающей) компенсацией. Кроме того, Д. к. предоставляет возможность одновременного измерения ряда последовательно или параллельно включ. величин (мультиплицированные схемы) и воспроизведения величин на любом расстоянии посредством синхронных разверток (прямое и обратное развертывающее преобразование). В процессе Д. к. можно выполнять нек-рые математич. опе-

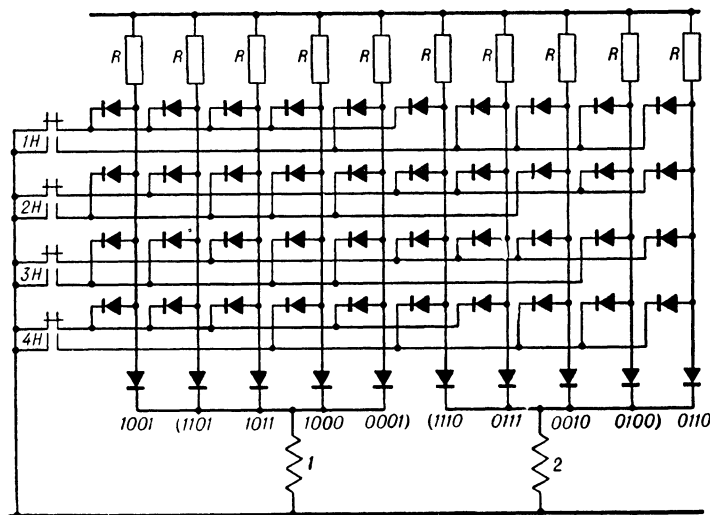


Рис. 7. Дешифраторная матрица с исправлением одного и защитой от двух искажений кода.

выходной цепи необходимо, чтобы минимум два импульса в коде поменяли свои качест-

рации: функцион. преобразования измеряемых величин при помощи нелинейных разверток;

умножение и деление введением вторых перем. величин через уравнивающее устройство; сложение, вычитание, интегрирование и дифференцирование посредством сложения и вычитания импульсных сигналов, получаемых при Д. к. Цифровое преобразование (кодирование) обеспечивается тем, что в результате Д. к. получаются время-импульсные сигналы, к-рые затем заполняются импульсами стандартной частоты, а последние подсчитываются по любой системе счисления.

Основные части каждой схемы Д. к.: источник уравнивающей величины, орган сравнения (нуль-орган) и исполнитель. устройство. В зависимости от рода измеряемой величины источник воспроизводит периодич. изменения электрич. тока, напряжения, светового потока, механич. силы, давления, положения в пространстве и др. в пределах всех возможных значений соответствующей измеряемой величины. Наиболее распространены источники типа реохордов с синхронными двигателями, электронных генераторов напряжения пилообразной формы и дискретных делителей напряжения, управляемых пересчетными схемами. Органы сравнения являются чувствительные реле, электронные нулевые органы и др. Исполнит. устройства содержат рабочие органы, изменяющие свое положение или состояние синхронно с изменением уравнивающей величины. В моменты поступления импульсов засечки состояний равновесия совершаются необходимые операции: сигнализация, отсчет значения, регистрация, вычисление и др. Применение Д. к. одновременно к двум величинам — измеряемой и уставочной — позволяет получать разностные импульсы для автоматич. пропорционального регулирования производств. процесса.

Д. к. в механической системе показана на рис. 1. Измеряемая сила x приложена к точке 1 рычага, а к точке 2 приложена уравнивающая сила S , изменяющаяся по линейному закону (убывающая пропорциональ-

но времени). Это достигается при помощи кулачка, вращаемого двигателем, штока и калиброванной пружины. Органом сравнения

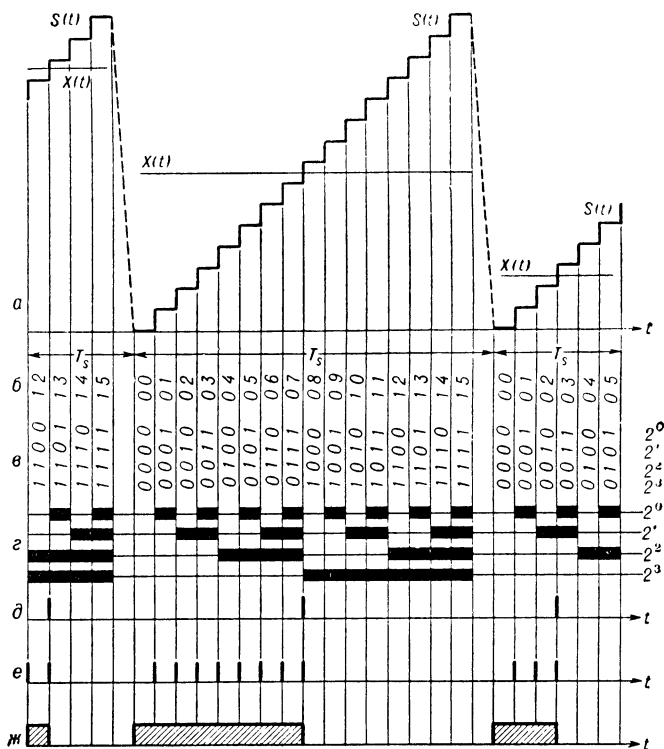


Рис. 3.

являются рычаг 3, находящийся между упорами y , и контактная группа H с контактами a , b и c , к-рые при перекидывании рычага 3 от правого упора к левому образуют кратковременный отмечающий импульс i .

Д. к. в электрической системе показана на рис. 2: синхронный двигатель CD вращает контактную щетку реохорда R . Вследствие этого уравнивающее напряжение $U_s(t)$ изменяется по закону пилообразной кривой: $U_s(t) = U \frac{p}{R} \omega t$, где U — стабилизиров. напряжение питания; R — сопротивление реохорда; p — уд. (на единицу угла) сопротивление; ω — угловая скорость вращения щетки; ωt — текущий угол положения щетки.

Навстречу этому напряжению включено измеряемое напряжение $U_x(t)$. Вместе со щеткой приводится в движение исполнитель. устройство H_x , напр. регистратор, выполн. в виде диска с диаграммной бумагой и пера, управляемого электромагнитом \mathcal{E} . Последнее может быть снабжено отдельным двигателем CD' и отнесено на расстояние. Орган сравнения H в виде поляризованного реле отмечает моменты равновесия $U_s(t) = U_x(t)$. Импульсная цепь непосредственно или через линию телерадиотрансляции L питается от источника e и управляет электромагнитом \mathcal{E} , обеспечивая точечную запись на диаграмме величины U_x .

Наиболее широкое использование получили устройства Д. к. для преобразования непрерывных величин (напряжения) в дискретную, кодовую форму. В кодовой системе Д. к.

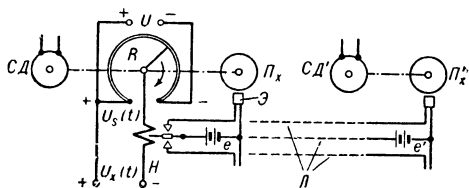


Рис. 2.

уравновешивающая величина $S(t)$ нарастает по ступенчатому закону (рис. 3а) за счет комбинирования двоичных источников эталонного напряжения или тока. Двоичный счетчик, циклически набирая кодовые комбинации $0, 2^0, 2^1, 2^0 + 2^1, 2^2$ и т. д., пробегает всю гамму чисел $0, 1, 2, 3, 4, \dots, N$, управляя ключами, подключающими по последовательно источникам. Эти числа записаны на рис. 3б десятичными знаками, а на рис. 3в — двоичными. Состояние элементов двоичного счетчика и соответственно ключей двоичных источников показано на рис. 3г. Значение величины $X(t)$ в течение цикла развертки предполагается неизменным. В момент уравнивания нулевой орган выдает короткий импульс (рис. 3д) команды на считывание числа, записанного в счетчике, либо прекращает выдачу счетных импульсов, или же закапчивает формирование широтно-импульсного сигнала (рис. 3ж). Пользуясь коротким импульсом (рис. 3д), значение измеренной величины x можно непосредственно снимать в цифровой форме на стороне кодового формирования ступеней S . При одновременной работе единичного, двоичного и десятичного счетчика засекающий импульс представляет результат измерения в виде точечной записи на диаграмме, двоичного кода для вычислительной машины и отпечатка числа десятичными знаками. Обеспечивается также передача данных на большое расстояние. Д. к. позволяет производить компенсационные измерения с частотой от 0,1 гц до 20 кгц и погрешностью до 0,1%.

Лит.: Темников Ф. Е., Автоматические регистрирующие приборы, 2 изд., М., 1960.

Ф. Е. Темников.

ДИНАМИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ контрольно-измерительных приборов [dynamic compensation; correction dynamique (des appareils de contrôle automatique); dynamische Kompensation, Dynamikentzerrung] — изменение их динамич. хар-к с целью уменьшения динамич. погрешности. Динамическая погрешность в системах автоконтроля обусловлена наличием инерционных преобразователей таких, как термopapa, термометр сопротивления, вертунные расходомеры и др., а также вторичных показывающих и самопишущих приборов с большим временем пробега шкалы (см. Динамические характеристики контрольно-измерительных приборов) [1, 2]. Д. к. обычно достигается использованием корректирующих схем, включаемых последовательно или параллельно звеньям цепи контроля [3—5]. Точной Д. к. не существует гл. обр. вследствие невозможности точной реализации корректирующего оператора и того, что корректирующее звено тем сильнее усиливает высокочастотные помехи, чем точнее Д. к. При последовательной Д. к. линейного устройства автоконтроля амплитудно-фазовая хар-ка (АФХ) корректирующего звена $W_k(j\omega)$ должна быть обратной АФХ корректируемого звена $W_y(j\omega)$

$$W_k(j\omega) \approx \frac{\text{const}}{W_y(j\omega)}, \quad \omega_1 \leq \omega \leq \omega_2 \quad (1)$$

в диапазоне частот $[\omega_1, \omega_2]$, определяемом шириной частотного спектра сигнала, поступающего на корректируемое устройство. Так, если датчик, напр. термopapa, имеет падающую амплитудно-частотную хар-ку в диапазоне частот $[0, \omega_2]$, то корректирующее звено должно иметь хар-ку, возрастающую до частоты

ω_2 . Физически это означает, что корректирующее звено поднимает составляющие частотного спектра сигнала, ослабленные инерционным датчиком. Выше частоты ω_2 амплитудно-частотная хар-ка, во избежание подчеркивания высокочастотных помех, должна резко падать.

Д. к. устройств автоконтроля, имеющих в качестве выходной величины ток или напряжение, может быть осуществлена путем

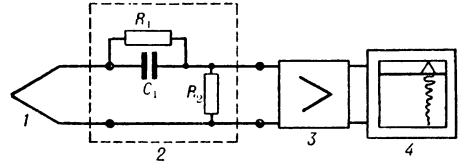


Рис. 1. Динамич. коррекция термopapa с помощью дифференцирующего 4-полюсника с усилителем: 1 — термopapa; 2 — корректирующий 4-полюсник; 3 — усилитель; 4 — вторичный прибор.

включения пассивных или активных электрических схем. Так, Д. к. термopapa с АФХ $W_T(j\omega) = \frac{K_T}{T_T j\omega + 1}$ может быть осуществлена (рис. 1) при помощи усилителя с пассивным 4-полюсником, АФХ к-рого

$$W_k(j\omega) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1 C_1 j\omega + 1}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C_1 j\omega + 1}.$$

При условиях: $R_1 C_1 = T_T$ и $R_2 \ll R_1$, АФХ всей системы

$$W(j\omega) \approx K_T K_y \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{T_T j\omega + 1}$$

имеет постоянную времени $T_1 \approx C_1 R_2$ намного меньше постоянной времени термopapa (практически в 5—20 раз). При паралл. коррекции линейного устройства корректирующая схема включается прямо- или обратнопараллельно одному из звеньев цепи контроля. Так, в устройстве автоконтроля, состоящее из термopapa и автоматич. потенциометра, для Д. к. можно ввести доплнит. (корректирующую) обратную связь в автоматич. потенциометре. АФХ схемы, включаемой в обратную связь, выбирается из условия, чтобы АФХ скорректированного устройства контроля мало зависела от частоты в диапазоне частот $(0, \omega_2)$.

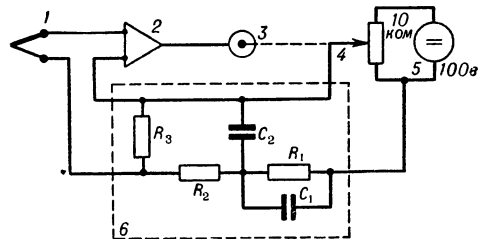


Рис. 2. Автоматич. потенциометр с динамич. коррекцией термopapa: 1 — термopapa; 2 — усилитель с модулятором; 3 — электрич. двигатель; 4 — реохорд; 5 — источник стабилизированного напряжения; 6 — корректирующий 4-полюсник.

АФХ автоматич. потенциометра с пассивным 4-полюсником в цепи обратной связи (рис. 2) при значениях параметров: $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C_2 = T_T$, $R_1 C_1 \ll T_T$, $R_3 \ll R_2$ и большом коэфф. усиления

по контуру приближенно равна:

$$W_n(j\omega) \approx N \cdot \frac{T_T j\omega + 1}{R_1 C_1 j\omega + 1}; \quad N = \text{const.}$$

При этом АФХ — $W_T(j\omega)W_n(j\omega)$ скорректированного устройства контроля имеет постоянную времени $R_1 C_1 \ll T_1$. В схемах с обратной параллельной коррекцией необходимы дополнит. исследования на *устойчивость* [5].

На практике встречаются инерционные преобразователи, трудно поддающиеся Д. к. Примером может служить манометрич. термометр, передаточная ф-ция к-рого имеет вид:

$$W_y(p) \approx M \frac{1 - T_1 p}{1 + T_2 p}; \quad M = \text{const.}$$

Определяемая по условию (1) передаточная ф-ция корректирующего устройства

$$W_k(p) \approx \frac{1}{W_y(p)} = \frac{1}{M} \cdot \frac{1 + T_2 p}{1 - T_1 p} \quad (2)$$

имеет положит. полюс $p^* = \frac{1}{T_1}$, что соответствует неустойчивому звену. Коррекция в этом случае может быть лишь существенно приближенной. Звено с передаточной ф-цией (2) заменяется устойчивым звеном с АФХ, существенно приближенной по отношению к требуемой.

Д. к. нелинейных устройств автоматич. контроля в общем случае достигается путем использования нелинейных устройств. Устройство контроля, описываемое нелинейным дифференц. ур-нием

$$f(\ddot{y}, y, x) = 0, \quad (3)$$

где $x(t)$, $y(t)$ соответственно входная и выходная величины, при условии, что $\frac{\partial f}{\partial \ddot{y}} \neq 0$, может

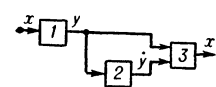


Рис. 3. Блок-схема динамич. коррекции нелинейного инерционного устройства контроля: 1 — устройство контроля; 2 — дифференциатор; 3 — функциональный преобразователь от двух переменных.

быть скорректировано путем включения последовательно с ним функцион. преобразователя (рис. 3), осуществляющего операцию

$$x = \psi(\dot{y}, y),$$

где $x = \psi(\dot{y}, y)$ — ф-ция, удовлетворяющая дифференц. равенству (3).

Для образования \dot{y} и ф-ции ψ могут быть

использованы счетно-решающие элементы электронных моделей.

Лит.: 1) Бувин Н. П., Экспериментальное исследование динамических характеристик термометрических, «П», 1960, № 10; 2) Кремлевский И. П., Динамические характеристики дифманометров, в кн.: Теплоэнергетические и химико-технологические приборы и регуляторы, М.—Л., 1959; 3) Харченко Р. Р., Коррекция динамических характеристик электроизмерительных приборов и преобразователей, «П», 1956, № 2; 4) Гик Л. Д., Коррекция частотных характеристик сейсмических вибротачиков, в кн.: Автоматический контроль и электрические измерения, вып. 1, Новосибирск, 1960; 5) Панасенко И. М., Рыбашов М. В., Чатурова И. А., Автоматический потенциометр с динамической коррекцией первичных преобразователей, в кн.: Автоматическое управление. [Сб., М., 1960].

М. В. Рыбашов,

ДИНАМИЧЕСКАЯ ОШИБКА (error; erreur; Fehler) — разность между требуемым и действит. значениями регулируемой величины, возникающая в процессе регулирования. См. также *Динамическая погрешность*. Р. С. Рутман.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ при измерении (dynamic error; erreur dynamique; dynamischer Meßfehler) — дополнительная погрешность, обусловленная изменением входной величины $x_{вх}(t)$ во времени. Д. п. определяется как разность между мгновенной погрешностью $\delta_m(t) = x_{вх}(t) - f(x_{вх})$ и статич. погрешностью $\delta_c(x_{вх})$, взятой при значении измеряемой величины $x_{вх}(t)$ в рассматриваемый момент времени $t = T$

$$\delta_{дп}(T) = \delta_m(T) - \delta_c[x_{вх}(T)]. \quad (1)$$

Ф-ция $f(x_{вх})$ — ф-ция преобразования измерит. устройства, в частности при линейном преобразовании $f(x_{вх}) = S x_{вх}$, где S — чувствительность измерит. устройства. Математически Д. п. определяется как разность решений $\delta_{дп}(t) = y(t) - y^*(t)$ двух ур-ний:

$$F(y^{(n)}, \dots, y', y, x^{(m)}, x^{(m-1)}, \dots, x', x) = 0, \\ F(0, \dots, 0, y^*, 0, 0, \dots, 0, x) = 0.$$

1-е ур-ние — дифференциальное, определяющее поведение выходной величины $y(t)$ во времени, при заданной входной переменной $x(t)$ и начальных условиях

$$y^{(i)}(0) = y_0^{(i)}, \quad (i = 0, 1, \dots, n-1).$$

2-е ур-ние получается из 1-го путем приравнивания нулю всех входящих в него производных. 2-е ур-ние неявно задает ф-цию $y^* = \bar{f}(x)$ [ф-ция $\bar{f}(x)$ — искаженная статич. погрешностью ф-ция $f(x)$], т. е. определяет поведение выходной величины y^* измерит. устройства при медленном изменении $x(t)$. Д. п. зависит от изменения входного сигнала во времени и от начальных данных выходного сигнала: величины, скорости, ускорения, а в системах с большим количеством степеней свободы — от более старших производных. В линейных системах $\delta_m(t) = \delta_{дп}(t)$. В таблице приведены формулы для Д. п. при измерении с помощью линейной измерит. системы, описываемой простейшим ур-нием:

$$T \frac{dx_{вх}}{dt} + x_{вх}(t) = x_{вх}(t),$$

некоторых, часто встречающихся на практике сигналов. Из приведенных формул следует, что Д. п. тем больше, чем больше скорость изменения $x_{вх}(t)$ и чем больше значение динамич. хар-ки — постоянной времени T . При скачкообразном изменении сигнала Д. п. в момент скачка равна величине самого скачка, т. е. относит. погрешность составляет 100%. В большинстве случаев в инерционных звеньях осн. составляющей погрешности является Д. п., поэтому, а также по причине трудоемкости разделения мгновенной погрешности на составляющие, в качестве Д. п. принимают мгновенную ошибку.

При оценке динамич. свойств измерит. устройств и устройств контроля пользуются максимальной или среднеквадратичной погрешностью. Максимальная динамич. погрешность (МДП) — максимальная по модулю Д. п. при заданном типе входного сигнала за конечный или бесконечный промежуток времени (см. таблицу). Среднеквадратичная Д. п. (СДП) определяется формулой:

$$\delta_{ск} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \delta_{дп}^2(t) dt}.$$

$x_{\text{вх}}(t)$	$\bar{z}_{\text{лп}}(t)$	$\bar{z}_{\text{млп}}$
$x_{\text{вх}}(t) = \begin{cases} A, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}$	$Ae^{-\frac{t}{T}}$	$t=0, \bar{z}(0)=A$
$x_{\text{вх}}(t) = \begin{cases} At, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}$	$A \left[te^{-\frac{t}{T}} + T \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \right]$	$t=\infty, \bar{z}(\infty)=AT$
$x_{\text{вх}}(t) = \begin{cases} A \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}$	а. $\tau \neq T$ $A \frac{T}{\tau - T} \left(e^{-\frac{t}{\tau}} - e^{-\frac{t}{T}} \right)$ б. $\tau = T$ $-A \frac{t}{T} e^{-\frac{t}{T}}$	—
$x_{\text{вх}}(t) = A \sin \omega t$	—	$\frac{t=\infty}{A} \sqrt{1 + \frac{1}{\lambda}}, \lambda = T\omega$

Часто входной сигнал задается лишь с точностью до его принадлежности некоторому классу сигналов, напр. к классу сигналов, ограниченных по модулю и частотному спектру или по модулю и первой производной. В этих случаях МДП и СДП оцениваются сверху, т. е. дается оценка вида $\delta_{\text{млп}} \leq \alpha$, некое α — число [1]. Наибольшее распространение получили оценки сверху для погрешностей при статистич. задании сигнала [2]. Д. п. может быть уменьшена путем динамической коррекции.

Лит.: 1) Васильев В. Г., Об оценке точности воспроизведения воздействий линейными следящими и регистрирующими системами, «АИТ», 1958, т. 19, № 1; 2) его же, О связи коэффициентов ошибок с амплитудной и фазовой частотными характеристиками линейных воспроизводящих систем, там же, № 5; 3) Чехонадский Н. А., О возможности общего подхода к анализу статических и динамических погрешностей, «ИТ», 1959, № 3. М. В. Рыбаков.

ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (dynamic system; système dynamique; dynamisches System) — совокупность физич. объектов, состояние к-рой меняется во времени. Д.с. описывается системой переменных (координат), зависимость к-рых от времени определяется системой ур-ний (конечных, дифференциальных, конечно-разностных и др.). Пространство координат, описывающих Д. с., наз. *фазовым пространством*, а точка, соответствующая данному состоянию Д. с., — изображающей точкой. Траектория изображающей точки наз. *фазовой траекторией*. Важной хар-кой Д. с. является устойчивость. Траектория асимптотически устойчивой Д. с. при $t \rightarrow \infty$ стягивается к нек-рой фиксиров. точке (точке покоя) фазового пространства. Примером Д. с. могут служить системы автоматич. регулирования, состояние к-рых определяется совокупностью значений регулируемых величин и в ряде случаев дополнит. совокупностью «внутренних» параметров.

Важным является понятие эргодической Д. с. Это Д. с., в фазовом пространстве к-рой можно определить объем (фазовый объем), не меняющийся во времени, и, кроме того, ее фазовое пространство не имеет инвариантных подмножеств (т. е. подмножеств, к-рые при движении изображающей точки по фазовым траекториям переходят в себя), обладающих фазовым объемом, не равным нулю или пол-

ному объему пространства. Эргодическими Д. с. часто оказываются системы автоматич. управления, подвергающиеся действию случайных шумов.

П. Л. Виленский.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНЕРАТОРА (generator dynamic characteristic; droite de charge, caractéristique dynamique d'un générateur; Generatorarbeitskurve, dynamische Generatorkennlinie, Generatordynamikverlauf) — графики зависимости анодного тока генератора от напряжений на аноде и управляющей сетке его лампы при одновременном их изменении. Изменение анодного напряжения лампы при изменении напряжения на ее управляющей сетке происходит вследствие падения напряжения на сопротивлении нагрузки (активном сопротивлении или колебат. контуре) в анодной цепи лампы. Д. х. г. строятся на статич. анодной и сеточной хар-ках генераторной лампы и аналогичны динамич. характеристикам электронной лампы. Наклон (крутизна) Д. х. г. и ее расположение на анодных (статических) хар-ках лампы определяются степенью напряженности режима генератора (см. *Генератора режимы работы*). При переходе от недонапряженного режима генератора к перенапряженному режиму его работы крутизна Д. х. г. уменьшается, а сама она перемещается к началу координат вследствие уменьшения остаточного напряжения на аноде лампы и искажения формы импульса анодного тока. Д. х. г. широко применяются при расчетах режима работы генератора.

Лит.: Евтянов С. И., Радиопередающие устройства, М., 1950. Ю. Б. Любченко.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП (tubes dynamic characteristics; caractéristiques dynamiques et constantes des tubes électroniques; dynamische Röhrencharakteristiken und Röhrendaten). Динамической характеристикой (ДХ) наз. хар-ка, каждая точка (или совокупность значений параметров) к-рой соответствует мгновенному значению параметров данного динамического — неустановившегося (нестационарного) или периодически изменяющегося (стационарного) режима. Частным видом ДХ является, напр., анодно-сеточная ДХ (рис. 1), т. е. зависимость анодного тока от напряжения управляющей сетки электронной лампы. (При условии, что в цепь анода включено омическое сопротивление R , а сумма напряжения $E_a = U_a + I_a R$ между анодом и катодом и на этом сопротивлении поддерживается постоянной, $E_a = \text{const}$). В данном случае эта, по сути дела, статич. (или квазистатич.) хар-ка выражает зависимость в динамич. (квазистатич.) режиме (см. *Статические характеристики и параметры электронных ламп*).

При медленном изменении параметров электронной лампы (ЭЛ) связь между ними сохраняется такой же, как и в статич. режиме. Его часто наз. квазистатическим. При быстром изменении хотя бы одного из параметров ЭЛ

промежуточной частоты в анодной цепи. Этот параметр показывает, какую амплитуду тока промежуточной частоты создает в лампе на-пряжение сигнала с амплитудой в 1 в.

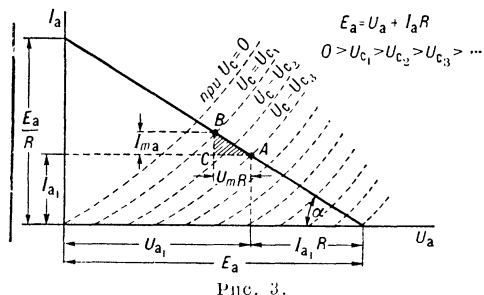


Рис. 3.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Иппингенберг К. Р., Электронные лампы, пер. с англ., [т. 1]—2, М., 1953—1954; Бекк А. Х. В., Электронные лампы. Теория и конструирование, пер. с англ., М., 1958; Коваленко В. Ф., Введение в электронику сверхвысоких частот, 2 изд., М., 1955; Справочник по радиотехнике, под общ. ред. Б. А. Смирнова, М.—Л., 1950. А. Г. Александров.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ (dynamic responses of automatic measurement means; caractéristiques dynamiques des appareils de contrôle; dynamische Kennlinien von Kontroll- und Meßgeräten) — хар-ки, прямо или косвенно определяющие динамич. показатели качества различных операций контроля. Основным показателем качества является динамическая погрешность, определяемая дифференц. ур-нием и видом входной ф-ции, описывающими поведение выходной величины устройства контроля. Однако на практике обычно трудно составить дифференц. ур-ние и часто трудно его решить или качественно исследовать его решения. Поэтому пользуются такими динамич. хар-ками, к-рые легко получить из эксперимента, для линейных систем — частотными и переходными хар-ками. К частотным хар-кам относятся: амплитудные частотные характеристики, фазовые частотные характеристики, вещественная и мнимая части амплитудных фазовых характеристик. Амплитудная частотная хар-ка позволяет определить отношение амплитуд и разность фаз синусоидальных сигналов на входе и на выходе устройства:

$$A(\omega) = \frac{|x_{\text{вых}}|}{|x_{\text{вх}}|}, \quad \varphi(\omega) = \arg(x_{\text{вых}}) - \arg(x_{\text{вх}}),$$

где $x_{\text{вх}}(t)$, $x_{\text{вых}}(t)$ — входная и выходная величины, $A(\omega)$ — амплитудная частотная хар-ка устройства контроля, $\varphi(\omega)$ — фазовый сдвиг, ω — угловая частота (1/сек). Знание амплитудных частотных и фазовых частотных хар-к позволяет вычислить мгновенную ошибку непосредственно для синусоидального сигнала и косвенно, посредством аналитич. или графич. методов частотного анализа (ряды Фурье, интеграл Фурье), для несинусоидальных сигналов конечной площади или сигналов, заданных вероятностными хар-ками, напр. спектральной плотностью [1]. Амплитудные частотные и амплитудные фазовые хар-ки у минимально-фазовых систем однозначно связаны между собой, поэтому достаточно получить из опыта лишь одну из них. По амплитудной фазовой хар-ке можно определить передаточную функ-

цию и, следовательно, дифференц. ур-ние устройства контроля [2]. Часто знание только действительной или только мнимой части амплитудной фазовой хар-ки позволяет установить нек-рые показатели качества переходного процесса при ступенчатом воздействии на устройство контроля, что важно при сигналах импульсного характера [3].

Переходная функция — ф-ция $h(t)$, описывающая поведение выходной величины устройства контроля при изменении входной величины по закону единичного скачка и при условии, что при $t \leq 0$ выходная величина $x_{\text{вых}} = \text{const}$. Переходная ф-ция позволяет вычислить мгновенную погрешность $\delta(t)$ при $t = t^*$ и любом виде входного воздействия с помощью интеграла Дюамеля [2]

$$\delta(t^*) = f(t^*) - f(0)h(t^*) - \int_0^{t^*} \frac{df(\tau)}{d\tau} h(t - \tau) d\tau,$$

где $f(0)$ — значение ф-ции $f(t)$ при $t=0$. Если переходные ф-ции близки к монотонным, то часто оценивают инерционность устройства след. образом. Устройство считается более инерционным по отношению к другому, если переходная хар-ка $h_1(t)$ первого из них (рис. 1) целиком лежит под переходной хар-кой $h_2(t)$

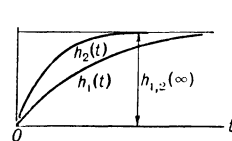


Рис. 1.

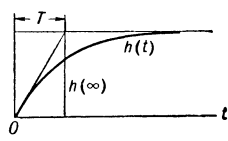


Рис. 2.

второго устройства контроля. Для широкого класса сигналов максим. динамич. ошибка в системе с переходной хар-кой $h_2(t)$ будет меньше, чем в системе с переходной хар-кой $h_1(t)$. По переходной ф-ции часто можно восстановить дифференц. ур-ние [4]. Так, напр., если известно, что устройство описывается линейным ур-нием 1-го порядка вида

$$T \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} + x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}},$$

где T — постоянная времени, k — коэфф. усиления, то постоянная времени может быть определена из графика для $h(t)$ (рис. 2). Проводя касательную к $h(t)$ в точке $t=0$ до пересечения с асимптотой $h(\infty)$, получаем значения T . Второй параметр ур-ния — коэфф. усиления — определяется равенством $k=h(\infty)$. Переходная ф-ция является суммой установившегося значения $h(\infty)$ и свободного движения динамич. системы. Свободные движения в значит. степени определяют собой поведение выходной величины в моменты времени, близкие к началу воздействия, т. е. в переходном процессе. По виду свободного движения часто можно судить о нек-рых свойствах системы, а также и о конструкции дифференц. ур-ния или передаточной ф-ции. Напр., по наличию сильно колебательного движения с явно выраженной затухающей синусоидой можно судить о резонансности данного устройства контроля. Частота колебаний является резонансной частотой устройства.

Для линейных устройств контроля, описываемых линейными дифференц. ур-ниями с изменяющимися коэфф. (напр., термоприем-

ников в потоке с переменной скоростью), и нелинейных устройств к-л. общих динамич. хар-к нет. Нелинейные устройства контроля, нелинейность к-рых обусловлена ограниченными возможностями скорости или ускорения выходной величины, обычно характеризуют непосредственно предельными числами скорости и ускорения, т. е. ограничения задаются в виде

$$|\dot{x}_{\text{вых}}| < \alpha_1, \quad |\ddot{x}_{\text{вых}}| < \alpha_2,$$

где α_1, α_2 — положит. числа. Иногда ограничения задают косвенно, напр. автоматич. потенциометр характеризуют временем пробега каретки всей шкалы τ . Очевидно, $\tau = \alpha_1/M$, где M — верхний предел шкалы.

Лит.: 1) Пелегрэн М., Статистический расчет следящих систем, пер. с франц., М., 1957; 2) Д у д н и к о в Е. Е., Определение коэффициентов передаточной функции линейной системы по начальному участку экспериментальной амплитудно-фазовой характеристики, «АТ», 1959, т. 20, № 5; 3) Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; 4) С и м о н М. П., Определение передаточных функций по временным характеристикам линеаризованных систем, «П», 1958, № 3.

М. В. Рыбаков.

ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН [dynamic range; gamme dynamique (nombre de niveaux); Dynamikbereich] — величина, характеризующая пределы возможного изменения интенсивности сигнала при его передаче по каналу связи. Максим. значения сигнала обычно ограничиваются мощностью его источника, а минимальные — уровнем помех, присутствующих в канале. Поэтому под Д. д. понимают отношение уровня сигнала к уровню помехи, измеренных одинаковым способом, напр. по пиковым значениям или по мощности. Д. д. измеряется логарифмом этого отношения, что удобно в ряде технич. приложений (напр., логарифм затухания сигнала пропорционален длине линии связи). С др. стороны, т. к. количество информации, передаваемой сигналом, пропорционально логарифму числа его различимых уровней, то Д. д. характеризует также пропускную способность канала связи — она растет (при прочих равных условиях) пропорционально Д. д. Осн. единицей Д. д. является бел, равный Д. д. сигнала, для к-рого отношение мощностей $\frac{P_{\text{макс.}}}{P_{\text{мин.}}} = 10$. На практике пользуются более мелкой единицей — децибелом. 1 дб соответствует отношению $\frac{P_{\text{макс.}}}{P_{\text{мин.}}} = \sqrt[10]{10} \approx 1,259$. Отсюда Д. д. равен: $L = \lg \frac{P_{\text{макс.}}}{P_{\text{мин.}}} (\text{бел}) = 10 \lg \frac{P_{\text{макс.}}}{P_{\text{мин.}}} (\text{дб})$. Употребительна также (гл. обр. в телефонии) др. единица — непер. Д. д. в неперах $L = \frac{1}{2} \ln \frac{P_{\text{макс.}}}{P_{\text{мин.}}} (\text{непер})$, 1 непер = 8,686 дб. Особенно велик Д. д. органов чувств: для человека уха он равен 120—140 дб (в области 1000—5000 гц), а для глаза (с учетом темновой адаптации) 120—130 дб. Д. д. большого симфонич. оркестра 60—70 дб. Для точного воспроизведения человек. речи требуется Д. д. не менее 60 дб, но удовлетворит. воспроизведение требует ок. 30 дб. Поэтому Д. д. высококачеств. радиовещания и магнитной звукозаписи достигает 60 дб и более, в то время как в телефонии довольствуются 20—30 дб. Д. д. телевиз. изображения обычно не превышает 30 дб.

Н. К. Игнатьев.

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ (dynamic design; calcul dynamique; dynamische Berechnung, dynamische Auslegung) — расчет САР, включающий анализ устойчивости и качества выбранной структурной схемы системы и сопоставление показателей качества системы с заданными, выбор и расчет корректирующих устройств, с помощью которых достигается заданное качество системы.

Методы Д. р. САР основываются на решении дифференц. ур-ний, на изучении поведения систем по их частотным хар-кам (наиболее широко применяются для линейных систем), на изучении распределения нулей и полюсов передаточной ф-ции системы и др. Для нелинейных систем Д. р. значительно усложняется и обычно ограничивается определением периодич. режимов и их устойчивости. При нелинейных системах 2—3-го порядка применяется метод фазовой плоскости, при высшем порядке — приближенные методы (гармонич. баланса и малого параметра). Д. р. систем, работающих при случайных воздействиях, состоит в нахождении среднеквадратич. ошибки, характеризующей динамич. точность системы, и в определении оптимальной передат. ф-ции системы, исходя из минимума среднеквадратич. ошибки.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Попов Е. П., Пальтов И. П., Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем, М., 1960.

О. И. Ларичев.

ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ (dynamic behavior; régime dynamique; dynamischer Betrieb) — режим, в к-ром осн. состоянием САР является неустановившееся. Выходная координата системы при Д. р. является изменяющейся ф-цией времени, т. е. имеет отличную от нуля первую производную. САР находится в Д. р., когда на ее вход поступают воздействия, непрерывно изменяющиеся во времени, или имеется последовательность определенных воздействий, вызывающая в ней ряд переходных процессов. Методы исследования поведения систем в Д. р. разработаны достаточно полно лишь для линейных САР. В этом случае для определения состояния системы в любой момент времени при входном воздействии, известном во все предыдущие моменты, достаточно знать дифференц. ур-ние или полностью описывающую поведение системы передаточную ф-цию, или импульсную переходную ф-цию.

Если на вход САР поступает к-л. воздействие (определенная ф-ция времени), то движение ее складывается из собственного движения и из реакции на входное воздействие. Переходный процесс представляет собой только собственное движение системы и зависит от нач. условий. Собственное движение устойчивой САР с течением времени затухает, и она переходит в установившееся состояние или в установившееся движение. Напр., если на вход линейной системы подать гармонич. воздействие определенной частоты, то движение ее будет состоять из затухающего переходного процесса и гармонич. колебаний той же частоты.

Если входное воздействие является случайной ф-цией времени, то состояние системы определяется различными вероятностными хар-ками: математич. ожиданием, среднеквадратичной ошибкой и пр. Если входное воздействие и система стационарны, то математич.

ожидание выходной величины и среднеквадратичная ошибка стремятся к нек-рым установленным значениям. Л. П. Сысоев.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ, динамическое планирование (dynamic programming; programmation dynamique; dynamische Programmierung), — раздел математики, занимающийся вопросами оптимального многошагового управления. Под оптимальным управлением (или оптимальным поведением) понимается такое управление, к-рое доставляет экстремальное (наибольшее или наименьшее) значение нек-рой числовой хар-ке управляемого процесса — целевой функции процесса. Многошаговость управления означает, что оно разбивается на ряд последоват. шагов, соответствующих различным моментам времени или же отражающих многоступенчатую структуру процесса.

Примеры задач, к к-рым приложимы методы Д. п.: 1) энергосистема состоит из теплостанции (неогранич. мощности) и гидростанции. Известен спрос на электроэнергию и поступление воды в водохранилище гидростанции в течение года. Требуется определить такой порядок расходования воды на производство электроэнергии, при к-ром затраты на топливо были бы минимальными; 2) найти оптим. размеры ступеней многоступенчатой ракеты; 3) задан рельеф местности и трасса проектируемого ж.-д. пути. Требуется выбрать профиль пути, при к-ром затраты на строительство были бы минимальными.

Как правило, явное решение задач с помощью методов Д. п. чрезвычайно громоздко, поэтому в Д. п. осн. внимание уделяется методам числ. решения и изучению свойств и структуры решения, к-рые могут быть использованы для сокращения вычислений. Д. п. входит в число математич. средств, используемых в исследовании операций. Большую роль в развитии Д. п. сыграл амер. математик Р. Беллман.

Методы Д. п. применимы к широкому классу задач оптим. управления, возникающих в технике, экономике и т. д., а также ко многим задачам оптим. выбора параметров многоступенчатого технологич. процесса и к ряду математич. задач на экстремум. Трудность задач многошагового управления объясняется тем, что в них требуется определить большое число взаимосвязанных параметров. Поэтому усилия направляются на то, чтобы свести одну сложную задачу оптим. управления к большому числу значительно более простых задач на экстремум. Один из таких способов дает сформулированный Р. Беллманом принцип оптимальности управления, приложимый к широким классам практич. задач.

Поясним этот принцип на примере. Произ-во нек-рого продукта можно разместить на N заводах, причем, если на i -м заводе продукт производится в количестве s_i , затраты на него равны $\varphi_i(s_i)$. Потребность в продукте равна S . Требуется разместить произ-во так, чтобы суммарные затраты на продукцию были минимальными.

Суммарные затраты равны $\sum_{i=1}^N \varphi_i(s_i) \equiv F(s_1, s_2, \dots, s_N)$. Т. о., нужно определить минимум функции $F(s_1, s_2, \dots, s_N)$ — целевой ф-ции — при условии $s_1 + s_2 + \dots + s_N = S$. Размещение произ-ва на заводах можно рассматривать как динамич. процесс. Сначала определяет-

ся размер произ-ва на 1-м заводе, потом на 2-м и т. д. Предположим, что мы умеем размещать произ-во среди последних k заводов, и выясним, как определить размер произ-ва на предыдущем заводе. Введем вспомогат. ф-цию $f_k(S)$, равную минимуму издержек последних k предприятий при условии, что там размещено произ-во в размере S . Ясно, что

$$f_N(S) = \min F(s_1, s_2, \dots, s_N),$$

т. е. $f_N(S)$ равно искомой величине. Кроме того,

$$f_1(S) = \varphi_N(S) \text{ и } f_k(S) = \min_{0 \leq T \leq S} [\varphi_{N-k+1}(T) + f_{k-1}(S - T)].$$

Эти рекуррентные соотношения позволяют получить через N шагов все ф-ции $f_k(S)$, т. е. найти оптим. размещение произ-ва. В частности, найденная величина $f_N(S)$ есть миним. размер затрат на произ-во S единиц продукции, достигающийся при оптим. размещении.

В общем случае принцип оптимальности может быть сформулирован след. образом: если управление процессом является оптимальным, то оно будет оптимальным и для процесса, остающегося после осуществления первого шага. Результат управления процессом на первом шаге будет начальным состоянием этого оставшегося процесса. Так, в нашем примере принцип оптимальности означает, что размещение произ-ва будет оптимальным в том случае, если при заданном размере произ-ва на первом предприятии размещение оставшегося произ-ва на остальных предприятиях будет оптимальным.

Математич. использование принципа оптимальности заключается в следующем. Пусть имеется процесс, в к-ром управление производится в дискретные моменты времени $0, 1, \dots, N$, и пусть x_k — состояние процесса в момент времени k . Управление процессом заключается в том, что на каждом шаге (k -м) выбирается параметр управления y_k и процесс переходит в новое состояние x_{k+1} , функционально зависящее от x_k и y_k [$x_{k+1} = x_{k+1}(y_k, x_k)$]. Нужно выбрать управление, максимизирующее значение целевой ф-ции процесса, к-рая зависит от последовательности сменяемых состояний $x_0, x_1, \dots, x_N, \dots$ процесса, определяемой начальным состоянием x_0 и выбором параметра управления y_k на каждом шаге. Пусть $F(x_0, x_1, \dots, x_k, \dots) = \sum_n \varphi_n(x_n, y_n)$ — целевая ф-ция, и ф-ции $f_k(x_k)$ определены условием $f_k(x_k) = \max \sum_{n=k}^N \varphi_n(x_n, y_n)$, где \max берется при фиксированном значении x_k по всем возможным последовательностям управляющих параметров. Легко проверить, что выполнено осн. ур-ние Беллмана

$$f_k(x_k) = \max_{y_k} [\varphi_k(x_k, y_k) + f_{k+1}(x_{k+1})].$$

Вспомогат. ф-ции $f_k(x_k)$ аналогичны ф-циям $f_k(S)$, имевшимся в примере. Суть метода Д. п. заключается в том, что сначала определяются все ф-ции $f_k(x_k)$, а затем последовательно находят из осн. ур-ния параметры управления y_0, y_1, \dots . Отыскание ф-ций $f_k(x_k)$ может выполняться итерацион. методом [1, 2]. Для процесса с конечным числом шагов осн. ур-ние позволяет находить искомые ф-ции, начиная с последней: $f_N(x_N), f_{N-1}(x_{N-1}), \dots, f_0(x_0)$. При этом последнее состояние x_N процесса может

быть заранее задано [2]. Исследованы также случаи, когда смена состояний процесса происходит непрерывно во времени и когда управление определяет лишь вероятность перехода процесса в различные состояния, т. е. процессы со случайными помехами [1,4]. Важным классом последних являются т. н. процессы запасаения, где возникают задачи об оптим. регулировании запасов при случайном спросе и об оптим. использовании сырья, поступающего случайно (пример такой задачи: оптим. использование воды, поступающей в водохранилище ГЭС в случайных количествах). Теория запасаения в основном использует методы Д. п. К подобным задачам приводит также статистических решений теории.

Лит.: 1) Беллман Р., Динамическое программирование, пер. с англ., М., 1960; 2) Шрейдер Ю. А., Задача динамического планирования и автоматы, в сб.: Проблемы кибернетики, вып. 5, М., 1961; 3) Математическая теория оптимальных процессов, М., 1961; 4) Arrow K. J., Karlin S., Scarf H., Studies in the mathematical theory of inventory and production, Stanford, 1958; 5) Розензорн Л. Н., Принцип максимума Л. С. Понтрягина в теории оптимальных систем, «АиГ», 1959, т. 20, № 10—12.
И. В. Романовский, Ю. А. Шрейдер.

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ (dynamic balance; équilibre dynamique; dynamisches Gleichgewicht) — состояние объекта или системы, характеризующееся одновременным действием на него факторов, вызывающих в среднем равные и противоположные следствия, мгновенное же состояние отличается от среднего в ту или иную сторону. Однако относительное время отрицат. отклонения равно относительному времени положит. отклонения. Если противоположные факторы являются случайными функциями времени, то Д. р. описывается с помощью стационарной случайной функции времени (в общем случае векторной случайной функцией).

Напр., раскаленный катод диода при отрицат. потенциале на аноде окружен электронным облаком, находящимся в Д. р. с поверхностью катода, поскольку в среднем число электронов, вылетающих с катода, равно числу электронов, поглощаемых катодом из электронного

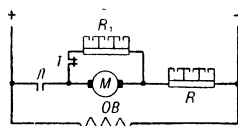


Рис. 1.

облака. Поверхность открытого водного бассейна находится в Д. р., поскольку действие возмущающих факторов (порывы ветра) компенсируется в среднем действием силы тяжести. Равномерное движение самолета, велосипеда, глассера, вертолета основано на Д. р. движущегося объекта с внешней средой, поскольку движение поддерживается за счет баланса в среднем между мощностью, развиваемой двигателем, и сопротивлением среды. Устойчивые САР также можно рассматривать как системы, обеспечивающие состояние Д. р. относительно стабилизируемого параметра. В данном случае устанавливается Д. р. между эффектами возмущающих и управляющих

воздействий, формируемых исполнительным устройством САР.

Р. И. Стаховский.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА (electro drive dynamic braking; freinage dynamique de commande électrique; Gegenstrombremsung elektrischer Antriebe, dynamische Bremsung elektrischer Antriebe) — генераторный режим электродвигателя, при котором запасенная кинетическая энергия преобразуется в электрическую и расходуется в замкнутом контуре, электрически не связанном с сетью. Часть энергии при этом идет на механич. работу, др. часть превращается в тепло в сопротивлениях замкнутого контура. Д. т. э. широко применяется для двигателей как постоянного, так и переменного тока. Динамическое торможение двигателей постоянного тока возможно как при независимом возбуждении (для быстрой и точной остановки механизмов в норм. условиях), так и при самовозбуждении (при авариях, для торможения подъемных устройств). В первом случае торможение двигателей происходит при постоянном и равном номинальном потоке возбуждения. Для динамического торможения двигателя параллельного возбуждения отключается контактор L и замыкается нормальнозамкнутый контакт контактора T (рис. 1). Обмотка возбуждения остается подключенной к сети. Благодаря инерции якоря продолжает вращаться и генерировать эдс, создающую в замкнутом контуре ток, обуславливающий тормозной момент M двигателя, k -ый пропорционален скорости вращения:

$$M = - \frac{C_e \cdot C_M \cdot \Phi^2}{r_{я} + R_T} \cdot n,$$

где C_e и C_M — коэфф., определяемые параметрами двигателя; Φ — магнитный поток двигателя; $r_{я}$ — полное сопротивление якоря; R_T —

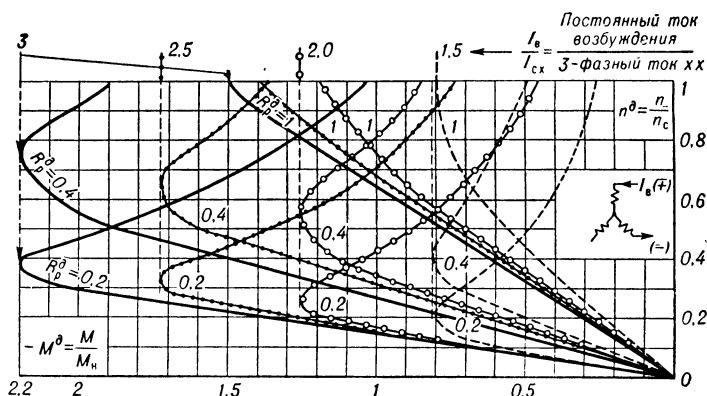


Рис. 2.

сопротивление динамического торможения. Для поддержания эффективности торможения по мере уменьшения скорости двигателя сопротивление R_T уменьшается по ступеням, что достигается автоматически либо в функции времени, либо в функции эдс якоря. Для двигателя последоват. возбуждения при независимом возбуждении механич. хар-ки и расчет сопротивления такие же, как и для двигателя параллельного возбуждения.

При торможении с самовозбуждением обмотка возбуждения двигателя получает питание от якоря двигателя. При этом для двигателя последоват. возбуждения якорь включается последовательно с обмоткой возбуждения че-

рез добавочное сопротивление так, чтобы ток в обмотке возбуждения во избежание размагничивания двигателя сохранил свое первонач. направление. Динамич. торможение двигателей при самовозбуждении менее эффективно, чем при независимом возбуждении из-за уменьшения потока возбуждения по мере снижения скорости якоря. Динамич. торможение двигателей сменного возбуждения применяется как с одной параллельной обмоткой, так и с параллельной и последоват. обмотками вместе. Последний способ требует более сложной аппаратуры и применяется реже.

Динамич. торможение асинхронного двигателя достигается подачей пост. тока в отключенную от сети обмотку статора, к-рая создает неподвижный в пространстве магнитный поток. В обмотках вращающегося в неподвижном магнитном потоке ротора индуцируются эдс, и асинхронный двигатель работает как синхронный генератор. Взаимодействие токов ротора, вызванных этими эдс и неподвижным магнитным потоком, создает тормозной момент. Относит. тормозной момент двигателя:

$$M_d = \frac{M}{M_n} = \frac{2,92}{n_c} (I'_p)^2 \left(\frac{R_p}{n_d} \right),$$

где M_n — номинальный момент двигателя; n_c — синхронная скорость двигателя; I'_p — приведенный к статору ток ротора; R_p — полное активное сопротивление ротора, приведенное к статору; $n_d = n/n_c$ — относит. скорость двигателя.

На рис. 2 даны универсальные механ. хар-ки динамич. торможения для асинхр. двигателей с фазным ротором типа МТ для разных токов возбуждения $I_b = 1,5$; 2; 2,5- и 3-кратного от тока холостого хода $I_{сх}$. С увеличением сопротивления ротора критич. момент двигателя смещается в сторону больших скоростей, не меняя своего значения, поэтому снижение скорости идет более интенсивно. Процесс динамич. торможения синхронного двигателя, обмотка статора к-рого закорачивается на сопротивление при постоянном возбуждении, протекает точно так же, как и асинхронного двигателя.

Лит.: Андреев В. П., Сабинин Ю. А., Основы электропривода, М.—Л., 1956; Вешеневский И. С. Н., Расчет характеристик и сопротивлений для электродвигателей, 3 изд., М.—Л., 1955; Морозов Д. П., Основы электропривода, М.—Л., 1950; Гейлер Л. Б., Электропривод в тяжелом машиностроении, М., 1958. Г. М. Иванов.

ДИНАМОМЕТР (dynamometer; dynamomètre; Dynamometer, Kraftmesser) — прибор для измерения силы или веса с чувствит. элементом в виде упругой детали (напр., пружины), по величине деформации к-рой определяется измеряемая сила. В зависимости от способа измерения упругой деформации могут быть Д. механические, оптич., электрич. и др. Д. применяются при испытаниях машин, при автоматич. взвешивании и дозировании, в лабораторной практике. Механич. Д. имеют стрелочные указатели или регистрирующие устройства, записывающие на бумагу или пленку перем. величину силы (рис. 1). Оптич. Д. имеют скручивающийся упругий элемент с наклеенным зеркалом, перемещающим световой луч на величину, пропорциональную силе.

В электрич. Д. деформация упругого элемента измеряется к-л. электрич. методом.

Имеются Д. с индуктивными, емкостными измерителями деформации, а также с наклеиваемыми проволочными тензодатчиками. В последнем случае Д. могут иметь самые разнообразные конструктивные формы и часто

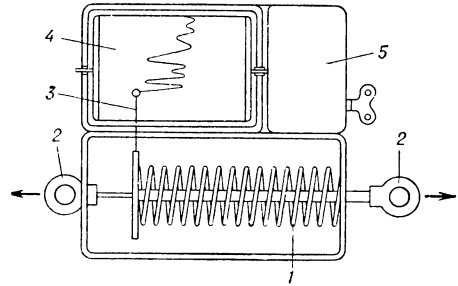


Рис. 1. Механич. самопишущий динамометр: 1 — пружина; 2 — тигровые серги; 3 — карандаш; 4 — барабан; 5 — часовой механизм.

являются деталями исследуемого объекта (прицепные серги, амортизационные пружины). Упругими элементами электрич. Д. служат металлич. кольца (рис. 2, а) или спец. формы стальные элементы (рис. 2, б), а также элементы в виде кубов, полых цилиндров, призм

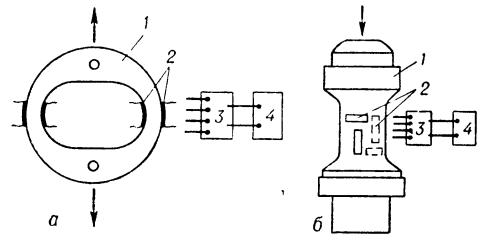


Рис. 2. Электрич. динамометры: 1 — упругий элемент; 2 — проволочные тензодатчики; 3 — электронный усилитель; 4 — осциллограф.

и др. Электрич. Д. пригодны для измерения сил как в статич., так и в динамич. режимах. В первом случае они используются со стрелочными электроизмерит. приборами или автоматич. потенциометрами. Последние иногда снабжаются суммирующими механизмами и печатающими устройствами. Быстропеременные значения измеряемых сил регистрируются осциллографами с электронными усилителями выходных напряжений. Механич. Д. не свободны от трения, влияющего на величину погрешностей. Электрич. Д. полностью могут быть освобождены от трения, что способствует повышению точности измерения (погрешность в 1—2% и менее). Для весоизмерит. Д. такая погрешность оказывается слишком большой, для ее уменьшения применяют тензодатчики повышенной точности, спец. конструкцию и материал упругих элементов, температурную компенсацию и пр. Существуют весоизмерит. установки, погрешность измерения к-рым не превышает 0,1—0,2%. Для определения масштаба измерений все Д. требуют предварит. и последующего периодич. тарирования. По данным тарировки строится график для количеств. определения силы.

Лит.: Выходский А. А., Динамометрирование сельскохозяйственных машин, 2 изд., М., 1954; Маткевич Д. Д., Динамометры с проволочными тензотрами, М., 1955 (Приборы и стенды, тема № 1, № ПС-55-417); Раевский Н. П., Датчики меха-

напряжении. Кривую *Oabcd* наз. эмиссионной хар-кой вакуумного термоэлектронного Д. Катод Д. характеризуется накальной хар-кой — зависимостью тока накала (катода) от напряжения накала U_n (рис. 5).

Электроны, попадающие на анод, отдают ему свою кинетич. энергию, вызывающую нагревание анода. Выделенная на аноде мощность равна произведению анодного напряжения и анодного тока. Кроме того, анод дополнительно нагревается за счет мощности, излучаемой накаленным катодом.

К параметрам Д. также относятся: а) сопротивление перем. току (дифференц. между-электродное сопротивление), определяемое как производная анодного напряжения по анодному току, и б) крутизна, определяемая как производная анодного тока по анодному напряжению (выражается в ma/v). На высоких частотах существенное значение приобретают величина емкости между анодом и катодом Д. и индуктивности этих электродов и их выводов.

В Д. применяются оксидные катоды — чистый никель и никель с присадками, покрытые оксидами щелочноземельных металлов, а также катоды из тугоплавких металлов (вольфрама, торированного вольфрама и др.). При этом используются катоды прямого и косвенного накала (подогрешные). Напряжение накала обычно составляет неск. v . Анод выполняется из блестящего или черного никеля, анодированного железа, молибдена, тантала и др. тугоплавких металлов. Оболочка лампы бывает стеклянной, керамической или металлической (стальной, феррохромовой, коваровой, медной и др.); вакуум в оболочке обычно составляет 10^{-5} — 10^{-9} $mm\ pt. st.$ Для повышения и поддержания высокого вакуума применяются различные газопоглотители. Д. может являться частью комбинированных ламп, напр. диод-триод, диод-пентод и др.

Лит.: В л а с о в В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Ц а р е в Б. М., Расчет и конструирование электронных ламп, 2 изд., М.—Л., 1961; Т я г у н о в Г. А., Электровакuumные и полупроводниковые приборы, М.—Л., 1962; Электровакuumные приборы. Справочник, М.—Л., 1956.

А. Г. Александров.

ДИОД ГЕРМАНИЕВЫЙ (germanium diode; diode au germanium; Germaniumdiode) — ПП диод, изготовленный на основе Ge. Точечный Д. г. (рис. 1) состоит из корпуса 1, иглодержателя 2, иглы 3, кристалла Ge электронного типа проводимости; 4 — кристаллодержатель; 5 — выводы.

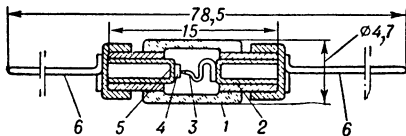


Рис. 1. Точечный германиевый диод типа Д2: 1 — корпус из изоляц. материала; 2 — иглодержатель; 3 — игла; 4 — кристалл Ge электронного типа проводимости; 5 — кристаллодержатель; 6 — выводы.

проводимости 4, кристаллодержателя 5 и выводов 6. Оsn. элементом является контакт острия иглы и поверхности кристалла. Стабилизация электрич. свойств таких контактов осуществляется электрич. формовкой — пропусканием через диод одного или неск. импульсов электрич. тока в прямом направлении. Во время формовки приконтактная область Ge подвергается термич. обработке и становится p -типа проводимости, в результате возникает

n — p -переход. Формовка приводит к повышению допустимого обратного напряжения и увеличению прямого сопротивления. Д. г. предназначены для использования в диапазоне частот до 150 $Mgц$, при темп-рах окружающей среды от -60° до $+50^\circ$, в качестве детекторов, преобразователей частоты и т. д. Оsn. параметры точечных Д. г. типа Д2А—Д2Ж: ср. значение выпрямленного тока 8—50 ma ; прямой ток при напряжении 1 v 2—50 ma ; обратное напряжение не менее 7 v (до 150 v), при этом обратный ток 0,1—0,25 ma .

Произ-во плоскостных Д. г. осуществляется в основном методом сплавления In с Ge n -типа проводимости. Кристалл Ge и находящийся с ним в контакте штабик In нагреваются в атмосфере очищенного водорода до темп-ры 500—550°. При нагревании In растворяет Ge ; при охлаждении из расплава выпадает твердая фаза, содержащая 10^{18} — 10^{19} атомов In в 1 cm^3 , образующая рекристаллизованный слой Ge p -типа проводимости. На границе этого слоя и исходного Ge создается n — p -переход. Омич. контакт с противоположной стороной пластинки Ge производится сплавлением Ge с Sn , содержащим *доноры* — элементы V группы (напр., Sb , As). Пластика Ge припаивается к кристаллодержателю; к In припаивается контактный усик; диод подвергается химич. травлению, сушке и герметизируется в корпусе.

В отличие от точечных Д. г., теоретич. расчет к-рых позволяет предсказать лишь качеств. зависимости, теория плоскостных Д. г. позволяет рассчитать оsn. параметры: обратный ток, пробивное напряжение, емкость. В сплавных Д. г. проводимость области p -типа значительно выше проводимости области n -типа; для нек-рых диодов отношение проводимостей составляет 10^4 — 10^5 . Практически все параметры Д. г. определяются свойствами исходного Ge . Пробой сплавных Д. г. при удельном сопротивлении исходного Ge в десятки доли $ом \cdot см$ определяется туннельным механизмом и рассчитывается по ф-ле $U_z = 99Q_n + 48Q_p$, где U_z — напряжение зинерского пробоя, Q_n , Q_p — удельное сопротивление областей соответственно n и p -типа проводимости. При большем значении удельного сопротивления пробой обусловлен возникновением лавинного умножения носителей тока, и напряжение пробоя электронного и дырочного ПП соответственно определяется эмпирич. ф-лами: $U_n = 83,4Q_n^{0,61}$ или $U_p = 52Q_p^{0,61}$, где Q_b — удельное сопротивление базы. Рабочее напряжение плоскостных Д. г. при комнатной темп-ре составляет обычно 0,5—0,7 $U_{n(p)}$. Обратный ток Д. г. в рабочем диапазоне напряжений обусловлен в основном термич. генерацией дырок в Ge n -типа прово-

димости и определяется ф-лой $I_s = \frac{qD_p p_0}{L_p} \cdot A$, где q — заряд электрона; D_p — коэфф. диффузии дырок; L_p — эффективная длина диффузии дырок; p_0 — равновесная концентрация дырок; A — площадь n — p -перехода.

Ур-ние вольт-амперной хар-ки сплавных Д. г.: $I = I_s (e^{q(U-IR)/kT} - 1)$, где I — ток через диод; k — постоянная Больцмана; T — абс. темп-ра; U — приложенное к диоду напряжение ($U > 0$ — прямое напряжение, $U < 0$ — обратное напряжение); R — последоват. сопротивление в диоде. Зарядная емкость при обратном напряжении совпадает с емкостью n — p -перехода и выражается формулой $C = A \times$

$\times \left(\frac{e}{2\mu_p (p_p + b_{pn}) (e_k - U)} \right)^{1/2}$, где e — диэлектрич. постоянная Ge, $b = \mu_n / \mu_p$ (μ_n и μ_p — подвижность электронов и дырок соответственно), Φ_k — контактная разность потенциалов между дырочным и электронным Ge. Плоскостные

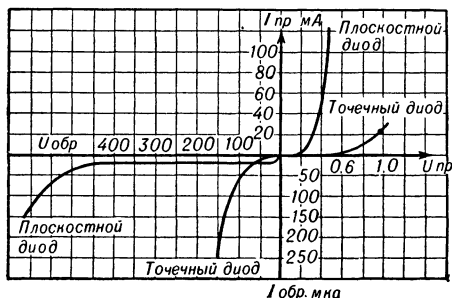


Рис. 2. Типовые вольт-амперные хар-ки точечного и плоскостного германиевых диодов.

Д. г. используются при частотах до 50 кГц при темп-ре окружающей среды от -50° до $+70^\circ$ как выпрямители перем. тока. Типовые вольт-амперные хар-ки диодов приведены на рис. 2.

А. С. Добкин.

ДИОД ДВОЙНОЙ (twin diode, double diode; duo-diode, Doppeldiode, Duodiode, Doppelzwei-pole) — комбинированный электронный прибор, представляющий собой сочетание 2 диодов в одной оболочке. Применяется для детектирования электрич. сигналов, автоматич. регулировки усиления (громкости) радиоприемников и выпрямления перем. тока (см. *Кенотрон*). Часто Д. д. является частью комбинированной приемно-усилит. электронной лампы, напр. Д. д.-триод, Д. д.-пентод и др. В этих случаях аноды Д. д. выполняются в виде узких колец, охватывающих конец общего подогревного катода.

А. Г. Александров.

ДИОД КРЕМНИЕВЫЙ (silicon diode; diode à cristal de silicium, diode au silicium; Siliziumdiode) — ПП диод, изготовленный на основе кремния. Вследствие большей ширины запрещенной зоны кремния, сравнительно с германием, Д. к. работает при более высокой темп-ре, имеет меньший обратный ток, большее обратное напряжение, но большее прямое падение напряжения по сравнению с диодом германиевым. Д. к. делятся на 2 осн. класса: точечные и плоскостные.

Точечные Д. к. изготавливаются по такой же технологии, что и германиевые и используются в диапазоне частот до 600 МГц , напряжений до 150 в, токов до 100 мА , при темп-рах от -60° до $+150^\circ$. Оформление — металлостеклянное с гибкими выводами. Применяются в качестве детекторов, в схемах модуляторов, преобразователей частоты и т. д. Особую группу составляют СВЧ точечные Д. к., изготовленные на основе сильнолегированных кремниевых пленок, работающие на частотах до десятков тысяч МГц , при напряжениях до 3—5 в, токах до 10 мА , при тех же темп-рах. Оформление — металлокерамическое, могут включаться в коаксиальные и волноводные линии. Применяются СВЧ точечные Д. к. в качестве смесителей, видеодетекторов, измерит. детекторов и т. д., на мощностях порядка мВт . Уровень шумов — неск. дБ .

Плоскостные Д. к. по принципу действия не отличаются от германиевых и могут изготавливаться методами: сплавления, диффузии, вытягивания. Чаще применяют комбинированный метод сплавления и диффузии. Основой служит кремний электронной проводимости, на него кладутся листок алюминиевой фольги и кристалл кремния дырочной проводимости, после чего вся сборка нагревается в вакуумной печи до сплавления (600 — 700°), с последующей диффузией алюминия в кристалл кремния электронной проводимости при высокой темп-ре, для получения широкого высоковольтного электронно-дырочного перехода. *Контакты омические* к полученной структуре изготавливаются путем последоват. электролитич. осаждения никеля и золота. Кристалл с контактами подвергается хим. травлению, сушке, покрывается лаком и впаивается в герметичный корпус. Максимально допустимое напряжение определяется удельным сопротивлением исходного кремния электронного типа проводимости:

$$U = 80q_0^{0.75}$$

и может доходить до 1500—2000 в, далее наступает пробой по поверхности.

Обратный ток Д. к. определяется по ф-ле:

$$I_{обр} = C e^{-\frac{\Delta E}{kT}},$$

где C — постоянная, зависящая от свойств исходного кремния; ΔE — ширина запрещ. зоны = 1,12 эв, k — постоянная Больцмана; T — абсолютная темп-ра ($^\circ\text{K}$).

Обратный ток Д. к. растет с темп-рой примерно вдвое на каждые 10° ; для маломощных Д. к. на выпрямленные токи 100 мА и напряжения 100—200 в составляет 1—10 мкА .

Прямой ток через Д. к. определяется по ф-ле:

$$I_{пр} = A e^{-\frac{\Delta E - qU}{kT}},$$

где A — постоянная, зависящая от свойств исходного кремния; q — заряд электрона $1,6 \times 10^{-19}$ К ; U — приложенное прямое напряжение (в).

При рабочих плотностях тока (50 — 100 а/см^2) $U \approx \Delta E$ и не зависит от темп-ры. Плоскостные Д. к. применяются на частотах до 50 кГц , в диапазоне темп-р -60° — $+150^\circ$, напряжение до 1500—2000 в, токи — до 1000 а , при прямых падениях напряжения 1—1,5 в. Осн. применение — в схемах выпрямления, причем для расширения диапазона напряжений и токов отдельные Д. к. могут соединяться в группы последовательно и параллельно с применением выравнивающих элементов (R и C). Особенностью выпрямителей с Д. к. являются, с одной стороны, высокий кпд (до 98—99%), с другой — малая перегрузочная способность по напряжению и току из-за близости рабочего напряжения к пробивному ($U_{раб.} \approx 0,7 U_{проб}$) и малой тепловой инерции электронно-дырочного перехода. Вследствие последней причины защита Д. к. плавкими предохранителями малоэффективна, и обычно применяются быстродействующие электромагнитные автоматы защиты от перегрузок.

Особую группу плоскостных Д. к. представляют ПП приборы: СВЧ, опорные — для стабилизации напряжения; диоды туннельные —

для усиления и генерации электрич. колебаний вплоть до СВЧ; *диоды параметрические* — для усиления и генерации электрич. СВЧ колебаний; *вариаканы* — нелинейные емкости, изготавливаемые на основе кремниевого электронно-дырочного перехода; кремниевые *диоды управляемые* — для схем релаксационных генераторов на частотах до неск. МГц; четырехслойные Д. к. — применяются в схемах усилителей, релаксационных генераторов, управляемых выпрямителей на частотах до неск. МГц; *фотодиоды* кремниевые — применяются в качестве фотодетекторов. Кремниевые «солнечные» элементы (см. *Солнечная батарея*) — применяются в качестве источников энергии, преобразующих световую энергию в электрическую.

Лит.: Кремниевые выпрямители. Сб. пер. ст., под ред. В. Г. Комара, М. — Л., 1960. А. М. Шумов.

ДИОД ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ (parametric diode; diode paramétrique, diode à capacité variable; Parametrischer Diodenverstärker) — III диод для усиления электромагнитных колебаний на основе зависимости емкости $n-p$ -перехода от приложенного к нему напряжения. При подаче на Д. п. пост. напряжения смещения U_0 и достаточно большого перемен. напряжения U_2 с частотой 2ω (напряжение «накачки») ширина запирающего слоя будет практически безынерционно изменяться в такт колебаниям U_2 . Поэтому емкость $n-p$ -перехода (см. *Электронно-дырочный переход*) будет совершать колебания с частотой 2ω вокруг ср. значения C_0 . Если включить такую перемен. емкость в контур, настроенный на частоту $\omega \approx \approx \omega$, и подать на нее весьма слабое напряжение сигнала на частоте ω , в контуре будет происходить нарастание колебаний сигнала. С энергетич. точки зрения этот результат легко понять на примере скачкообразного изменения емкости во времени. При благоприятных фазовых соотношениях всякий раз, когда емкость уменьшается (рис. 1), на ней есть заряд, и для увеличения ширины запирающего слоя приходится совершать работу, приводящую к росту электрич. энергии контура. Работа совершается за счет энергии источника накачки. Всякий раз, когда емкость увеличивается, она разряжена, и уменьшение ширины запирающего слоя происходит без возвращения

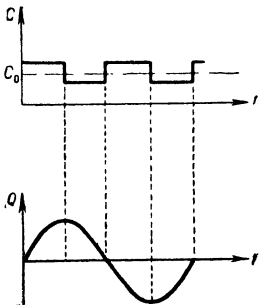


Рис. 1.

Рис. 1. График изменения заряда и емкости параметрич. диода.

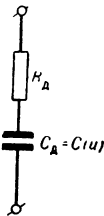


Рис. 2.

Рис. 2. Эквивалентная схема параметрич. диода.

энергии контура источнику накачки. В реальном контуре при наличии нек-рого сопротивления потерь R колебания сигнала не нарастают вовсе либо нарастают неограниченно. Первое имеет место, если R больше, а второе —

если R меньше нек-рой критич. величины $m/2\omega C_0$. Величина m характеризует «глубину» изменения емкости и наз. коэфф. модуляции. Эквивалентная схема Д. п. состоит из емкости C_d и сопротивления потерь R_d (рис. 2). Наличие последнего связано с тем, что в диоде между $n-p$ -переходом и металлич. контактами неизбежно имеются области III с конечной проводимостью. Т. к. сопротивление потерь контура, нагруженного Д. п., не может быть меньше сопротивления Д. п., он может быть использован в параметрич. усилителе только, если $R_d < m/2\omega C_0$, т. е. если добротность диода $Q = 1/\omega C_d R_d > 2/m$. Это требование диктует необходимость создания спец. диодов с высокой добротностью и большим коэфф. модуляции. Последний определяется характером распределения примесей вблизи $n-p$ -перехода и модуляцией напряжения на диоде $M = U_2/(U_0 + U_2)$, где ϕ — контактная разность потенциалов на переходе.

Типовые зависимости величины m от модуляции напряжения на диоде M приведены на рис. 3. Они построены для 2 наиболее распространенных типов переходов: со скачкообраз-

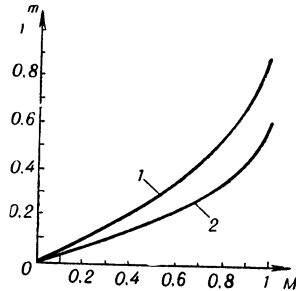


Рис. 3.

Рис. 3. Зависимость коэфф. модуляции m от глубины модуляции напряжения M параметрич. диода.

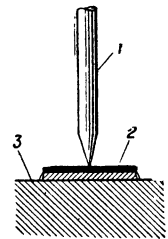


Рис. 4.

Рис. 4. Точечный параметрич. диод: 1 — металлич. острое (электрод); 2 — полупроводник; 3 — металлич. основание (электрод).

ным изменением концентрации примесей 1 и с пост. градиентом концентрации 2. Для этих 2 случаев величина m отличается не более чем на 30—35%. В связи с этим осн. проблемой является увеличение добротности Q_d . По методам ее разделения Д. п. могут быть разделены на 2 класса: *точечные* (точечные прижимные и точечносварные) и *столбовой базой*. Точечный диод состоит из 2 металлич. электродов (рис. 4), находящихся в контакте с III. Один электрод — металлич. основание, к к-рому припаивается кристалл III. Другим электродом служит металлич. острое либо соприкасающееся со свободной поверхностью III, либо приваренное к ней коротким импульсом тока; $n-p$ -переход, образовавшийся под острием, имеет площадь, близкую к площади контакта. Т. о., в точечном диоде имеется возможность получения переходов весьма малого диаметра d . Это позволяет даже при большой толщине кристалла III получать диоды с высокой добротностью, т. к. емкость перехода пропорциональна d^2 , а сопротивление обратно пропорционально d . В диодах с тонкой базой увеличение добротности осуществляется за счет уменьшения толщины слоя III, разделяющего $n-p$ -переход и область

высокой проводимости (металл или сильно легированный ПП). Структура диода с тонкой базой показана на рис. 5. Подобные Д. п. отличаются от точечных более совершенной структурой $n-p$ -перехода, что позволяет получать в них значительно меньшие обратные токи, большие пробивные напряжения; он имеет большую мощность, рассеиваемую на переходе и, следовательно, большую устойчивость к электрич. перегрузкам; механически он более прочен. Однако в этих Д. п. сложнее получить малые емкости переходов.

Д. п. обычно заключается в металло-керамич. корпус (рис. 6), состоящий из 2 металлич. ниппелей, разделенных керамич. втулкой.

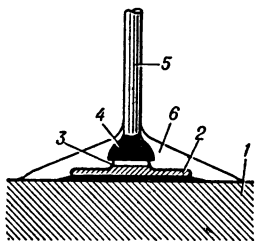


Рис. 5.

Рис. 5. Параметрич. диод с тонкой базой: 1 — металлич. основание (электрод); 2 — полупроводник; 3 — $n-p$ -переход; 4 — сплав (в сплавных диодах); 5 — металлич. проволока (электрод); 6 — наполнитель.

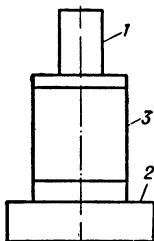


Рис. 6.

Рис. 6. Корпус параметрич. диода: 1 и 2 — металлич. ниппели; 3 — керамич. втулка.

Длина корпуса 6—10 мм, диаметр втулки 3—4 мм.

Для изготовления Д. п. применяются различные ПП. Наибольшее распространение получили Ge, Si и GaAs. Приборы, изготовленные на этих ПП, имеют близкие параметры.

Д. п. применяются для усиления СВЧ и промежуточных частот, а также для умножения и деления частоты в δm - и cm -диапазонах.

Лит.: М а н д е л ь с т а м Л. И., П а п а л е к с и Н. Д., К вопросу о параметрической регенерации, «Изв. электротехн. ин-та слаботока», 1935, № 3, с. 1; П е р ц о в С. В., Параметрические усилители на полупроводниковых диодах, в кн.: Полупроводниковые приборы и их применение. Сб. статей, под ред. Я. А. Федотова, вып. 5, М., 1960.

В. М. Вальд-Перлов.

ДИОД ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ (semiconductor diode; diode à semi-conducteur, diode semi-conductrice; Halbleiterdiode, Kristalldiode) — двухполюсный прибор, основанный на нелинейных свойствах электронно-дырочного перехода в ПП или контакта полупроводник — металл. Большое распространение получили точечные и плоскостные диоды германиевые, диоды кремниевые, диоды туннельные и др. Точечные диоды изготавливаются с прижимным или со сварным контактом (электрич. формовка), плоскостные — методами сплавления (см. Сплавной переход), диффузии примесей, выращивания монокристаллов ПП из расплава, создания эпитаксиальных пленок и т. д. Д. п. предназначены для преобразования, модулирования, детектирования СВЧ колебаний, выпрямления, усиления и т. д. электрич. сигналов в различных радиоэлектронных устройствах. Исследование чувствительности $p-n$ -перехода к различным излучениям привело к созданию фотодиодов и фотоэлементов; наличие зависимости емкости $p-n$ -перехода от приложенного напряжения

позволило создать *варикапы* и *диоды параметрические*; явление лавинного пробоя легло в основу создания опорных диодов (кремниевые стабилизаторы) и т. д.

В отличие от ламповых диодов, где ток в запорном направлении очень мал, обратный ток Д. п. имеет, как правило, заметную величину. Кроме того, допустимое обратное напряжение Д. п. ограничено напряжением пробоя, возникающего вследствие туннельного эффекта в сильном поле, либо лавинного умножения носителей заряда или *теплого пробоя*, обратное напряжение также связано с явлениями на поверхности ПП.

Лит.: Полупроводниковые триоды и диоды, под ред. И. Ф. Николаевского, [справочник], М., 1961. А. С. Добкин.

ДИОД СВЧ (UHF diode; diode pour hyperfréquences; Höchstfrequenzdiode, Ultrahochfrequenzdiode) — ПП диод для детектирования или преобразования частоты в диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн. Д. СВЧ разделяются на видео- и смесительные. Основные области применения первых — радиолокация, радиотелеуправление, радиоастрономия и измерит. техника. Смесит. диоды применяются в радиолокации и др. областях, где они работают в качестве преобразователей частоты в супергетеродинных приемниках СВЧ. Д. СВЧ используются в умножителях частоты как нелинейное сопротивление или нелинейная емкость. Перспективно применение нелинейной емкости диодов для параметрич. усиления (см. Диод параметрический).

Д. СВЧ служат в качестве переключателей. Изменение импеданса диода при изменении напряжения смещения позволяет управлять мощностью в волноводе. Диодные переключатели чрезвычайно просты по конструкции, требуют малой мощности для управления и имеют весьма малое время переключения (неск. нсек и меньше).

Как детектирование, так и преобразование частоты с помощью ПП диода обусловлено нелинейностью вольт-амперной хар-ки диода.

По теории выпрямления $i = i_0 (e^{kT} - 1)$, где q — заряд электрона; k — постоянная Больцмана; T — абс. темп-ра; U — напряжение на диоде. Однако реальные хар-ки отклоняются от этого. В диапазоне СВЧ существенное влияние на работу диода оказывает емкость выпрямляющего контакта. Она шунтирует нелинейное сопротивление запирающего слоя и тем самым уменьшает эффективность диода. В связи с этим Д. СВЧ имеют весьма малую емкость контакта — от неск. сотых до неск. десятых долей $nф$. Представление о Д. СВЧ дает его эквивалентная схема (рис. 1). На СВЧ большое значение имеет согласование импеданса диода с передающей линией (волноводом). Согласование диода в широкой полосе частот также зависит и от конструкции патрона и величины его емкости. В этом отношении наилучшей является коаксиальная конструкция диода (рис. 4, б).

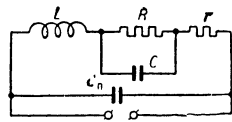


Рис. 1. Эквивалентная схема диода СВЧ: L — индуктивность контактов проволоки; R — нелинейное сопротивление; C — емкость (нелинейная); r — сопротивление объема ПП; C_p — емкость патрона.

Видеодетектор характеризуется чувствительностью по току β , т.е. отношением выпрямленного тока при кз выходной цепи детектора к поглощенной в нем мощности СВЧ, выходным сопротивлением $R_{\text{вых}}$ и шумовой темп-рой $t_{\text{ш}}$. Чувствительность по току на низкой (нулевой) частоте β_0 , определяемая кривизной вольт-амперной хар-ки, теоретически должна достигать $\approx 20 \text{ а/вт}$ (при $T=300^\circ\text{К}$) независимо от положения рабочей точки. В действительности значения β_0 колеблются от неск. единиц до 15 а/вт . Кроме того, β_0 меняется при смещении рабочей точки. На высоких частотах $\beta_\omega = \beta_0 \frac{1}{1 + \frac{\omega^2 C^2 R^2 r}{R+r}}$. Поэтому жела-

тельно уменьшение емкости C и сопротивлений r и R . Это достигается малой площадью контакта и обработкой поверхности кристалла. Выходное сопротивление видеодетектора равно дифференц. сопротивлению в рабочей точке. Это сопротивление определяет макс. выпрямленное напряжение, получаемое при разомкнутой выходной цепи детектора: $U_{\text{хх}} = \beta R P$, где P — поглощенная мощность.

Если видеодетектор работает со смещением, то он является источником шумов, мощность к-рых определяется шумовой темп-рой $t_{\text{ш}}$, равной отношению мощности шумов видеодетектора к мощности теплового шума активного сопротивления, равного R . Изменение тока смещения приводит к изменению шумовой

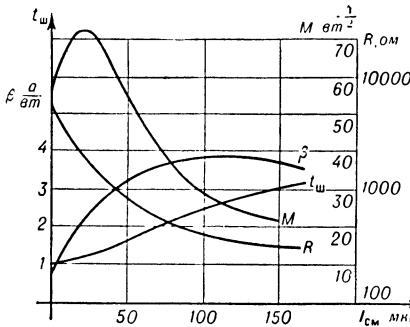


Рис. 2. Зависимость параметров видеодетектора от величины тока смещения.

темп-ры. Чувствительность детекторного приемника зависит от β , R , $t_{\text{ш}}$ и эквивалентного шумового сопротивления видеоусилителя $R_{\text{ш}}$, причем она тем выше, чем больше добротность видеодетектора $M = \frac{\beta R}{\sqrt{R t_{\text{ш}} + R_{\text{ш}}}}$ (рис. 2). Как правило, видеодетектор работает на весьма малом уровне мощности СВЧ ($< 10^{-6} \text{ вт}$).

Смесит. диод характеризуется потерями преобразования L , т.е. отношением мощности сигнала, поглощенной в диоде, к мощности на промежуточной частоте (ПЧ), выходным сопротивлением R и шумовой темп-рой $t_{\text{ш}}$. L уменьшаются с увеличением мощности гетеродина (рис. 3); на высоких частотах они растут вместе с произведением $\omega R C$. Потери преобразования изменяются при условии согласования выходного сопротивления диода со входом УПЧ. Выходное сопротивление смесит. диода представляет собой дифференц. сопротивление, измеряемое на выходе ПЧ в номинальном режиме диода. Шумовая темп-ра есть отношение мощности шумов, выделяющейся на выходе ПЧ в рабочем режиме

диода, к мощности теплового шума активного сопротивления, равного выходному сопротивлению диода. При этом предполагается, что шумы гетеродина подавлены. Шумовая темп-ра растет с увеличением мощности гетеродина (рис. 3). Чувствительность приемника определяется коэфф. шума $F = L (F_{\text{упч}} + t_{\text{ш}} - 1)$,

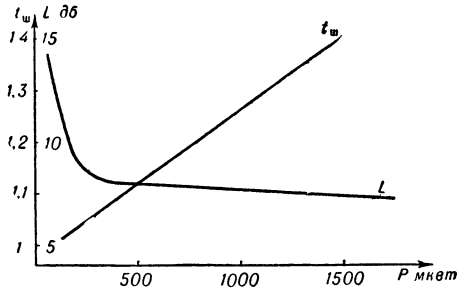


Рис. 3. Зависимость потерь преобразования и шумовой темп-ры от мощности гетеродина.

где $F_{\text{упч}}$ — коэфф. шума УПЧ. Коэфф. шума приемника имеет пологий минимум при мощности гетеродина в интервале $0,5-1 \text{ мвт}$. Для уменьшения коэфф. шума применяют пологит. смещение ($100-150 \text{ мкв}$) и уменьшение мощности гетеродина до $0,3 \text{ мвт}$. Смесит. диод возбуждается гетеродином на уровне мощности $0,3-1 \text{ мвт}$; частота гетеродина отличается от частоты сигнала на величину ПЧ (обычно $30-90 \text{ Мгц}$).

Смесит. диод подвергается воздействию импульсной мощности, просачивающейся через разрядник защиты приемника. Если она превышает определенный предел, в нем наступают необратимые изменения, сопровождаемые возрастанием L и $t_{\text{ш}}$ (выгорание). Наблюдаются также нек-рые обратимые изменения параметров диода сразу после воздействия импульса; эти изменения исчезают в период от неск. сек. до многих мин.

Д. СВЧ изготавливаются в керамич. патроне (рис. 4, а) и коаксиального типа (рис. 4, б). На миллиметровых волнах применяются волноводные конструкции диодов (рис. 4, в). В Д.

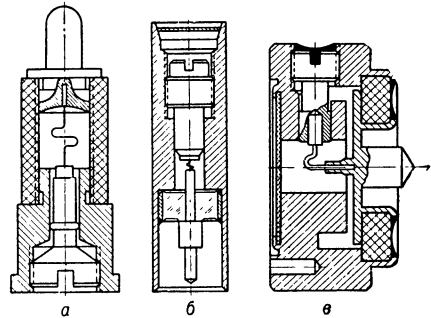


Рис. 4. Диоды СВЧ: а — в керамич., б — в коаксиальном патроне; в — волноводной конструкции.

СВЧ используются кристаллы Si и Ge. С первыми осуществляется прижимной контакт вольфрамовой или молибденовой заостренной проволокой, вторые имеют сварной контакт с платино-родиевой проволокой.

Лит.: Губанов А. И., Теория выпрямляющего действия полупроводников, М., 1956; Овсичер П. И. и Кочкина Н. Н., Справочник по полупроводниковым диодам и триодам, Л., 1961.

Л. С. Либман.

ДИОД ТУННЕЛЬНЫЙ (tunnel diode; diode tunnel, diode à effet tunnel; Tunnel diode) — ПП диод с p - n -переходом, области к-рого вырождены (см. Полупроводник вырожденный); в связи с чем при приложении прямого напряжения осуществляется туннельный переход электронов из n - в p -область. Прямая ветвь вольт-амперной хар-ки имеет участок отрицат. сопротивления. Изобретен в 1958 японским ученым Лео Изаки. При сплавлении сплава In-Ga в сильно легированный Ge n -типа с концентрацией доноров $3-5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ возникает p - n -переход толщиной $\sim 10^{-6} \text{ см}$. Особенности вольт-амперной хар-ки (рис. 1)

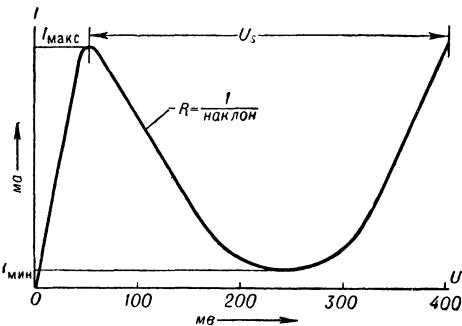


Рис. 1. Вольт-амперная хар-ка туннельного диода.

такого перехода являются весьма высокая проводимость в запирающем направлении и наличие области отрицат. сопротивления в прямом направлении.

Д. т. имеет ряд преимуществ перед другими типами ПП приборов: малые габариты, вес и потребляемая мощность; быстрое действие; низкий уровень шумов ($\sim 6 \text{ дб}$); широкий рабочий диапазон темп-р; относит. нечувствительность к корпускулярным излучениям (до $10^{17} \text{ нейтронов/см}^2$); высокая нелинейность

ных ПП материалов (p - и n -области вырождены). Это означает, что уровень Ферми располагается внутри зоны проводимости в материале n -типа и внутри валентной зоны в материале p -типа. Т. е. при любой темп-ре кристалла по обе стороны p - n -перехода существуют свободные основные носители тока (электроны на n -стороне и дырки на p -стороне).

Энергетич. диаграмма n - p -перехода Д. т. при термодинамич. равновесии дана на рис. 2, а. На диаграмме, кроме границ энергетич. зон, изображены также плотности квантовых состояний. Заштрихованные области обозначают заполненные состояния, белые — свободные. Квантовомеханич. анализ показывает, что при наличии свободных основных носителей тока и при толщине перехода $\sim 10^{-6} \text{ см}$ существует значит. вероятность туннельного прохождения носителей тока через барьер. В условиях термодинамич. равновесия туннельные переходы электронов из p - и n -областей взаимно уравновешены. При приложении напряжения в обратном направлении зоны сдвигаются (рис. 2, б) и протекает большой ток дырок справа налево, чем и объясняется высокая проводимость Д. т. в этом случае. При приложении небольшого положит. напряжения (рис. 2, в) увеличивается электронный туннельный ток слева направо. В этом случае слева будут заполненные уровни зоны проводимости, а справа — свободные уровни валентной зоны. Такое положение энергетич. диаграммы соответствует восходящей ветви вольт-амперной хар-ки в прямом направлении.

При увеличении положит. напряжения (рис. 2, г) туннельный ток уменьшается в результате убывания плотности квантовых состояний в области туннельного механизма. Это соответствует участку отрицат. сопротивления на вольт-амперной хар-ке. Наконец, при дальнейшем увеличении положит. напряжения

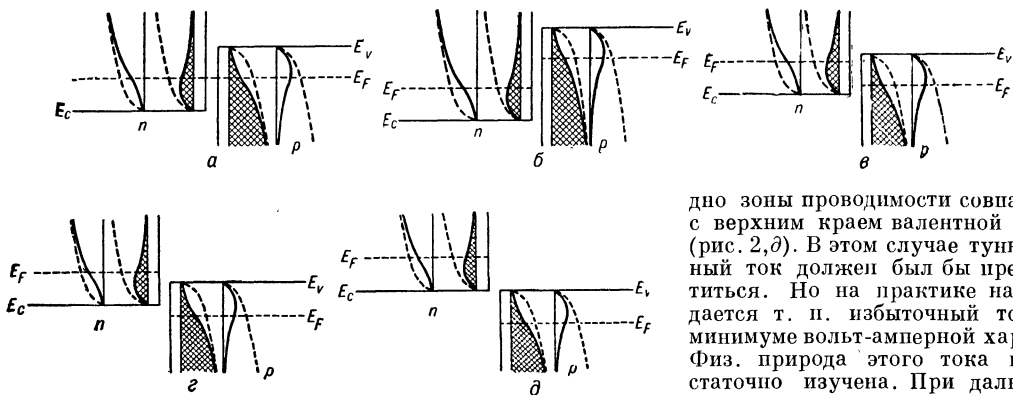


Рис. 2. E_F — уровень Ферми; E_v — граница валентной зоны; E_c — граница зоны проводимости.

хар-ки, что позволяет применять его в гармонич. генераторах, переключателях, умножителях частоты, усилителях и т. д.; перспективность применения в твердых схемах (в молекулярной электронике) в качестве активного элемента. Недостатки: наличие только двух электродов и невозможность управления; трудность стабилизации схем.

Качеств. теория работы Д. т. дана Изаки [2]. Д. т. изготавливается из высоколегирован-

ных ПП материалов (p - и n -области вырождены). Это означает, что уровень Ферми располагается внутри зоны проводимости в материале n -типа и внутри валентной зоны в материале p -типа. Т. е. при любой темп-ре кристалла по обе стороны p - n -перехода существуют свободные основные носители тока (электроны на n -стороне и дырки на p -стороне). Энергетич. диаграмма n - p -перехода Д. т. при термодинамич. равновесии дана на рис. 2, а. На диаграмме, кроме границ энергетич. зон, изображены также плотности квантовых состояний. Заштрихованные области обозначают заполненные состояния, белые — свободные. Квантовомеханич. анализ показывает, что при наличии свободных основных носителей тока и при толщине перехода $\sim 10^{-6} \text{ см}$ существует значит. вероятность туннельного прохождения носителей тока через барьер. В условиях термодинамич. равновесия туннельные переходы электронов из p - и n -областей взаимно уравновешены. При приложении напряжения в обратном направлении зоны сдвигаются (рис. 2, б) и протекает большой ток дырок справа налево, чем и объясняется высокая проводимость Д. т. в этом случае. При приложении небольшого положит. напряжения (рис. 2, в) увеличивается электронный туннельный ток слева направо. В этом случае слева будут заполненные уровни зоны проводимости, а справа — свободные уровни валентной зоны. Такое положение энергетич. диаграммы соответствует восходящей ветви вольт-амперной хар-ки в прямом направлении. При увеличении положит. напряжения (рис. 2, г) туннельный ток уменьшается в результате убывания плотности квантовых состояний в области туннельного механизма. Это соответствует участку отрицат. сопротивления на вольт-амперной хар-ке. Наконец, при дальнейшем увеличении положит. напряжения

хар-ки, что позволяет применять его в гармонич. генераторах, переключателях, умножителях частоты, усилителях и т. д.; перспективность применения в твердых схемах (в молекулярной электронике) в качестве активного элемента. Недостатки: наличие только двух электродов и невозможность управления; трудность стабилизации схем.

Качеств. теория работы Д. т. дана Изаки [2]. Д. т. изготавливается из высоколегирован-

$$I = AZ \int_{E_c}^{E_v} [f_c(E) - f_v(E)] p_c(E) p_v(E) dE,$$

где A — площадь перехода; Z — вероятность

туннельного перехода; $f_c(E)$ — ф-ция распределения Ферми для зоны проводимости; $f_v(E)$ — ф-ция распределения Ферми для валентной зоны; $p_c(E)$, $p_v(E)$ — плотности квантовых состояний в зоне проводимости и валентной зоне соответственно.

Основными материалами для произ-ва Д. т. являются Ge, Si, InSb, GaAs; InAs; их сравнит. хар-ки даны в табл.

Материал	I_{\max}/I_{\min}	U_s (мв)	T_{\max} (°C)
Ge	12	300	200
Si	4	700	300
InSb	10	200	25
GaAs	60	500	400

Смысл первых двух величин ясен из рис. 1.

Лит.: 1) Мадоян С. Г., Тиходеев Ю. С., Трутко А. Ф., Туннельный диод, в сб.: Полупроводниковые приборы и их применение, под ред. Я. А. Федотова, вып. 7, М., 1961; 2) Esaki L., «Phys. Rev.», 1958, ser. 2, v. 109, № 2, p. 603; 3) Lesk I. A. [a. o.], «IRE Wescon. Convent. Rec.», 1959, v. 3, pt 3. А. Ф. Трутко.

ДИОД УПРАВЛЯЕМЫЙ (controlled diode; diode à commande; Regeldiode) — однопереходный плоскостной транзистор, в к-ром ток основных носителей заряда, протекающий между двумя омич. контактами, регулирует эффективную площадь инжекции p - n -перехода (часто этот прибор неправильно наз. двухбазовым диодом). Действие Д. у. основано на модуляции проводимости области ПП материала между эмиттером и базой 1 (см. рис.).

Если на эмиттер подано обратное напряжение, то ток через него мал и распределение потенциала вдоль пластинки ПП будет линейным. При увеличении напряжения на входе прибора (эмиттер — база 1) наступает момент, когда $U_{вх} = U_p$, а $I_{вх} = 0$. Дальнейшее увеличение тока эмиттера приведет к резкому росту инжекции неосновных носителей тока и к перераспределению потенциала вдоль пластинки ПП (экспоненциальная кривая). Если увеличение проводимости происходит резко, то во входной цепи одновременно с увеличением тока падает напряжение, т. е. появляется область отрицат. дифференциального сопротивления. Характер изменения сопротивления между эмиттером и базой 1 связан с движением неосновных носителей тока под влиянием диффузии и электрич. поля. Такой процесс описывается нелинейными ур-ниями, точного решения к-рых еще нет. При определенных допущениях ур-ние вольт-амперной хар-ки входной цепи имеет вид:

Принципиальная схема включения управляемого диода (однопереходного транзистора).

где $U_{вх}$ — входное напряжение; k — постоянная Больцмана; T — абс. темп-ра; q — заряд электрона; b — отношение подвижностей электронов и дырок; $I_{ББ}$ — ток между базами;

$I_{вх}$ — входной ток. Основные параметры Д. у.: $R_{ББ}$ — величина междубазового сопротивления в запертом состоянии; M — коэфф. использования междубазового напряжения — отношение пика напряжения U_p входной хар-ки к величине напряжения между базами; $I_{з0}$ — величина обратного тока эмиттера; $R_{вх}$ — входное сопротивление в открытом состоянии; P_k — допустимая мощность рассеяния, определяемая конструкцией Д. у. Тиратроноподобная входная хар-ка Д. у. позволяет использовать его в большинстве радиосхем.

Достоинство Д. у. — простота использования его в схемах; недостаток — сравнительно низкие частотные свойства, обусловленные тем, что размер области между эмиттером и базой 1 (область резкого изменения концентрации носителей тока) принципиально не может быть сделан малым. А. С. Добкин.

ДИОДНЫЙ ВОЛЬТМЕТР (diode voltmeter; voltmètre à diodes; Diodenvoltmeter) — вольтметр, в к-ром подлежащее измерению перем. напряжение выпрямляется диодом, и амплитуда подведенного напряжения определяется по величине пост. составляющей анодного тока диода, измеряемой магнито-электрич. прибором. Д. в. обладают большим входным сопротивлением и малой входной емкостью, благодаря чему их можно применять при измерении напряжений высоких частот. Подробнее см. Ламповый вольтметр. Р. В. Фельдман.

ДИОДНЫЙ ОГРАНИЧИТЕЛЬ (diode limiter; écrêteur à diode; Diodenbegrenzer) — см. Ограничитель амплитуды.

ДИОДНЫЙ УМНОЖИТЕЛЬ (diode multiplier; multiplicateur à diode; Diodenmultiplizierer, Vervielfacherdiode) — см. Умножитель полупроводниковый.

ДИОДОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЕНИЕ (diode parameters measurement; mesure des constantes des diodes; Diodendatenmessung, Messung der Diodendaten) — измерение статических параметров диодов посредством определения пост. тока, пропускаемого через диод при заданном пост. напряжении (или пост. напряжения при заданном пост. токе). Дифференц. сопротивление диода измеряется при помощи наложения на пост. составляющую тока (напряжения) малой (по сравнению с ней) перем. составляющей и измерения значения составляющих тока и напряжения: $I_{\omega} = E/R_0$; $U_d = I_{\omega} R$; тогда $R = R_0 \cdot \frac{U_0}{U_d}$ (рис. 1).

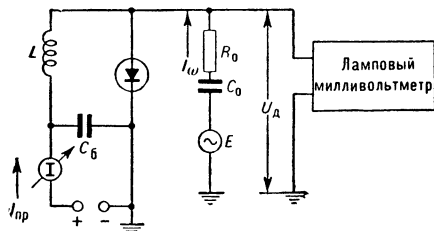


Рис. 1. Измерение дифференц. прямого сопротивления диода: E — эдс на частоте сигнала ω ; $\omega L \gg R$; $1/\omega C_0 \ll \omega L$; $R_0 \gg R$; $1/\omega C_0 \ll R_0$.

При измерении чувствительности диодов по току диод включается в тракт ВЧ при помощи спец. головок (камер) [1]. Мощность ВЧ, поступающая на диод, $P = P_n \left[1 - \left(\frac{p-1}{p+1} \right)^2 \right]$,

где P_n — номинальная мощность в тракте ВЧ, измеряемая согласованным измерителем мощности, подключаемым вместо детекторной головки ($\approx 20 \text{ мкВт}$); q — коэф. стоячей волны в ВЧ тракте при измерении диода. Выпрямл. ток на выходе диода измеряется гальванометром с малым внутр. сопротивлением (напр., гальванометром типа М-95 с $R_{вн} \approx 10 \text{ ом}$).

Измерение потерь преобразования L производится либо непосредственно в схеме приемника (см. *Диодов полупроводниковых параметры*), либо методом амплитудной модуляции сигнала. В этом методе ВЧ генератор согласован со смесителем на уровне местного гетеродина ($\approx 1 \text{ мвт}$). Генератор модулирован по амплитуде низкой частотой Ω . Огибающая модулированного колебания детектируется. Потери преобразования рассчитываются по ф-ле

$$L = \frac{m^2 P_{вч}}{P_{нч}},$$

где $P_{вч}$ — высокочастотная мощность; m — глубина модуляции; $P_{нч}$ — мощность низкой

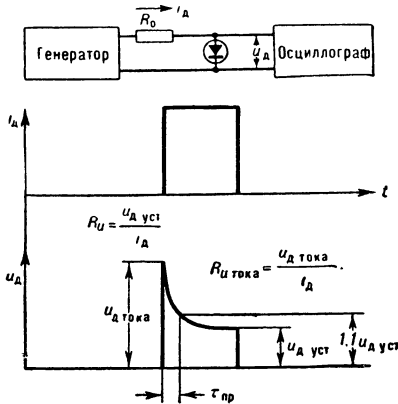


Рис. 2. Измерение импульсного сопротивления, макс. импульсного сопротивления и времени установления прямого сопротивления.

частоты на согласованной нагрузке. Измерение темп-ры шумов и коэфф. шума смесит. диодов производится общепринятыми в радиоиз-

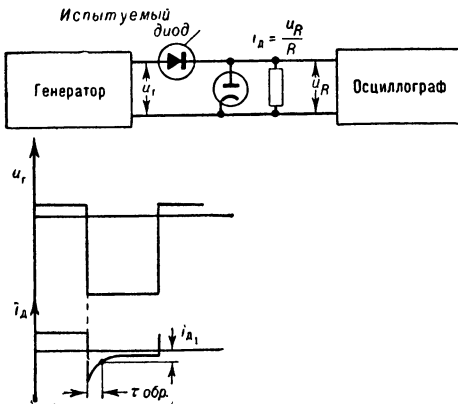


Рис. 3. Измерение времени восстановления обратного сопротивления.

мерит. технике методами (см., напр., [1]). Импульсные параметры диодов измеряются при переключении диода импульсом тока

(напряжения) из закрытого состояния в открытое или наоборот. В первом случае на диод подается импульс тока и осциллографом измеряется напряжение на диоде. Стационарное значение напряжения $U_{дуст}$ определяет импульсное сопротивление, а максимальное $U_{д макс}$ — макс. импульсное сопротивление. По длительности перехода процесса определяется время установления прямого сопротивления $\tau_{пр}$ (рис. 2). Аналогичным образом измеряется время восстановления обратного сопротивления $\tau_{обр}$ (рис. 3). Значение тока $i_{д1}$, до к-рого отсчитывается время, оговаривается технич. условиями на диод.

Лит.: 1) Кристаллические детекторы, под ред. Е. Я. Пумпера, пер. с англ., ч. 2, М., 1950.

Ю. А. Каменецкий.

ДИОДОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПАРАМЕТРЫ [diode characteristics; constantes (paramètres de fonctionnement) des diodes; Diodendaten, Diodenkenngrößen, Diodenkennwert] — количественные хар-ки, описывающие свойства ПП диодов — приборов, преобразующих электрич. сигналы. Статические Д.п.п. — характерные точки на вольт-амперной хар-ке диода: $I_{пр}$ — прямой ток при заданном прямом напряжении на $p-n$ -переходе; $I_{обр}$ — обратный ток перепада при заданном обратном напряжении на $p-n$ -переходе; $U_{проб}$ — пробивное обратное напряжение, при к-ром наступает резкое возрастание обратного тока $I_{обр}$.

Дифференциальные Д.п.п. — отношения приращений малых сигналов в заданной рабочей точке вольт-амперной хар-ки: β_i — чувствительность по току, т. е. отношение выпрямл. тока в короткозамкнутой по НЧ цепи к величине ВЧ мощности, подводимой к диоду; Z (или R) — дифференц. сопротивление в заданной рабочей точке, т. е. отношение приращения напряжения частоты сигнала к приращению тока; L — потери преобразования, т. е. отношение ВЧ мощности на входе диода к мощности промежуточной частоты на выходе при заданном уровне мощности гетеродина; $C_{обр}$ — емкость между выводами диода при приложении к нему обратного напряжения; $F_{ш}$ — коэффициент шума, т. е. параметр, характеризующий чувствительность смесит. детектора, $F_{ш} = L(t_{ш} + F_{ушч} - 1)$, где $F_{ушч}$ — коэфф. шума усилителя промежуточной частоты, $t_{ш}$ — относит. темп-ра шумов; отношение мощности шума детектора к мощности теплового шума идеального сопротивления (при норм. темп-ре), равного выходному сопротивлению детектора (в той же полосе частот); M — добротность, параметр, характеризующий чувствительность видеодетектора в стандартном приемнике, $M = \beta_i R / \sqrt{R t_{ш} + R_{ш}}$, где R — сопротивление детектора в рабочей (нулевой) точке; $R_{ш}$ — эквивалентное шумовое сопротивление стандартного видеоусилителя (обычно принимается равным 1000 ом).

Импульсные Д.п.п. определяют свойства диода как переключателя, имеющего два состояния: открытое и закрытое. Открытое характеризуется импульсным прямым сопротивлением R_i — отношением напряжения на открытом диоде к протекающему прямому току. При переключении из закрытого состояния в открытое R_i устанавливается за определенное время; в первый момент оно значительно превышает свое стационарное значение и равно $R_{и макс}$ — макс. импульсному со-

противлению. Интервал времени между началом протекания через диод прямого тока определенной величины и моментом, когда напряжение на диоде спадает до 1,1 установившегося значения, наз. временем установления прямого сопротивления — $\tau_{пр}$. Интервал времени между моментом переключения напряжения на диоде с прямого на обратное и моментом, когда обратный ток спадает до заданного значения $\tau_{обр}$, наз. временем восстановления обратного сопротивления.

Максимально допустимые Д.п.п. определяют такие значения режимов работы, эксплуатация в к-рых в течение длит. времени приводит к изменению параметров диодов в пределах установленных норм.

Ю. А. Каменецкий.

ДИСКРЕТИЗАЦИЯ, квантование (quantification; quantification, echantillonage; Quantelung, Quantisierung), — преобразование непрерывного множества значений функции или ее аргументов в дискретное множество. Терминология не окончательно установилась: Д. значений ф-ции всегда наз. квантованием, в отношении Д. аргументов единой терминологии нет. Так, Д. по времени (англ. термин — sampling) иногда наз. квантованием по времени. Совокупность дискретных (квантованных) значений ф-ции (или ее аргументов) образует шкалу, а интервал между соседними дискретными значениями — шаг квантования. Различают квантование с равномерной шкалой (т. е. с пост. шагом) и с неравномерной шкалой (т. е. с перем. шагом).

Примером Д. по аргументам может служить образование телевиз. сигнала. Яркость изображения, являющаяся ф-цией трех непрерывных аргументов x , y и t , где x и y — координаты плоскости изображения и t — время, преобразуется в ф-цию двух дискретных аргументов y и t и непрерывного аргумента x , отсчитываемого вдоль строки. Шаг шкалы по y — расстояние между строками, шаг шкалы по t определяется частотой кадров. Д. является обязательной операцией преобразования сигнала при применении цифровой техники. Она позволяет кодировать информацию, содержащуюся в исходном непрерывном сигнале, и передавать ее методами импульсно-кодовой модуляции, хранить в ЗУ с триггерными элементами, вводить в ЭВМ и т. п. Д. по аргументам всегда уменьшает информации количество, содержащееся в исходном непрерывном сигнале. Д. значений ф-ции всегда вводит ошибку, т. к. состоит в замене истинного значения ближайшим дискретным (т. н. разрешенным) значением. В области связи эта ошибка наз. шумом квантования. Однако ошибка, вводимая квантованием, заранее известна — она не превосходит половины шага квантования, выбираемого по нашему усмотрению. Д. по значениям ф-ции выполняется квантуемыми устройствами, имеющими нелинейную (ступенчатую) хар-ку. Д. по аргументу, напр. по времени, сводится к взятию отсчетов ф-ции в заданные шкалой дискретные моменты времени.

Термин «квантование» заимствован из теоретич. физики, где он означает нахождение собств. значений операторов физич. величин, т. е. тех разрешенных значений физич. величин (энергии, импульса, вращат. момента и др.), к-рые может иметь (или обнаруживать при измерении) данная физич. система.

ДИСКРЕТНЫЙ СИГНАЛ (discrete signal; signal discontinu; quantisiertes Signal) — образуется из непрерывного сигнала дискретизацией, т. е. квантованием по времени, по уровню или одновременно по времени и по уровню. При передаче сигнала, квантованного по времени, повышается помехозащищенность, дополнит. квантование по уровню дает возможность повысить точность передачи. Квантование по уровню является нелинейной операцией, по времени — линейной. См. также *Модуляция импульсная*.

Лит.: Цыпкин Я. З., Теория импульсных систем, М., 1958. Р. С. Рутман.

ДИСКРИМИНАТОР (discriminator; discriminateur; Diskriminator) — см. *Детектор частотный*, *Детектор фазовый*, *Временной дискриминатор*.

ДИСКРИМИНАТОР АМПЛИТУДНЫЙ (pulse height discriminator; discriminateur d'amplitude; Amplitudendiskriminator) — см. *Селектор амплитудный*.

ДИСЛОКАЦИЯ в полупроводниках (dislocation in semiconductors; dislocation dans semi-conducteurs; Versetzung in Halbleitern, Kristallbaufehler) — одномерный дефект кристалла, возникающий при смещении атомных плоскостей кристаллич. решетки на величину, равную одному или неск. межатомным расстояниям [атомной плоскостью (поверхностью) наз. плоскость (поверхность), проходящая через точки размещения атомов (узлы) кристалла]. Простейшими являются краевая и винтовая Д. Первая образуется краем атомной плоскости, оканчивающейся внутри кристалла (рис. 1), вторая возникает

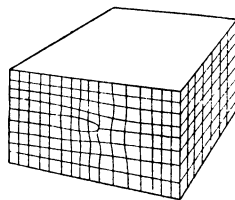


Рис. 1. Краевая дислокация.

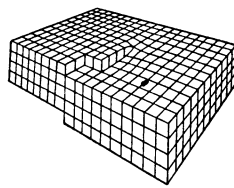


Рис. 2. Винтовая дислокация.

при смещении первоначально параллельных атомных слоев, образующих одну винтообразную атомную поверхность (рис. 2). Область, в к-рой нарушение структуры кристалла значительно, имеет поперечный размер, равный прибл. 5 межатомным расстояниям и наз. линией Д. Высокая пластичность металлов обуславливается Д. Это объясняется тем, что при пластич. деформации смещение атомных слоев друг относительно друга происходит не по всей плоскости сдвига одновременно, а охватывает малую область в пределах Д., к-рая движется по этой плоскости. В результате сдвиг происходит при напряжениях на неск. порядков меньше тех, к-рые предсказывает теория для идеального кристалла. С помощью механизма Д. удается объяснить рост кристаллов при малых пересечениях и, в частности, рост кристаллов из газовой фазы.

Д. в ПП, как правило, нежелательны. Они обуславливают неоднородность фронтов плавления донорных и акцепторных элементов, вызывают избират. сегрегацию вредных примесей (напр., меди), влияют на рекомбинацию в объеме ПП. Получение бездислокационных монокристаллов — одна из задач ПП метал-

лургии. Способность Д. захватывать и накапливать атомы меди в Ge используется для создания т. н. «конверсионных» германиевых ПП приборов (см. *Диффузия примесей в ПП, Термообработка ПП*).

Лит.: Коттрелл А. Х., Дислокации и пластическое течение в кристаллах, пер. с англ., М., 1958; Варма А., Рост кристаллов и дислокации, пер. с англ., М., 1958.

Ф. Н. Терехов.

ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ (dispatching; dispatching; Dispatcherdienst) — централизация (концентрация) оперативного контроля и управления производственным процессом. Целью Д. является обеспечение согласованной работы отдельных звеньев пр-тия или группы пр-тий, направленное на достижение наивысших технико-экономич. показателей, выполнение графиков работы и производств. программы. Д. представляет собой комплекс организационно-технич. мероприятий, объем и уровень к-рых зависит от характера производств. процесса, степени оснащенности его машинами и механизмами, уровня автоматизации, от структуры управления пр-тием и от рациональности использования в управлении данным процессом технич. средств Д. Структура Д., объем контроля и управления, использование технич. средств Д. обосновываются технически и экономически. Эффективность Д. определяется не только сокращением затрат человек. труда в процессе управления. Концентрация данных контроля и управления, использование для определения качеств. показателей автоматич. устройств, быстродействие к-рых значительно превышает возможности человека, возможность выявления технико-экономич. показателей в ходе процесса и немедленной его оптимизации по этим показателям, позволяют создать принципиально новые процессы, осуществление к-рых при децентрализованном контроле и управлении невозможно.

Д. охватывает не только контроль и управление технологич. процессами произ-ва, но и оперативное планирование, распределение материальных и энергетич. ресурсов, транспортных средств, учет работы машин, механизмов и др. области деятельности.

В табл. для примера приведены виды дис-

петчерского контроля на машиностроит. заводе.

На диспетчерский пункт в общем случае поступает информация, необходимая для определения технико-экономич. показателей процесса, а также характеризующая состояние основного оборудования, возможность оптимизации процесса в зависимости от качества поступающего сырья и его запасов, энергетич. ресурсов, потребностей в конечном продукте и т. п.

Простейшие формы диспетчерской службы охватывают организац. деятельность пр-тий; при этом Д. осуществляется с помощью телефонной связи диспетчера с объектами. Спец. устройства диспетчерской телефонной связи позволяют диспетчеру осуществлять не только двухстороннюю связь с объектом, но также проводить циркулярные передачи и диспетчерские совещания, во время к-рых участвующие могут передавать сигнал «прошу слова», т. е. осуществлять взаимный обмен информацией. Диспетчеру необходимо иметь устройство, «запоминающее» состояние объекта после очередного получения информации, облегчающее быстрое и правильное принятие решения. Для этого используются mnemonic. схемы, на к-рых условно изображены объекты, а состояние их отмечается вручную или автоматически спец. символами или сигнальными ламповыми устройствами (см. *Информации представление, Щит диспетчерский*).

Устройства для передачи информации позволяют получать с объектов в нужное для диспетчера время информацию по вызову, периодически по заданной программе (автоматич. циклич. опрос), и информацию, поступающую лишь при нарушениях технологич. процесса (аварийная сигнализация). При больших объемах информации диспетчер не в состоянии ее воспринять и сделать необходимые выводы. Работа диспетчера облегчается применением машин, производящих автоматич. циклич. опрос с одновременным сравнением полученных данных с номинальными величинами оперируемых параметров, запоминаемых машиной (см. *Информационная машина*). Вни-

мание диспетчера привлекается при этом, если контролируемая величина отклоняется от нормы. С расширением задач Д. производится не только сбор и обработка информации, поступающей с объектов, но и дистанционное или телеуправление объектами. Наиболее важные условия, определяющие структуру и объем Д.: технические условия, от к-рых зависит бесперебойное ведение процесса; экономич. условия, помогающие достигнению наивысших показателей; условия

Вид контроля	Производство (тип)				
	массовое	крупно-серийное	серийное	мелко-серийное	единичное
Контроль выполнения номенклатурного плана завода	Контроль выпуска изделий со сборки и после испытания			Контроль выполнения заказов в соответствии с цикловым графиком	
	Посменно и по часам в соответствии с установленным ритмом		В соответствии с календарным графиком выпуска		
Контроль межцеховых передач узлов, деталей, заготовок	Контроль за соблюдением установленных стандартных сроков подачи		Проверка соответствия месячному календарному графику подачи		
Контроль за состоянием заделов на межцеховых складах	Подетальный		В комплектах на узел, в групповых комплектах	В комплектах на заказ на узел	
Контроль оперативной подготовки производства	Контроль за подготовкой по особо важным позициям (подготовка инструмента, приспособлений, аварийный ремонт оборудования и т. п.)				
Наблюдение за работой отстающих участков и цехов	Почасовой	Ежедневный	Поэтапный (в отдельных случаях пооперационный)		

безопасности труда и удобства обслуживания. При Д. пр-тия (группы пр-тий) с непрерывным производств. процессом, ход которого и характер взаимосвязи внешних и внутр. факторов могут быть описаны в виде конечного количества закономерностей, в основу может быть положен автоматич. контроль с автоматич. сбором и обработкой информации на логич. устройствах (см. *Автодиспетчер*, *Автоматизация производства*) или *управляющих машинах* и выдача рекомендаций по экономически целесообразному режиму производств. процесса (если при этом технич. уровень оборудования, степень механизации и автоматизации позволяют осуществлять ведение процесса без участия обслуживающего персонала). Для осуществления описанной структуры Д. все звенья пр-тия должны быть полностью автоматизированы и допускать ввод корректирующих сигналов в систему автоматизации (взаимосвязанная система регулирования и управления). Если степень и уровень автоматизации производств. процесса не позволяют использовать управляющие машины или же, если применение логич. управляющих машин для данного пр-тия технически и экономически не оправдано, тогда могут быть выбраны упрощенные схемы Д. В рассмотренных выше схемах контроль и управление пр-тием или группой пр-тий осуществляются из одного пункта, т. е. это схемы с одноступенчатой структурой Д. В более сложных системах Д., когда одноступенчатая структура может оказаться громоздкой, трудновыполнимой, с неоправданно сложной аппаратурой и затрудненным обслуживанием, применяют Д. с двумя или большим числом ступеней управления. При многоступенчатой структуре Д. отдельные части пр-тия или группы пр-тий управляются (обслуживаются) районным или цеховым диспетчером. Деятельность районных диспетчеров, в свою очередь, координируется центральным диспетчером. Как и в случаях одноступенчатой Д., объем информации, поступающей на нижестоящие диспетчерские пункты и на центральный диспетчерский пункт, должен обеспечивать возможность оптимизации процессов в зависимости от качества сырья и его запасов, возможностей отдельных производств. подразделений, энергетич. ресурсов, от потребностей в конечном продукте и т. п. Многоступенчатая Д. может быть создана также на основе полной автоматизации как отдельных подразделений, так и всего комплекса с применением логич. и управляющих машин.

Пример Д. нефти перерабатывающих и хим. предприятий. Совр. пр-тия нефтеперерабатывающей, нефтехимической и хим. промышленности представляют сложный комплекс большого количества крупных производств, связанных единым технологич. потоком. Отдельных производств на совр. нефтехимич. комбинате, работающем на природном сырье, насчитывается более 30—40. Они связаны непрерывным получением сырья с газобензиновых и нефтеперерабатывающих заводов, с заводами по произ-ву синтетич. каучука, хлора, серы и т. п.

Д. строится по схеме: 1) Центральная диспетчерская служба комбината осуществляет координацию работ основных и вспомогат. производств, контроль и управление потоками сырья и готовых продуктов внутри комби-

ната и по внешним связям (на основе информации о параметрах потоков по межпроизводств. коммуникациям и энергоресурсам на вводах в произ-во). 2) Диспетчерские службы заводов, входящих в комбинат, с аналогичными ф-циями, но применительно к объектам завода. 3) Диспетчерские службы цехов обеспечивают поддержание заданных режимов работы на основе контроля и управления параметрами технологич. процесса, качества и количеств. учета сырья и продуктов. 4) Диспетчерские службы помогают цехов и хозяйств, обслуживающих все подразделения комбината (энергоснабжение, водоснабжение, газоснабжение и т. д.), обеспечивают поддержание установленных режимов на вводах к потребителю (основным произ-вам) в норм. и аварийном режиме.

При Д. может быть осуществлена бесцеховая структура. В этом случае технологич. установки объединяются в произ-ва по законности технологич. цикла от сырья до готовой продукции с осуществлением внутри полной автоматизации. Напр., 1) произ-во на базе неперелых углеводородов; 2) произ-во синтетич. волокна и диметилтерефталата; 3) произ-во по переработке природного газа; 4) произ-во получения ароматич. углеводородов и т. д.

Неск. иные задачи стоят при осуществлении Д. пр-тий, производств. процессы к-рых не являются непрерывными. Так, изделия машиностроения состоят, как правило, из многих составных частей, весьма различных по размерам и сложности изготовления. Такое изделие средней сложности, как пишущая машинка, содержит ок. 1 100 различных по наименованию деталей, а повторяющихся—ок. 2 500. При обработке и сборке машинки осуществляется до 12 000 различных операций.

Если учесть, что заводы в большинстве случаев выпускают не одну, а нек. моделей, то ясно, что число различных, но взаимосвязанных операций исчисляется десятками и сотнями тысяч. Операции эти производятся машиной или группой машин с участием и под наблюдением персонала. Задачей организации и управления произ-вом машиностроит. пр-тий является: 1) разработка расписания движения различных заготовок и деталей по рабочим местам и цехам (графики) в процессе их обработки; 2) контроль за строгим соблюдением этих расписаний. Первая задача выполняется плановиками, разрабатывающими нормативно-календарные расчеты, производств. программы и графики, вторая — диспетчерами. Эти задачи могут решаться и автоматически. См. *Автоматизация управленческих работ*.

Л. А. Буковский.

ДИСПЕТЧЕРСКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ (power systems dispatching; dispatching des grands réseaux électriques; Dispatcherzentrale, Lastverteilerwarte) — применение автоматич. устройств, облегчающих диспетчеру управление и контроль режима сложных энергосистем. Д. а. э. осуществляется телемеханич. устройствами, к-рые сигнализируют об изменении состояния устройств, производят телеизмерения величин, характеризующих режим отдельных частей энергосистем, и управляют устройствами.

Телесигнализация идет от важнейших выключателей осн. электр. сети энергосистемы, а также от выключателей круп-

нейших генераторов. Поэтому при аварийных отключениях в осн. сети или при отключениях части генераторов диспетчер немедленно получает автоматич. сигнал (звуковой и световой). Телеизмерения суммарных активных мощностей электростанций системы позволяют диспетчеру непосредственно контролировать выполнение диспетчерских заданий, а также выявлять аварийные сбросы мощности на станциях. Кроме того, диспетчер располагает приборами для ТИ частоты и напряжений важнейших узловых точек энергосистемы. Это обеспечивает контроль за регулированием этих параметров как в нормальных, так и в аварийных условиях. На диспетчерском пункте (ДП) наряду с непрерывными ТИ суммарных активных мощностей, частоты и напряжения иногда предусматривают ТИ «по вызову» токов, напряжений, мощностей, давлений пара и т. п.

Телеуправление обычно применяется для пуска в ход или остановки отдельных агрегатов автоматизиров. ГЭС, позволяя диспетчеру, не тратя времени на переговоры с оперативным персоналом ГЭС, быстро увеличить рабочую мощность энергосистемы. При ликвидации аварий, сопровождающихся отключением мощных котлов, генераторов, электростанций или отдельных электропередач, это помогает быстро восстановить норм. условия работы энергосистемы. Многие ГЭС работают без оперативного персонала, и тогда наиболее целесообразно ТУ их режимом из ДП энергосистемы. В этом случае ТУ охватывает не только пуск или остановку агрегатов, но и регулирование суммарной и реактивной мощности, напряжения и частоты. Диспетчер может включить любой регулятор, ввести под его действие тот или иной агрегат и т. д. ТУ отдельными выключателями позволяет диспетчеру секционировать (в случае необходимости) сеть энергосистемы или, наоборот, соединить разделившиеся части системы (с автоматич. проверкой их синхронизма или без нее) и, т. о., активно участвовать в ликвидации системных аварий, что очень важно с точки зрения снижения ущерба для нар. х-ва.

На ДП в последнее время начинают устанавливаться автоматич. свето-решающие устройства, позволяющие более качественно регулировать режим энергосистемы. Это — устройства для автоматич. расчета экономичного распределения активных мощностей. Они могут работать непрерывно, получая необходимую информацию по телеизмерит. каналам, или по запросу диспетчера. Экономич. распределение при этом определяется с учетом потерь в сетях, что невозможно сделать аналитич. расчетом. В нек-рых зарубежных энергосистемах пытались передавать экономич. директивы, вычисляемые машинами, по телеканалам связи непосредственно на станции, что превращает эти расчетные устройства в управляющие машины. Опыт эксплуатации таких устройств в качестве управляющих машин еще недостаточен, и они пока в осн. являются «консультантом» диспетчера. Подобные устройства, устанавливаемые на ДП, представляют собой математич. модели непрерывного действия (аналоги). Для предварит. расчета экономич. распределения на следующие сутки в нек-рых энергосистемах используется ЦВМ, позволяющая с большой точностью найти оптим. режим энергосистемы.

На ЦВМ в принципе может быть рассчитано комплексное распределение активных и реактивных мощностей с учетом ограничений, накладываемых условиями регулирования напряжений, ограничений по пропускной способности участков сети и т. д. Счетно-решающие устройства применяются и для расчета токов кз, токораспределения и распределения мощностей в норм. и послеаварийных режимах. Они помогают диспетчеру при решении вопроса о допустимости той или иной схемы электр. сетей по условиям ограничения токов кз, отсутствия перегрузок отдельных участков электр. сети в норм. и послеаварийном режимах. В дальнейшем для Д. а. э. может быть создана автоматич. управляющая машина, регулирующая норм. режим, а также ликвидирующая аварии.

Лит.: Малов В. С., Мешков В. К., Диспетчерские пункты энергетических систем, М.—Л., 1955; Маркович И. М. [и др.], Современное состояние применения вычислительной техники при эксплуатации и проектировании энергосистем, «Э-во», 1960, № 11.

И. М. Маркович.

ДИССИПАТИВНАЯ ФУНКЦИЯ, функция рассеяния (dissipative function; fonction de dissipation; dissipative Funktion), — положительно определенная ф-ция R , характеризующая энергию, рассеиваемую механич., электр. или электромеханич. системой вследствие трения, вязкости, сопротивления среды, электр. сопротивления и т. п.

При рассмотрении системы, в тех случаях, когда диссипативные силы F_i (силы трения, моменты их, электр. напряжения и токи) можно принять пропорциональными обобщенным скоростям \dot{q}_j (соответственно: скоростям, угловым скоростям, электр. токам

и напряжениям), т. е. $F_i = - \sum_{j=1}^n b_{ij} \dot{q}_j$, Д. ф. оп-

ределяется $R = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} \dot{q}_i \dot{q}_j$. В этом случае ур-ния движения системы запишутся $\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial L}{\partial q_k} = - \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_k} = F_k$, $k = 1, 2, \dots, n$,

где $L(t, q_k, \dot{q}_k)$ — ф-ция Лагранжа, q_k — обобщенные координаты, t — время.

Если E — полная энергия системы, то $\frac{dE}{dt} = -2R < 0$ и рассеяние энергии ведет к устойчивости асимптотической систем, не имеющих дополнит. источников энергии.

В. П. Тюрин.

ДИСТАНЦИОННАЯ ПЕРЕДАЧА (remote transmission; transmission à distance; Fernübertragung) — устройство для передачи информации на расстояние в пределах производств. комплекса (с дальностью передачи до неск. км) без использования дополнит. устройств для уплотнения линии связи. Электр. Д. п. в зависимости от физич. принципов, полож. в основу преобразования величин у датчика, разделяются на системы: с изменением активного сопротивления; с вариацией индуктивности и взаимной индуктивности; с вариацией емкости; использующие изменение потока излучений различного вида.

В пром-сти чаще всего применяются Д. п. на расстояние: 1) линейных перемещений поплавок уровнемера, положения супорта станка и т. п. Большое значение при этом имеет возможность передачи перемещения

из замкнутых объемов, внутри к-рых действует повыш. давление, агрессивная среда, имеется повыш. радиоактивность и т. п., — через разделит. герметич. трубку. Чаще всего для этого употребляются системы с модуляцией индуктивности — т. н. дифференциально-трансформаторная схема или система индуктивного моста (см. *Дистанционная передача с амплитудной модуляцией сигнала*), а также системы с т. н. магнитным поводком, у к-рых находящийся вне замкнутого объема элемент преобразователя датчика (напр., движок реостата) связан с перемещающимся внутри замкнутого объема элементом при помощи магнитной связи, действующей через стенку немагнитной разделит. трубки; 2) у г л о в ы х п е р е м е щ е н и й — поворота оси манометра, поворота командного задатчика в системе регулирования и т. п.; 3) в р а щ е н и я — угловых перемещений в большом диапазоне углов, при к-ром необходимо измерять как интегр. значение угла, так и мгнов. скорость вращения. Такая задача возникает, напр., при передаче значений расхода и количества газа или жидкости, первичными измерителями к-рых являются т. н. скоростные или объемные счетчики с турбинными шестеренчатыми и т. п. вращающимися элементами. Скорость вращения этих элементов пропорциональна мгнов. расходу, а интегр. угол за нек-рое время — общему количеству прошедшей за это же время через измеритель жидкости или газа. Передача из замкнутого объема для этих измерителей чаще всего производится с помощью магнитной муфты, действующей через немагнитную разделит. трубку. В случае же использования в качестве датчика бесконтактного сельсина соответствующим образом арматур. ротор этого сельсина помещается внутри замкнутого объема, а нетокопроводная немагнитная разделит. герметизиров. трубка — в соответственно увелич. зазоре сельсина между ротором и статором, размещаемым вне замкнутого герметизиров. объема; 4) у с и л ь н ы х в р а щ а ю щ и х м о м е н т о в чаще всего в компенсацион. схеме, преобразующей, напр., усилие, возникающее на мембране, в соответствующий ток или напряжение.

По характеру изменения используемого физич. параметра различаются *дистанционные передачи многообходные* (в осн. с модуляцией соотношения амплитуд или изменения фазы в многофазной системе, частоты и т. п.) и *немногообходные* или с огранич. диапазоном следования (осн. типом здесь являются системы с АМ сигнала). Немногообходные Д. п. в большинстве случаев работают со значит. отношением макс. величины выходной мощности сигнала к ее миним. значению. В многообходных системах, как правило, имеет место примерно постоянная результирующая мощность, передаваемая по линии связи.

Вопрос о мощности сигналов является одним из наиболее существенных для обеспечения высокой надежности и помехоустойчивости работы Д. п., т. к. при маломощных сигналах приходится использовать сложные усилит. устройства, снижающие надежность работы системы в целом. Кроме того, сигнал малой мощности труднее выделить на фоне помех, неизбежно возникающих в любой системе, в частности в виде наводок в линии связи. Практически с пост. уровнем мощности в каждом импульсе работают Д. п. с ЧМ сигнала.

Лит.: Жданов Г. М., Телеизмерение, ч. 1, М.—Л., 1952; Свечарник Д. В., Дистанционные передачи, М.—Л., 1959 (в книгах имеется библиогр.). Д. В. Свечарник.

ДИСТАНЦИОННАЯ ПЕРЕДАЧА ДИСКРЕТНАЯ (discrete signal distance transmission, step by step distance transmission; transmission a distance des signaux discrets; Fernübertragung mit quantisiertem Signal) — передача, используемая в тех системах, где непосредственно на выходе датчика можно получить преобразование первичного параметра в систему импульсов, либо там, где система работает на ЦВМ, цифрочитающий аппарат или цифровой прибор. Примером служат струнные датчики, у к-рых частота импульсов на выходе является ф-цией измеряемого параметра, или датчики расхода вращающегося типа, на роторе к-рых расположен пост. магнит. По частоте индуктированных в приемной обмотке импульсов определяется расход вещества, по общему их числу за определ. время — количество вещества, прошедшее через датчик расхода. Приемные элементы Д.п.д.: для измерения скорости (мгнов. расхода) — частотомер, для измерения общего числа оборотов (суммарного расхода, количества вещества) — счетчик импульсов, чаще всего в виде шагового двигателя. Используются также декадные счетные системы статич. типа на ПП или ферритовых цепочках.

При передаче положения дискретными сигналами иногда применяется время-импульсная система, напр. т. н. система «метаметр». У датчика и у приемника непрерывно вращаются синхронные электродвигатели большой точности (типа «телехрон», используемого в электр. часах). Профильный кулачок у датчика замыкает в течение одного оборота ртутный контакт на части цикла (один цикл обычно 15 сек.), определяемой положением стрелки первичного измерителя (напр., манометра). Т. о., каждые 15 сек. в линию передачи посылаются импульсы, продолжительность к-рого однозначно зависит от измеряемого параметра. Положение стрелки или пера приемника однозначно зависит от относит. продолжительности импульса. В случаях работы с вычислит. машинами или машинами централизованного контроля применяются спец. преобразователи угловых или линейных перемещений в импульсный код, т. н. преобразователи «вал — цифра». Вид кода определяется входом вычислительной машины (двоичный, десятичный и т. п.). Преобразователи часто выполняются фотоэлектрическими, иногда индуктивными, реже контактными. У преобразователей перемещения амплитуда импульса практически не зависит от измеряемого параметра и поэтому подобные системы можно считать системами с пост. мощностью сигнала.

Лит.: Малов В. С., Телемеханика в энергетических системах, 2 изд., М.—Л., 1955. См. также лит. при ст. *Дистанционная передача*.

Д. В. Свечарник.
ДИСТАНЦИОННАЯ ПЕРЕДАЧА МНОГООБХОДНАЯ (multipoint remote transmission; transmission a distance par échelons; Fernübertragung mit vielfacher Umleitung, Vielfachumleitungs-Fernübertragung) — дистанц. передача, у к-рой при полном диапазоне изменения передаваемого параметра много раз «обходятся» элементы преобразователя сигнала. Так, напр., при полном перемещении поплавка уровня (рис. 1) ось датчика 1 и следующая за ней ось приемника 3 делают

десять оборотов, тридцать раз обходя в к.-л. направлении каждый из трех потенциометров, расположен по окружностям датчика и приемника. При этом на каждый процент смещения поправка от возможного диапазона его перемещения рассогласование в утроенной мостовой схеме рис. 1 достигает $3 \cdot 10 = 30\%$.

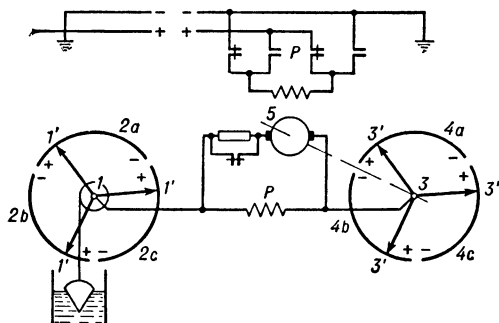


Рис. 1. Схема многообходной дистанц. передачи.

На этой схеме скользящие контакты $1'$, сидящие на оси 1 датчика, снимают в каждом данном положении определ. напряжение с потенциометров 2 . Если контакты $3'$, сидящие на оси приемника 3 , снимают в этот момент большее или меньшее напряжение с потенциометра 4 , то через обмотку ротора электродвигателя 5 протекает ток определ. направления. Этот ток вызывает поворот ротора и связанных с ним контактов до тех пор, пока контакты не займут на потенциометре 4 совершенно определ. положения, зависящего от положения контактов на потенциометре 2 . При переходе контактов датчика на следующий потенциометр, когда между ними и контактами приемника возникает значит. разность потенциалов, реле P переключает обмотку двигателя, обеспечивая правильное направление слежения оси приемника за осью датчика.

При больших скоростях на датчике контакт $1'$ может опередить контакт $3'$ больше, чем на половину секции, и реле P может дать ложное срабатывание. Для предупреждения этого применена т. н. грубая система, к-рая рассчитывается т. о., чтобы весь диапазон укладывался менее чем в один оборот контакта. Если система будет включена при любом угле рассогласования, то сначала грубая система приведет приемник в приблизит. соответствие с датчиком, а затем осн. система — в полное соответствие. Для тех случаев, когда скорость изменения положения датчика по сравнению со скоростью приемника относительно невелика, напр. при датчике, работающем от поправка, не нужна грубая система, а необходим только тормоз, удерживающий датчик на месте при отсутствии напряжения в системе, и ограничитель скорости датчика.

В случае использования в качестве приемника измерит. синхронного двигателя или т. н. трехобмоточного логометра (рис. 2) коммутации в цепи обмоток двигателя не требуется. При подключении точек $+$ и $-$ к источнику пост. тока и присоединении через линию связи обмоток A , B и C синхронного двигателя к скользящим контактам датчика ось двигателя будет в любом диапазоне следовать за осью датчика. Для обеспечения

самосинхронизации при рывках на оси датчика или его перемещении более чем на 180° при обесточенной схеме требуется введение грубой системы отсчета, позволяющей отсчитать число оборотов, сделанных точной системой — осью датчика. В Д. п. м. в качестве

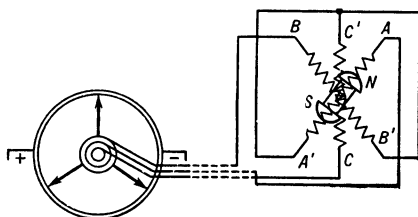


Рис. 2. Схема дистанц. передачи с приемником-логометром.

модулируемых параметров могут использоваться самые разнообразные величины: сопротивления (как в схемах на рис. 1 и 2), индуктивности, емкости, давления и т. п., по своей физич. сущности модулируемые от некого миним. значения до макс. значения; напр., по ф-ции $C = C_0 + C_1 \sin(\alpha + \frac{2\pi \cdot k}{n})$, где $C_1 < C_0$ и $k = 1, 2, \dots, n$ — либо, напр., наводимые во вторичных обмотках эдс, в частности по ф-ции $E = E_0 \sin(\alpha + \frac{2\pi \cdot k}{n})$, как это имеет место в сельсинных Д. п. м. В первом случае миним. число модулируемых элементов равно 3 (три сопротивления по окружности на рис. 2, три емкости и т. п.). Во втором случае возможно использование лишь двух взаимно перпендикулярных вторичных обмоток (т. н. схема «телегон» и ей подобные системы). Известны Д. п. м., где в одной системе совмещены ф-ции грубой и точной системы.

В ряде случаев, когда требуется особо высокая точность передачи и значит. управляющая мощность при полной самосинхронизации датчика и приемника после любых рывков или перерывов в питании, может потребоваться, кроме грубой и точной, еще и ряд промежуточных систем передачи и отсчета.

Число систем m , необходимое для обеспечения требуемой отдачи мощности в диагональ P_0 при рассогласовании Δx и потреблении мощности всей схемой P , если в каждой единичной системе имеет место ур-ние связи $P_0 = a \cdot P \cdot \Delta x^2$, определяется из ф-лы:

$$m \geq \frac{\lg \frac{1}{2\Delta x}}{0,5 \lg \frac{aF}{4P_0}}$$

(при получении дробного берется ближайшее большее целое число). Если задана угловая точность каждой системы α , то число систем m , обеспечивающих самосинхронизацию, определится из ф-лы

$$m \geq \frac{\lg \frac{1}{2\Delta x}}{\lg \frac{180}{\alpha}}$$

Эти ур-ния можно использовать и для определения точности передачи параметра, обеспечиваемой самосинхронизирующимся устройством, состоящим из m систем с точностью α у каждой.

Так, для сельсинного устройства, состоящего из 3 систем с $\alpha=1,8^\circ$, получаем $\Delta x=5 \cdot 10^{-7}$, из 4 систем $\Delta x=5 \cdot 10^{-9}$ и т. д. При $\alpha=0,18^\circ$ удается получить $\Delta x=5 \cdot 10^{-7}$ уже при $m=2$.

Лит.: Чистяков Н. И., Электрические авиационные приборы, М., 1950. См. также лит. при ст. Дистанционная передача. Д. В. Свечарник.

ДИСТАНЦИОННАЯ ПЕРЕДАЧА МНОГООБХОДНАЯ СЕЛЬСИННАЯ [remote multi-point (scanning) selsyn transmission; transmission à distance par échelons à selsyn; Fernübertragungssystem mit vielfacher Umleitung und Drehmelder] — наиболее распространенный вид дистанц. многообходной передачи, осуществляемой сельсинными. При подключении однофазной (первичной) обмотки сельсина-датчика к сети перем. тока в трех фазах его вторичной обмотки появляются эдс одинаковой временной фазы, частота к-рых совпадает с частотой питающей сети, а амплитуда зависит (обычно, по синусоид. закону) от угла между осью первичной обмотки и осью данной фазы.

Если замкнуть эти три фазы датчика через линию связи на три фазы приемника, то появятся токи, создающие в зазорах сельсина-датчика и сельсина-приемника потоки, результирующая ось к-рых будет ориентирована по оси потока первичной обмотки датчика. В зависимости от использования обмоток приемника возможны следующие осн. схемы. Трансформаторная схема (рис. 1), когда фаза и амплитуда эдс, наведенной в однофазной обмотке сельсина-приемника,

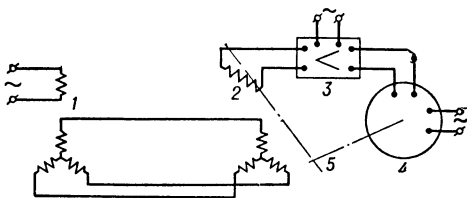


Рис. 1. Трансформаторная схема дистанц. передачи.

используется для определения рассогласования между осями датчика и приемника. При смещении осей однофазных обмоток (или соответственно роторов) датчика 1 и приемника 2 от согласованного положения (соответствующего пост. сдвигу в 90° между осями первичных обмоток датчика и приемника) в обмотке приемника возникает эдс, воздействующая на усилитель 3. Выход усилителя воздействует на серводвигатель 4, приводящий ротор приемника и управляемую ось 5 в положение, задаваемое ротором датчика. Точности следования — порядка неск. угловых минут. Используя точную и грубую системы, можно получить (см. Дистанционная передача многообходная) предельную общую точность передачи порядка $5 \cdot 10^{-7}$ (0,00005%) от диапазона измерения передаваемого параметра.

Индикаторная схема (рис. 2), когда однофазные обмотки (обмотки возбуждения) сельсина-приемника и сельсина-датчика присоединены к одной и той же однофазной сети. Система токов в трехфазной обмотке сельсина-приемника, взаимодействуя с потоком однофазной обмотки, создает синхронизирующий момент, стремящийся повернуть ротор приемника до согласованного

положения с ротором датчика (совпадения осей обмоток). Система токов в трехфазной обмотке сельсина-датчика, созданная эдс трехфазной обмотки сельсина-приемника, взаимодействуя с потоком возбуждения датчика, создает на оси ротора датчика синхронизирующий момент, стремящийся привести ротор датчика в согласованное положение с ротором приемника. Этот момент является нагрузочным моментом при повороте оси сельсина-датчика. При наличии сдвига фаз между напряжениями питания обмоток возбуждения имеем момент на оси сельсина-датчика:

$$M_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,02 \cdot 10^4}{\omega} \cdot \frac{E_{вд} \cdot E_{вп}}{2z} \cdot \frac{W_d \cdot K_W}{W_{вд}} \times \\ \times \frac{W_p \cdot K_W}{W_{вп}} \sin(\alpha - \beta) \cdot \left[\cos(\varphi_p - \varphi_d) \frac{x}{z} - \right. \\ \left. - \sin(\varphi_p - \varphi_d) \frac{R}{z} \right] \text{ (гсм),}$$

момент на оси сельсина-приемника:

$$M_p = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,02 \cdot 10^4}{\omega} \cdot \frac{E_{вд} \cdot E_{вп}}{2z} \cdot \frac{W_d \cdot K_W}{W_{вд}} \times \\ \times \frac{W_p \cdot K_W}{W_{вп}} \sin(\beta - \alpha) \cdot \left[\cos(\varphi_p - \varphi_d) \frac{x}{z} + \right. \\ \left. + \sin(\varphi_p - \varphi_d) \frac{R}{z} \right] \text{ (гсм),}$$

где ω — угловая частота; $E_{вд}$ и $E_{вп}$ (в) — соответственно реактивные составляющие напряжений питания датчика и приемника, φ_d и φ_p — фазы этих напряжений; $2z$ — общее сопротивление к-л. из цепей синхронизации, состоящее из сопротивлений фазы датчика, линии связи и фазы приемника; $2R$ и $2x$ — соответственно активные и реактивные составляющие этого сопротивления; $W_d \cdot K_W$ и $W_p \cdot K_W$ — эффективное количество витков фазы датчика и приемника, а $W_{вд}$ и $W_{вп}$ — соответственно обмоток возбуждения; $(\alpha - \beta)$ — угол рассогласования между осями роторов датчика и приемника. Соответственно подбирая сдвиг фаз ($\varphi_d - \varphi_p$), можно достигнуть весьма важного для практики эффекта — сведения момента (т. н. реактивного момента) у датчика практически до нуля при сохранении и даже некоем увеличении синхронизирующего момента на приемнике в отношении момента, получаемого в той же схеме при синфазном питании.

Дифференциальная схема (рис. 3), когда обмотки на статоре и роторе

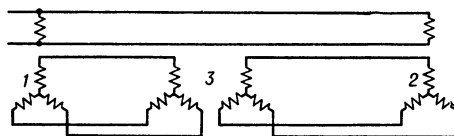


Рис. 3. Дифференц. схема дистанц. передачи.

сельсина-приемника выполнены трехфазными. В этой схеме ориентация результирующей оси потока одной трехфазной обмотки дифференц. сельсина 3 зависит от положения ротора одного датчика (напр., датчика 1), а ориентация результирующей оси потока

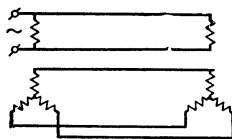


Рис. 2. Индикаторная схема дистанц. передачи.

второй трехфазной обмотки сельсина 3 — от положения ротора датчика 2. Возникающий на оси дифференц. сельсина синхронизирующий момент будет стремиться повернуть ее на угол соответствующий разности углов поворота осей обоих датчиков. Используя дифференц. сельсин вместо одного из датчиков, а обычный сельсин в качестве приемника, можно на его оси получать сумму углов поворота обоих датчиков.

Фазовая схема (рис. 4). Здесь возбуждение у сельсинов трехфазное и фаза эдс, наводимой в однофазной обмотке у сельсина-датчика и у сельсина-приемника, однозначно зависит от положения оси ротора сельсина. Взаимодействие протекающего через обмотки приемника тока, вызванного эдс датчика, с вращающимся потоком приемника

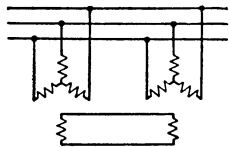


Рис. 4. Фазовая схема включения сельсинов.

ка создает синхронизирующий момент на его оси; аналогично возникает момент и на оси датчика. Этот момент равен нулю при согласованном положении роторов; но, в отличие от момента в однофазных схемах, симметричного в отношении согласованного положения, в фазовой схеме момент при рассогласовании «по полю» меньше, чем при рассогласовании «против поля». В согласованном положении имеется пост. момент на оси датчика в основном из-за взаимодействия токов в железе ротора с вращающимся полем статора. Схема в целом уступает по точности и удобству использования однофазным схемам. Однако, если по одной трассе необходимо одновременно осуществлять n сельсинных передач, то в случае однофазного питания для этого потребуется $N=2+3n$ проводов, а в случае трехфазного — $N=3+2n$. Напр., при $n=6$ для однофазного питания имеем $N=20$ проводов, а для трехфазного $N=15$. В подобных случаях рекомендуется также система с использованием в качестве обратного провода цепи нулевой последовательности; при этом $N=3+n$ (в нашем примере 9 проводов).

Выпускаемые в массовом масштабе сельсины позволяют в индикаторной схеме реализовать на оси приемника моменты от долей гсм на 1° до $40\text{--}50 \text{ гсм}$ на 1° . Момент, реализуемый на управляемой оси сельсинной трансформаторной схемы, практически ограничен лишь усилительным устройством и серводвигателем.

Лит.: Мкртчян Д. П. и Хрущев В. В., Однофазные сельсины, Л., 1957; Васильев Д. В., Индукционные системы синхронной связи, Л.—М., 1949; Иосифьян А. Г. и Каган Б. М., Основы слеящего привода, М.—Л., 1954. См. также лит. при ст. Дистанционные передачи, Дистанционные передачи многообходные. Д. В. Свечарник.

ДИСТАНЦИОННАЯ ПЕРЕДАЧА С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ СИГНАЛА (amplitude modulation remote transmission; transmission à distance à modulation d'amplitude du signal; Fernübertragung mit Amplitudenmodulation). Выполняется в виде: а) мостовых схем (реостатных, индуктивных или емкостных); б) систем с перем. взаимоиндукцией (с изменением потокосцепления за счет изменения положения первичных и вторичных обмоток либо за счет перемещения элемента магнитопровода, изменяющего магнитную

связь между обмотками); в) систем пост. тока с унифициров. выходным сигналом.

Мостовые дистанционные передачи (ДП). Упрощ. схема реостатного моста ДП дана на рис. 1. При рассогласовании между точками a и b возникающая в диагонали мощность небаланса P_0 воздействует на электродвигатель (на схеме не показан), восстанавливающий перемещением движка b равновесие в схеме моста. Т.о., перемещение точки b в приемнике следует за перемещением движка a у датчика. Хар-ками в данной системе являются: 1) момент, к-рый необходимо преодолеть в датчиках. В совр. спец. реостатах и потенциометрах его удается довести до $\sim 0,2\text{--}0,5 \text{ гсм}$; 2) мощность в диагонали моста P_0 ; 3) чувствительность (точность) системы $\alpha\%$; 4) мощность, потребляемая всей системой P ; 5) изменение величин уд. мощности (мощности на единицу рассогласования) в зависимости от положения движков датчиков и приемника на потенциометрах.

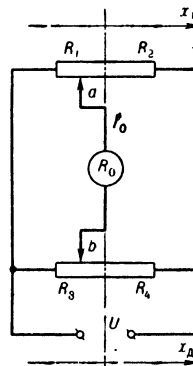


Рис. 1. Схема реостатного моста дистанц. передачи.

Связь между мощностью в диагонали, величиной рассогласования и потребляемой мощностью в плечах моста приближенно (для малых рассогласований) описывается след. ф-лами: 1) для моста с одним перем. плечом у датчика и одним перем. плечом у приемника $P_0 = P \left(\frac{\alpha_0}{800} \right)^2$; 2) для моста с двумя перем. плечами у датчика и двумя перем. плечами у приемника

$$P_0 = P \left(\frac{\alpha_0}{400} \right)^2.$$

Даже для наиболее эффективной схемы с двумя перем. плечами у датчика и двумя у приемника при чувствительности в $0,1\%$ отдача мощности в диагонали составляет лишь $6,25 \cdot 10^{-8}$ от мощности, потребляемой мостом от сети. Кратность мощностей, отдаваемых в диагонали при полном рассогласовании и рассогласовании в $0,1\%$, составляет $1,6 \cdot 10^7$. При линейном распределении сопротивлений вдоль потенциометров отдача мощности на единицу рассогласования в середине мостовых схем в 4 раза меньше, чем на краю потенциометров, образующих мост. Для получения одинаковой отдачи мощности в диагонали в любой точке потенциометров требуется дать распределение сопротивлений в каждом плече потенциометров, считая от его середины, по ур-нию $R(x) = \sqrt{2} \tanh 0,88 x$. При этом связь между мощностью в диагонали P_0 , относительным рассогласованием Δx и потребляемой мощностью P дается ф-лой: $P_0 = 0,1 P (\Delta x)^2$.

Реостатные мосты широко применяются для передачи информации об изменении технологич. параметров, в качестве элементов обратной связи в схемах регулирования, у к-рых движок потенциометра связывается с валом исполнит. механизма системы регулирования, а также в ДП положения («указатели положения») различных элементов ме-

ханизмов и машин. Применяются также схемы с реостатным датчиком и приемником в виде вольтметра или с потенциометром у датчика и логотметром у приемника. В качестве задающих плеч моста иногда используются фотосопротивления, освещенность на к-рых изменяется при изменении величины передаваемого параметра; ПП элементы типа $InSb$ или висмутовые спирали, сопротивление к-рых зависит от величины пересекающего их магнитного потока; тензометрич. элементы и т. п. Надежность реостатных систем сравнительно невелика вследствие недостаточной надежности самого скользящего контакта (особенно у датчика) и в связи с необходимостью применять усилит. устройства из-за малых величин удельной отдачи мощности.

ДП с емкостными датчиками применяется для измерения на расстоянии уровня веществ, обладающих значит. электропроводностью или диэлектрич. постоянной (рис. 2). Величина емкости конденсаторного датчика D измеряется в схеме неуравновеш. моста (рис. 3). Плечо C_1 представляет собой перем. емкость

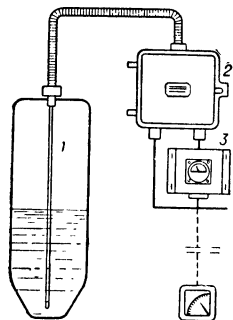


Рис. 2.

Рис. 2. Общий вид дистанц. передачи с использованием емкостных датчиков.

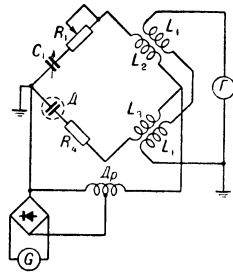


Рис. 3.

Рис. 3. Принципиальная электрич. схема дистанц. передачи на емкостных датчиках.

для установки нуля, а плечи L_2 и L_3 индуктивно связаны с катушками L_1 , включаемыми в цепь ВЧ генератора G с автоматически стабилизированным напряжением. В диагонали моста имеется дроссель Dp , с части витков к-рого снимается напряжение на выпрямит. мост. К зажимам пост. тока выпрямит. моста подключен шитовой электромагнитный миллиамперметр.

ДП с переменной взаимной индукцией. Среди таких ДП наибольшее распространение получили дифференциально-трансформаторная и ферродинамич. системы. Дифференциально-трансформаторная система (рис. 4) применяется для передачи малых и средних линейных перемещений (1—25 мм) мембран, сильфонов и т. п. Плунжер датчика 1, перемещаясь внутри намотанных на один каркас первичной и включенных навстречу друг другу двух вторичных катушек, изменяет величины потокоцеплений между первичной и вторичными катушками. При среднем положении плунжера вторичное напряжение датчика равно нулю, при любом другом — имеет величину и фазу, зависящие от величины и знака смещения плунжера от среднего положения. Плунжер механически связан с мембраной, сильфоном, поплавком и т. п. Совершенно аналогично работает и катушка приемника (обратной связи), у к-рой

плунжер 2 механически связан, обычно через лекало и тросовое соединение, с двигателем 3.

Разность вторичных напряжений датчика и приемника подается на вход электронного усилителя 4, а выходное напряжение усилителя — на управляющую фазу двигателя.

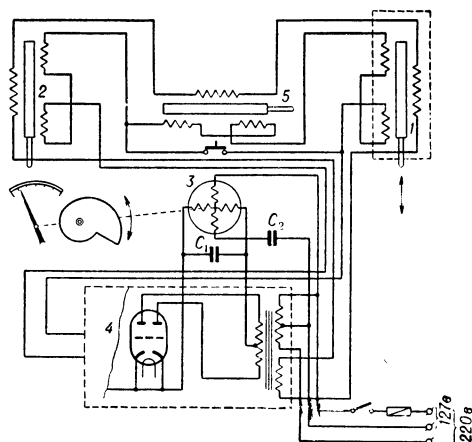


Рис. 4. Дифференциально-трансформаторная система дистанц. передачи.

Двигатель перемещает плунжер катушки приемника и механически с ним связанные стрелку, перо, шайбы регулятора и т. п. в направлении согласования положения плунжера приемника с плунжером датчика. Для контроля иногда применяется дополнит. узел 5. Наилучшие результаты для дифференциально-трансформаторной системы достигнуты при относительно малых перемещениях (полный ход плунжера 2—7 мм). Достоинством ее является возможность передачи перемещения из замкнутых объемов через немагнитную разделит. трубку, недостатком — отсутствие взаимозаменяемости элементов и узлов.

Ферродинамич. система используется в режиме передачи без усиления момента (рис. 5)

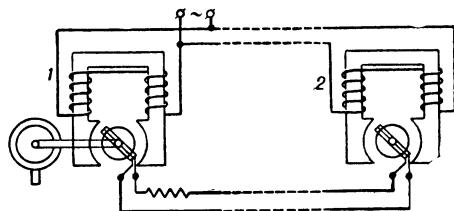


Рис. 5. Ферродинамич. система дистанц. передачи без усиления момента.

и в следящей системе (рис. 6). Напряжение на вторичной катушке ферродинамич. преобразователя в известных пределах (обычно ± 20 — 25°) является линейной ф-цией угла между осью потока возбуждения и осью катушек. В схеме без усиления момента (рис. 5) ток, возникающий в цепи вторичных катушек при их несогласованном положении, вызывает на осях датчика 1 и приемника 2 синхронизирующие моменты, стремящиеся повернуть эти оси в сторону достижения согласования. В следящей системе с ферродинамич. преобразователями (рис. 6) при повороте рамки

сигнал от преобразователя 1 поступает по линии связи во вторичный прибор, где сигнал сравнивается с эдс компенсирующего преобразователя 2. Разность эдс подается на вход электронного усилителя 3. Усиленное напряжение поступает на управляющую обмотку

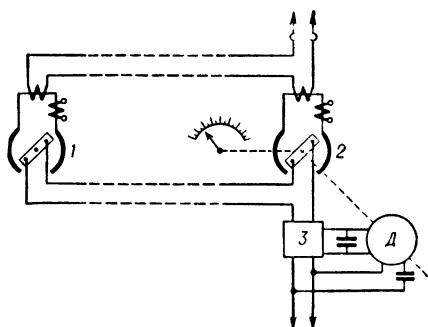


Рис. 6. Ферродинамич. система дистанц. передачи в следящей системе.

реверсивного двухфазного асинхронного двигателя Д, к-рый поворачивает рамку компенсирующего преобразователя до тех пор, пока напряжение на входе усилителя не исчезнет. При этом через соответствующее устройство перемещаются стрелка и перо вторичного прибора. Ферродинамич. система часто обладает взаимозаменяемостью преобразователей. При необходимости передавать перемещения из замкнутого объема пользуются комбинированной системой: датчик с дифференциально-трансформаторным преобразователем, а приемник — с ферродинамическим.

Широкое применение имеет система ДП, показанная на рис. 7. При перемещении плунжера в катушках датчика и катушках приемника возникает такое перераспределение токов, что усилие, воздействующее при этом

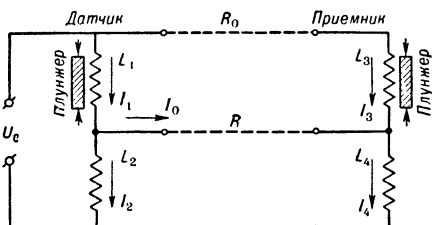


Рис. 7. Дистанц. передача с индуктивным мостом.

на плунжер приемника, приводит его в положение, соответствующее положению плунжера датчика, что балансирует обе половины схемы. Если известно изменение индуктивности катушек L_1 , L_2 у датчика и L_3 , L_4 у приемника при перемещении плунжера λ , то усилие на датчике и соответственно на приемнике может быть вычислено по ф-ле:

$$F_D = -\frac{10^7}{981} \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2 I_2^2}{2} \right) (\text{г}).$$

У наиболее распространен. индуктивных мостов, обеспечивающих ДП перемещения по плавка жидкостных дифманометров (с полным ходом 30,5 мм) и др. приборов, уд. усилие составляет примерно 1 г на 1% рассогласования. Причем для получения этой величины приходится применять катушки значит. раз-

меров и малые сопротивления в линии связи порядка 3—4 ом. Данная система работает без усиления момента: все усилие, реализуемое на оси приемника, полностью передается на подвижные элементы датчика. Система может работать при передаче перемещения из герметизиров. замкнутых объемов. При этом катушка датчика находится вне разделит. трубки, внутри к-рой перемещается плунжер. Надежность системы высокая.

Д.п.с.а.м.с. на постоянном токе нашла наибольшее распространение в устройствах с компенсацией усилия, момента или перемещения первичного прибора. Одной из наиболее ранних подобных систем явилась фотокомпенс. система ВЭИ (рис. 8). Измеряемый механич. вращающий момент, создаваемый подвижной системой прибора 1, уравновешивается моментом, создаваемым анодным

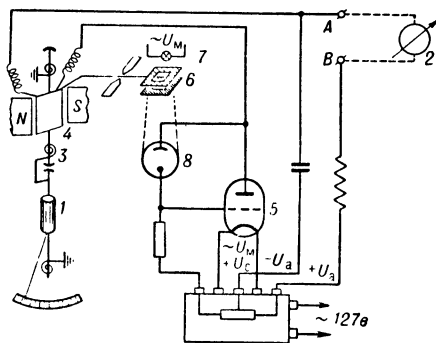


Рис. 8. Фотокомпенсац. система дистанц. передачи.

током электронной лампы 5, к-рый одновременно является током ДП. Автоматич. регулирование анодного тока осуществляется ширмой 6, к-рая небольшими перемещениями регулирует количество света, падающего от осветителя 7 на фотоэлемент 8. Если преобладает механич. момент от пружины 3, то ширма увеличивает количество света, а следовательно, и ток передачи. Если преобладает электрич. момент, развиваемый в рамке 4, то происходит обратный процесс, и ток передачи уменьшается до нужной величины. В результате электрич. момент, а следовательно, и ток передачи всегда поддерживаются строго соответствующими отклонениям подвижной системы прибора 1.

Изменения различных параметров (питающих напряжений, чувствительности фотоэлементов, крутизны хар-ки лампы 5, сопротивления линии связи и т. д.) с большой точностью компенсируются датчиком. Конденсатор служит для повышения устойчивости процессов регулирования в схеме. Ток передачи на приемной стороне измеряется миллиамперметром 2. В качестве первичного измерителя 1 можно было применить любой измерит. механизм, подвижная система к-рого развивает механич. момент порядка 50 мгсм и выше.

В ряде совр. компенс. систем пост. тока момент на датчике достигает большей величины (порядка 5 гсм) и требуются более мощные первичные измерит. приборы. Часто в таких датчиках используется для управления уравновешивающим током изменение магнитной связи на входе усилителя. Они не требуют фотоэлементов в компенс. системе и более надежны. Система передачи на пост. токе с

унифицированным выходным сигналом удобнее системы перем. тока при работе в схемах централизованного контроля, использующих вычислитель и управляющие машины.

Лит. см. при ст. Дистанционная передача.
Д. В. Свечарник.

ДИСТАНЦИОННАЯ ПЕРЕДАЧА СЕЛЬСИННАЯ С УСИЛЕНИЕМ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА (*torque amplification remote selsyn transmission; transmission à distance par selsyn avec amplification de couple; Drehmelder-Fernübertragung mit Momentverstärkung*). Применяется в системах автоматизации шлюзов и аналогичных устройств. Схема Д.п.с. с у.к.м. дана на рис. 1. Одна обмотка реверсивного двухфазного асинхронного двигателя 1 питается от однофазной обмотки сельсина-датчика Д, а другая — от однофазной обмотки сельсина-приемника П. Ось двигателя связана через замедляющую передачу 2 с управляемыми осями и осью ротора сельсина-приемника. Трехфазные обмотки сельсинов питаются от одной и той же трехфазной сети. Оси обмоток двухфазного двигателя, как обычно, сдвинуты в пространстве на 90° . При совпадении фаз токов, соответствующем синфазному положению роторов сельсинов,

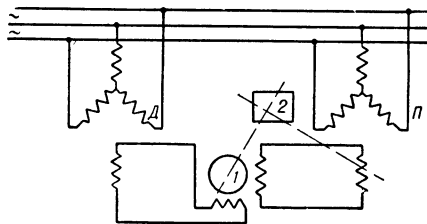


Рис. 1. Схема сельсинной дистанц. передачи с усилением момента.

у двигателя нет вращающего момента, и система остается неподвижной. При возникновении рассогласования между осями роторов (напр., за счет поворота оси сельсина-датчика) появляются сдвиг фаз между токами в обмотках и вращающий момент соответствующего направления. Двигатель начинает вращаться со скольжением, определяемым моментом на валу и величиной рассогласования. Скорость его вращения, напр., при двухполюсном исполнении и $f=50$ гц будет 2000—2500 об/мин. Момент на оси двигателя (при машинах, близких по габаритам) будет того же порядка, что и получаемый в обычной сельсинной схеме. Т. к. на выходной оси требуются малые скорости поворота (напр., доли оборота в мин.), то между осью электродвигателя и выходной осью устанавливается редуктор, уменьшающий скорость (в 2—5 тыс. раз) и соответственно увеличивающий момент на выходной оси (в неск. тыс. раз, учитывая и кпд редуктора). Момент на управляемой оси может быть приближенно рассчитан по ф-ле:

$$M_{упр} = 97400 \cdot \eta_{ред} \cdot \frac{1 - s_{мин}}{n_{датч макс}} k_{двиг} \times \\ \times (P_d + P_n) \eta_{сс} \sin \delta (г.см.),$$

где $\eta_{ред}$ — кпд редуктора (0,5—0,7); $s_{мин}$ — миним. скольжение (0,2); $n_{датч макс}$ — макс. скорость датчика (2—3 об/мин); $k_{двиг}$ — хар-ка двигателя; P_d — общая мощность, потребляемая датчиком; P_n — общая мощность, потребляемая приемником; $\eta_{сс}$ — кпд сельсина. Не-

достатки этой схемы: трехфазное питание и возникающий на датчике из-за наличия вращающегося поля асинхронный момент, нагружающий ось первичного прибора.

Существ. преимущества перед описанной имеет схема на рис. 2, а. Сельсин-датчик Д,

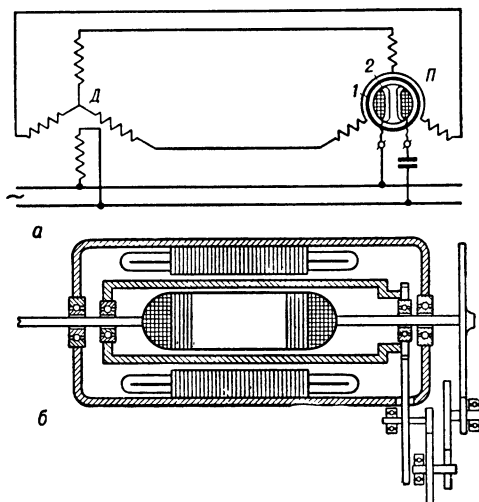


Рис. 2. а — Принципиальная схема однофазной сельсинной дистанц. передачи с усилением момента с совмещ. сельсином-двигателем; б — конструктивная схема сельсина-приемника.

питаемый однофазным током, связан по обычной схеме с обмотками статора сельсина-приемника П, роторная обмотка к-рого присоединена к той же однофазной сети, но со смещением по фазе от фазы питания сельсина Д. В увелич. зазоре между ротором и статором сельсина П вращается токопроводящий стакан 1, выполняющий ф-ции ротора электродвигателя и связанный замедляющим редуктором с однофазным ротором 2 сельсина П. Система токов в статоре сельсина П создает пульсирующее поле, ось к-рого определяется положением ротора в сельсине Д. Если эта ось токов не совпадает с осью ротора 2, создается двухфазное поле, заставляющее вращаться в соответствующую сторону токопроводящий стакан 1. Аналогично тому, как это имело бы место в электродвигателе с полым ротором, где ось управляющей намагничивающей силы (НС) смещена в пространстве на 90° от оси возбуждающей НС, в описываемой машине будет действовать управляющая НС, величина к-рой соответствует произведению НС статора приемного сельсина на синус угла рассогласования между осью НС статора (положение к-рой определяется положением ротора дающего сельсина) и осью НС ротора 2 сельсина П. При своем вращении стакан 1 сельсина П через замедляющий редуктор поворачивает управляемую ось и ротор 2 сельсина П, соответственно уменьшая величину рассогласования. Т. о., в одном приемном электродвигателе совмещены ф-ции двухфазного обрабатывающего двигателя и приемного сельсина — сельсина обратной связи. Получающееся при этом нек-рое ухудшение электромагнитных качеств подобного электродвигателя с избытком компенсируется тем, что с усилением момента обмотка ротора 2 сельсина П, создающая НС возбуждения для

двухфазного двигателя, питается непосредственно от сети, а не через приемный сельсин-р (в отличие от установки рис. 1). При использовании этой схемы можно получить значит. моменты на приемной оси при относительно небольших сельсинах без дополнит. усилителей.

Аналогично схеме рис. 2, а может быть создана дифференц. сельсинная схема с усилением момента, если в качестве базовой конструкции вместо обычного сельсина принять дифференц. сельсин, в соответственно увеличенный зазор к-рого устанавливается полый ротор по конструктивной схеме рис. 2, б.

Д.п.с.с. у.к.м., особенно с дифференц. совмещенным сельсином-двигателем, существенно расширяют возможности использования этих устройств в сложных системах регулирования и контроля, ибо вместо 2 осн. параметров — амплитуды и фазы, могут быть использованы для управления двухфазным двигателем еще 4 параметра — поворот результирующей оси потока статора (соответственно, напр., повороту ротора одного датчика), поворот результирующей оси потока ротора (соответственно повороту ротора 2-го датчика) и непосредств. поворот оси ротора и оси статора приемной машины.

Лит. см. при ст. Дистанционная передача.

Д. В. Свечарник.

ДИСТАНЦИОННАЯ ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ (industrial remote signalling, industrial telegraphisation; télésignalisation dans les usines; Betriebsfernsignalisierung, Betriebsfernsignalisierung) — см. Телекоммуникация.

ДИСТАНЦИОННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ (distance measuring, telemetry; télémessure; Fernmessung) — измерение физ. величины на расстоянии. Д. и. широко используются в технике и при научных исследованиях, когда трудно измерять по локальному прибору в непосредств. близости от точки замера, а также в условиях, когда длит. пребывание оператора вблизи контролируемой установки затруднено (высокая темп-ра, наличие вредных компонентов в воздухе, опасные для жизни излучения и т. п.). Оператор наблюдает за рядом дистанционно измеряемых величин по приборам, расположен. на щите или пульте управления.

Система Д. и. состоит из датчика или измерит. элемента, линии связи и выходного прибора. Датчик непосредственно реагирует на измеряемую физ. величину и преобразует ее в параметр, измеряемый выходным прибором. Дальность Д. и. возрастает с уменьшением мощности, потребляемой выходным прибором из линии связи. В зависимости от параметра, передаваемого по линии связи, системы Д. и. разделяются на электрич., пневматич., гидравлические и др. Сравнительно редко применяются оптич. и акустич. системы Д. и. Наиболее универсальны электрич. системы Д. и. Они же обеспечивают наибольшую дальность действия, к-рая в зависимости от типа системы Д. и. и хар-к линии связи колеблется от неск. сотен м до 10 км и более.

Электрич. системы Д. и. разделяются на системы пост. и перем. тока. Примеры простейших систем пост. тока: система тока, система напряжения и трехпроводная мостиковая (неравновесная) система. В первой схеме (рис. 1) применен реостатный датчик. Выходным прибором служит магнитоэлектрич. миллиамперметр, измеряющий ток, протека-

ющий по линии связи. Во второй схеме (рис. 2) датчиком является термопара, а в качестве выходного прибора используется автоматич. потенциометр, измеряющий эдс. В мостиковой

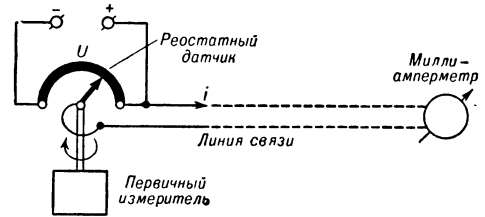


Рис. 1. Система тока: U — напряжение питания; i — ток в линии связи.

схеме (рис. 3) реостатный датчик включен по схеме деления напряжения, а выходным прибором служит логометр, измеряющий отношение токов, протекающих по проводам 1 и 3.

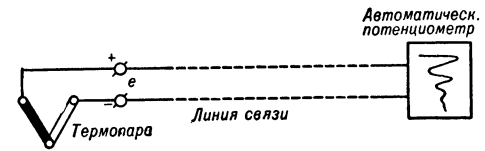


Рис. 2. Система напряжения: e — эдс термопары.

Характерными системами Д. и. перем. тока являются сельсинная и дифференциально-трансформаторная. Обе они построены по

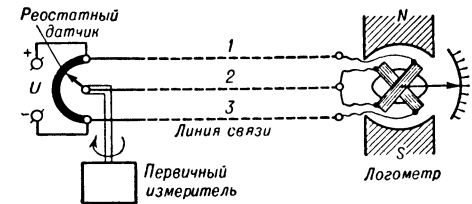


Рис. 3. Мостиковая (неравновесная) система: U — напряжение питания; 1, 2, 3 — провода линии связи.

принципу автоматического уравнивания. В сельсинной системе (рис. 4) используются два одинаковых сельсина: сельсин-датчик, ротор

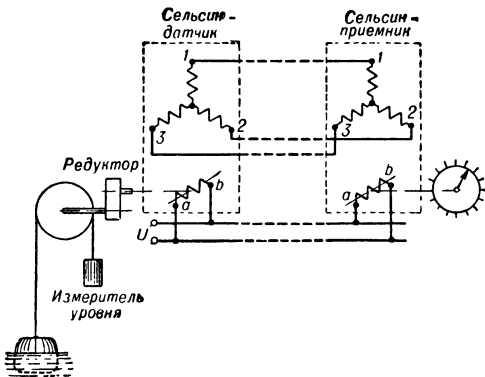


Рис. 4. Сельсинная система: 1, 2, 3 — обмотки статоров сельсинов; а, б — обмотки роторов сельсинов; U — напряжение питания.

к-рого перемещается первичным измерителем (в данном случае — поплавковым измерителем уровня жидкости), и сельсин-приемник. Схема

уравновешена, если роторы обоих сельсинов занимают одинаковое положение. При отклонении ротора сельсина-датчика в соединит. проводах 1, 2, 3 возникают уравнит. токи, и под действием развивающегося момента вращения ротор сельсина-приемника перемещается до нового положения равновесия. Сельсинная система является многооборотной — допускает неогранич. вращение вала первичного измерителя.

На рис. 5 показана примерная схема дифференциально-трансформаторной системы для измерения давления с помощью сильфона.

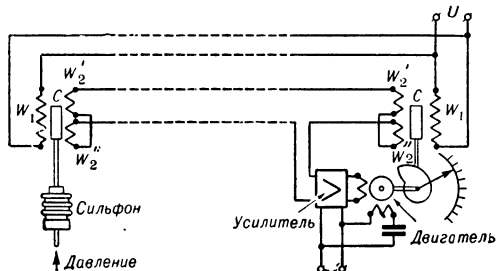


Рис. 5. Дифференциально-трансформаторная система: С — сердечник датчика; W_1 , W_2' , W_2'' — обмотки; U — напряжение питания.

Дифференциально-трансформаторный датчик имеет катушку с первичной обмоткой W_1 , намотанной по всей длине катушки, и две вторичные обмотки W_2' и W_2'' . Каждая из этих обмоток размещена на половине катушки, внутри к-рой перемещается сердечник. Первичная обмотка питается от сети перемен. тока. Вторичные обмотки включены встречно, вследствие чего при симметричном положении сердечника относительно катушки индуцированное суммарное напряжение равно нулю. При смещении сердечника возникает напряжение, прибл. пропорциональное смещению сердечника от симметричного положения. Переход сердечника через симметричное положение вызывает изменение фазы напряжения на 180° . В схеме применены два идентичных датчика. Положение сердечника одного из них, связанного с сильфоном, определяется измеряемым давлением. Второй датчик входит в состав выходного прибора, воспроизводящего показания. Сердечник этого датчика перемещается вспомогат. двигателем. При соответствии положений сердечников обоих датчиков схема уравновешена и напряжение на входе усилителя равно нулю. При изменении давления равновесие нарушается, на входе усилителя появляется напряжение, небаланс и двигатель начинает вращаться. Вращение двигателя прекращается при восстановлении равновесия. Привод сердечника приемного дифференциально-трансформаторного датчика механически связан с указателем, воспроизводящим показание измеряемого давления.

В пневматич. и гидравлич. системах Д. и. измеряемая величина преобразуется в давление в линии связи — тонкой трубке. Выходной прибор измеряет это давление. Дальность действия в пневматич. системах обычно не превышает неск. сотен м, а в гидравлич. системах — неск. десятков м. Уменьшение влияния параметров линии связи

на дальность действия достигается в телеизмерении.

Лит.: Чистяков Н. И., Электрические авиационные приборы, М., 1950; Гинзбург С. А., Лехтман И. Я., Малов В. С., Основы автоматики и телемеханики, 2 изд., М.—Л., 1959; Сечарник Д. В., Дистанционные передачи, М.—Л., 1959. В. С. Малов.

ДИСТАНЦИОННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ (remote control; téléreglage; Fernregelung) — см. Телерегулирование.

ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ (remote control; télécommande, commande à distance; Fernsteuerung, Fernlenkung) — методы и технич. средства управления технич. системами на расстоянии, характеризующиеся прямой зависимостью числа электрич. связей от числа объектов и передач по соединит. линиям сигнала, а не всей энергии, требующейся для выполнения на месте операции управления. Электрич. связи могут быть выполнены в виде различных электрич. линий, соединит. проводов и т. п. Практически при Д. у. используются кабельные линии, определяющие дальность действия. Наибольшее применение Д. у. получило для сигнализации и управления сосредоточ. объектами (электрич. выключателями, разъединителями, контакторами, задвижками и т. п.) на электро- и водопроводных станциях, заводах, на гидротехнич. сооружениях, в коммунальном х-ве и т. п. В системах Д. у. для двухпозиц. объектов каждая операция управления передается, как правило, в виде элементарного сигнала — одиночного импульса. Селекция передаваемых импульсов на передающей стороне ведется методами проводного разделения сигналов наряду с использованием различных импульсных признаков (полярность, амплитуда, длительность, частота и т. п.). Команды передаются ограниченными по времени импульсами, а сигналы положения могут быть как импульсными, так и непрерывно действующими. В соответствии с этим индивидуальные соединит. провода нормально обесточены или находятся под током, что используется для их контроля.

Системы Д. у. обладают высоким быстродействием (десятки мсек.), обусловленным только временем срабатывания 1—2 реле, и позволяют осуществлять циркулярную передачу различных сообщений любому числу объектов. Предельная простота структуры схем, малое число аппаратных элементов и одноконтность действия делают системы Д. у. высоко надежными. Устойчивость против внешних помех достигается применением бронированных многожильных кабелей, повышением уровня полезного сигнала и инерционности приемных реле. Однако с увеличением числа жил кабеля усложняется его эксплуатация и снижается надежность. Наибольшую опасность представляет ухудшение (часто постепенное) изоляции между жилами и общей изоляцией на землю, что может привести к образованию ложных команд и сигналов. В отдельных промышл. системах Д. у. предусматриваются спец. схемы защиты от ложных команд при повреждении кабеля. Кроме того, простота структуры сигнала при Д. у. (одиночный импульс) принципиально допускает полное его искажение (подавление, изменение, образование ложного), что сказывается при увеличении расстояния передачи и повышении уровня помех в самой системе.

Экономичность систем Д. у. определяют обычно сравнением их с системами ТУ—ТС (при двухпроводной линии связи). Область преимуществ применения систем Д. у. обусловлена числом объектов и протяженностью линий связи. Для средних значений числа объектов (20—30) оптимальная протяженность линий (рис. 1) составляет 2—4 км. С увеличением числа объектов это расстояние существенно уменьшается. Помимо первонач. стоимости системы и ее монтажа, следует учитывать также расходы по обслуживанию системы, затраты дефицитных материалов, гл. обр. кабельных изделий, трудность прокладки кабеля и т. п.

В системах Д. у. применяются кабели: телефонные (диаметр жил от 0,5—0,6 мм до 0,8—1,2 мм, макс. число пар жил доходит до неск. сотен при относительно невысокой изоляции между ними); сигнальные типа СШВБ и СШВБГ (диаметр жилы 1 мм, макс. число жил 48—61, высокий уровень изоляции, могут

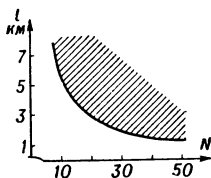


Рис. 1.

Рис. 1. Область применения систем дистанц. управления: N — число объектов; l — протяженность линии связи.

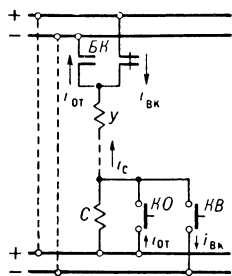


Рис. 2.

Рис. 2. Схема системы дистанц. управления однопроводного типа: $У$ — реле управления; $С$ — реле сигнализации; $КВ$, $КО$ — контакты кнопки управления включением и отключением объекта; $БК$ — блок-контакты объекта управления; $i_{вк}$ — ток включения; $i_{от}$ — ток отключения; i_c — ток сигнализации включ. объекта.

эксплуатироваться в цепях 500 в, допускают сухую разделку жил благодаря полихлорвиниловой изоляции). Линейными реле управления и сигнализации служат телефонные нейтральные реле типа РКН, РПН, РМУГ (герметизированные), а также миниатюрные реле типа РЭС-6, РЭС-9, РЭС-10 с мощностью срабатывания ок. 1 вт. Для повышения дальности действия систем Д. у. следует применять поляризованные реле типа ТРМ и РП, чувствительность к-рых составляет десятки и сотни доли вт. При огранич. расстояниях иногда используются реле типа МКУ-48 с непосредств. выходом на цепи вторичной коммутации. Источники питания линейных цепей систем Д. у. могут находиться как на диспетчерском, так и на исполнит. пунктах. Мощность, необходимая при каждой телемех. операции, обычно не превышает 3 вт и снижается при применении высокочувствительных приемных реле. Системы дистанционного управления классифицируются в зави-

симости от числа проводов, необходимых для каждого двухпозиц. объекта. Наибольшее развитие получили одно- и двухпроводные системы. В однопроводных системах передача сообщений с противоположных пунктов происходит по одному проводу, что требует применения не менее двух значений импульсных признаков, различных для каждого направления передачи. Т. к. приемные реле управления $У$ и сигнализации $С$ всегда должны быть готовы к приему сообщений, они включаются последовательно в линейный провод (рис. 2). По этой причине, а также учитывая, что ток сигнала одной позиции может протекать по линии непрерывно, команда и сигнал др. позиции должны отличаться своей интенсивностью, причем ток сигнала должен быть значительно меньше тока срабатывания реле $У$ и больше тока срабатывания реле $С$. В то же время ток сигнала др. позиции отсутствует ввиду разрыва цепи блок-контактом $БК$ объекта. Импульс команды «отключить» создается за счет увеличения тока в линии в результате закорачивания обмотки реле $С$. Команды обеих позиций различаются полярностью импульсов. Если необходима активная фиксация обоих положений объекта, то для сигнализации также используются импульсы различной полярности. Практически все системы Д. у. однопроводного типа характеризуются применением полярных и амплитудных импульсных признаков. Различия между системами состоят в количестве индивидуальных реле, применении дополнит. общих операций, типах ключей управления квитирования и характере манипуляций с ними, наличии или отсутствии непрерывного контроля линейных проводов, местоположении источника питания. Наиболее принципиальные различия состоят в способах защиты от ложных операций при обусловленных видах помех и повреждений аппаратуры.

В двухпроводных системах Д. у. применяются две основные структуры. В первой соединит. провода разделяются по операциям ТУ и ТС (в каждом проводе сообщения передаются только в одном направлении). Во второй соединит. провода разделя-

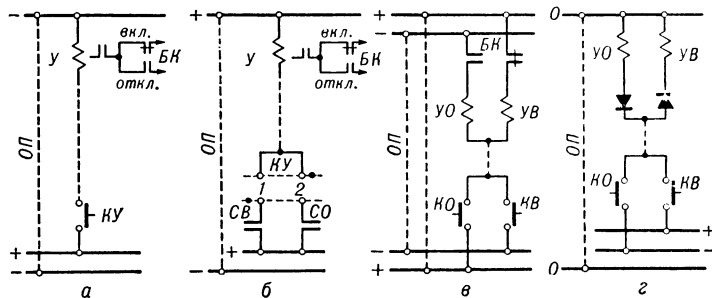


Рис. 3. Схемы систем дистанц. управления двухпроводного типа: $У$, $УО$, $УВ$ — реле управления; $КУ$, $КО$, $КВ$ — кнопки и ключи управления; $БК$ — блок-контакты объекта управления; $СВ$, $СО$ — контакты реле сигнализации; $ОП$ — обратный провод.

ются по позициям объекта (сигнал и команда каждой позиции передаются по своему проводу). На рис. 3 даны возможные принципиальные схемы управления. В схеме рис. 3, а кнопкой $КУ$ посылается единая команда на переключение объекта. Включение или отключение его осуществляется на месте блок-кон-

тактами *БК* объекта, разделяющими местные цепи включения и отключения объекта при приеме однополярных импульсов. Такая схема Д. у. требует высокой достоверности действия. положения объекта в данный момент, т. е. высоконадежной сигнализации. Схема на рис. 3,б обеспечивает передачу двух самостоят. команд двухпозиц. ключом *КУ* благодаря введению контактов сигнальных реле включенного *СВ* и отключенного *СО* состояний объекта. В этой схеме исключаются случайные ошибки персонала. В отличие от рассмотр. выше случаев, схемы рис. 3,в и г требуют двухполярных импульсов и отдельных кнопок (ключей) с самовозвратом для передачи самостоят. команд. В этих схемах нажатие на

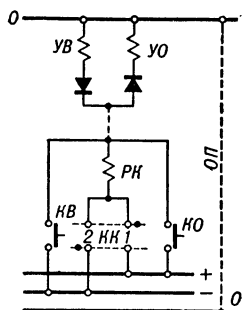


Рис. 4. Схема контроля линейного прочода системы дистанц. управления двухпроводного типа: *КК* — контакты квитирующего ключа; *РК* — реле контроля линии связи.

кнопку *КВ*, когда объект включен, не приведет к его ложному отключению, так как контакты ключа и обмотка реле управления *УО* будут подключены к одному полюсу. Роль блок-контакта *БК* в схеме рис. 3, г выполняют вентильные элементы. Применение кнопок (ключей) без самовозврата требует введения контактов сигнальных реле (аналогично схеме рис. 3,б). Индивидуальные линейные провода нормально находятся без тока, поэтому их непрерывный контроль можно осуществлять по

схеме, приведенной на рис. 4. Нормально в этой схеме ток контроля линии значительно меньше тока срабатывания реле управления и проходит, напр., через контакт 1 квитирующего ключа *КК* и обмотку реле *УО*. От этого тока срабатывает реле контроля линии *РК*.

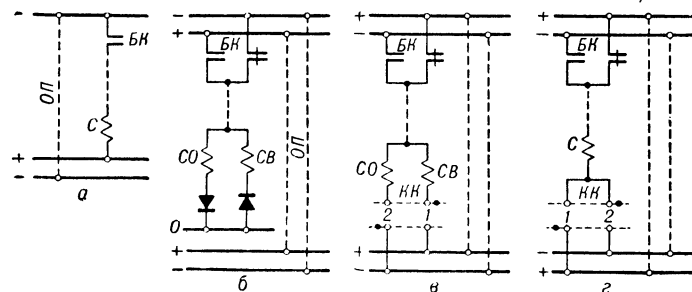


Рис. 5. Схемы сигнализации системы дистанц. управления двухпроводного типа при разделении проводов по операциям; *Л1*, *Л2* — сигнальные лампы.

При подаче команды обмотка *РК* закорачивается контактами командных кнопок *КВ* или *КО*, ток в линии при этом превысит ток срабатывания реле управления, и реле *УВ* или *УО* включится.

Возможные принципиальные схемы *ТС*, основанные на разделении проводов по операциям, приведены на рис. 5. В схеме рис. 5,а

фиксируется только одно состояние объекта. Обрыв линии или обмотки сигнального реле *С*, а также засорение блок-контакта *БК* приводят к нарушению сигнала. Надежность сигнализации можно повышать, применив для группы объектов общий вызывной сигнал, действующий в случае действия. переключения объекта. С этой целью объект снабжается дополнит. переключающимся контактом. Схемы рис. 5,б, в, г фиксируют обе позиции объекта независимо и требуют использования полярных импульсных признаков. Ключ квитирувания *КК* (без самовозврата) в схеме рис. 5,в предотвращает одноврем. срабатывание обоих сигнальных реле. Аналогичную ф-цию в схеме рис. 5,б выполняют вентильные элементы. В схеме рис. 5,г сигнальное реле *С* включено при обеих позициях объекта. В положении «включено» замкнуты нормально открытый контакт *БК* и контакт 1 ключа *КК*. После переключения *БК* реле *С* обесточивается, и лампа *Л1* гаснет. *КК* переводится в положение 2, реле *С* вновь срабатывает, и загорается лампа *Л2*. В любом положении объекта по линейному проводу проходит ток сигнала, что используется для контроля линейных проводов.

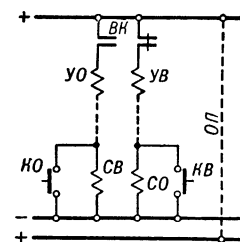


Рис. 6. Схема системы дистанционного управления двухпроводного типа при разделении проводов по позициям объекта.

В системах Д. у., основанных на разделении проводов по позициям объекта, передача двух сообщений (напр., «включить» и «отключить») происходит по одному и тому же проводу во встречных направлениях. Приемные реле *У* и *С* должны включаться в один провод последовательно. Оба реле будут обтекать ток сигнала и ток команды. Наиболее приемлемым параметром тока для разделения двух сообщений является амплитуда. В схеме рис. 6

один из проводов всегда находится под током сигнала данной позиции объекта. Т. к. ток сигнала значительно меньше тока срабатывания реле управления, то оно не срабатывает. При включении объекта контакт *БК* переключается, сигнальное реле *СО* выключается, а реле *СВ* включается. При подаче команды кнопка управления *КВ* или *КО* закорачивает обмотку сигнального реле, в результате чего ток команды в линии возрастает до значения, превышающего ток срабатывания реле управления, что вызывает срабатывание этого реле и выполнение операции управления.

На практике применяются разнообразные системы Д. у. В схеме Тяжпром-электропроекта (рис. 7) команды и сигналы различаются по интенсивности тока, позиционность команды или сигнала — по полярности. Линейный провод всегда под током, и сигнальное реле *С* возбуждено в обеих позициях объекта. При переключении объекта его контакт *БК* прервет ток линии, и реле *С* обесточится, а сиг-

нальная лампа L перейдет на мигающий свет. Пришедший сигнал квитируется переводом квитирующего без самовозврата ключа KK из положения 1 (или 2) в положение 2 (или 1).

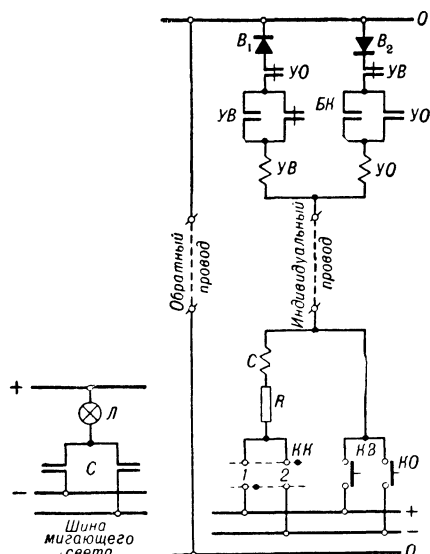


Рис. 7. Схема системы ленинградского отделения Тяжпромэлектропроекта.

Реле C вновь возбуждается, и лампа горит ровным светом. Для посылки команд предусмотрены кнопки $KВ$ и $KО$ с самовозвратом. Команда «включить» посылается кнопкой $KВ$, закорачивающей сопротивление R и обмотку реле C на плюсовую шину, когда замкнут левый контакт $ВК$ и ключ KK в положении 1. По линии проходит ток, включающий реле $УВ$. Последнее обесточивается после переключения контакта $ВК$. Реле C также обесточится. По прошествии установленного времени кнопка $KВ$ отжимается, а реле C приводится в соответствие переводом ключа KK в положение 2. Аналогично посылается команда «отключить» кнопкой $KО$. Если имело место замыкание между 2 линейными проводами, то при посылке команды оба провода окажутся под одинаковым потенциалом и при совпадении позиций обоих объектов один из них примет ложную команду, что является недостатком данной схемы.

В схеме системы Рашковского (рис. 8) принципы разделения сигналов подобны принципам предыдущей схемы. Линейный провод постоянно под током. Фиксация сигналов производится без сигнального реле непосредственно лампами $LК$ и $LЗ$, включенными в линейный провод. При переключении объекта подается

общий звуковой сигнал с помощью реле $РС$ и гаснет сигнальная лампа $LК$ ($LЗ$). Переводом ключа KK образуется цепь для включения другой лампы. Подача команды осуществляется двумя операциями: ключ $KУ$ закорачивает лампу $LК$ ($LЗ$), ток в линии возрастает, и реле $У$ срабатывает; одновременно посылается ключом $OKВ$ (или $OKО$) общая команда выбора характера операции: «включить» или «отключить», и на исполнитель. пункте с участием реле $ВК$ (OT) образуется выходная цепь для управления выбранным объектом. Продолжительность нажатия ключей $KУ$ и $OKВ$ ($OKО$) определяется временем, необходимым для надежного включения объекта. Принцип построения схемы обеспечивает надежность защиты от ложных операций и постоянный контроль готовности устройства. Такие нарушения схемы линейной цепи, как обрыв линейного провода, повреждение обмотки реле $У$, перегорание сигнальных ламп, засорение контактов объекта и ключей, повреждение монтажа схемы и т. п. сигнализируются погасанием горевшей лампы и отказом загорания другой лампы. В этом случае легко обнаружить повреждение и устранить его. Нарушение изоляции между жилами приведет к срабатыванию при подаче одной команды двух реле $У$, их контакты введут два сопротивления в обмотку защитного реле $РЗ$ и последнее отпустит, прерывая цепь общих реле $ВК$ и OT .

Лит.: Гаврилов М. А., Дистанционное управление задвижками панелей подземной газификации углей, «АиТ», 1939, № 4; Шуккин В. К., Основы техники телеуправления, М.—Л., 1945, с. 223—49; Горяинов О. А. и Райнес Р. Л., Телеуправление, М.—Л., 1954, с. 406—36. Р. Л. Райнес.

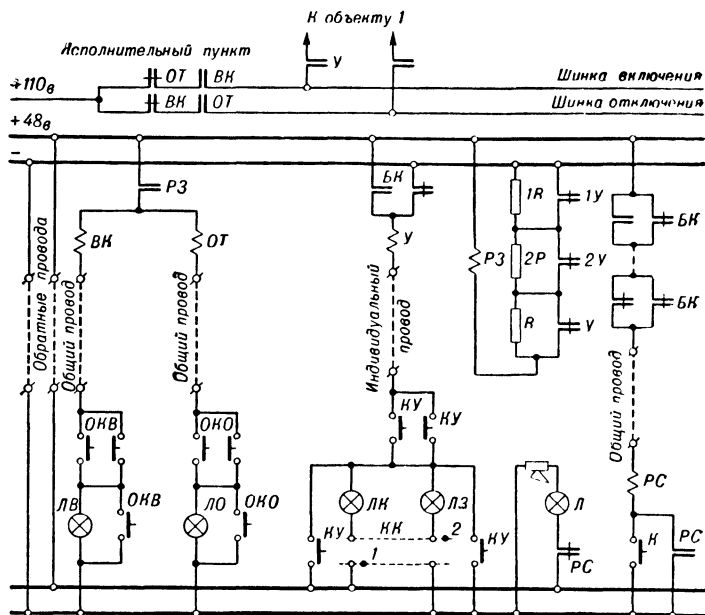
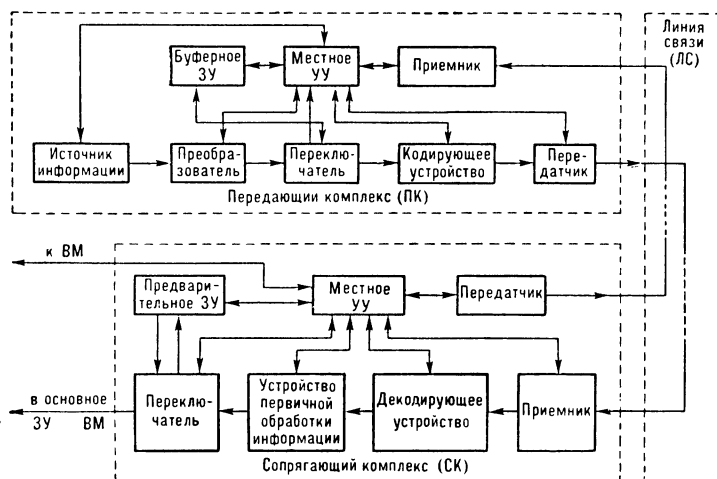


Рис. 8. Схема системы Рашковского: $У$ — реле управления; $KУ$ — ключ управления; KK — квитирующий ключ; $OKВ$, $OKО$ — общие ключи «включить», «отключить»; K — ключ сема общего сигнала; $LВ$, $LО$, $LК$, $LЗ$, L — сигнальные лампы; $РС$ — реле общего сигнала; $ВК$, OT — реле выбора характера управления «включить», «отключить»; $РЗ$ — реле защиты; $ВК$ — блок-контакты объекта.

ДИСТАНЦИОННЫЙ ВВОД (remote input; introduction des données à distance; Ferneingabe)— автоматич. ввод информации в вы-

числит. машину с удаленных объектов. Структурная схема одного канала Д. в. представлена на рис. Система состоит из 3 осн. частей: передающего комплекса (ПК), линии связи (ЛС) и сопрягающего комплекса (СК). ПК включает в себя источник информации, преобразователь, переключатель, кодирующее устройство, передатчик.



Структурная схема одного канала дистанц. ввода в вычислит. машину.

щее устройство, передатчик, буферное ЗУ, местное УУ и приемник. Источниками информации могут являться: различные датчики; люди, дающие вычислит. машине задание; др. вычислит. машины, работающие совместно с данной машиной, и пр. Преобразователи переводят непрерывную форму представления информации в дискретную, буквенную — в цифровую и т. д. Буферное ЗУ записывает и сохраняет передаваемую информацию в течение длит. периода времени при занятости ЛС или отказе в приеме информации сопрягающим комплексом. Т. о. оно исключает потерю непрерывно поступающей информации при временном прекращении связи между передающим и сопрягающим комплексом. Коммутирующие ф-ции при этом осуществляются переключателем. Кодирующее устройство составляет контрольные коды передаваемых сигналов. Местное УУ синхронизирует работу устройств ПК.

ЛС представляет собой комплекс устройств и связывающих элементов, обеспечивающих транспортировку сигналов от передающего комплекса к сопрягающему. СК осуществляет приемку, декодировку и ввод в ЗУ машины информации, поступающей из ЛС. Приемное устройство принимает и усиливает поступающие из ЛС сигналы, а также выделяет из них передаваемый код. Код информации поступает в декодирующее устройство, к-рое расшифровывает принятую информацию и проверяет правильность ее передачи. Устройство первичной обработки сортирует информацию по заданным признакам, выделяет из общего массива логически завершенные группы (формирует кодограммы), а также составляет слова заданной длины и структуры. Предварит. ЗУ принимает, хранит и выдает информацию в машину. В нек-рых случаях особо срочная информация вводится в машину по мере ее поступления, т. е. без предварит. накопления. Требуемый режим ввода информации в вычис-

лит. машину обеспечивается с помощью переключателя. Общее управление работой СК, а также его синхронизацию с вычислит. машиной и ПК производит местное УУ, к-рое непосредственно связано со всеми устройствами СК и обменивается служебными сигналами с машиной и ПК. Из СК информация поступает во внешнее ЗУ

(чаще всего на магнитные ленты). Срочная информация может непосредственно поступать в оперативные ЗУ.

Наиболее часто используются разветвл. системы Д. в., обеспечивающие передачу информации к машине от многих удаленных объектов. При этом различают параллельные и циклич. системы. Параллельная система имеет для каждого объекта, передающего информацию, отдельную цепь ввода, включающую в себя все элементы канала Д. в. (каждому объекту соответствуют свои ПК и СК), а также свою ЛС. Она обеспечивает одноврем. и независимый ввод информации в машину от всех передающих объектов, но весьма громоздка и требует наличия в вычислит. машине отдельного запоминающего блока с автоматич. системой управления для каждого канала Д. в. В циклич. системах Д. в. всем ПК соответствует один и тот же СК, к-рый с помощью коммутатора может поочередно подключаться к каждому каналу Д. в. При таких системах в вычислит. машине не обязательны отдельные запоминающие блоки для каждого передающего объекта. Запись информации может производиться даже на один запоминающий блок с выделением для каждого объекта своего участка. Д. в. предусматривается в ряде сов. и зарубежных вычислит. машин и вычислит. комплексов. Разветвл. система Д. в. входит, напр., в комплекс «Филд-дейта» (США).

И. А. Данильченко.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ (differential measurement; methode de mesure différentielle; Differentialmeßmethode) — метод, в к-ром непосредственно оценивается при помощи измерит. устройств не сама величина, подлежащая измерению, а только разность между измеряемой и известной величинами (или разность производимых ими эффектов); искомая же величина определяется простым сложением (или вычитанием) получ. разности и известной величины. Д. м. и. дает очень точные результаты, особенно когда сравниваемые величины близки друг к другу, ибо при этом измерение весьма малой разности, даже с довольно большой относит. погрешностью, обеспечивает по абс. значению малую величину ошибки, к-рая, будучи отнесена ко всему значению измеряемой величины, обеспечит малую копечную погрешность (напр., если разность составляет 0,1%, то ее измерение с точностью до 10% уже обеспечит общую погрешность порядка 0,01%). Д. м. и. широко распространен в измерит. практике, напр. для точных поверочных измерений. С др. стороны, он очень удобен для промышл. контроля (разбраковки)

путем сравнения проверяемого изделия с др. таким же, принятым за образец. При помощи Д. м. и. можно измерять весьма различные физич. величины: длину, массу, время, давление, темп-ру, многие электротехнич. величины и пр. Непосредств. измерение искомой разности в нек-рых случаях возможно при помощи обычных приборов высокой чувствительности; однако чаще необходимы дифференц. указатели, реагирующие одновременно на обе сравниваемые величины (напр., дифференц. манометры, термометры, гальванометры, телефоны и пр.).

Лит.: Баринов В. А., Современное состояние эталонов длины и методы точного измерения длины, Л., 1941; Маликов М. Ф., Основы метрологии, ч. 1, М., 1949; Карандеев К. Б., Методы электрических измерений (дифференциальные, мостовые и компенсационные), М.—Л., 1952; Преображенский В. П., Теплотехнические измерения и приборы, 2 изд., М.—Л., 1953 К. Б. Карандеев.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ РЕНТ МЕТОД (differential rent method, potential method; méthode de rentes différentielles; Differentialrentenmethode) — метод решения транспортной задачи линейного программирования. См. Потенциалов метод.

ДИФФЕРЕНЦИАТОР (differentiator; différentiateur; Differenziergerät, Ableiter, Differenzierglied) — см. Дифференцирующее звено.

ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ СИГНАЛА (signal differentiation; différentiation de signal, dérivation de signal; Signaldifferenzieren, Signaldifferentiation) — получение по заданному сигналу $x_1(t)$ нового сигнала $x_2(t)$, характеризующего скорость изменения $x_2(t) = \frac{dx_1(t)}{dt}$.

Д. с. применяется в системах автоматич. управления, в вычислит. устройствах, а также для повышения качества автоматич. регулирования (регулирование по производным, организация гибкой обратной связи). Осуществляется механич. и электр. дифференцирующими устройствами (аналоговыми и цифровыми). П. Л. Виленский.

ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ (differentiator; circuit différentiateur, circuit dérivateur; differenzierendes Netzwerk) — электр. четырехполюсник, сигнал на выходе к-рого пропорционален производной (любого порядка) входного сигнала. Д. ц. является одним из видов дифференцирующих устройств, применяемых в САР и ЦВМ. Непосредственно для вычислений Д. ц. применяется редко из-за недостаточной точности дифференцирования и потому, что небольшая, но быстро изменяющаяся помеха на выходе Д. ц. приводит к большой ошибке на выходе. Последний недостаток можно обойти, применив вместо Д. ц. интегрирующую цепь и заменив дифференц. выражение эквивалентным интегральным (используется в машинах непрерывного действия).

Простейшей Д. ц. является RC-цепочка (рис. 1). Величина сигнала на выходе из нее равна

$$U_{\text{вых}}(t) = T \left[\frac{dU_{\text{вх}}(t)}{dt} - \frac{dU_{\text{вх}}(0)}{dt} \cdot \exp \left\{ -\frac{t}{T} \right\} \right] - T \int_0^t \exp \left\{ -\frac{t-\theta}{T} \right\} \frac{d^2 U_{\text{вх}}(\theta)}{d\theta^2} d\theta + U_{\text{вых}}(0) \exp \left\{ -\frac{t}{T} \right\}, \quad (1)$$

где $T=RC$ — постоянная времени. В составе САР звенья часто определяются передаточ-

ной ф-цией $W(s)$, где $s=\sigma+j\omega$ — комплексное переменное, а $\sigma>0$ и ω — вещественные. Передаточная ф-ция RC-цепочки равна

$$W(s) = \frac{Ts}{Ts+1}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) видно, что для повышения точности дифференцирования необходимо уменьшить T . Однако это приводит к уменьшению выходного напряжения. Кроме того, RC-цепочку нельзя нагружать, т. к. при этом шунтируется R (10^1 – $10^6 \Omega$). Поэтому она применяется там, где точность дифференцирования не существенна (напр., для обострения импульсов на входе в триггер).

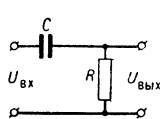


Рис. 1.

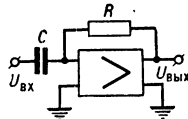


Рис. 2.

Для повышения точности дифференцирования вместо RC-цепочки используют схему рис. 2. Усилитель пост. тока, фигурирующий на этой схеме, должен обладать большим (но не обязательно постоянным) коэфф. усиления K (десятки тысяч), практически бесконечным входным сопротивлением и выходным напряжением, противоположным по знаку входному. Передаточная ф-ция этой схемы имеет вид:

$$W(s) = -\frac{K}{K+1} \frac{Ts}{\frac{Ts}{K+1} + 1}, \quad (3)$$

т. е. при достаточно больших K , с любой точностью, $W(s) \approx -Ts$.

Явная зависимость $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}}$ дается выражением:

$$U_{\text{вых}}(t) = -\frac{KT}{K+1} \frac{dU_{\text{вх}}(t)}{dt} + \left[\frac{KT}{K+1} \frac{dU_{\text{вх}}(0)}{dt} + U_{\text{вых}}(0) \cdot \exp \left\{ -\frac{K+1}{T} t \right\} \right] + \frac{KT}{K+1} \int_0^t \exp \left\{ -\frac{K+1}{T} (t-\theta) \right\} \frac{d^2 U_{\text{вх}}(\theta)}{d\theta^2} d\theta. \quad (4)$$

Схема Д. ц. на рис. 2 применяется в САР. Однако и ее точность невысока из-за неточности и неустойчивости величин R, C , наличия утечки G конденсатора и дрейфа нулевого уровня усилителя.

Если $\Delta e_0(t)$ — напряжение, к-рое необходимо вводить на вход усилителя, чтобы скомпенсировать дрейф нулевого уровня, то полная ошибка Д. ц.

$$\Delta U_{\text{вых}} = -\left(\frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta C}{C} \right) T \frac{dU_{\text{вх}}}{dt} - R G U_{\text{вх}} + \Delta e_0(t) + T \frac{d\Delta e_0(t)}{dt}. \quad (5)$$

Вместо сопротивлений и емкостей в Д. ц. могут применяться др. элементы. На рис. 3 изображен в качестве примера дифференцирующий тр-р. Если пренебречь вторичным током, его передаточная ф-ция

$$W(s) = \frac{Ks}{Ts+1}, \quad (6)$$

где

$$K = \frac{M}{R_1 + R_0}; \quad T = T_1 + T_2; \quad T_1 = \frac{L_1}{R_1 + R_0}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2}.$$

Получение производной от нек-рой величины на перем. токе вносит дополнит. требования к Д. ц.: необходимо, чтобы на производную дифференциального сигнала не накладывалась производная от несущей частоты. Это требование может быть выполнено в реальной схеме только приближенно при частотах преобразуемого сигнала ω , достаточно

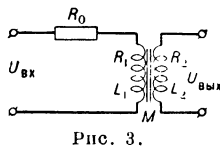


Рис. 3.

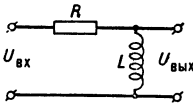


Рис. 4.

близких к нек-рой фиксированной частоте. Примером Д. ц. для перем. тока с несущей частотой ω_0 может служить резонансный двойной Т-образный контур (рис. 4). Если выполнены условия:

$$T_2 T_3 = (T_1 + T_{13})(T_{23} + T_3), \quad (7)$$

где

$$T_1 = R_1 C_1; \quad T_2 = R_2 C_2; \quad T_3 = R_3 C_3; \\ T_{13} = R_1 C_3; \quad T_{23} = R_2 C_3,$$

и если величины R_1, R_2, R_3 и C_1, C_2, C_3 подобраны так, что

$$\omega_0^2 = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{T_1 T_3 (T_2 + T_{23} + T_3)}, \quad (8)$$

то амплитудно-фазовая хар-ка Д. ц. на рис. 4 при условии $\omega - \omega_0 \ll \omega_0$ равна

$$W(j\omega) = \frac{jT \frac{\omega + \omega_0}{2\omega} (\omega - \omega_0)}{1 + jT \frac{\omega + \omega_0}{2\omega} (\omega - \omega_0)}, \quad (9)$$

где

$$T = \frac{2T_1 T_2}{T_1 + T_{12} + T_3}.$$

Т. о. на выходе этой цепи получается сигнал, примерно пропорциональный 1-й производной от входного сигнала. самого входного сигнала контур не пропускает.

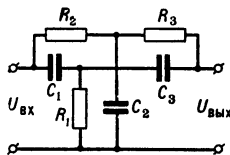


Рис. 5.

В САР часто применяются различные соединения, включающие в себя Д. ц. Пример комбинации Д. ц. с простейшей

суммирующей схемой приведен на рис. 5. Переходная ф-ция этой цепи

$$W(s) = \frac{K(Ts + 1)}{KTs + 1}, \quad (10)$$

где

$$K = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{и} \quad T = R_2 C.$$

Сигнал на выходе цепи приближенно представляет собой линейную комбинацию входного сигнала и 1-й от него производной.

Лит.: Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т. 2, М., 1955.

И. Л. Виленский, Ю. С. Попков.

ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕЕ ЗВЕНО (differentiator, differentiating circuit; boucle derivatrice; differenzierendes Glied, Differenzierglied) — типовой элемент структурной схемы САР, имеющий передаточную ф-цию вида $W(s) = k(\tau s + 1)$. Выходная величина Д. з. пропорциональна значению входной величины и

скорости ее изменения. Включение Д. з. в контур САР означает введение производной в закон регулирования, что во многих случаях улучшает качество регулирования и повышает устойчивость САР в целом. Д. з. первого порядка (идеальное) описывается дифференциальным уравнением $x_2 = k(\tau \frac{dx_1}{dt} + x_1)$, где k — передаточный коэфф. Д. з.; τ — постоянная с размерностью времени. Переходная ф-ция Д. з. определяется выражением $h(t) = k[1(t) + \tau \delta(t)]$, где $\delta(t)$ — дельта-функция.

Амплитудно-фазовая хар-ка Д. з. определяется выражением $W(j\omega) = k\sqrt{1 + (\omega\tau)^2} e^{j \arctg \omega\tau}$, модуль и аргумент этого выражения имеют вид $A = k\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}$; $\theta = -\arctg \omega\tau$. С увеличением частоты опережение по фазе стремится к 90° . Логарифмич. частотные хар-ки

$$L(\omega) = 20 \lg \sqrt{1 + (\omega\tau)^2}, \quad \theta(\omega) = \arctg \omega\tau.$$

Д. з. 2-го порядка (идеальное) имеет передаточную ф-цию вида $W(s) = k(T^2 s^2 + 2\zeta Ts + 1)$. Переходная ф-ция Д. з. 2-го порядка определяется выражением

$$h(t) = k \left[1(t) + 2\zeta T \delta(t) + T^2 \frac{d\delta(t)}{dt} \right].$$

Амплитудно-фазовая хар-ка имеет вид $W(j\omega) =$

$$= k\sqrt{(1 - \omega^2 T^2)^2 + 4\zeta^2 \omega^2 T^2} e^{j \arctg \frac{2\zeta T \omega}{1 - \omega^2 T^2}}.$$

Д. з. 2-го порядка создает опережение по фазе у выходной величины, к-рое при $\omega \rightarrow \infty$ стремится к 180° . Логарифмич. частотные хар-ки этого звена:

$$L(\omega) = 20 \lg \sqrt{(1 - T^2 \omega^2)^2 + 4\zeta^2 \omega^2 T^2}, \\ \theta(\omega) = \arctg \frac{2\zeta T \omega}{1 - T^2 \omega^2}.$$

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория. Под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

В. И. Гукон.

ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО (differentiator; differentiateur; differenzierendes Gerät) — устройство для получения производной от входной величины. Д. у. различают: механические (фрикционные дифференцирующие устройства, гироскопы, центробежные, гидравлические, пневматические); электрические (пассивные дифференцирующие цепи, активные электронные дифференцирующие элементы, дифференцирующие тр-ры); электромеханические (тахогенераторы пост. и перем. тока и др.). По виду выходного сигнала различают непрерывные и дискретные Д. у.

Схема простейшего механич. Д. у. — дискового фрикционного дифференциатора, приведена на рис. 1. При отсутствии проскальзывания между диском и роликом для мгновен. скоростей валов справедливо ур-ние $\frac{dz}{dt} = \frac{h}{R} \gamma \frac{dz}{dt}$, где t — время, R — радиус ролика. Для получения производной необходимо ф. изменять по закону дифференцируемой ф-ции, а α — по закону аргумента. Производная определяется положением каретки винта. Для согласования движения вала дифференцируемой ф-ции ψ и вала ролика ϕ необходима следящая система. Точность дифференцирования определяется точностью отработки разности $(\psi - \phi)$. Схема электрич. активного дифференцирующего элемента состоит из усилителя с большим коэфф. усиления (неск. десят-

ков тыс.), охваченного отрицат. обратной связью. Передаточная ф-ция

$$W(s) = \frac{E_{\text{ВЫХ}}(s)}{E_{\text{ВХ}}(s)} = -R_2 C_1 s,$$

где $s = \sigma + j\omega$ — комплексная переменная, R_2 — сопротивление в цепи обратной связи, C_1 — конденсатор в цепи прямой связи.

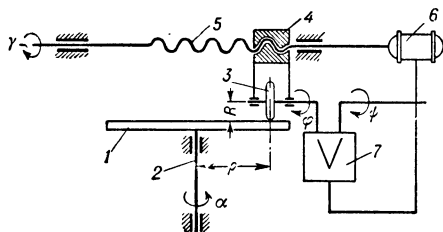


Рис. 1. Кинематическая схема дискового фрикционного дифференциатора со следящей системой: γ, φ, α — углы поворота; R — радиус ролика; h — шаг винта; φ — задаваемая в виде угла поворота дифференцируемая ф-ция; 1 — диск; 2 — вал; 3 — ролик; 4 — каретка; 5 — винт; 6 — двигатель; 7 — усилитель.

Тахогенераторы пост. тока — электрич. машины малой мощности, работающие в генераторном режиме, могут быть магнитоэлектрическими и электромагнитными. Тахогенераторы переменного тока выполняют дифференцирование в цепях переменного тока; вырабатывают перем. напряжение с

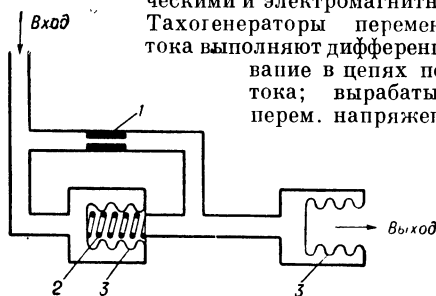


Рис. 2. Схема пассивного гидравлического дифференциатора: 1 — дроссель; 2 — пружина; 3 — сильфон.

амплитудой, пропорциональной питающему напряжению и производной от угла поворота ротора; могут быть в виде асинхронной машины с двумя обмотками на статоре и с двумя симметрично нагруженными на роторе. Передаточная ф-ция

$$W(s) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(s)}{U_{\text{ВХ}}(s)} = K_T s,$$

где θ — угол поворота ротора, K_T — коэфф. усиления.

На рис. 2 и 3 приведены соответственно схемы пассивного и активного гидравлич. Д. у. Передаточная ф-ция их

$$W(s) = \frac{\tau s}{T s + 1},$$

где

$$\tau = \frac{x_1 F_m F_z}{x_2 K_c}; \quad T = \frac{F_m}{x_2};$$

x_1 и x_2 — коэфф. усиления золотника и обратной связи; K_c — коэфф. жесткости пружин. Схема пневматич. пассивного Д. у. дана на рис. 4. Дифференцирование происходит за счет дросселирования газа. Передаточная

функция

$$W(s) = \frac{T_1 s + 1}{T_2^2 s^2 + 2\zeta T_2 s + 1},$$

где T_1 , T_2 и ζ зависят только от параметров газа и размеров элемента. См. также *Дифференцирующее звено*.

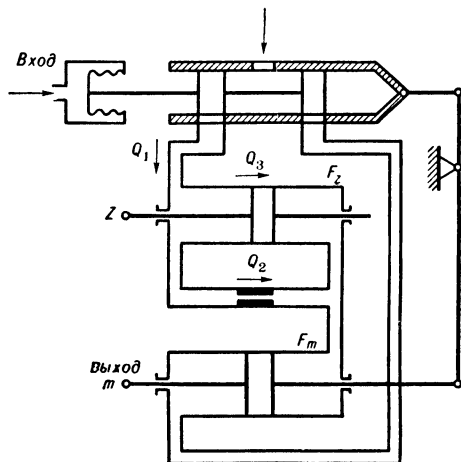


Рис. 3. Схема активного гидравлического дифференциатора: F_z, F_m — площади поршней; z, m — перемещения поршней; Q_1, Q_2, Q_3 — расходы.

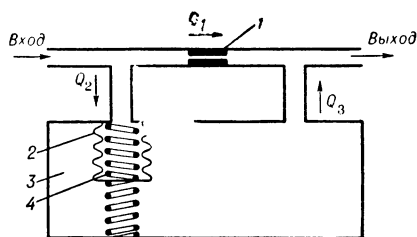


Рис. 4. Схема пассивного пневматического дифференциатора: 1 — дроссель; 2 — сильфон; 3 — объем; 4 — пружины.

Лит.: Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т. 2, ч. 2, М., 1959.

А. А. Духин

ДИФфуЗИОННАЯ ДЛИНА, *д л и н а* *д и ф ф у з и и* (diffusion length; longueur de diffusion; Diffusionslänge), — длина, на которой в e раз падает избыточная концентрация неосновных носителей в одномерном стационарном диффузионном потоке. Если в некоторой точке ПП поддерживается избыточная концентрация носителей заряда m_0 , распределение концентрации в объеме ПП определяется уравнением диффузии для стационарного случая:

$$D \operatorname{div} \operatorname{grad} m - \frac{m}{\tau} = 0,$$

где D — коэфф. диффузии, τ — время жизни неосновных носителей заряда. Решение уравнения для одномерного случая дает выражение: $m(x) = m_0 e^{-x/L}$, где $L = \sqrt{D\tau}$ и есть величина, наз. Д. д. носителей заряда. Это выражение справедливо только для однородного ПП при отсутствии поверхностной рекомбинации. Для расчетов в реальных ПП устройствах пользуются понятием эффективной Д. д., связанной с эффективным временем жизни выражением: $L_{\text{эф}} = \sqrt{D\tau_{\text{эф}}}$.

М. И. Маркович.

ДИФфуЗИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА в полупроводниках (charge carrier diffusion in semiconductors; diffusion des porteurs électrisés dans les semi-conducteurs; Ladungsträgerdiffusion in Halbleitern) — перемещение носителей заряда, связанное с градиентом их концентрации в объеме ПП. Носители заряда в ПП постоянно находятся в состоянии хаотич. теплового движения. В однородном ПП наиболее вероятно равномерное распределение носителей по объему; при отклонении от этого наиболее вероятно оказывается перемещение носителей, восстанавливающее равномерность распределения. Такое перемещение наз. диффузией. Плотность диффузионного тока определяется по ф-ле

$$i_D = -qD \text{ grad } m,$$

где q — заряд одиночного носителя, D — коэфф. Д. н. з. в ПП, m — концентрация носителей заряда. Изменение распределения концентрации носителей заряда во времени,

роль в работе ПП приборов; происходит перенос неосновных носителей заряда через базовую область.

Лит.: Федотов Я. А., Шмарцев Ю. В., Транзисторы, М., 1960; Полупроводниковые преобразователи энергии излучений. [Сб. переводов], под ред. Ю. П. Маслакова, М., 1959. М. И. Маркович.

ДИФфуЗИЯ ПРИМЕСЕЙ в полупроводниках (impurity diffusion in semiconductors; diffusion des impuretés dans les semi-conducteurs; Störstellendiffusion in Halbleitern). Протекает по общим законам диффузии; ее коэфф. $D = D_0 \exp(-\varepsilon/kT)$, где ε — энергия активации, T — абс. темп-ра, k — постоянная Больцмана, D_0 — предэкспоненциальный множитель.

Различные примеси образуют с монокристаллами Ge и Si твердые растворы: замещения — элементы средних групп периодич. системы, диффундирующие по вакансиям кристаллич. решетки; внедрения — H, He, Li, перемещающиеся в междоузлиях; смешанные — Cu, Ag и др.

Таблица 1. Диффузия в Ge и Si

Примесь	Группа	D (см ² /сек)		D ₀ (см ² /сек)		Макс. растворимость (атомов/см ³)		ε (эВ)	
		Ge (800°)	Si (1300°)	Ge	Si	Ge	Si	Ge	Si
He	0	3,4·10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	6,5·10 ⁻³	0,11	—	—	0,7	1,3
H	I	5,0·10 ⁻⁵	2,7·10 ⁻⁴	—	9,4·10 ⁻³	—	—	—	0,48
Li	I	1,0·10 ⁻⁵	2,0·10 ⁻⁵	2,5·10 ⁻³	2,5·10 ⁻³	7·10 ¹⁸	6·10 ¹⁹	0,51	0,66
Cu	I	3,0·10 ⁻⁵	2,4·10 ⁻⁵	—	4·10 ⁻²	4·10 ¹⁸	2·10 ¹⁸	—	1,0
Ag	I	9,0·10 ⁻⁷	1,5·10 ⁻⁶	4,4·10 ⁻²	2·10 ⁻³	1·10 ¹⁵	2·10 ¹⁷	1,0	1,6
Au	I	5,0·10 ⁻¹⁰	2,8·10 ⁻⁶	18	9,5·10 ⁻³	3·10 ¹⁵	10 ¹⁷	2,3	1,1
Co	VIII	> 10 ⁻⁷	—	—	—	—	—	1,0	—
Fe	VIII	1,1·10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	0,13	8·10 ⁻³	1,5·10 ¹⁵	3·10 ¹⁶	1,1	0,9
Ni	VIII	4,5·10 ⁻⁵	—	0,8	8·10 ¹⁵	—	—	0,9	—
Be	II	9,0·10 ⁻¹³	—	0,5	3·10 ¹⁶	—	—	2,5	—
Zn	II	1,0·10 ⁻¹²	3,0·10 ⁻⁶	5,0	2·10 ¹⁸	—	10 ¹⁷	2,7	—
Cd	II	2,4·10 ⁻¹²	—	1,8·10 ⁹	2·10 ¹⁸	—	—	4,4	—
B	III	4,2·10 ⁻¹³	1,6·10 ⁻¹¹	5,8·10 ⁸	12	> 10 ²⁰	6·10 ²⁰	4,5	3,7
Al	III	—	6,1·10 ⁻¹¹	—	10	10 ²¹	2·10 ²⁰	—	3,5
Ga	III	9,2·10 ⁻¹⁴	1,4·10 ⁻¹¹	34	220	5·10 ²⁰	3·10 ¹⁹	3,1	4,1
In	III	9,2·10 ⁻¹⁴	5,1·10 ⁻¹²	0,15	16	1·10 ¹⁹	—	2,6	3,9
Tl	III	1,5·10 ⁻¹³	5,1·10 ⁻¹²	1,7·10 ³	16	9·10 ¹⁸	—	3,4	3,9
C	IV	—	1,8·10 ⁻¹²	—	0,33	—	—	—	2,9
Ge	IV	7,8·10 ⁻¹⁴	6,2·10 ⁻¹²	7,8	6,3·10 ⁵	—	—	3,0	5,3
P	V	5,9·10 ⁻¹²	1,3·10 ⁻¹¹	3,3	10	—	2·10 ²¹	2,5	2,7
As	V	1,1·10 ⁻¹¹	1,3·10 ⁻¹²	2,1	0,44	2·10 ²⁰	2·10 ²¹	2,4	3,6
Sb	V	2,0·10 ⁻¹¹	1,3·10 ⁻¹²	1,2	4	1·10 ¹⁹	7·10 ¹⁹	2,3	3,9
Bi	V	2,4·10 ⁻¹¹	1,4·10 ⁻¹²	—	770	—	8·10 ¹⁷	—	4,6
O	V	—	1,5·10 ⁻⁹	—	—	—	2·10 ¹⁸	—	3,5
S	VI	—	8,0·10 ⁻⁸	—	0,92	—	3·10 ¹⁶	—	2,2

связанное с диффузией, описывается диффузионным уравнением:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = D \text{ div grad } m.$$

В широко применяемых Ge и Si носителями заряда являются электроны и дырки. Коэфф. диффузии D с подвижностью носителей заряда μ связан соотношением Эйнштейна $D = \frac{kT}{q} \mu$, где $k = 1,38 \cdot 10^{-16} \text{ эрг/град}$ — постоянная Больцмана, T — абс. темп-ра. Коэфф. диффузии падает: 1) с повышением темп-ры прил. про-

порционально T^{-2} ; 2) с уменьшением уд. сопротивления ПП (увеличением количества примесей). При темп-ре 300° и уд. сопротивлении неск. ом·см коэфф. диффузии электронов в Ge — 92 см²/сек, в Si — 35 см²/сек, для дырок соответственно 44 см²/сек и 9 см²/сек.

В ПП соединениях типа AlIII BV, InAs и InSb коэфф. диффузии электронов > 1000 см²/сек, в то время как для дырок он меньше, чем в Ge. Д. н. з. играет существ.

(табл. 1), большая скорость к-рых связана с миграцией по междоузлиям (при этом происходит непрерывный обмен частицами в узлах и междоузлиях). Zn в Si, Li, Cu, Ag в Ge и Si перемещаются в виде положит. ионов. Резкое различие скорости Д. п. элементов крайних и средних групп периодич. системы выражает общее правило, по к-рому скорость Д. п. тем меньше, а растворимость тем больше, чем ближе друг к другу структуры валентных оболочек атомов примеси и ПП. Если в ПП уже имеется донорная примесь, то скорость диффузии акцепторной примеси уменьшается, растворимость при этом увеличивается, и наоборот. Присутствие одноименной примеси приводит к увеличению скорости Д. п. и уменьшению растворимости. Это обусловлено электр. взаимодействием. Аналогичные эффекты наблюдаются при взаимодействии примесей и заряженных вакансий. В табл. 2 даны хар-ки Д. п. в ПП соединениях типа AlIII BV и SiC.

Для исследования Д. п. наряду с обычными применяются спец. методы. Для ПП методы:

Таблица 2. Диффузия в полупроводниковых соединениях

Примесь	D (см ² /сек)	D_0 (см ² /сек)	ϵ (эв)
в GaAs при 1100°			
As	10^{-16}	$4 \cdot 10^{21}$	10
Ga	$4 \cdot 10^{-14}$	10^7	5,6
Sn	$4 \cdot 10^{-13}$	$6 \cdot 10^{-4}$	2,5
S	$6 \cdot 10^{-12}$	$4 \cdot 10^3$	4,0
Se	$2 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^3$	4,2
Cd	10^{-12}	0,05	2,4
Zn	$2 \cdot 10^{-8}$	15	2,5
Cu	$2 \cdot 10^{-6}$	—	—
в InAs при 900°			
Mg	$2 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-6}$	1,2
Ge	$4 \cdot 10^{-11}$	$4 \cdot 10^{-6}$	1,2
Sn	$2 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-6}$	1,2
S	$2 \cdot 10^{-10}$	7	2,2
Te	10^{-10}	3	1,3
Se	$4 \cdot 10^{-9}$	13	2,2
Cd	$4 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-4}$	1,2
Zn	$3 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-3}$	1,2
в InSb при 500°			
In	$2 \cdot 10^{-11}$	10^{-2}	1,8
Sb	10^{-11}	$3 \cdot 10^{-2}$	1,9
Zn	$3 \cdot 10^{-13}$	10^{-7}	0,86
Sn	$7 \cdot 10^{-13}$	$6 \cdot 10^{-7}$	0,75
в InP при 900°			
P	$2 \cdot 10^{-14}$	$7 \cdot 10^{10}$	5,7
In	$2 \cdot 10^{-12}$	10^3	3,9
в SiC при 2000°			
Al	$2 \cdot 10^{-11}$	2	1,9

p — n -перехода, электропроводности, емкости и др.

Д. п. используется при изготовлении монокристаллов III нужной марки и приборов — транзисторов, фотоэлементов и др.

Лит.: Болтакс Б. И., Диффузия в полупроводниках, М., 1961; Roiss H., Tuller C. S., Diffusion processes in germanium and silicon. Semiconductors, N. Y.—L., 1959; Smits F. M., Diffusion in homöopolaren Halbleitern, в кн.: Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, Bd 31, B., 1959.

Р. Ш. Малкович.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ (dielectric heating; chauffage diélectrique; dielektrische Heizung, dielektrische Erwärmung)—высоко-частотный нагрев материалов в электрич. поле конденсатора, происходящий при перемещении свободных и связанных зарядов в нагреваемом материале под действием электрич. поля. Перемещение свободных зарядов образует ток проводимости, а перемещение связанных зарядов — ток поляризации. Нагрев материала является результатом выделения тепла, обусловленного токами проводимости и поляризации. Ток проводимости совпадает по фазе с напряжением и вызывает потери, практически не зависящие от частоты тока. Ток поляризации опережает по фазе напряжение и сопровождается потерями, к-рые растут с частотой. Д. н. можно производить контактным методом, когда электроды конденсатора прилегают к поверхности нагреваемого материала (рис. 1), и бесконтактным, когда между электродами и материалом имеется воздушный зазор (рис. 2). В первом случае напряженность электрич. поля в материале зависит от напряжения на конденсаторе и расстояния между пластинами, но не зависит от свойств материала и частоты тока. Во втором случае напряженность электрич. поля в материале существенно зависит от его электрич. свойств и от частоты тока. С увеличением диэлектрич. проницаемости материала и ве-

личины зазора напряженность поля в материале уменьшается.

Уд. мощность P_0 (энергия, выделяемая в единицу времени в единице объема в виде

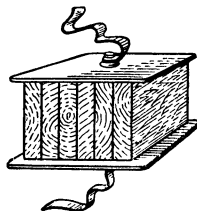


Рис. 1.

Рис. 1. Контактный нагрев при склейке.

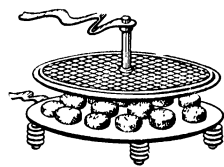


Рис. 2.

Рис. 2. Бесконтактный нагрев таблетированных пресспорошков.

тепла) определяется по ф-ле, вытекающей из закона Ленца — Джоуля,

$$P_0 = 0,55 \pi^2 f E^2 (\text{вт/см}^3),$$

где f — частота (Мгц), E — напряженность электрич. поля (кв/см), ϵ'' — коэфф. потерь (в относит. единицах). Чем выше темп-ра и влажность, тем ϵ'' обычно больше. Произведение $\epsilon'' f$ с ростом частоты возрастает. Чем выше частота, тем при той же E выше скорость нагрева.

Для хар-ки свойств материала определяют его диэлектрич. проницаемость ϵ' и угол потерь δ , которые сильно зависят от частоты, темп-ры и влажности материала, $\text{tg } \delta = \epsilon''/\epsilon'$. В отличие от электроизоляц. материалов, в пром. материалах δ может быть велик (десятки градусов). При расчете распределения электрич. поля и уд. потерь в материале удобно пользоваться комплексной диэлектрич. проницаемостью $\tilde{\epsilon} = \epsilon \epsilon^{-j\delta} = \epsilon' - j\epsilon''$.

С повышением частоты в нагреваемом материале сказываются волновые процессы, приводящие к неравномерности распределения электрич. поля в материале. Наиболее просто оценить неравномерности, обусловленные волновыми процессами, по распределению поля в круглом цилиндре, находящемся в поле конденсатора, пластины к-рого плотно прилегают к торцам цилиндра. Распределение напряженности поля в этом случае выражается ф-лой $E = E_0 I_0(\xi)$, где I_0 — цилиндрич. ф-ция нулевого порядка, E_0 — напряженность поля на оси цилиндра, $\xi = \frac{2\pi r}{\lambda} e^{-j\delta/2}$, r — радиус рассматриваемой точки, а $\lambda = c/f\sqrt{\epsilon}$ — длина волны в материале, определяемая по модулю комплексной диэлектрич. проницаемости ϵ , частоте f и скорости света c . В зависимости от угла потерь δ график распределения E^2 , а следовательно, и источников тепла в материале имеет различный вид (рис. 3). При $|\xi| < 1$

$$I_0(\xi) \approx 1 - \left(\frac{\pi r}{\lambda}\right)^2 e^{-j\delta}$$

и расчет E упрощается. Если $\text{tg } \delta \ll 1$, то для того, чтобы напряженность поля в цилиндре радиуса r при направлении поля по оси цилиндра имела неравномерность меньше 1%, частота должна быть меньше $\frac{0,1 c}{\pi r \sqrt{\epsilon}}$, где c — скорость света, а ϵ — модуль комплексной диэлектрич. проницаемости материала. Поэтому для

нагрева больших деталей применяются меньшие частоты, чем при нагреве малых изделий. При неоднородности структуры материала возможны существенные неравномерности нагрева, обусловленные различными свойствами разных участков материала. Если

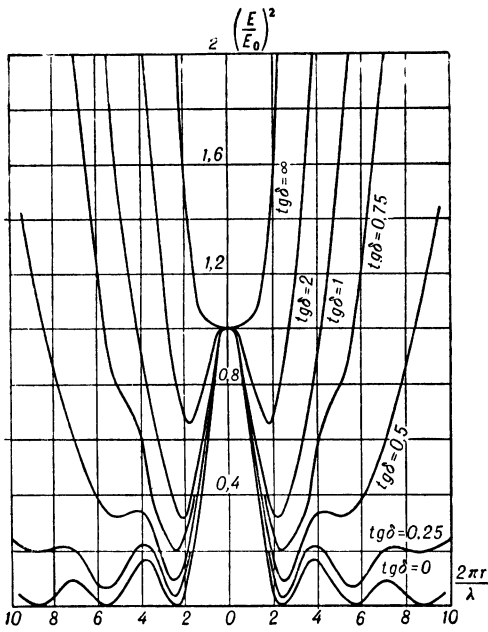


Рис. 3. Распределение мощности в цилиндре.

участки с различными свойствами в электрич. поле расположены параллельно, так что напряженность электрич. поля в них одинакова, то уд. мощности распределяются прямо пропорционально коэфф. потерь ϵ'' . Если же различные материалы расположены в электрич. поле последовательно, то плотность тока в них одинакова и удельные мощности распределяются прямо пропорционально коэфф. κ'' , определяемому из комплексного соотношения

$$\tilde{\kappa} = 1/\tilde{\epsilon} = \kappa' + j\kappa''.$$

При соответствующем выборе частоты f и направления поля можно обеспечивать преим. нагрев той или иной составляющей неоднородного материала (селективный нагрев).

Приближенный расчет мощности, необходимой для Д. н., производится на основании теплового баланса по ф-ле

$$P = \frac{4.17}{t} (G C \Delta \theta + q \Delta G),$$

где t — время (сек); G — вес материала (кг); C — его уд. теплоемкость; $\Delta \theta$ — темп-ра нагрева; ΔG — вес вещества (кг), переходящего из одного состояния в другое с уд. теплотой перехода q (ккал/кг). Для расчета полезной мощности Д. н. можно применять номограмму (рис. 4). Обычно за счет различного рода потерь тепла в установке мощность, потребляемая от сети, в 1,7—2,4 раза больше, чем полезная мощность.

Д. н. применяется для быстрого нагрева материалов с малой теплопроводностью. Рабочий конденсатор установки Д. н. может как

периодически загружаться нагреваемым материалом, так и совмещаться с технологич. конвейером, непрерывно перемещающим в

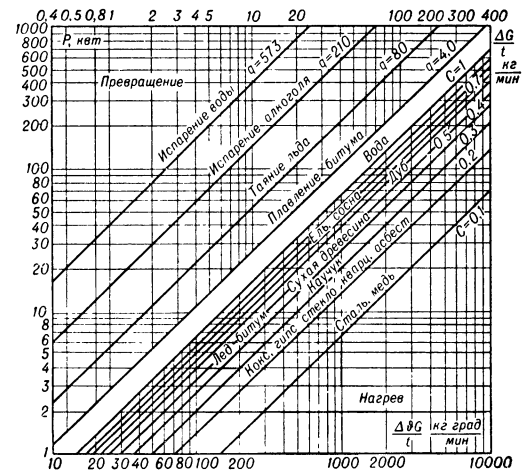


Рис. 4. Номограмма для расчета полезной мощности диэлектрич. нагрева.

электрич. поле нагреваемые детали (рис. 5). Рабочие конденсаторы имеют самые различные конструкции. При конвейерном нагреве материалов, свойства к-рых сильно изменяются в процессе нагрева, один из электродов (обычно верхний) выполняется сложной формы (иногда из неск. частей; величиной зазора между электродом и поверхностью материала

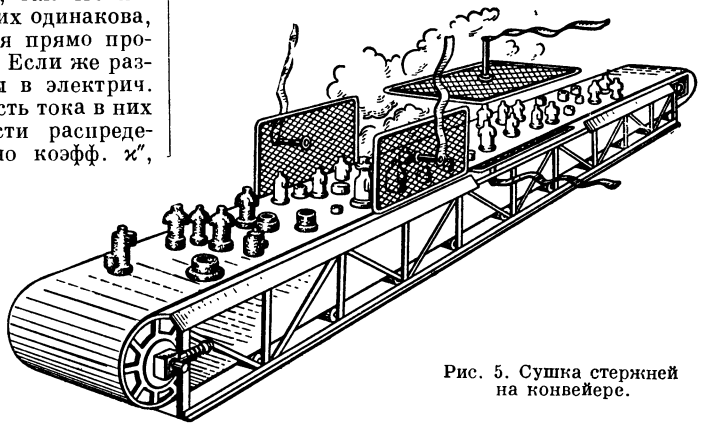


Рис. 5. Сушка стержней на конвейере.

регулируется технологич. режим нагрева. При сушке капиллярно-пористых материалов в электрич. поле высокой частоты технологич. режим может быть разделен на 3 периода: нагрев, сушка при темп-ре 100° С и дальнейший нагрев сухого тела. Профиль электрода задается условиями требуемого режима в каждом из этих периодов. Плотное прилегание электрода к поверхности нагреваемых деталей достигается различными конструкциями эластичных, ленточных и пружинящих электродов. Основные области применения Д. н.: нагрев термопластич. масс с целью пресования и сварки (см. *Диэлектрический нагрев термопластических материалов*), нагрев при склейке древесины, сушка самых различных материалов, вулканизация каучука, декри-

сталлизация натурального каучука, приготовление пищевых продуктов, варка стекла и др. (см. *Диэлектрический нагрев в волноводе и объемном резонаторе*). Главнейшие преимущества Д. н. в сравнении с иными видами нагрева: значит. ускорение технологич. процесса, возможность конвейеризации, повышение равномерности нагрева, сокращение производств. площадей, повышение качества продукции, улучшение санитарно-гигиенич. условий труда, сокращение отходов произ-ва, возможность быстрого нагрева локальных участков (напр., сварные швы, клей и др.). Недостатки Д. н.: относительно высокий расход электроэнергии, сложность технологич. оборудования. В зависимости от требуемых скоростей нагрева и габаритов нагреваемых изделий для Д. н. применяются генераторы мощностью от 0,2 до 60 кВт с частотами от 10 Мгц до 2000 Мгц (см. *Генератор для диэлектрического нагрева*).

Лит.: Нетушил А. В. [и др.], Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников, 2 изд., М.—Л., 1959; Нетушил А. В., Жуховицкий Б. Я. и Кудин В. Н., Высокочастотный нагрев в электрическом поле, М., 1961; Брицын Н. Л., Нагрев в электрическом поле высокой частоты, 2 изд., М.—Л., 1957; Фогель А. А., Промышленное применение токов высокой частоты, М.—Л., 1957; Бабат Г. И., Токи высокой частоты, М., 1956; Донской А. В., Высокочастотная электротермия, Л., 1960; Жмакин Н. П., Исследование процесса нагрева влажных материалов токами высокой частоты, «ДАН БССР», 1960, т. 4, № 1. А. В. Нетушил.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ В ВОЛНОВОДЕ и объемном резонаторе (dielectric heating in waveguide and cavity resonator; chauffage diélectrique dans les guides d'ondes et cavités résonnantes; dielektrische Erwärmung in Hohlleitern und Hohlraumresonatoren) — нагрев диэлектрич. материалов в электрич. поле электромагнитной волны при наивысших частотах, применяемых для диэлектрич. нагрева (длинах волн от 3 до 30 см). В этом диапазоне волн линиями передачи электромагнитной энергии служат *волноводы*; колебат. контуры с катушками индуктивности и конденсаторами заменяются *резонаторами объемными*, а ВЧ колебания генерируются *магнетронами* непрерывного действия. Из этих устройств и состоит в общем случае ВЧ часть установки Д. н. в в. С увеличением частоты изменения электромагнитного поля, в к-ром помещен диэлектрич. материал, выделяющаяся в материале мощность увеличивается, растет скорость нагрева и становится возможным нагрев материалов с относительно небольшим тангенсом угла потерь.

При нагреве диэлектриков в прямоугольном волноводе обычно возбуждается электромагнитная волна простейшего типа TE_{10} (H_{10}). На рис. 1 показаны линии (сплошные) электрич. поля и линии (пунктирные) магнитного поля этой волны в поперечном сечении волновода. Линии вектора напряженности электрич. поля E параллельны узкой стенке волновода, т. е. имеют только одну составляющую $E_y = E$. По высоте волновода напряженность поля не изменяется, вдоль широкой стенки волновода (оси x) величина напряженности электрич. поля распределена по синусоид. закону. Неравномерное распределение электрич. поля обуславливает и область применения Д. н. в в. В электрич. поле волны, бегущей вдоль волновода, можно, напр., эффективно сушить полотно (бумажное, тек-

стильное, из пластич. материала), к-рое должно проходить через волновод параллельно узкой стенке в центре широкой стенки (рис. 2), где напряженность электрич. поля наибольшая. Продольные прорезы в середине широкой стенки не искажают поле в волноводе, т. к. токи в его стенках не пересекают линию разреза. Излучения ВЧ энер-

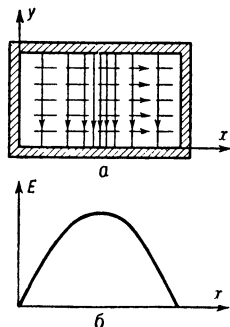


Рис. 1.

Распределение электрич. поля волны TE_{10} в прямоугольном волноводе.

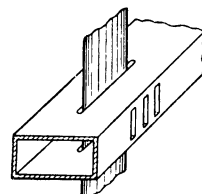
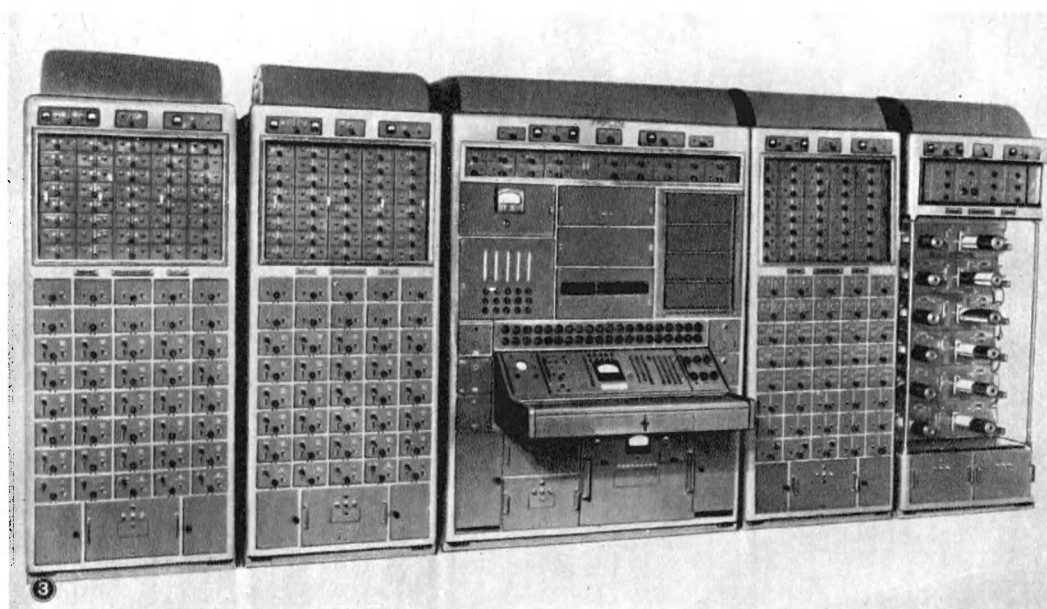
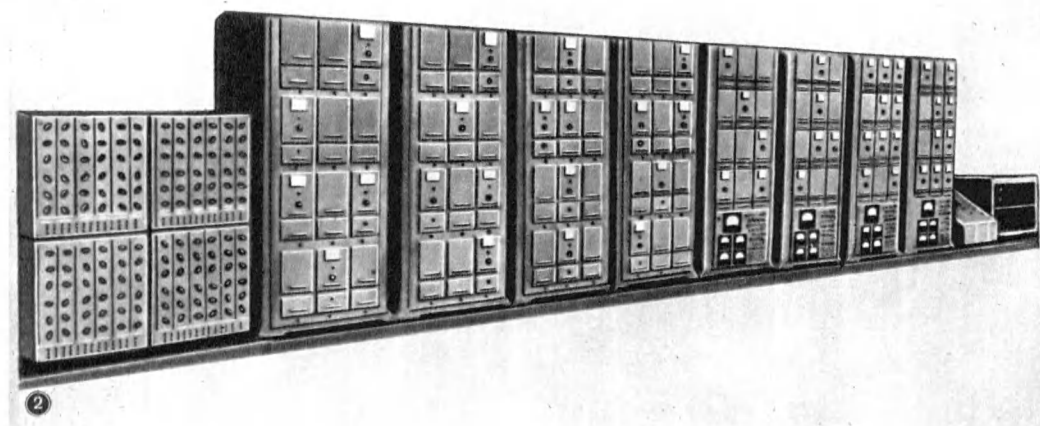
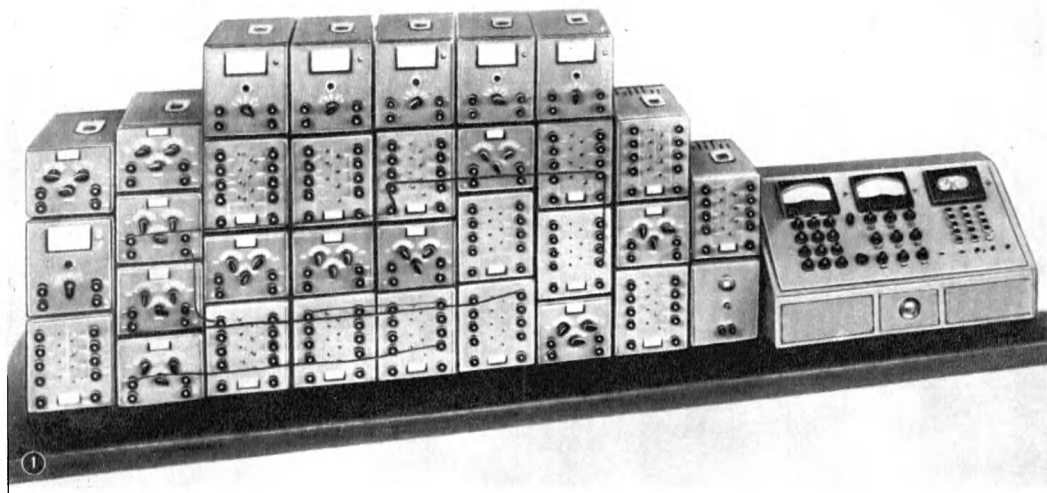


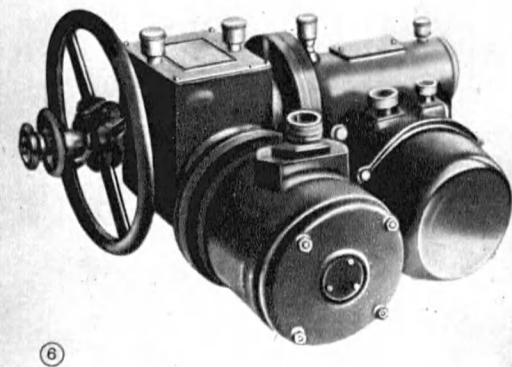
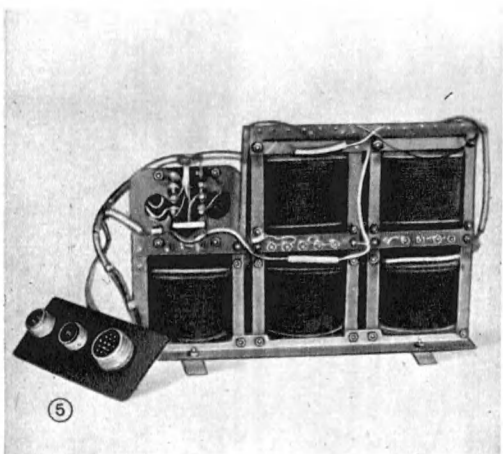
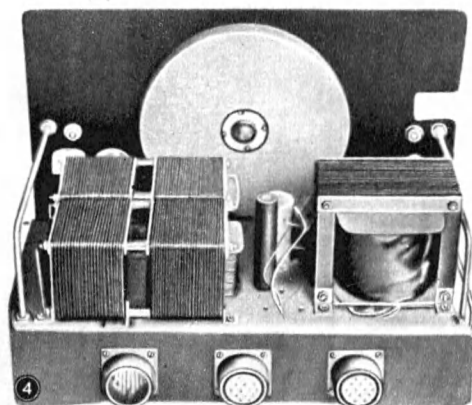
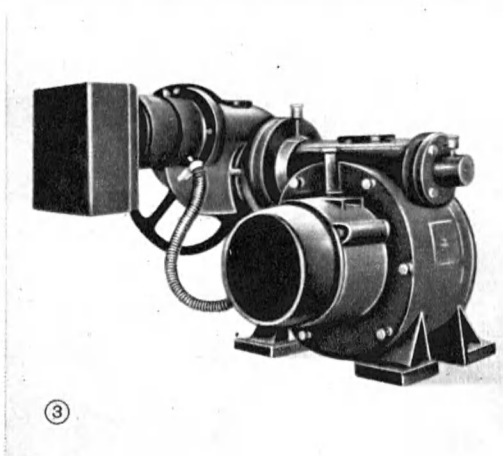
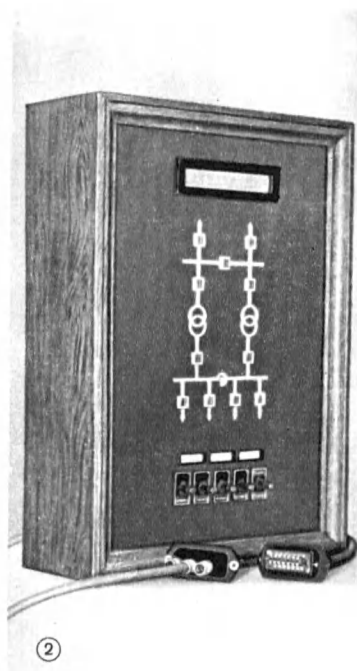
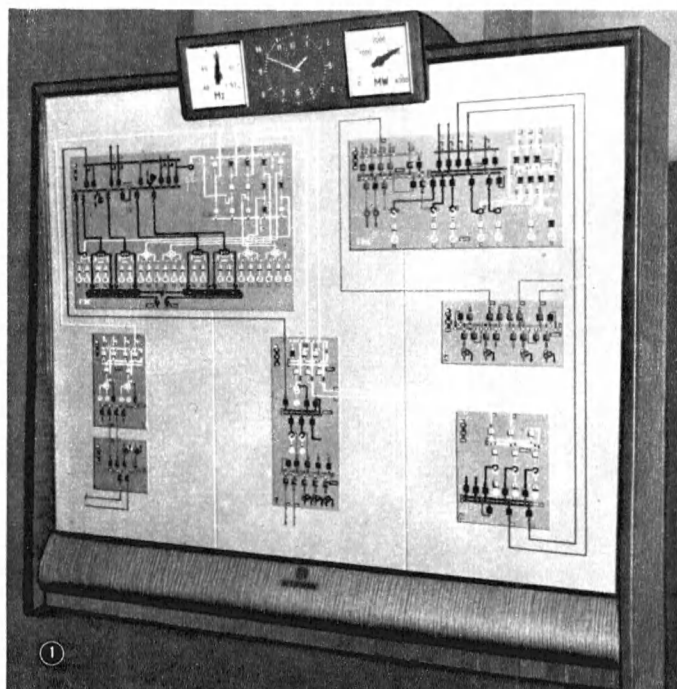
Рис. 2.

Движение полотна сквозь прорезы в волноводе.

гии из таких прорезов не происходит, т. е. не нарушается достоинство данного метода нагрева — полностью экранированная рабочая камера. В узких стенках волновода по тем же соображениям допустимы вертикальные узкие щели, через к-рые удаляется влага. При питании волновода от магнетрона нужно добиваться отсутствия волны, отраженной от конца волновода, т. е. режима согласованной нагрузки. При рассогласовании, приводящем к уменьшению отдаваемой магнетроном мощности, кпд установки падает, увеличивается электронная бомбардировка катода магнетрона, что может привести к его гибели. При перегрузке возможны перенапряжение и пробой в коаксиальном выводе ВЧ энергии из магнетрона, а также нестабильность генерации. При мощности магнетрона 2 кВт и спец. его конструкции удается обеспечить работу установки при отражении до 50% мощности; с ростом номин. мощности магнетрона необходимо лучшее согласование нагрузки. В установке для сушки полотна энергия волны, бегущей вдоль волновода, только частично поглощается полотном. Доля поглощенной энергии зависит от параметров полотна и его влажности. Остаточная энергия поглощается в балластной нагрузке в конце волновода. Отраженная волна не только нарушает режим работы магнетрона, но и приводит к неравномерной сушке широкого полотна, т. к. вдоль волновода образуются стоячие волны с максимумами и минимумами напряженности электрич. поля, к-рые чередуются и отстоят друг от друга на расстоянии $1/4$ длины волны. Для улучшения кпд долю поглощенной в полотне энергии надо увеличить. Значительно возрастает кпд при многократном прохождении полотна в поле бегущей волны. Для этого волновод изгибают в виде змеевика, так что полотно проходит сквозь волновод неск. раз. Для улучшения кпд целесообразно еще выбрать движение полотна от последних секций к первым. В этом случае подсухшее полотно с меньшим коэфф. потерь находится в более интенсивном поле первых секций. Задача удаления влаги через узкие прорезы упрощается, т. к. количество влаги, выделяющейся вдоль волно-



К ст. Аналоговая вычислительная машина, работающая в натуральном масштабе времени. 1 — ИПТ-5, малой мощности, линейная, блочного типа. 2 — МПТ-9, средней мощности, с большим количеством переменных коэффициентов, линейная, секционного типа. 3 — МН-14, средней мощности, нелинейная, секционного типа.



1—2. К ст. Воспроизведение сигналов. Оперативные диспетчерские схемы: 1 — с мимическими символами; 2 — со световыми символами. 3—6. К ст. Исполнительный механизм электрический. 3 — Общий вид исполнительного механизма типа ИМТ-25/120. 4 — Общий вид регулирующего устройства БР-21. 5 — Блок дросселей насыщения БДН-21. 6 — Исполнительные механизмы, предназначенные для работы с БР-21.

вода, становится более равномерным. В установке с 8 секциями для сушки хлопчатобумажного полотна шириной 0,5 м и толщиной 0,5 мм при влажности материала более 15% поглощается 90% энергии волны.

Принцип нагрева в объемном резонаторе используется в ВЧ печах для приготовления пищи. Сначала нагрев пищевых продуктов в объемном резонаторе применялся для оттаивания и разогрева замороженных продуктов. Теперь сконструированы ВЧ печи для варки, кипячения, обжаривания, печения пищи. Для быстрого приготовления пищи нужны установки сантиметрового диапазона волн, т. к. все содержащие воду продукты имеют коэфф. потерь больше, чем у др. диэлектриков, обрабатываемых в электрич. поле (термопластики, древесина, резина и др.), но допустимая напряженность поля намного меньше. Чаще всего выбирается длина волны 10—12 см. При более высоких частотах потери продолжают расти, однако глубина проникновения электромагнитной волны в продукт становится слишком маленькой и получается очень селективный нагрев частей с повышенным содержанием влаги. Напр., у мяса при частоте 2700 МГц глубина проникновения порядка 6 см, так что можно приготовить порции толщиной до 15 см (по мере варки количество влаги уменьшается и глубина проникновения растет). Для приготовления больших порций нужно снизить частоту поля. При этом растут габариты всей ВЧ аппаратуры. На рис. 3

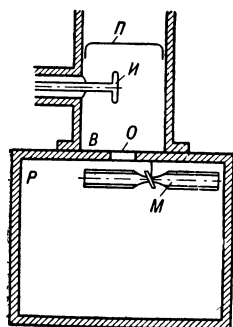


Рис. 3. Схема прямоугольного резонатора печи для приготовления пищи.

показана одна из конструкций печи. Электромагнитное поле в волноводе В возбуждается излучателем И, к-рым заканчивается коаксиальный вывод магнетрона. Для уменьшения длины излучателя на его конце находится металлич. диск. ВЧ энергия поступает в объемный резонатор Р через отверстие О. Для настройки служит поршень П. В резонаторе устанавливаются стоячие волны с неодинаковой интенсивностью электрического поля в различных точках. Поэтому пища нагревается неравномерно. Важнейшая проблема, которую приходится решать, — это выбор конструкции резонатора. Желательно получить не колебания строго фиксированного типа, а, наоборот, неск. типов колебаний с различным распределением поля. Для этого изменяют форму резонатора (срезают углы), уменьшают его добротность. Иногда добиваются только пост. средней во времени величины напряженности электрич. поля при помощи вращающихся антенн, применения неск. излучателей, подвижной стенки резонатора или вращающегося подноса с пищей. На рис. 3 показана «ВЧ мшалка» М. Это металлич. пропеллер на керамич. оси, вращаемый двигателем. При вращении пропеллера изменяются условия связи резонатора с волноводом и распределение поля в резонаторе. Для лучшего нагрева поверхности и образования корочки применяется добавочное облучение пищи ИК лучами или

ставятся электрич. жаровни. В печах для приготовления пищи нагрузка магнетрона может быть самой различной в зависимости от количества и рода продуктов. Поэтому задача согласования нагрузки сложнее, чем при сушке полотна. Для уменьшения мощности отраженной волны можно применять резонатор со стенками из плохо проводящих материалов или поглощающих энергию диэлектриков, но в этом случае кпд установки снижается. Предложено применение металлич. сеток из параллельных проволочек, препятствующих проникновению энергии из резонатора обратно в волновод. В простейшем случае ограничиваются защитой магнетрона при помощи балластного сопротивления и макс. реле.

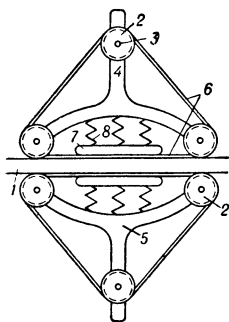
Б. Я. Жуховицкий.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ ПРЕСПРОШКОВ. Таблетированные пресспорошки помещаются в электрич. поле, где нагреваются до темп-ры 130—160°C, приобретая необходимую для прессования пластичность. Переход к высокочастотному предварительному подогреву прессовочных материалов позволил сократить эту операцию с 3—30 мин. до 20—30 сек. и значительно уменьшить время выдержки материала под прессом. Для д. н. п. применяются ВЧ генераторы мощностью 0,6—10 кВт с частотой 20—40 МГц (см. *Генератор для диэлектрического нагрева*).

А. В. Нетицки.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ (dielectric heating of thermoplastic materials; chauffage diélectrique des matériaux thermoplastiques; dielektrische Erwärmung von Thermoplasten) применяется гл. обр. для соединения (сварки) отд. частей при изготовлении различных изделий из этих материалов. Процесс сварки происходит вследствие разогрева в ВЧ электрич. поле до темп-ры плавления участка материала, находящегося под электродами рабочего конденсатора, к к-рым приложено соответствующее давление. Сварке подвергаются как эластичные пленки, так и жесткие материалы в виде листов, труб и др. При помощи ВЧ сварки изготавливаются различные технич. изделия, защитная упаковка и одежда, тара, а также предметы широкого потребления (папки, бумажники, футляры, сумки, плащи и др.). При частоте электрич. поля до 40—50 МГц легко свариваются такие материалы, как полихлорвинил, винипласт, винипроз и др., имеющие tgδ порядка 10⁻². Время сварки в зависимости от рода материала, размеров свариваемых изделий и мощности установки находится в пределах от десятых долей до единиц сек. Применяются 2 основных способа ВЧ сварки: непрерывно-последоват. и одновременный. При непрерывно-последоват. способе рабочий конденсатор состоит из двух вращающихся роликов, между к-рыми движется свариваемый материал. Один из роликов является ведущим и соединен с электроприводом. Второй, высокопотенциальный, изолирован от корпуса установки диэлектриком, обладающим малыми потерями. Давление на материал передается через верхний ролик от пружины. Производительность при таком способе сварки не превышает 5 м/мин. Для увеличения производительности используются конструкции рабочего конденсатора, характерной особенностью к-рых является наличие замкнутой движущейся вместе с материалом металлич. ленты. В таких конструкциях

(рис.) длина линии касания электродов с материалом может быть выбрана сколь угодно большой и скорость сварки практически не ограничена. Свариваемый материал может протаскиваться самой системой электродов.



Ленточные электроды с прямолинейным рабочим участком: 1 — нагреваемый материал; 2 — ролик; 3 — ось ролика; 4 и 5 — опорные планки; 6 — металл. лента; 7 — прижимная планка; 8 — пружина.

При одновременном способе электроды рабочего конденсатора, выполненные в виде штампов, повторяющих требуемую конфигурацию шва, установлены в прессе. Для сварки встык труб из литого винилпласта применяется рабочий конденсатор в виде двух пар полуколец из цветного металла. Внутрь трубы вставляется разъемный вкладыш из изоляц. материала с малыми потерями, препятствующий образованию в процессе сварки выступов или шероховатостей на внутр. поверхности трубы. При стыковой сварке плоских листов применяются прямолинейные электроды. Свариваемые листы располагаются на твердом основании. Между электродами и листами над стыком укладывается упругая изоляц. прокладка, ограничивающая шов в высоту и улучшающая его форму. К электродам прикладывается давление в направлении, перпендикулярном плоскости листов. Разогретый материал вдавливаются в пространство между электродами, образуя утопл. шов. Прессовая сварка обеспечивает большую производительность при высоком качестве сварных швов. Прессы имеют ножной, пневматич. или гидравлич. привод. Конструктивно они выполняются: 1) с остаточным зазором, обеспечивающим заданную конечную толщину шва; при этом давление на сварной шов в процессе сварки меняется от макс. значения до 0; 2) с пост. давлением в течение всего периода сварки; 3) с двумя ступенями давления: при небольшом давлении производится нагрев материала до плавления, после чего нагрев прекращается, а давление повышается. Усилия в прессах в зависимости от мощности сварочной установки бывают от неск. кг до неск. т. Напряжение ВЧ подается на рабочий конденсатор от лампового генератора мощностью от неск. сот *вт* до десятков *квт* для сварки швов площадью от единиц до сотен *см*².

Лит.: Брицын Н. Л., Федорова И. Г., Сварка термопластич. пластмасс, в сб.: Промышленное применение токов высокой частоты, М.—Л., 1954; Grinstead L. and Zade H. P., Radio frequency welding of plastics, «J. Brit. Instn Radio Engrs», 1949, v. 9, № 9. А. А. Фрумкин.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ (dielectric amplifier; amplificateur diélectrique; dielektrischer Verstärker)— усилитель напряжения и мощности, основанный на использовании конденсаторов с нелинейными диэлектриками (*варикондов*), диэлектрич. проницаемость *k*-рых зависит от величины электрич. поля. Д. у. применяется в ряде устройств автоматики. Простейшая схема Д. у. (рис.) состоит из последовательно соединенных нелинейного конденсатора $C=f(U)$ и сопротив-

ления нагрузки Z_n , подключенных к источнику перем. тока U , выполняющему роль, аналогичную источнику анодного напряжения в электронных усилителях. К обкладкам нелинейного конденсатора одновременно подводится входной (усиливаемый) сигнал $U_{вх}$, частота к-рого должна быть значительно (не менее, чем в 5—10 раз) меньше частоты источника питания цепи нагрузки. При изменении величины входного сигнала меняется суммарная напряженность электрического поля конденсатора. Т. к. в диэлектрике существует нелинейная зависимость между зарядом и напряжением, то это приводит к изменению диэлектрич. проницаемости и, следовательно, емкости. Изменение емкости конденсатора вызовет изменение тока нагрузки и величины падения напряжения на ней, т. е. изменение напряжения выходного сигнала $U_{вых}$. Поскольку с увеличением напряженности электрич. поля диэлектрич. проницаемость и, соответственно, емкость нелинейного конденсатора уменьшаются, то сопротивление цепи нагрузки при этом возрастает, и выходное напряжение Д. у. уменьшается с возрастанием $U_{вх}$.

Дроссель L_g служит для ограничения токов, к-рые могут поступать во входную цепь от источника напряжения в цепи нагрузки, а линейный конденсатор C_g — для ограничения токов, поступающих из входной цепи в цепь нагрузки. Иногда вместо дросселей применяют активное сопротивление достаточно большой величины, а конденсаторы берутся также нелинейными, что неск. повышает коэфф. усиления и быстродействие Д. у. Недостатком Д. у. по сравнению с электронными и быстродействующими магнитными усилителями является более высокая инерционность, обусловленная введением в схему указанных выше средств для развязки гальванически связанных цепей входа и выхода. С др. стороны, Д. у. обладают большой механич. прочностью, практически неограниченным сроком службы и пост. готовностью к действию. Применение Д. у. особенно целесообразно на повыш. частотах (начиная с *кГц*), т. к. при этом сопротивление конденсаторов уменьшается, и выходная мощность Д. у. возрастает при сохранении габаритов. В случае использования нелинейных диэлектриков с небольшими диэлектрич. потерями Д. у. при ВЧ конкурируют с магнитными усилителями из-за более высокого входного сопротивления. Параметры сегнетоэлектриков, применяемых для изготовления нелинейных конденсаторов (вариконды типов ВК), существенно зависят от темп-ры, а кратность изменения величины диэлектрич. проницаемости близка к 10.

Д. у. могут выполняться также по мостовым и дифференциальным схемам, с выходом на пост. токе и т. п., но во всех этих случаях коэфф. усиления по напряжению близок к 1, т. е. Д. у. могут выполнять роль только усилителей мощности. Для получения усиления по напряжению применяются спец. 4-электродные нелинейные конденсаторы с двумя взаимно-перпендикулярно расположенными обкладками. Эта конструкция одновременно решает и вопрос гальванич. развязки

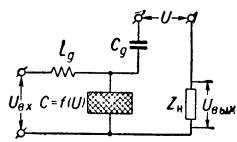


Схема простейшего диэлектрич. усилителя.

входа и выхода, однако емкость таких конденсаторов из-за большого расстояния между обкладками становится невысокой. С. П. Колосов.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ИЗМЕРЕНИЕ (dielectric leakage measurement; mesure des pertes diélectriques; Dielektrizitätsverlustmessung). Диэлектрич. потери, как правило, измеряются одновременно с измерением диэлектрич. проницаемости вещества. В диапазоне частот 50 гц—10 Мгц применяются мостовые методы измерения. На пром. и звуковых частотах измерения можно производить на мостах Шеринга, в диапазоне ВЧ—на спец. мостах. При разработке и применении таких мостов основная трудность состоит в исключении из результатов измерения влияния паразитных элементов схемы. В диапазоне 50 кгц—200 Мгц наибольшее распространение получили резонансно-вариационные методы. Сущность этих методов заключается в том, что ширина резонансной кривой напряжения $U(\omega)$ или $U(C)$ (в параллельном резонансном контуре) или тока $I(\omega)$ или $I(C)$ (в последоват. резонансном контуре) однозначно определяется добротностью контура. В свою очередь, добротность контура зависит от диэлектрич. потерь включенного в контур конденсатора с исследуемым материалом. Т. о., измерив ширину резонансной кривой контура без образца и с образцом, можно определить диэлектрич. потери образца. Для измерения ширины резонансной кривой контур расширяется либо путем изменения емкости (метод вариации емкости), либо путем изменения частоты (метод вариации частоты). Реже настройку производят, вводя в контур добавочное эталонное сопротивление (метод вариации сопротивления). Резонансно-вариационные методы практически применимы при значениях $\operatorname{tg} \delta$ вещества от 1 до 0,001. При больших и меньших значениях $\operatorname{tg} \delta$ очень сильно возрастает случайная погрешность измерения. На резонансном принципе основан широко распространенный прибор для измерения комплексных сопротивлений — *куметр*. Существующие типы этих приборов позволяют измерять диэлектрич. потери в диапазоне 50 кгц—200 Мгц; точность измерения с помощью куметров типа КВ-1 и УК-1 не выше 5%.

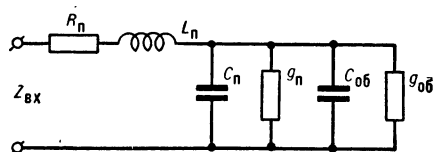


Схема замещения конденсатора с образцом: $C_{об}$ — емкость образца в параллельной схеме замещения; $g_{об}$ — проводимость образца в параллельной схеме замещения; C_n — паразитная емкость; g_n — паразитная активная проводимость; L_n — паразитная индуктивность; R_n — паразитное активное сопротивление.

Всеми перечисленными выше методами измеряется комплексное входное сопротивление конденсатора с образцом. При переходе от входного сопротивления конденсатора к параметрам вещества необходимо представить конденсатор в виде схемы замещения (рис.). При непосредственном присоединении конденсатора к образцом к зажимам измерит. схемы и измерении на частотах, не превыша-

ющих 5—10 Мгц, можно пренебречь влиянием L_n . Если $\operatorname{tg} \delta > 0,01$, то практически можно не учитывать R_n . Проводимость g_n приходится учитывать в тех случаях, когда в конденсаторе имеются изоляц. детали между электродами. Емкость C_n учитывается во всех случаях, за исключением измерений с охранном кольцом (мост Шеринга). Все паразитные параметры схемы замещения конденсатора могут быть измерены. В ВЧ диапазоне (практически при $f > 10$ Мгц) необходимо учитывать влияние паразитных элементов измерит. схем, в частности при применении куметров — паразитную индуктивность ветви настроенного конденсатора. На частотах, превышающих 200 Мгц, из-за влияния паразитных элементов, схемы с сосредоточенными постоянными применяют очень редко и переходят к измерению с помощью измерит. линий и измерит. волноводов. При этих методах измеряемое вещество заполняет нек-рый участок *коаксиальной линии* или волновода. Распределение напряжения вдоль линии между образцом и генератором полностью определяется входным сопротивлением участка с образцом. В свою очередь, параметры образца и участка линии за образцом полностью характеризуют входное сопротивление участка. Т. о., по распределению напряжения вдоль линии перед образцом можно рассчитать диэлектрич. проницаемость и потери в веществе.

Кроме этих методов одновременного измерения диэлектрич. потерь и диэлектрич. проницаемости, существуют калориметрич. методы измерения потерь. Образец нагревается в поле ВЧ в калорифере, и по повышению темп-ры образца делают заключение о диэлектрич. потерях. При этом, кроме геометрич. размеров, необходимо знать напряженность электрич. поля в образце и его теплоемкость. Точное измерение напряженности поля на ВЧ связано всегда с дополнит. трудностями.

Лит.: Тареев В. М. и Казарновский Д. М., Испытания электроизоляционных материалов, М.—Л., 1959; Нетушил А. В. [и др.], Высоко-частотный нагрев диэлектриков и полупроводников, 2 изд., М.—Л., 1959; Диэлектрики и их применение, пер. с англ., М.—Л., 1959. В. Н. Кудин.

ДЛИНА ВОЛНЫ (wave-length; longueur d'onde; Wellenlänge) — см. *Частота*.

ДЛИННАЯ ЛИНИЯ (long line; ligne longue; lange Leitung) — электрич. линия с распределенными параметрами, длина к-рой превышает четверть длины волны передаваемых электрич. колебаний, а поперечные размеры много меньше длины волны. Для волн УКВ диапазона, широко используемых в совр. электронных и радиотехнич. устройствах, все линии передачи сколько-нибудь значит. размеров являются в этом смысле Д. л. и характеризуются определ. параметрами и законами распределения токов и напряжений. Д. л. конструктивно выполняются в виде двух проводников, расположенных параллельно или коаксиально друг другу (см. *Двухпроводная линия* и *Коаксиальная линия*). Д. л. характеризуется четырьмя параметрами, отнесенными к единице ее длины: последоват. сопротивлением проводников R_l , последоват. индуктивностью L_l , емкостью C_l и утечкой между проводниками G_l . Д. л. наз. однородной, если ее параметры остаются неизменными по всей ее длине. Величина $\sqrt{\frac{L_l}{C_l}}$ имеет размерность сопротивления и наз. в о л н о в ы м

сопротивлением W Д. л., не имеющей активных потерь. Оно является тем сопротивлением, к-рое представляет собой Д. л. бесконечной длины без потерь для бегущей волны напряжения, распространяющейся вдоль нее от источника возбуждения (см. *Волна бегущая*). Величина волнового сопротивления Д. л. без потерь не зависит от частоты передаваемых электрич. колебаний и длины самой линии. При подключении к началу Д. л. длиной l источника синусоидальной эдс вдоль нее с конечной скоростью распространяются волны напряжения и тока. Время распространения волны до конца линии $t = l \sqrt{L_1 \cdot C_1}$. Характер распределения волн тока и напряжения вдоль Д. л. определяется сопротивлением нагрузки на ее конце. В зависимости от его величины и вида в линии может установиться или бегущая волна (при активной согласованной нагрузке), когда вдоль Д. л. распространяется электромагнитная волна только в одном направлении и вся энергия поглощается нагрузкой, или (при несогласованной нагрузке) — прямая и отраженная волны, когда часть энергии отражается обратно от нагрузки. Отношение мгновенных значений амплитуд волны напряжения (или тока), отраженной от нагрузки к волне напряжения (или тока), распространяющейся к нагрузке, наз. коэфф. отражения p . Его величина меняется от 0 до ± 1 в зависимости от величины и характера сопротивления нагрузки. При согласованной нагрузке отражение не имеет места и $p=0$. При полном отражении энергии от конца линии $p=1$ и в линии возникает волна стоячая.

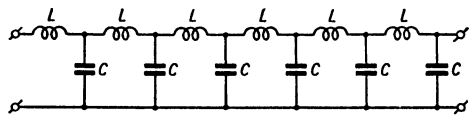
Входное сопротивление Д. л. зависит от частоты питающего ее источника перем. напряжения (генератора) и параметров самой линии: ее длины, волнового сопротивления и вида сопротивления нагрузки на конце. В режиме бегущей волны входное сопротивление Д. л. равно ее волновому сопротивлению и становится не зависящим от длины линии. В этом случае Д. л. сама не оказывает влияния на подключенный к ее началу генератор, условия работы к-рого (при малом затухании энергии в линии) становятся такими же, как если бы сопротивление нагрузки было подключено непосредственно к его выходу, а линии не имело вовсе. Если Д. л. не имеет потерь, то в режиме бегущей волны ее входное сопротивление не зависит от частоты питающего напряжения.

Существуют три характерных режима работы Д. л.: линия, разомкнутая на конце, линия, замкнутая на конце, и линия, замкнутая на сопротивление, равное волновому. Отрезок разомкнутой линии, неск. меньший четверти длины волны или больший ее на целое число полуволн, эквивалентен нек-рой емкости, а такой же отрезок замкнутой линии — индуктивности (см. *Короткозамкнутая линия*). Эти свойства Д. л. широко используются в УКВ технике. Отрезки Д. л., замкнутые на конце, используются, напр., в качестве резонансных контуров. При передаче энергии по Д. л. стремятся согласовать Д. л. с нагрузкой и приблизить коэфф. отражения к нулю. Тогда в режиме бегущей волны линия становится эквивалентной активному сопротивлению, равному волновому.

Лит.: А с е е в Б. П., Основы радиотехники, М., 1947; К р у г К. А., Основы электротехники, 6 изд., т. 2, М.—Д., 1946.

Ю. Б. Любченко.

ДЛИННАЯ ЛИНИЯ ИСКУССТВЕННАЯ (artificial line; ligne fictive, ligne artificielle; Kunstleitung, Künstliche Leitung) — электрическая цепь с сосредоточ. постоянными, образованная последоват. рядом звеньев из индуктивностей L и емкостей C и эквивалентная по своим св-вам длинной линии с распределенными постоянными L_1 и C_1 , равными по величине соответствующим постоянным Д. л. и. ($L=L_1$ и $C=C_1$). Д. л. и. широко применяются в качестве *линий задержки* и формирования электрич. импульсов вместо обычных длинных линий, к-рые получились бы слишком длинными. Простейшим типом Д. л. и. является многозвенный фильтр нижних частот (рис.). Эквивалентная длина Д. л. и. определяется количеством звеньев n . Волновое сопротивление Д. л. и. $W = \sqrt{L/C}$. Обычно Д. л. и. работает на сопротивление, равное волновому (см. *Волна бегущая*). Время



распространения волны от начала до конца Д. л. и. $t = n \sqrt{LC}$. С целью получения приемлемых габаритов Д. л. и., как правило, берут не более 5—8 звеньев. Чем больше число звеньев и чем меньше L и C каждого звена, тем больше св-ва Д. л. и. приближаются к реальной длинной линии. Конструктивно Д. л. и. выполняется в виде цилиндрич. катушки индуктивности величиной nL с отводами для присоединения емкостных звеньев. Иногда в качестве емкостей звеньев используется распределенная емкость витков цилиндрич. катушки индуктивности на ее металлич. корпус.

Лит.: И ц х о к и Я. С., Импульсные устройства, М., 1959.

Ю. Б. Любченко.

ДЛИННАЯ ЛИНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ (pneumatic long line; ligne pneumatique longue; pneumatische lange Leitung) — трубопровод относительно большой длины, соединяющий между собой пневматич. приборы или устройства (рис., а). В пневматич. системах контроля и управления, применяемых в СССР при автоматизации производств. процессов, обычно используются Д. л. п., составленные из участков протяженностью до 300 м. Трубопроводы, из к-рых составляются Д. л. п., прокладываются вдоль стен, крепятся на спец. подвесках или же укладываются в подземных туннелях. При прокладке Д. л. п. вне отапливаемых помещений особое внимание должно обращать на то, чтобы влага не конденсировалась в трубопроводах (см. *Воздухоподготовка для пневматических устройств*). Отдельные трубопроводы в Д. л. п. соединяются стандартными соединит. муфтами или *пневматическими итекерами*. При необходимости параллельной передачи неск. сигналов управления Д. л. п. выполняется в виде пневматич. кабеля, состоящего из неск. труб, свиваемых аналогично тому, как свиваются провода в электрич. многопроводном кабеле. Запоздывание передачи сигналов в Д. л. п. является основным фактором, ограничивающим скорость протекания рабочего процесса пневмосистемы.

При малых по сравнению со средним абс. давлением изменениях давления переходные процессы в Д. л. п. описываются след. систе-

мой дифференц. ур-ний:

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \psi R Q + L \frac{\partial Q}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

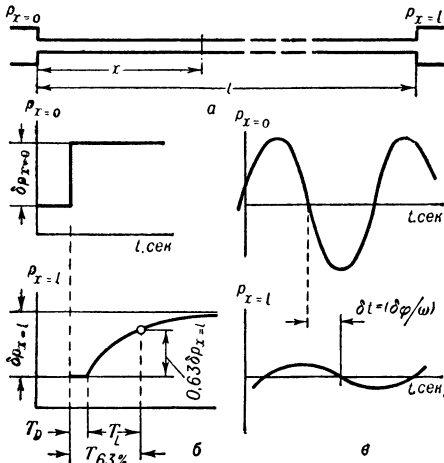
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + C \frac{\partial p}{\partial t} = 0,$$

где p — давление; Q — объемный расход; t — время; x — расстояние от входного сечения трубопровода; $R = \frac{8\mu}{f^2}$; $L = \frac{\rho}{f}$; $C = \frac{1}{\rho a^2}$; f — площадь поперечного сечения трубопровода; μ — динамич. коэфф. вязкости; ρ — плотность; a — скорость распространения волн (при неупругих стенках — скорость звука в среде, протекающей по трубопроводу); ψ — поправочный коэфф., вводимый в расчет с учетом опытных данных. Для решения системы дифференц. ур-ний (1) существенны граничные и нач. условия. На конце Д. л. п. чаще всего находится глухая камера; если объем этой камеры невелик, то считают Д. л. п. заглушенной на конце. Ур-ние камеры, присоединенной к трубопроводу:

$$Q = C_k \frac{dp}{dt},$$

где $C_k = V/p_0$; V — объем камеры; p_0 — средняя за процесс величина давления. Если объем камеры изменяется, напр., из-за присоединения к ней мембраны с площадью F , нагруженной силой пружины, жесткость к-рой равна B , то $C_k = \frac{V_0}{p_0} + \frac{F^2}{B}$, где V_0 — средняя величина объема камеры.

Чаще всего рассматривается процесс изменения давления и расхода в Д. л. п., следующий за скачкообразным изменением при $t=0$ избыточного давления на входе $p_{x=0}$ от нуля на величину $\delta p_{x=0}$, причем принимают нач. условия нулевыми, т. е. считают, что до момента $t=0$ во всех точках трубопровода



Хар-ки пневматич. длинной линии: а — схема пневматич. длинной линии; б — хар-ка $p_{x=l} = \varphi(t)$ при скачкообразном изменении $p_{x=0} = \varphi(t)$; в — хар-ка $p_{x=l} = \varphi(t)$ при гармонич. колебаниях $p_{x=0} = \varphi(t)$.

$p=0$ и $Q=0$. Типовая хар-ка изменения давления $p_{x=l}$ на конце трубопровода при указанных выше условиях изображена на рис., б. Вопрос о нач. условиях не возникает при установившихся гармонич. колебаниях давления $p_{x=0}$, вызывающих гармонич. же колебания давления $p_{x=l}$ (рис., в).

Система дифференц. ур-ний (1) решается методами операционного исчисления. Напр., для трубопровода, заглушенного на конце, при скачкообразном изменении $p_{x=0}$ на $\delta p_{x=0}$ и при нулевых начальных условиях,

$$p(x, t) = \delta p_{x=0} \times \left[1 + \frac{e^{-\alpha t}}{l^2 LC} \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \left(\frac{e^{\beta_j t}}{-\alpha + \beta_j} - \frac{e^{-\beta_j t}}{-\alpha - \beta_j} \right) \times \right. \\ \left. \times \frac{(2j+1)\pi}{2\beta_j} \cos \frac{2j+1}{2} \frac{l}{l} \pi \right], \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{\psi R}{2L}$ и $\beta_j = \sqrt{\alpha^2 - \frac{1}{CL} \left(\frac{2j+1}{2l} \pi \right)^2}$. Вычисляют при заданных t и x (в частности, при $x=l$) члены ряда (2) при $j=0, 1, 2, \dots$ и в каждом конкретном случае решают вопрос о количестве членов, к-рым можно ограничиться для аппроксимации ф-ции $p(x, t)$. Расчетные данные для Д. л. п. большой протяженности (с длиной порядка сотен м) хорошо согласуются с опытными данными при принятии величины $\psi=2-3$. Для таких Д. л. п. время $T_{63\%}$, за к-рое при скачкообразном изменении $p_{x=0}$ давление $p_{x=l}$ достигает 0,63 $\delta p_{x=0}$ (рис., б), приближенно равно: $T_{63\%} = 2RCl^2 \left(\frac{C_k}{Cl} + \frac{1}{2} \right)$, а частота колебаний (рис., в), при к-рой сдвиг по фазе между колебаниями $p_{x=0}$ и $p_{x=l}$ составляет $\delta\varphi=18^\circ$, приближенно равна:

$$\omega_{18^\circ} = \frac{1,5}{RCl^2 \left(\frac{C_k}{Cl} + \frac{1}{2} \right)}.$$

Например, для заглушенного на конце трубопровода с $l=300$ м, диаметром $d=6$ мм при $p_0=1$ атм имеем: $R=5,8 \cdot 10^4 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек} \cdot \text{м}^3}{\text{м}}$, $C=1,77 \cdot 10^{-9} \frac{\text{м}^5/\text{кг}}{\text{м}}$, $C_k=0$ и $T_{63\%}=9,2$ сек.

Ур-ниями (1) описываются также переходные процессы в коротких соединит. пневматич. трубопроводах и каналах приборов, рассматриваемых как системы с распределенными параметрами. Для коротких трубопроводов, при к-рых рассеяние механич. энергии воздуха на концах трубопровода превалирует над потерями механич. энергии в самом трубопроводе, может быть принято $\psi=0$; при этом удобно получать решение в форме блуждающих волн; при более сложных граничных условиях (напр., при наличии перепускного дросселя на конце трубопровода или др.) пользуются графич. методами решения.

Лит.: Залманзон Л. А., Проточные элементы пневматических приборов контроля и управления, М., 1961; Bra dner M., Pneumatic transmission lag, «Instruments», 1949, v. 22, № 7; S a m s o n J. E., Dynamic characteristics of pneumatic transmission, «Trans. Soc. Instrum. Technol.», 1958, v. 10, № 3.

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ИМПУЛЬСА (pulse duration, pulse time; durée d'impulsion; Impulsdauer) — условное определение времени существования импульса. Для импульса прямоугольной формы Д. и. — время, прошедшее от момента возникновения до момента исчезновения импульса. Иногда Д. и. отсчитывается от переднего до заднего фронта импульса на уровне 0,1 амплитуды. Если геометрическая форма импульса не позволяет четко фиксировать Д. и., вводится понятие активной Д. и., которая определяется как промежуток времени между передним и задним фронтом, отсчитанным на уровне 0,5 амплитуды импульса.

Е. Ф. Самбунова.

ДЛИТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ работы электрического аппарата (continuous duty; régime continu; Dauerbetrieb) — режим работы аппарата, в котором продолжительность включ. состояния больше или достаточна для того, чтобы темп-ра всех частей аппарата достигла установившегося значения (при неизменных условиях охлаждения). При Д. р. наблюдается баланс между теплом, выделяемым в электр. аппарате, и теплом, отводимым в окружающее пространство. Во многих случаях процесс нагрева токоведущих частей аппарата за счет выделяемой в них мощности P происходит по экспоненц. закону

$$\tau = \tau_y (1 - e^{-\frac{t}{T}}),$$

где τ — текущее превышение температуры; $\tau_y = P/A$ — установившееся значение превышения темп-ры; t — время, отсчитываемое от момента начала нагрева; $T = \frac{C}{A}$ — тепловая постоянная времени; A — теплоотдача с токоведущих частей; C — теплоемкость токоведущих частей. Если $t = 3T$, то $\frac{\tau_y - \tau}{\tau_y} = 5\%$; если

$t = 5T$, то $\frac{\tau_y - \tau}{\tau_y} = 1\%$. Практически можно считать, что Д. р. соответствует продолжительности включения, превышающей три тепловые постоянные времени. *Е. Л. Львов.*

ДОБРОТНОСТЬ системы автоматического регулирования (static error coefficient, velocity constant, acceleration constant; gain statique, constante de vitesse, constante d'accélération; Übertragungsfaktor) — величина, характеризующая точность работы САР в установившемся режиме; определяется значением коэфф. передачи разомкнутой системы. Численно равна независимому от параметра s преобразования Лапласа коэффициенту k передаточной ф-ции разомкнутой системы, представленной в виде

$$W(p) = \frac{k}{s^v} \cdot \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + 1}{a_0 s^q + a_1 s^{q-1} + \dots + 1}.$$

Для следящих систем с астатизмом 1-го порядка Д. наз. скоростной постоянной, а систем с астатизмом 2-го порядка — постоянной ускорения. Размерность Д. — (сек)^{-v}, где v — порядок астатизма системы; Д. статич. САР — величина безразмерная. Д. определяется: по передаточной ф-ции $k = \lim_{s \rightarrow 0} s^v \times W(s)$; по логарифмич. амплитудно-частотной хар-ке разомкнутой системы как ордината НЧасимптоты (или ее продолжения) при $\omega = 1$; как абсцисса ω_k пересечения продолжения НЧасимптоты с осью частот: $k = \omega_k^v$. Так как значение установившейся ошибки обратно величине Д., обычно в САР стремятся получить макс. значение Д., совместимое с требованием достаточного запаса устойчивости.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория. Под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

ДОБРОТНОСТЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА [meter quality; coefficient de qualité d'instrument (d'appareil de mesure); Meßgerätgüte] — качественная характеристика показывающих измерит. приборов с непосредств. отсчетом, подвижная часть измерит. механизма к-рых вращается на опорах с трением. Для количественной оценки Д. и. п. служит коэфф.

добротности, равный обратной величине относительной погрешности прибора от трения: $A = \alpha_m / \alpha_f = M_c \alpha_m / M_f$, где A — коэфф. добротности; α_m — угол полного отклонения; α_f — угловая погрешность от трения; M_c — уд. устанавливающий момент; M_f — момент трения. На основании теоретической зависимости момента трения в опорах на кернах M_f от веса подвижной части прибора G выражение коэфф. добротности имеет вид: $A = M_c \alpha_m / G^n$, где $n = 1-1,5-2,0$.

Коэфф. Д. и. п. определяет одно из главных свойств измерит. прибора, хотя и не оговариваемое стандартами и технич. условиями, но существенно влияющее как на его эксплуатационные, так и на технологич. хар-ки. В теории конструирования электроизмерит. приборов коэфф. Д. и. п. рассматривается как один из основных критериев качества измерит. механизма, хотя он и является в известной степени условной величиной. На практике употребляется след. выражение коэфф. Д. и. п.:

$$A_{пр} = \frac{10 M_c' \alpha_m}{G^n}, \text{ где } M_c' \text{ — в г·см на единицу}$$

угла, а вес G — в граммах. Коэфф. 10 введен для получения чисел, близких к единице. Величина практич. коэфф. добротности для точных лабораторных приборов от 0,3 до 0,7, для счетных приборов увеличивается до 1,0—1,5, для приборов, подверженных вибрации и тряске, — до 1,5—2,0 и для самонивелирующихся приборов достигает значений 5—15.

Лит.: А р у т ю н о в В. О., Расчет и конструирование электроизмерительных приборов, 2 изд., М.—Л., 1956. *Г. И. Кавалеров.*

ДОБРОТНОСТЬ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА (quality factor, Q-factor; coefficient de qualité; Güte, Gütefactor, Gütegrad) — величина, характеризующая его резонансные св-ва. Д. к. к. есть отношение амплитуды напряжения на конденсаторе контура при резонансе к амплитуде внешней эдс. Чем выше Д. к. к., тем медленнее в нем затухают колебания, тем острее его резонансная кривая. Принято обозначать Д. к. к. буквой Q (от лат. qualitas — качество). При резонансной частоте Д. к. к.

полный запас электромагнитной энергии в контуре, потеря энергии за один период

или $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$, где L — коэффициент самоиндукции, C — емкость конденсатора, R — активное сопротивление контура. Добротность конденсатора $Q = 1/C\omega R$, где R — последовательное эквивалентное сопротивление конденсатора, определяемое потерями в диэлектрике и др. потерями; чем меньше R , т. е. чем меньше потери в конденсаторе, тем больше его добротность. Для катушки индуктивности $Q = L\omega/R$. Индуктивное сопротивление катушки $L\omega$ растет с увеличением частоты, но вследствие поверхностного эффекта одновременно растет и ее активное сопротивление R , так что в том диапазоне частот, на к-рый рассчитана катушка, можно считать ее добротность почти постоянной. Д. к. к., применяемых в радиотехнике, имеет величину порядка от 10^2 в радиовещат. приемниках до 10^5 в полых колебат. контурах радиотехнич. устройств дециметрового и сантиметрового диапазонов. Добротность камертона — порядка 10^4 и выше. Чем больше добротность

системы, тем больше время установления стационарного режима вынужденных колебаний; поэтому во многих случаях очень большие значения Д.к.к. могут оказаться нежелательными.

ДОБРОТНОСТЬ УПРУГИХ СИСТЕМ (mechanical quality factor; *qualité mécanique*; *mechanische Güte*) — количественная характеристика, указывающая, во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний данной колебат. системы на ее резонансной частоте превышает амплитуду вынужденных колебаний той же системы на весьма низких, далеких от резонанса, частотах при одинаковой величине вынуждающей силы. Та же величина может рассматриваться и как энергетическая характеристика данной системы в резонансном режиме, поскольку она равна $Q = 2\pi \cdot W_0 / W_p$, где W_p — необратимые потери энергии за один период колебаний, W_0 — полная энергия, запасаемая системой за тот же период. В общем случае полная энергия может быть определена, напр., как суммарная кинетическая энергия движения всех элементов системы в момент, когда в каждой точке скорость движения максимальна и вычислена с помощью объемного интеграла

$$W_0 = \frac{1}{2} \int_V \rho v_m^2 dV,$$

где ρ — плотность, v_m — амплитудное значение колебат. скорости в данной точке. В случае изотропной системы ρ может быть вынесено за знак интеграла. Определение энергии потерь W_p весьма специфично для различных классов упругих систем. Рассматривая, напр., излучатели упругих колебаний, учитывают как потери на излучение, так и поглощение энергии внутри колебат. системы, вызывающее в конечном счете ее нагрев: $W_p = W_{изл} + W_{погл}$. Потери на излучение могут быть вычислены интегрированием по всей излучающей поверхности

$$W_{изл} = \frac{T}{2} \int_{S_{изл}} \sigma_m v_m dS_{изл},$$

где σ_m и v_m — амплитуды переменного механического напряжения и колебат. скорости, причем, напр., в случае поршневого излучения обе эти величины могут быть вынесены за знак интегрирования; T — период колебаний. Поглощение энергии внутри системы может быть представлено в тех же обозначениях в виде объемного интеграла, вычисляемого по всему объему системы,

$$W_{погл} = \frac{2\pi^2}{T} \int_V \frac{\theta}{E^2} \sigma_m^2 dV;$$

в случае изотропной системы за знак интеграла выносятся коэфф. потерь θ и модуль упругости E .

На рис. 1 показаны схемы простейших упругих колебат. систем: *a* — система с сосредоточенными массой M , упругостью G , сопротивлением механич. потерь R и с одной степенью свободы; *б* — однородный стержень с распределенными постоянными, совершающий продольные резонансные колебания. Их добротности соответственно равны

$$Q_a = \frac{2\pi f M}{R} = \frac{G}{2\pi f R} \quad \text{и} \quad Q_b = \frac{E}{2\pi f l}.$$

Интересно отметить, что в соответствии с ф-лой добротность стержня не зависит от

его сечения; это обстоятельство является общей закономерностью для однородных систем. Добротность реальных УЗ колебат. систем может изменяться в довольно широких пределах. Напр., магнитоэлектрич. излучатели на частотах 20–25 кГц имеют собств. добротность (т. е. при работе в вакууме) $Q_0 = 75–100$,

причем при нагрузке на воду эта величина падает до $Q_n = 12–20$; кварцевая пластинка, колеблющаяся в мегагерцевом диапазоне частот по толщине, при работе в воздухе имеет $Q_0 = 10^4$, а при односто-

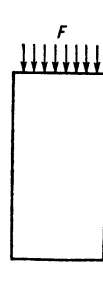
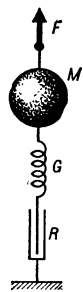


Рис. 1.

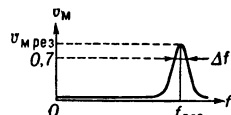


Рис. 2.

ронным излучением в воду $Q_n = 15$. Для эксперимент. определения Д.у.с., кроме измерения амплитуд на резонансе и вдали от резонанса, обычно используется связь добротности с шириной резонансной кривой Δf (рис. 2) или с временем установления постоянной амплитуды резонансных колебаний τ . Если определить ширину резонансной кривой на уровне 50% по мощности (или, что то же, 70% по амплитуде колебаний), то добротность определится выражением:

$$Q = f_{рез} \Delta f,$$

где $f_{рез}$ — резонансная частота. Постоянный же режим устанавливается (с точностью до 10% по амплитуде) в колебат. системе за время $\tau \approx 1,5 QT$.

Лит.: Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959. Л. О. Макаров.

ДОЗАТОР (metering pump, dosing tank; doseur; Dosierpumpe, Dosierer) — устройство для автоматич. отмеривания и выдачи заданного количества вещества. Д. становятся неотъемлемой частью заводского оборудования, особенно при автоматизации производств, связанных с подачей жидкостей вязких, пастообразных, со взвешенными частицами, эмульсий, суспензий, а также при подаче с высокой точностью (0,1–0,5%) особо малых количеств вещества, исчисляемых в миллилитрах в минуту или даже в час. Д. применяются для расфасовочных и торговых операций. Д. требуются и при создании самонастраивающихся и оптимальных систем. Существуют Д. для кусковых и сыпучих материалов, жидкостей и газов. Наибольшее развитие получают Д. для жидкостей, рассматриваемые ниже.

По способу дозирования Д. бывают весовые и объемные. При условии соблюдения кондиции дозируемых жидкостей (постоянства уд. веса, концентрации, темп-ры и т. д.) объемные Д. имеют преимущества в отношении точности дозирования и свойств, соответствующих большому разнообразию дозируемых жидкостей, и потому более распространены, чем весовые. По давлению объемные Д. различаются как напорные, в к-рых давление на выходе создается механизмом Д. и не зависит от величины давления на входе, и безнапор-

ные. По уровню автоматизации объемные Д. бывают с ручным управлением и автоматич., работающие по разомкнутому или по замкнутому циклу. При разомкнутом цикле Д. работает как исполнитель. механизм, автоматически стабилизирующий входной параметр (расход дозируемой жидкости) независимо от изменения других параметров, напр. давления, темп-ры. Производительность Д. настраивается вручную или дистанционно. Д. замкнутого цикла осуществляют подачу изменяющихся расходов жидкости по управляющим сигналам в зависимости от других параметров системы. При этом возможны два случая: 1) производительность автоматически изменяется в заданной пропорциональной зависимости от величины переменного расхода другой жидкости, поступающей в объект по главному трубопроводу (Д. соотношения, или пропорционаторы); 2) производительность изменяется под воздействием управляющих сигналов от автоматич. регулятора или счетно-решающего устройства. Такие Д. выполняют совмещенную функцию исполнитель. механизма и регулирующего органа САР.

По способу выдачи заданного количества жидкости различаются Д. непрерывного и прерывистого действия. Последние разбивают поток жидкости на дискретные части (порции, дозы). Непрерывность подачи может быть создана и при спаренной работе двух Д. прерывистого действия при условии, что ход нагнетания одного Д. совпадает с ходом всасывания другого Д. Достоинством Д. непрерывного действия является отсутствие пульсации. Однако Д. прерывистого действия более распространены, т. к. отличаются высокой точностью дозирования.

Д. различаются величиной области дозирования, устанавливающей в соответствии с технологич. требованиями необходимые пределы изменения производительности, и выражаемой отношением максимальной производительности к той минимальной, при к-рой все основные параметры Д. (точность, давление и др.) сохраняют свое значение.

Выбор Д. основывается на перечисленных признаках, а также на соответствии типа конструкции Д. свойствам дозируемой жидкости. Важным критерием выбора Д. является также допустимая погрешность дозирования, представляющая собой отношение действительно выданного количества жидкости к заданному. В зависимости от конструкции Д., качества изготовления, условий эксплуатации и свойств дозируемой жидкости, погрешность дозирования находится в пределах от 0,1% до 2—3%.

На рис. 1 показан общий вид установки с 10 плунжерными Д., подающими все основные компоненты в заданном соотношении для автоматизированного производства полимеров. Установка снабжена общим приводом, дистанционным управлением и механизмом для регулирования производительности.

Классификационная схема Д., составленная по конструктивному признаку, приведена в таблице. К первым 10 классам относятся Д. прерывистого действия. Следующие 3 класса представляют Д. непрерывного действия. Особо выделены Д. для малых расходов и Д. соотношения (пропорционаторы). Классы Д. разбиты на группы также согласно конструктивным признакам, обуславливающим свойства Д.

Поршневые Д. в зависимости от конструкции располагают производительностью, исчисляемой в единицах $мл/мин$, десятках и сотнях $л/час$, в единицах и десятках $м^3/час$. Погрешность дозирования 0,1—1,0%. Давление на выходе — единицы и десятки $ат$. Дозируемые жидкости: чистые реагенты, в т. ч. агрессивные; жидкости вязкие, пастообразные, со взвешенными частицами (Д. с полими поворачивающимися поршнями).

Плунжерные Д. наиболее распространены, в зависимости от конструкций располагают производительностью в широком диапазоне, аналогично поршневым. Погрешность дозирования — в тех же пределах. При трудных для дозирования жидкостях (вязких, со взвешенными частицами и др.) применяются специальные конструкции сменных клапанов. При дозировании агрессивных жидкостей применяются Д. с промежуточной жидкостью (масло) и мембраной, отделяющей корпус от воздействия агрессивных сред. Могут быть также Д. с двумя промежуточными жидкостями, одна из к-рых выполняет роль мембраны. Плунжерные Д. способны осуществлять дозирование при 100 $ат$ и более. Производительность регулируется изменением длины хода поршня, реже — изменением числа оборотов.

Поплавковые Д. можно применять при автоматизации циклических технологич. процессов и для расфасовочных операций.

Мембранные Д. различают по типу привода. Мембрана (из каучука или полимерного материала, армированного тканью) отделяет рабочую камеру от корпуса, к-рый может быть поэтому выполнен из материалов, не зависящих от свойств жидкости. Отсутствуют зазоры и сальники. Возможно дозирование жидкостей агрессивных, нек-рых эмульсий, суспензий, взрывоопасных и вредных. Рабочую камеру можно изготовить из любого материала с облицовкой пластмассами, фарфором, резиной или целиком из фторопласта. Шарик клапанов выполняются из резины, каучука, иногда с металл. сердечниками. При трудных для дозирования жидкостях возможна принудит. работа клапанов, что применяется и во многих других типах Д. Производительность составляет единицы, десятки, реже — сотни $л/час$, при давлении до единиц и десятков $ат$. Погрешность дозирования 0,5—1,0%. Надежность мембраны повышается при применении промежуточной жидкости также для передачи движения к мембране.

Клапанные Д. различаются по типу клапана, применяются для дозирования химич. реактивов, в т. ч. агрессивных, гл. обр. для подачи заданного количества жидкости, после чего автоматически выключаются. По давлению

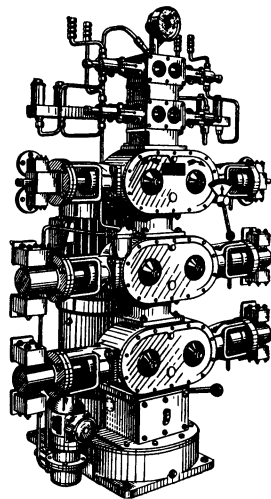


Рис. 1. Общий вид установки с 10 плунжерными дозаторами.

Классификационная схема
объемных дозаторов для жидкостей

Поршневые	Поршни обычные Поршни с роликовым уплотнением Полые поворачивающиеся поршни Электромагнитные поршни
Плунжерные	С шатунно-кривошипным механизмом С кулисным механизмом С обоймой С качающимся рычагом С возвратной пружиной
Поплавковые	
Мембранные	С эксцентриковым приводом С золотниковым приводом С электромагнитным приводом С гидроприводом (с промежуточной жидкостью)
Клапанные	Электромагнитные клапаны Пневматич. клапаны Электромеханич. клапаны
Сифонные	С одной камерой С дифференциальной камерой
Ковшовые	Одноковшовые Многоковшовые с последовательным расположением ковшей Многоковшовые с параллельным расположением ковшей
С мерной емкостью	С электр. клапанами С электромагнитными клапанами С пневматич. клапанами
Сифонные	
С непрерывно вращающимися кранами	С одним краном (напорные) С двумя кранами (безнапорные)
С гидравлич. сопротивлением	Шайбовые С регулируемым вентилем С песочным сопротивлением С капилляром
С опускающимся сливом	С внутренним сливом С внешним сливом
Шестеренчатые	
Для малых расходов	Плунжерные Капиллярные Сифонные С электромагнитными клапанами Поршневые Шестеренчатые
Соотношения (пропорционаторы)	Плунжерные Поршневые Мембранные Шестеренчатые С мерной емкостью Клапанные

нию могут быть напорные и безнапорные. Погрешность дозирования составляет 0,5—2,0%. Точность дозирования зависит от постоянства давления перед клапаном. Величина единичной дозы в Д. — в пределах от сотен *мл* до сотых долей *мл*.

Сифонные Д. могут применяться для дозирования под давлением небольших расходов химич., в т. ч. агрессивных реактивов, сжиженных углеводородов и др. При дифференциальном соединении в Д. двух сифонов возможно получение в одной дозе нескольких *мл* и даже долей *мл*. Расход регулируется изменением длины хода штока или числа оборотов приво-

да. Так же, как и в предыдущих типах Д., часто применяются двойные шариковые клапаны или шариковые в сочетании с тарельчатыми клапанами. Погрешность дозирования 0,5—1,0%. Надежность зависит от стойкости сифонов к механич. и химич. воздействиям и способности клапанов самоочищаться.

Ковшовые Д. применяются для безнапорной подачи жидкостей со взвешенными и осаждающимися частицами, для дозирования масел и вязких жидкостей; производительность и точность дозирования не требуют строгого поддержания постоянства уровня в камере Д. Целесообразно их применение для заполнения контейнеров, бетономешалок, а также реакционных резервуаров, в к-рых протекают циклические технологич. процессы. Производительность устанавливается изменением числа ковшей или числа оборотов, что возможно в ограниченных пределах. Погрешность составляет 1—3%.

Д. с мерной емкостью целесообразно применять при автоматизации циклических технологич. процессов, при дозировании химич. реактивов, нефтепродуктов, а также при расфасовочных операциях. Погрешность дозирования 0,5—2,0%.

Д. с непрерывно вращающимися кранами применяются для подачи небольших расходов жидкостей с малой вязкостью. В Д. с одним краном канал его является мерной емкостью, величина дозы неизменна, не зависит от давления и производительность может регулироваться только изменением числа оборотов крана. Погрешность дозирования возникает по причине утечек через зазоры. Д. с одним краном осуществляют дозирование под напором, Д. с двумя кранами осуществляют подачу безнапорную, самотеком. Приводом в 1-м случае может служить электродвигатель, во 2-м случае — часовой механизм.

Д. с гидравлич. сопротивлением в виде капилляра пригодны для дозирования химич. реактивов и агрессивных жидкостей с невысокой вязкостью и без взвешенных частиц. Производительность таких Д. составляет десятки, единицы и даже доли *мл/час*. Уязвимым элементом является капиллярное сопротивление. При использовании сопротивления в виде шайбы возможно дозирование расплавленных веществ, напр. парафина, для чего применяются нагреват. элементы (паровые змеевики). Производительность шайбовых Д. составляет десятки и сотни *л/час*. Точность дозирования зависит от постоянства давления в камере Д. и чистоты дросселирующих элементов. В зависимости от конструкции погрешность составляет 2,0—0,5% и менее. Характерны непрерывностью и безнапорностью действия.

Д. с опускающимся сливом используются для непрерывного и безнапорного дозирования кислот, щелочей и др. химич. реактивов. Д. конструктивно наиболее просты и действие их обычно не требует подачи энергии. Непрерывность действия нарушается при наполнении резервуара жидкостью. Применяются при производительности, регулируемой вручную в пределах единиц и десятков *л/час*.

Шестеренчатые Д. осуществляют непрерывную подачу под давлением различных жидкостей, в т. ч. радиоактивных, летучих, вредных для персонала и пожароопасных. Отсутствие клапанов способствует дозирова-

нию нек-рых жидкостей со взвешенными частицами, напр. известкового молока, жидкого топлива и др. Производительность составляет от единиц до 100—200 л/час. Отличаются простотой конструкции и малыми габаритами. Производительность регулируется изменением числа оборотов. Вследствие утечек через зазоры погрешность велика — до 2—3%, но применением сальников и средств, компенсирующих влияние утечек, м. б. снижена до 1—2%.

Д. для малых расходов, исчисляемых мл/мин или мл/час, отличаются высокой точностью дозирования (0,1—0,5%). Среди поршневых известна конструкция бесклапанного Д. с вращающимся поршнем и производительностью от 0 до 1 мл/мин и давлением до 60 ат при погрешности дозирования 0,2—0,5%. Плунжерные Д. бывают напорные и безнапорные. При дифференциальном соединении двух плунжерных Д. разность их производительностей создает подачу малых количеств жидкости. Д. клапанные для малых расходов применяются электронно-импульсные с воздействием на электромагнитную катушку клапана, с электрич. или электронным управлением. Эффективна система Д., состоящая из двух дифференциально соединенных сильфонов разных диаметров. Известны электролитич. Д., а также Д. с гидравлич. сопротивлением в виде спец. капиллярных элементов, отличающихся надежностью в смысле предотвращения засорения.

Д. соотношения (пропорционаторы) применяются для автоматизации смесит. процессов. К первой группе относятся Д., подающие дозируемую жидкость в количестве, пропорциональном изменяющемуся расходу основной жидкости, протекающей по главному трубопроводу. Это достигается установлением связи между Д. и расходомером на главном трубопроводе. Ко второй группе относятся Д., обеспечивающие одновременную подачу в заданном соотношении двух или более жидкостей, расходы которых поддерживаются постоянными. Известны Д. соотношения — плунжерные, поршневые, мембранные, клапано-поплавковые и др. У некоторых плунжерных Д. величина соотношения может быть изменена в пределах от 1:20 до 1:200 при погрешности поддержания соотношения около 2%.

На рис. 2—7 показаны схемы нек-рых Д. В 4-цилиндровом Д. (рис. 2) поршни связаны попарно. При максимальной производительности пара поршней а — а движется в одной фазе с парой б — б. По мере смещения фазы производительность уменьшается, и при смещении на 180° (рис. 2, б) производительность становится равной 0. Приводом служит элект-

родвигатель (рис. 2, в), связанный со штоками поршней дифференциальным механизмом, осуществляющим регулирование производительности в пределах от 0 до 1 и более м³/час. На рис. 3 показана схема Д. высокого давления (до 1000 ат) с плавным регулированием

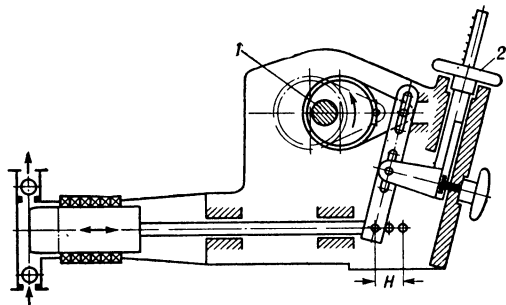


Рис. 3. Схема дозатора высокого давления с бесступенчатым регулированием хода плунжера: 1 — вал; 2 — штифты; Н — ход поршня.

нием длины хода поршня и, следовательно, производительности. Величина производительности изменяется от 0 до максимума при изменении соотношения плеч качающегося рычага. В мембранном Д. с гидроприводом (рис. 4) срок службы мембраны увеличен при-

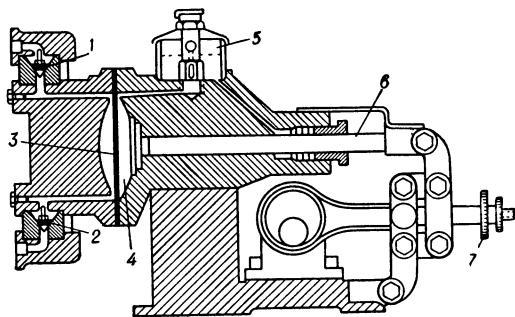


Рис. 4. Схема мембранного дозатора с гидроприводом: 1 и 2 — клапаны; 3 — мембрана; 4 — поршень, заполненная промежуточной жидкостью; 5 — приспособление для пополнения утечки; 6 — плунжер; 7 — регулятор хода плунжера.

менением промежуточной жидкости (масла), заполняющей полость 4; 7 — устройство для регулирования производительности изменением длины хода плунжера. Для предотвращения утечки масла, снижающей точность дозирования, служит приспособление 5.

На рис. 5 приведена схема бесклапанного Д. с вращающимся поршнем для весьма малых расходов (от 0 до 1 мл/мин), дозируемых под давлением до 60 ат при погрешности 0,2—0,5%. Поршень 1 с лыской 2 на конце приводится во вращение электродвигателем 3 со скоростью 2 об/мин так, что при всасывании лыска находится против впускного отверстия 4, а при нагнетании — против выходного отверстия 5. Возвратно-поступательное движение поршня при вращении двигателя вызывается взаимодействием пружины и упора, по которому скользит втулка со скосом 6. На рис. 5, б показано различное положение поршня относительно входа и выхода.

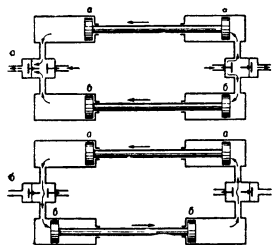


Рис. 2. Схема 4-цилиндрового поршневого дозатора: 1 — электродвигатель; 2 — червяк; 3 — сектор.

водительность уменьшается, и при смещении на 180° (рис. 2, б) производительность становится равной 0. Приводом служит элект-

На рис. 6 изображена оригинальная принципиальная схема Д. с дифференциально изменяющимся объемом рабочей камеры.

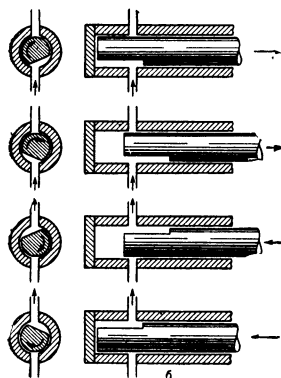
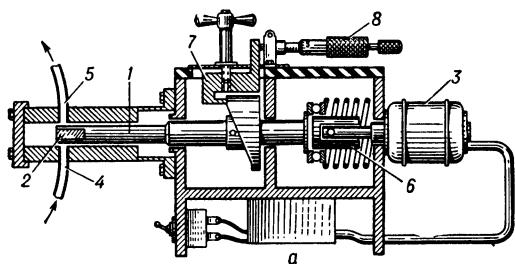


Рис. 5. Схема бесклапанного дозатора для малых расходов с вращающимся поршнем: 1 — поршень; 2 — лыска; 3 — электродвигатель; 4 — вход; 5 — выход; 6 — втулка со скосом; 7 — упор; 8 — микрометрическое устройство для регулирования производительности.

Структурная схема Д. соотношения показана на рис. 7: 1 — трубопровод основной жидкости; 2 — элемент, измеряющий переменный расход жидкости; 3 — сервомотор; 4 — дозатор; 5 — резервуар с дозируемой жидкостью; 6 — дополнительный элемент — реле, использующее посторонний источник энергии.

Д. является также неотъемлемой частью *титраторов автоматических*, с помощью к-рых автоматически контролируется и регулируется качество

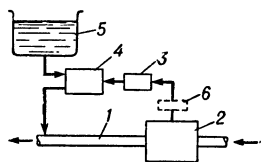


Рис. 7.

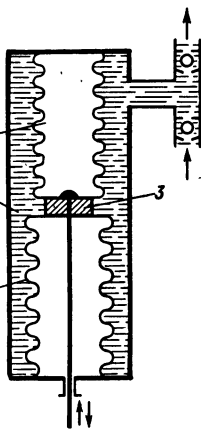


Рис. 6

Рис. 6. Схема дозатора с дифференциально изменяющимся объемом рабочей камеры: 1 и 2 — сильфоны; 3 — соединительная гайка; 4 — рабочая камера. Рис. 7. Структурная схема дозатора соотношения.

конечного продукта в различных химич. производствах.

Лит.: Орлов С. П., Дозирующие устройства, 2 изд., М., 1960. С. М. Финкельштейн.

ДОНОР (donor; donneur; Donator, Donor) — дефект кристалла, у к-рого в нейтральном состоянии все локальные уровни заняты электронами. Переход электронов с донорных уровней в зону проводимости приводит к образованию электронной проводимости. Для создания в III таких областей в структуры с

p-n-переходами, являющиеся основными элементами диодов и транзисторов, вводят примеси. Для Ge и Si — элементов IV группы, используют элементы V группы: As, P, Bi, Sb. 5 электронов внешней оболочки этих элементов образуют с 4 электронами Ge или Si ковалентную связь. Один электрон не участвует в образовании химич. связи и слабо связан с Д. Его энергетич. уровень близок к зоне проводимости. В Ge он ниже дна зоны на 0,01 эв. При темп-ре на 20° выше абс. нуля все указанные Д. ионизированы. Н. М. Ройзин.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ (additional error; erreur complémentaire; Fehlweisung durch Einflußgrößen, durch Einflußgrößen verursachter Fehler) — погрешность измерит. прибора, вызванная отклонением внешних условий от нормальных, при к-рых определяется основная погрешность измерения. К Д. п. относятся погрешности, обусловл. изменением темп-ры окружающей среды, влиянием внешних магнитных и электрич. полей, отклонением положения прибора от нормального, отклонением напряжения и частоты источников питания от номин. значений. Величины Д. п. зависят от конструкции (схемы) измерит. прибора, правильности выбора его параметров, качества материалов и изготовления. Д. п. прибора характеризуют величиной изменения его показания при заданном изменении влияющей величины и неизм. прочих условиях. Влияющей величиной называют (ГОСТ 1845—59) внешнюю для прибора величину, влияющую на его показания и не являющуюся измеряемой. Так, напр., температурную погрешность электроизмерит. приборов характеризуют изменением показания прибора (выраженным в процентах от верхнего предела измерения или от длины рабочей части шкалы) при изменении темп-ры окружающей среды на 10°. В нормативных документах, содержащих требования, которым должны удовлетворять измерительные приборы (стандартах, технич. условиях и т. п.), как правило, указываются предельно допустимые значения изменений показаний приборов, вызываемые определ. изменениями влияющих величин, т. е. допуски на Д. п. прибора.

М. И. Левин, А. М. Любарская.

ДОПУСТИМОЕ ЗНАЧЕНИЕ (admissible value; valeur admissible; zulässiger Wert) — значение величины $x(t)$, удовлетворяющее нек-рым ограничениям. Если $x(t)$ — выходная величина САР, то ограничения в общем случае имеют вид

$$\left| a_0 \frac{d^n x}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_n x \right| \leq M.$$

Д. з. задающего воздействия $x_0(t)$ будут такие, к-рые удовлетворяют ограничениям, наложенным на регулируемую величину с заменой знака \leq на $<$. Выбор вида ограничений зависит от конкретной задачи. Напр., для некот-рых САР можно определить пределы, за к-рые не могут или не должны выходить перемены исполнения элемента и связанного с ним регулирующего органа, чтобы не вызвать в объекте таких процессов, к-рые могут привести к поломке деталей. Множество ф-ций $x(t)$, значения к-рых при всех t являются Д. з., образуют класс допустимых ф-ций.

А. И. Тейман.

ДОПУСТИМЫЕ СОСТЯЗАНИЯ [admissible competitions; competitions (concours) admissibles; zulässiger Wettkampf (Wettbewerb)] — co-

стязания промежуточных элементов в релейном устройстве, не нарушающие заданных условий его работы. Д. с. имеет место, когда все переходные процессы, к-рые могут возникнуть при различных соотношениях времен срабатывания одновременно включаемых или отключаемых элементов, приводят устройство в одно и то же устойчивое состояние, определенное условиями его работы. Подробнее см. Релейных элементов состояние. В. В. Воржева.

Д-РАЗБИЕНИЕ (D-decomposition; D-regionnement, décomposition en D; D-Zerlegung)— разделение многомерного пространства параметров системы регулирования (в частности, коэфф. характеристик. ур-ния) на многомерные области, в каждой из к-рых характеристич. ур-ние системы имеет одинаковое число корней, лежащих справа и слева от мнимой оси. Область $D(k)$ -разбиения, имеющая k корней, лежащих слева от мнимой оси, выделяется гиперповерхностью. Переход в пространстве коэфф. через гиперповерхность (границу) Д-р. соответствует в плоскости корней переходу через мнимую ось. Д-р. применяется при устойчивости областей выделения.

Лит.: Айзерман М. А., Теория автоматического регулирования двигателей. Уравнения движения и устойчивость, М., 1952; Неймарк Ю. И., Устойчивость линеаризованных систем, Л., 1949. В. Г. Шолохов.

ДРЕЙФ НУЛЕВОГО УРОВНЯ решающего (операционного) усилителя (operational amplifier zero drift; dérive de zero d'amplificateur operationnel; Operatorverstärker-Null drift, Operationsverstärker-Nullwanderung, Nullversatz beim Operationsverstärker)— медленное изменение напряжения на выходе усилителя в отсутствие входного сигнала, вызванное рядом трудно учитываемых причин. Величина Д. н. у. имеет случайный характер и должна определяться статистич. хар-ками. Величину Д. н. у. характеризуют макс. отклонение выходного напряжения от нуля и временем, в течение к-рого такое отклонение оказывается наиболее вероятным. Если Д. н. у. на выходе разделить на коэфф. передачи решающего усилителя (РУ), т. е. найти Д. н. у., приведенный ко входу (ДНП), то его величина практически не зависит от коэфф. передачи, т. к. осн. составляющая Д. н. у. возникает во входной цепи. ДНП эквивалентен ложному входному сигналу, к-рый накладывается на полезный сигнал и вызывает прямую погрешность. Поэтому при разработке РУ стремятся свести ДНП к минимуму.

В простейших РУ — усилителях пост. тока без преобразования сигнала — Д. н. у. в осн. вызывается нестабильностью анодного тока первого каскада, к-рая происходит из-за изменения напряжений источников питания анодных и накальных цепей, нестабильности контактной разности потенциалов между электродами лампы, изменения эмиссии катода и величины сопротивлений в анодных цепях лампы. Кроме того, Д. н. у. может быть вызван нестабильностью сеточного тока первой лампы, что приводит к нестабильности напряжения на входе, связанной с протеканием сеточного тока через входное сопротивление. Значит, составляющая Д. н. у. может возникнуть из-за плохой изоляции входной цепи от цепей с высоким потенциалом. Нестабильность анодного тока, связанная с изменением источников питания, может быть уменьшена при-

менением стабилизиров. источников питания и входных каскадов, построенных по мостовым или балансным схемам (рис. 1, 2, 3). Т. к. на практике параметры ламп всегда отличаются

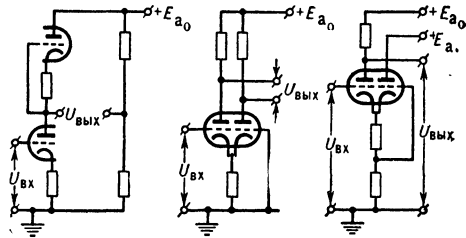


Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 3.

Рис. 1. Последовательно-балансный каскад.

Рис. 2. Симметричный параллельно-балансный каскад.

Рис. 3. Несимметричный параллельно-балансный каскад (каскад с катодной компенсацией дрейфа).

друг от друга и изменяются в процессе старения, то в этих схемах удастся снизить зависимость ДНП от питающих напряжений не полностью, а примерно на порядок по сравнению с небалансными схемами. Уменьшение ДНП, вызванное старением лампы, в РУ практически осуществить не удастся, т. к. для этого нужны спец. двойные лампы с общим для обеих половин источником эмиссии. Составляющую Д. н. у., обусловленную нестабильностью сеточного тока (I_g), можно уменьшить применением входной лампы с малым I_g . В простейших РУ при $I_g \leq 10^{-10}$ а этой составляющей Д. н. у. пренебрегают. Д. н. у., связанный с токами утечки через изоляцию, снижают до ничтожной величины применением для входных цепей метода охранных колец (т. н. «изоляция земель»). Суммарная величина ДНП при использовании на входе каскадов рис. 1, 2, 3 при стабилизиров. анодными нестабилизированном накальном питании колеблется от единиц до неск. десятков мв/ч, а при специально подобранных лампах и стабилизиров. питании всех цепей снижается до 1 мв/ч.

Для дальнейшего уменьшения ДНП применяются различные схемы автоматич. компенсации дрейфа. Нек-рые из них основаны на периодич. измерении напряжения ДНП, запоминании его и подключении в противоположной полярности ко входу. Такие схемы не находят широкого применения гл. обр. из-за необходимости периодич. отключения входного сигнала. Наиболее распространен метод уменьшения ДНП использованием дополнит. канала усиления, к-рый усиливает на несущей частоте путем модуляции сигнала и последующей демодуляции (рис. 4). При включении дополнит. усилителя K_2 Д. н. у. на выходе усилителя без обратной связи не изменяется, но усиление по пост. току увеличивается, а ДНП уменьшается в K_2 раз, следовательно, во столько же раз уменьшается Д. н. у. на выходе усилителя с обратной связью. Такой метод снижает все составляющие дрейфа, кроме составляющей, связанной с сеточным током, т. к. он проникает непосредственно на вход. Суммарный ДНП подобных схем обычно имеет порядок 50—100 мкв за неск. часов.

Вследствие медленного изменения напряжения дрейфа иногда используют один усилитель модуляции и демодуляции сигнала для пери-

одич. компенсации Д. н. у. всех РУ моделирующей установки. При этом усилитель модуляции и демодуляции поочередно подключается контактным коммутатором к каждому РУ (на неск. сек. раз в неск. мин.) и заряжает конденсатор до величины ДНП, существующего в момент подключения.

Наименьшую величину Д. н. у. получают в схеме РУ с параллельными каналами усиления (рис. 5). Здесь ДНП определяется дрейфом усилителя K_3 , уменьшенным в K_2 раз.

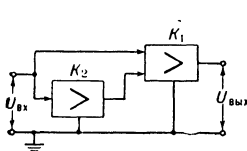


Рис. 4.

Рис. 4. Блок-схема РУ с использованием дополнитель. усилителя модуляции и демодуляции для уменьшения ДНП: K_1 — решающий усилитель пост. тока; K_2 — усилитель модуляции и демодуляции, практически бездрейфовый.

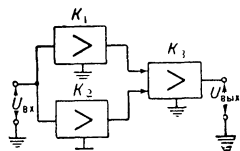


Рис. 5.

Рис. 5. Блок-схема РУ с параллельными каналами: K_1 — усилитель перем. тока (бездрейфовый); K_2 — усилитель модуляции и демодуляции; K_3 — суммирующий усилитель пост. тока.

При этом ослабляется влияние сеточных токов первой лампы усилителя K_3 . Суммарная величина ДНП такого усилителя — порядка 10—20 мкв за несколько часов. См. также *Усилитель постоянного тока*.

Лит.: К о г а н Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, М., 1959; К о р н Г. и К о р н Т., Электронные моделирующие устройства, пер. с англ., М., 1955.

Д. Е. Полоников.

ДРОБНО-РАЦИОНАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ (fractional rational function; fonction fractionnaire-rationnelle, fonction à fraction rationnelle; gebrochene rationale Funktion, rational-gebrochene Funktion) — ф-ция, представляемая в виде отношения двух многочленов

$$f(x) = \frac{P(x)}{Q(x)} = \frac{a_0x^m + a_1x^{m-1} + \dots + a_m}{b_0x^n + b_1x^{n-1} + \dots + b_n},$$

где a_i , b_i — веществ. постоянные, m , n — неотрицат. целые числа. Предполагается, что многочлены $P(x)$ и $Q(x)$ не имеют общих делителей (в противном случае дробь $\frac{P(x)}{Q(x)}$ можно было бы сократить). Д.-р. ф. определена для всех вещественных x , за исключением тех точек, в к-рых знаменатель обращается в нуль. Во всей области определения Д.-р. ф. непрерывна и имеет производные всех порядков. Всякую Д.-р. ф. можно представить в виде

$$\frac{P(x)}{Q(x)} = M(x) + \frac{P_1(x)}{Q_1(x)},$$

где $M(x)$ — многочлен, а $\frac{P_1(x)}{Q_1(x)}$ — правильная дробь. Всякую правильную дробь можно, в свою очередь, разложить на сумму так называемых простых дробей. Это разложение используется при интегрировании Д.-р. ф. Асимптотическое поведение Д.-р. ф. при больших x определяется старшими членами многочленов $P(x)$ и $Q(x)$

$$f(x) = \frac{P(x)}{Q(x)} \approx \frac{a_0}{b_0} x^{m-n} \text{ при } |x| \rightarrow \infty.$$

Д.-р. ф. может быть продолжена в комплексную плоскость с помощью аналогичной ф-лы: $f(z) = \frac{P(z)}{Q(z)}$, где $z = x + iy$ — точка комплексной

плоскости. Эта ф-ция является аналитической всюду, кроме тех точек, где знаменатель $Q(z)$ обращается в нуль. В этих точках ф-ция имеет особенность типа полюса. В теории автоматич. регулирования обычно имеют дело с системами, передаточные ф-ции к-рых являются Д.-р. ф.

Л. С. Чураева.

ДРОВОВЫЙ ЭФФЕКТ (fluctuation noise, Schottky effect; effet de grenaille; Rauscheffekt, Schroteffekt, Schottkyeffekt, Fluktuationsgeräusche in elektronischen Geräten) — беспорядочные колебания электрич. тока в вакуумной лампе, обусловленные дискретным строением электричества. См. *Флуктуационные процессы в электронных приборах*.

ДРОВОВЫЕ ШУМЫ в полупроводниках и полупроводниковых приборах [shot noise in semiconductors; effet de bruit Schottky (bruits de grenaille) dans les semiconducteurs; Schrotrauschen in Halbleitern] — случайные колебания (флуктуации) силы электрич. тока, протекающего через ПП или ПП прибор, обусловленные его дискретным строением. Хар-ка Д. ш. — величина и спектральное распределение среднего квадрата флуктуации тока — в общем случае зависит от среднего тока, от темп-ры и от физич. структуры ПП. Физич. структура ПП, в первую очередь пространственное и энергетич. распределение и поперечные сечения захвата локальных уровней рекомбинации и генерации электронов и дырок, определяет статистич. природу процесса генерации и рекомбинации носителей заряда, включая такие параметры, как средняя скорость и дисперсия скорости генерации электронов и дырок, а также корреляция между актами генерации-рекомбинации носителей обоих знаков.

В ПП приборах существуют шумы потоков, проходящих через потенциальные барьеры. Потоки электронов и дырок через барьеры в ряде случаев могут считаться независимыми, тогда полная интенсивность шумов является суммой интенсивностей шумов электронного и дырочного потоков.

Спектральная плотность Д. ш. $\overline{\Delta j^2}_\omega$ на частоте ω в сплошном ПП единичного сечения длиной l , в к-ром генерация и рекомбинация носителей одного знака со средней концентрацией N происходит с уровней, отстоящих на значение энергии ΔE от края зоны (от дна зоны проводимости для электронов и от потолка валентной зоны — для дырок), при среднем времени жизни носителей между генерацией и захватом τ , дается ф-лой

$$\overline{\Delta j^2}_\omega = \frac{4j_0^2}{\left[2 \left(\frac{2\pi m^* kT}{h^2} \right)^{3/2} e^{-q\Delta E/kT} + N \right] l} \cdot \frac{\tau}{1 + \omega^2 \tau^2},$$

где j_0 — средний ток, m^* — эффективная масса носителя тока, k — постоянная Больцмана, h — постоянная Планка, T — абс. темп-ра, q — заряд электрона.

В ПП диоде с весьма тонким переходным слоем наблюдается такая же зависимость Д.ш. от среднего тока и от частоты, как и в вакуумном диоде, работающем в режиме насыщения эмиссионного тока. При этом, поскольку все эмитируемые катодом носители тока достигают анода, зависимость шумов от среднего тока определяется статистич. природой эмиссионного тока, представляющего собой последовательность независимых актов пере-

хода носителей через p — n -переход диода или из катода в вакуум. Спектральная плотность Д. ш., в этом случае не зависящая от частоты в достаточно широком диапазоне, определяется тем, что обратная величина среднего интервала времени между отдельными актами эмиссии и времени пролета намного превышает наибольшую частоту данного диапазона.

Д. ш. следует отличать от шумов, сопровождающих др. происходящие в ПП и полупроводниковых приборах процессы, не связанные непосредственно с механизмом прохождения через них электрич. тока (напр., от тепловых шумов и шумов типа $1/f$, связанных с действием ловушек, а также от любых шумов, обусловленных случайными изменениями электрич. параметров ПП или ПП прибора вследствие физ.-хим. процессов, происходящих на его поверхности или в его объеме).

Лит.: В а н-де р-З и л А., Флуктуации в радиотехнике и физике, пер. с англ., [М.], 1958.

М. М. Самохвалов.

ДРОССЕЛИРУЮЩИХ ШАЙБ ПАКЕТ (multistep throttle; étrangleur en paquet de rondelles; Drosselscheibenpaket) — регулируемый многоступенчатый дроссель, дросселирующие св-ва к-рого определяются суммой потерь в дросселирующих отверстиях обра-

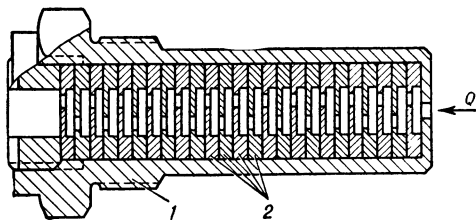


Рис. 1. Конструкция пакета дросселирующих шайб: 1 — корпус; 2 — шайбы.

зующих его шайб (рис. 1). Потери давления в каждом дросселирующем отверстии обусловлены внезапным сжатием потока при входе и последующей потерей на его расширение. Перепад давлений Δp , создаваемый Д. ш. п., определяется ур-нием

$$\Delta p = \zeta \frac{\gamma v^2}{2g} n,$$

где ζ — коэфф. гидравлич. сопротивлений одного дросселирующего отверстия; γ — уд. вес рабочей жидкости; v — средняя скорость рабочей жидкости в дросселирующем отверстии; g — ускорение силы тяжести; n — число шайб в пакете. При числе Рейнольдса $Re > 480$ ($Re = \frac{vd}{\nu}$, где d — диаметр дросселирующего отверстия шайбы, ν — коэфф. кинематич. вязкости) имеет место квадратичный поток в дросселирующем отверстии. При этом коэфф. сопротивлений $\zeta = 1,6$ и не зависит от Re , а следовательно, и от вязкости рабочей жидкости. Последнее обстоятельство, а также возможность использования дросселирующих отверстий большого диаметра, не подверженных явлению облитерации (изменению расхода с течением времени), обуславливают высокую стабильность хар-к Д.ш.п. и их широкое применение в качестве нерегулируемых дросселей гидравлич. привода.

При расчете Д. ш. п. обычно требуется определить число шайб и диаметр дросселирующих отверстий, обеспечивающих заданный расход

Q при фиксиров. перепаде давлений. Эта задача решается неоднозначно. Поэтому вначале, исходя из технич. требований на пакет, следует задаваться диаметром дросселирующего отверстия (обычно $0,5 \text{ мм} < d < 1,0 \text{ мм}$). При ориентировочном выборе диаметра дросселирующего отверстия можно пользоваться графиком (рис. 2). Число шайб определяется по ур-нию

$$n = \frac{\pi^2 g d^4 \Delta p}{8 \gamma Q^2}.$$

Если число шайб окажется меньше 3 или более 50, то необходимо задаться иным значением диаметра рабочего отверстия и произвести перерасчет числа шайб.

ДРОССЕЛЬ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ (hydraulic throttle, throttling valve; étrangleur hydraulique; Drosseleinrichtung für Druckgefälleschaffung) — устройство, устанавливаемое (например, в гидравлическом приводе) на пути движения рабочей жидкости для создания перепада давления. Все Д. г. можно разбить на нерегулируемые (постоянные) и регулируемые (переменные). В регулируемых Д. г. геометрич. размеры рабочих окон (или их число) не изменяются. Сюда относятся шайбы, пакеты шайб (многоступенчатые дроссели), втулки и капилляры. Хар-ки регулируемых Д. г. могут изменяться воздействием извне за счет уменьшения или увеличения поперечного сечения дросселирующего канала, изменения его длины или числа последовательно включаемых рабочих окон. К первому типу регулируемых Д. г. относятся золотниковые пары, элементы типа сопло-заслонка, игольчатые, эксцентриковые и конич. дросселирующие элементы. Наиболее распространен винтовой дроссель — Д. г. с перемен. длиной рабочего канала. Число последовательно включенных рабочих окон изменяется в регулируемых многоступенчатых дросселях-пакетах. Регулируемые Д. г. применяются в гидроавтоматике гл. обр. в качестве управляющих устройств.

Гидравлич. свойства Д. г. оцениваются коэфф. потерь ζ , к-рый представляет собой отношение перепада давлений Δp , создаваемого дросселем, к скоростному напору жидкости $\frac{\gamma v^2}{2g}$ в рабочем окне. Коэфф. потерь определяется размерами проходного сечения Д. г. и зависит от Re . При достаточно большом Re его значение не оказывает существенного влияния на коэфф. потерь и поэтому принято считать, что ζ зависит лишь от типа Д. г.; коэфф. гидравлич. потерь мало зависит от изменения вязкости жидкости, а следовательно, и темп-ры. При этом используются ур-нием $\Delta p_T = \chi v^2$,

где χ — коэфф. пропорциональности, v — средняя скорость потока жидкости. При малых

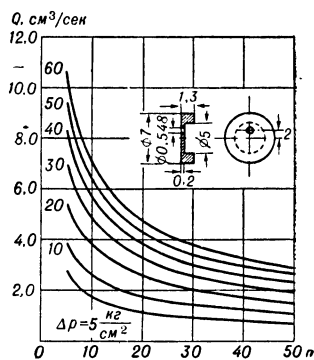


Рис. 2. Расходная хар-ка пакета дросселирующих шайб с диаметром рабочего отверстия $d = 0,548 \text{ мм}$.

В. А. Хохлов.

Re коэфф. потерь является ф-цией Re . Для определения коэфф. потерь пользуются эксперимент. данными проливов. Если перепад давлений на Д. г. Δp_d пропорционален первой степени средней скорости потока, то $\Delta p_d = \xi v$, где ξ — коэфф. пропорциональности. В ряде задач гидроавтоматики, напр. при расчете расходных хар-к Д. г. или при определении времени заполнения камеры перем. объема, можно пользоваться не коэфф. потерь, а коэфф. расхода $\mu = Q/Q_0$, где Q — фактич. расход жидкости, протекающей через рабочее окно Д. г.; Q_0 — расчетный расход жидкости, протекающей через то же сечение. Q_0 определяется площадью поперечного сечения канала и средней скоростью жидкости v_0 , к-рая имела бы место при отсутствии потерь. В этом случае коэфф. расхода можно определить из равенства $\mu = 1/\sqrt{\xi}$.

В. А. Хохлов.

ДРОССЕЛЬ ЛАМИНАРНЫЙ (streamlined throttle; étrangleur laminaire; laminare Drossel) — пневматич. дроссель, в к-ром течение воздуха является ламинарным, изотермическим, и основное значение имеют потери полного давления, вызываемые трением при протекании воздуха по каналу дросселя. Д. л. имеют цилиндрич. канал круглого сечения (рис. 1, а) или щелевой (рис. 1, б). Применяются в механизмах

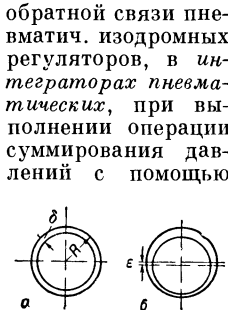


Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 1. Ламинарные дроссели: а — с цилиндрич. каналом круглого сечения; б — щелевой.

Рис. 2. Концентрич. (а) и неконцентрич. (б) расположение стержня во втулке дросселя.

камеры пневматической, в пневматическом реле времени (таймерах), а также в др. пневматических приборах контроля и управления (см. *Регулятор пневматический, Вычислительное устройство пневматическое*). Особенностью Д. л. является возможность получения практич. линейной зависимости между расходом и разностью давлений до и после дросселя, а также малых расходов воздуха при заданных перепадах давлений.

При малых перепадах давления до и после Д. л. расход воздуха для дросселя с цилиндрич. каналом круглого сечения приближенно может быть определен по ф-ле Пуазейля

$$G = \frac{\pi d^4 \gamma}{128 \mu l} \Delta p,$$

а для щелевого — по ф-ле

$$G = \frac{\pi D^3 \gamma}{12 \mu l} \Delta p,$$

где G — весовой секундный расход воздуха; Δp — разность давлений до и после дросселя; γ — уд. в. воздуха; μ — динамич. коэфф. вязкости; d, D, δ, l — размеры дросселей. Д. л. (рис. 1, а) обычно выполняется с большим

значением l/d (при $l/d \geq 10-20$). Макс. разность давлений, при к-рой еще сохраняется ламинарное течение в канале дросселя, приближенно равна

$$\Delta p_{гр} = 32 Re_{гр} \frac{l}{d} \frac{1}{d^3} \frac{\mu^2}{\rho},$$

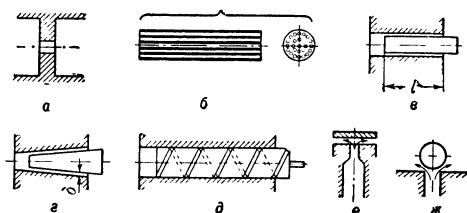
где $Re_{гр} = 2300$, ρ — плотность воздуха.

В щелевом Д. л. (рис. 1, б) эффект дросселирования более значителен. При одинаковых для обоих Д. л. площадях проходного сечения и длинах каналов и при равных перепадах давлений до и после дросселя отношение расхода воздуха через щелевой Д. л. $G_{щ}$ к расходу воздуха через Д. л. с каналом круглого сечения $G_{ц}$ составляет $\frac{G_{щ}}{G_{ц}} = \frac{2}{3} \frac{\delta}{D}$.

Напр., при $\delta = 0,03$ мм и $D = 2$ мм расход воздуха через щелевой Д. л. в 100 раз меньше, чем через равный ему по площади проходного сечения Д. л. с каналом круглого сечения ($\delta = 0,49$ мм). Переход от ламинарного к турбулентному течению в щелевом Д. л. осуществляется при разности давлений $\Delta p_{гр2}$, большей, чем разность давлений $\Delta p_{гр1}$, при к-рой соответствующее изменение характера течения происходит в дросселе с каналом круглого сечения. Если, напр., длины каналов обоих Д. л. одинаковы и размеры их сечений выбраны таким образом, что при разности давлений $\Delta p_{гр1}$ расходы через оба Д. л. равны, то $\Delta p_{гр2}/\Delta p_{гр1} \cong D/d$.

Важное практич. значение имеет форма хар-ки расхода Д. л. Отклонение зависимости между разностью давлений и расходом от линейной может вызываться увеличенными потерями механич. энергии на начальном участке формирования ламинарного течения, а также изменением плотности и скорости течения воздуха по длине канала дросселя. Для регулируемого щелевого Д. л. важно соблюдение концентрич. расположения стержня во втулке. Отношение расхода воздуха при неконцентрич. расположении стержня во втулке G_n к расходу воздуха при концентрич. расположении G_k зависит от размеров δ, R, ϵ , указанных на рис. 2, а и б. Подсчеты путем графич. интегрирования дают, например, для $\epsilon = \delta$ при $\delta/R = 0,05$ значение $G_n/G_k = 2,4$. Л. А. Залманзон.

ДРОССЕЛЬ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ (pneumatic throttle; étrangleur pneumatique; pneumatische Drossel) — проточный элемент, применяемый в пневматич. устройствах для создания



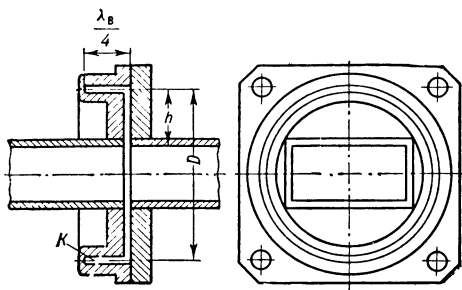
Схемы пневматич. дросселей: а — простейший цилиндрич.; б — сотовый (группа параллельно включенных цилиндрич. дросселей); в — регулируемый щелевой цилиндрич.; г — регулируемый щелевой конич.; д — регулируемый с каналом, образованным спиральной канавкой на поверхности стержня; е — типа сопло-заслонка; ж — с шариковым клапаном.

сопротивления течению воздуха. Чаще всего Д. п. является составной частью *камеры пневматической*. В пневматич. приборах контроля

и управления применяются нерегулируемые (рис., а и б) и регулируемые (рис., в, г, д, е, ж) Д. п. В последних площадь проходного сечения изменяется при настройке или в процессе работы устройства. В Д. п. разных типов получаются различные по форме характеристики изменения расхода в ф-ции от давления воздуха до и после Д. п. и от темп-ры воздуха. Это широко используется при выполнении с помощью Д. п. и др. проточных элементов различных операций контроля и управления. Получение хар-к расхода определенного вида зависит от того, является течение воздуха в Д. п. ламинарным или турбулентным, докритич. или надкритич., а также от соотношения потерь полного давления на входе в Д. п. и на выходе из него и потерь трения при течении воздуха по каналу Д. п. Условно различают Д. п. ламинарные, турбулентные и смешанного типа. К Д. п. относятся также диафрагмы, устанавливаемые в трубопроводах в качестве перичных измерителей разности давлений и расхода.

Лит.: Березовец Г. Т., Дмитриев В. Н., Наджафов Э. М., О допустимых упрощениях при расчете пневматических регуляторов, «П.», 1957, № 4; Залманзон Л. А., Проточные элементы пневматических приборов контроля и управления, М., 1961. Л. А. Залманзон.

ДРОССЕЛЬ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (ultrahigh frequency choke; self de choc ultrahaute fréquence; Ultrahochfrequenzdrossel, Höchstfrequenzdrossel) — четвертьволновый отрезок длинной линии, применяемый для устранения потерь энергии в соединениях отрезков высокочастотных трактов СВЧ. Д. с. ч. практически является неотъемлемой частью любого разъемного волноводного дроссельно-фланцевого соединения. Типичное соединение двух отрезков волновода состоит из двух фланцев (рис.), в одном из к-рых проточена горизон-



тальная цилиндрич. дроссельная канавка глубиной в четверть длины волны в волноводе $\lambda_{в}/4$ и сделана круглая полость. Диаметр D этой полости выбирается таким, чтобы расстояние h от внутр. поверхности широкой стенки волновода до горизонтальной дроссельной канавки было бы равно $\lambda_{в}/4$. Дроссельная канавка K и круглая полость образуют относительно внутренней поверхности широкой стенки волновода длинную линию длиной $\lambda_{в}/2$, замкнутую на конце. Сопротивление входное такой линии на разомкнутом конце равно нулю. Это обеспечивает кз торцов обоих отрезков волновода по высокой частоте без потерь энергии на переходном омич. сопротивлении контактов, т. е. бесконтактное электрич. соединение. Д. с. ч. не может работать в широком диапазоне частот, ибо при значит. изменении длины волны в волноводе входное сопротивление длинной линии не будет

равно нулю, т. к. ее длина будет отличаться от $\lambda_{в}/2$. При правильном подборе размеров такое дроссельное соединение Д. с. ч. может обеспечить хороший электрич. контакт в полосе частот $\pm(5-7\%)$ от номинальной. Через подобное дроссельно-фланцевое соединение просачивается мощность, величина к-рой на 50—60 дб ниже мощности сигнала, передаваемого по волноводному тракту. Для еще большего ослабления просачивающейся мощности (60—70 дб) за дроссельной канавкой делается еще одна неглубокая кольцевая канавка, в к-рую закладывается кольцо, свернутое из упругой металлич. сетки. При необходимости обеспечить величины ослабления порядка 100 дб и выше фланцевые соединения пропайваются.

Лит.: Линии передачи сантиметровых волн, пер. с англ., под ред. Г. А. Ремеза, т. 1, М., 1951. Ю. Б. Любченко.

ДРОССЕЛЬ СМЕШАННОГО ТИПА (mix-type throttle; étrangleur du type mixte; pneumatische Drossel gemischten Types) — любой пневматический дроссель, не подходящий под определения *дроссель ламинарный* или *дроссель турбулентный*. Различают Д. с. т. с каналом цилиндрич. и нецилиндрической формы. Примером Д. с. т. с каналом цилиндрич. формы могут служить нерегулируемые дроссели регуляторов пневматических и др. пневматич. приборов в тех случаях, когда длина канала дросселя велика по сравнению с его диаметром и истечение через дроссель происходит под действием относительно большого перепада давлений. К числу Д. с. т. с нецилиндрич. каналом относятся часто встречающиеся в пневматич. приборах контроля и управления дроссели типа сопло-заслонка, дроссели с шариковым клапаном и нек-рые др. Расчет Д. с. т. с цилиндрич. каналом проводится на основании газодинамич. теории течения в трубах. Этой же теорией пользуются для расчета Д. с. т. с цилиндрич. каналом также и при наличии теплообмена между протекающим воздухом и стенками дросселя. Разработана методика расчета дросселей типа сопло-заслонка. Расчеты хар-к других Д. с. т. с каналом нецилиндрич. формы вызывают большие затруднения, поэтому для них обычно пользуются хар-ками, полученными опытным путем.

Л. А. Залманзон.
ДРОССЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНЫЙ (turbulent throttle; étrangleur turbulent; turbulente Drossel) — пневматический дроссель, в канале которого течение является турбулентным адиабатическим и эффект дросселирования создается в основном благодаря местным сопротивлениям на входе и потерям полного давления на выходе (действие сил трения при течении воздуха по каналу существенно не сказывается). Процессы течения воздуха в Д. т. близки к процессам истечения из сопла. В пневматич. приборах контроля и управления применяются Д. т., работающие при докритич. и надкритич. режимах истечения. Обычно нерегулируемый Д. т. имеет цилиндрич. канал с $l/d=1-4$ (рис. 1). Д. т. применяются в регуляторах пневматических, при делении и редуцировании давлений посредством камер пневматических и др.

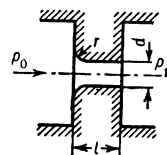


Рис. 1. Турбулентный дроссель.

Расход воздуха через Д. т. определяется по ф-ле

$$G = \epsilon \kappa p_0 f \sqrt{\frac{288}{T}},$$

где G — расход воздуха (кг/сек); p_0 — абс. давление в камере перед дросселем (кг/см^2); f — площадь сечения дросселя (см^2); T — абс. темп-ра; κ — коэфф., заданный в ф-ции отношения абс. давления за дросселем p_1 к абс. давлению перед ним p_0 (рис. 2, а); ϵ — коэфф. расхода, для Д. т. с цилиндрич. каналом круглого сечения приближенно $\epsilon = \sqrt{1/(1+\xi_{\text{вх}})}$, где $\xi_{\text{вх}}$ — коэфф. сопротивления входа. Коэфф. $\xi_{\text{вх}}$ зависит от отношения радиуса скругления входной кромки r к диаметру канала (рис. 2, б). При малых отношениях

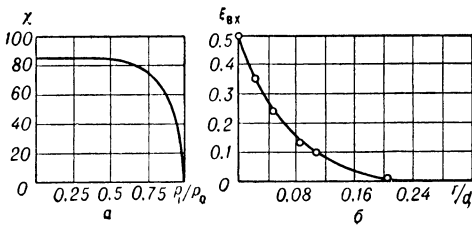


Рис. 2. Хар-ки турбулентного дросселя: а — $\kappa = \varphi(p_1/p_0)$; б — $\xi_{\text{вх}} = \varphi(r/d)$.

$l/d(l/d \leq 1)$ при определении ϵ должно дополнительно учитываться сужение струи в выходном сечении дросселя. Миним. значение диаметра сечения $d(\text{м})$, при к-ром течение в канале дросселя еще остается турбулентным,

$$d = \frac{Re_{\text{гp}} \mu}{V 2 \rho \sqrt{\Delta p}},$$

где $Re_{\text{гp}} = 2300$ — граничное значение числа Рейнольдса; ρ — плотность; μ — динамич. коэфф. вязкости (при норм. условиях для воздуха $\rho = 0,125 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}^4}$ и $\mu = 1,86 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг} \cdot \text{сек} \kappa}{\text{м}^2}$); Δp — разность давлений до и после дросселя ($\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$). Переход от докритич. к надкритич. режиму истечения в Д. т. определяется для воздуха отношением абс. давлений $p_1/p_0 = 0,53$. При надкритич. истечении расход G при заданных значениях p_0 и T не зависит от изменения давления за дросселем p_1 [на соответствующем участке хар-ки $\kappa = \varphi(p_1/p_0)$, показанной на рис. 2, а, $\kappa = \text{const}$]. Л. А. Залманзон.

ДРОССЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ (choke, choke coil, reactor, impedance coil; self, bobine d'arrêt, bobine d'impédance, bobine de choc; Drossel, Reaktor, Drosselspule) — катушка индуктивности, применяемая в цепях коррекции частотной хар-ки электронных усилителей, в фильтрах выпрямителей, в развязывающих фильтрах на высокой и низкой частотах, а иногда и в цепях усиления колебаний НЧ. Габариты и конструкция Д. э. определяются назначением и диапазоном рабочих частот. Высокочастотные Д. э. имеют индуктивность от единиц мкГн до единиц мГн . Часто конструкция позволяет изменять величину индуктивности в нек-рых пределах. Высокочастотные Д. э. различаются по роду намотки и типу сердечника. Наибольшее распространение получили 3 способа намотки — цилиндрич. однослойная, многослойная простая и универ-

сальная. Д. э. может содержать сердечник, чаще ферритовый или латунный, либо не иметь такового. Настройка Д. э. обычно осуществляется перемещением сердечника внутри каркаса. Каркас, в зависимости от назначения, выполняется из керамики, полистирола, пластмассы, бакелизированной бумаги. Высокочастотный Д. э. должен обладать по возможности меньшей собств. емкостью. Наименьшая собств. емкость у однослойного Д. э., однако габариты его при индуктивности свыше 100 мкГн велики. Применение ферритовых сердечников позволяет уменьшить длину намотки, т. к. индуктивность у таких Д. э. в 1,4—1,7 раза больше, чем у Д. э. без сердечника. Д. э. с индуктивностью свыше 100 мкГн имеют простую многослойную или универсальную намотку. Чаще применяются Д. э. с универсальной намоткой, имеющие меньшую емкость. Дальнейшее уменьшение собств. емкости достигается секционированием обмотки. Для уменьшения влияния окружающей среды Д. э. покрываются лаком или пропитываются компаундом.

Низкочастотные Д. э., используемые в фильтрах цепей электропитания и т. п., обладают значительно большими индуктивностями, чем высокочастотные. Межвитковая емкость низкочастотных Д. э. несущественна. В качестве сердечника в таком Д. э. применяется листовая трансформаторная сталь в виде набора Ш- или П-образных пластин. Особенностью работы такого Д. э. является подмагничивание сердечника за счет протекания по обмотке пост. составляющей выпрямл. тока, что может вызвать значит. уменьшение магнитной проницаемости сердечника и, следовательно, индуктивности Д. э. Чтобы снизить влияние магнитного поля пост. тока, в сердечниках делается воздушный зазор. Намотка катушки дросселя ведется на каркасах из пластмассы, картона, гетинакса. При намотке Д. э., предназначен. для работы в цепях с высоким напряжением, между слоями обмотки прокладывается бакелизированная или кабельная бумага.

Лит.: Цыкин Г. С., Электронные усилители, М., 1960; Егоров К. П., Тиханов Г. П., Конструирование аппаратуры дальней связи, М.—Л., 1955. А. Е. Розинкин.

ДУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ (dual control; commande duale; duale Steuerung, Dualsteuerung) — управление, в к-ром управляющие воздействия имеют двойств. характер и служат для изучения управляемого объекта и для приведения его к требуемому состоянию. В любой автоматической системе УУ решает 2 задачи: 1) на основании приходящей информации выясняет св-ва и состояние управляемого объекта; 2) на основании данных об объекте определяет, какие действия необходимы для управления. В простейших системах решение одной из этих задач может отсутствовать или иметь примитивную форму. Сведения об объекте могут быть получены в готовом виде в качестве информации от человека, добыты наблюдением и, наконец, найдены экспериментально. Поэтому автоматич. системы по способам добывания сведений можно разделить на 3 типа: системы с полной информацией об управляемом объекте; системы с неполной информацией об объекте и независимым или пассивным ее накоплением в процессе управления; системы с неполной информацией об объекте и активным ее накоплением в про-

пессе управления. Последний тип называется системами Д. у.

Для пояснения вышепривед. классификации рассмотрим рис. 1, на к-ром дана структурная схема управляемого объекта B с выходной величиной x , управляющим воздействием u и неконтролируемым возмущающим воздействием (помехой) z . Информация об объекте складывается из: 1) информации о зависимости x от u и z (информация об операторе объекта); 2) информации о помехе z , действующей на объект; 3) информации о состоянии объекта (напр., о координатах точки, изображающей

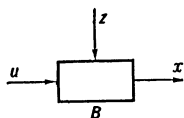


Рис. 1.

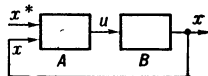


Рис. 2.

состояние объекта в фазовом пространстве); 4) информации о цели управления. Последняя информация должна указать не только идеал, к-рого следует добиваться, но и «стоимость» отклонения от этого идеала. Поэтому ее удобно представить в виде условия

$$Q(x, x^*) = \min, \quad (1)$$

где Q — функционал, т. е. число, зависящее от вида процесса $x(t)$ и нек-рого иного процесса $x^*(t)$. Последний вводится извне и выражает собой требования или инструкции в отношении управляемого процесса. Пусть, напр., требуется, чтобы идеальный процесс $x(t)$ был тождествен $x^*(t)$, а «стоимость» отклонения от идеала выражалась ф-лой

$$Q = c(x - x^*)^2, \quad (2)$$

где $c = \text{const}$. Тогда условие $Q = \min$ явится частным примером условия (1). Оптимальной назовем систему, в к-рой реализуется минимум величины Q при характеризующих задачу условиях, напр., если u или x не должны выходить из к.-л. допустимых пределов.

В теории автоматич. управления в течение ряда лет развивались совершенно независимо и обособленно друг от друга три типа теорий оптим. систем. Первый тип — различные теории оптим. систем при полной информации об управляемом объекте (напр., теория систем, оптим. по быстродействию — см. *Оптимальная система*). В этом случае принимается, что оператор объекта и форма критерия Q известны; что УУ A (рис. 2) получает по цепи обратной связи полную информацию о состоянии x объекта. Наконец, в УУ A вводится задающее воздействие x^* . На основе этих данных УУ A вырабатывает управляющее воздействие u , подаваемое на объект B .

Во втором типе теорий оптим. систем принимается, что к.-л. из видов информации об объекте являются неполными. Эта группа теорий развивалась поэтому с применением статистич. методов. Осн. задача, рассматриваемая в этой группе теорий, иллюстрируется рис. 3. Сначала вся система в целом рассматривается как нек-рый фильтр Φ . Задающее воздействие x^* поступает на этот фильтр не непосредственно, а через систему H^* — напр., через канал связи, где оно смешивается со случайным шумом h^* . Задача фильтра заклю-

чается в том, чтобы выдать на выходе величину x , наиболее близкую, в нек-ром статистич. смысле, к x^* или к результату нек-рого известного преобразования x^* . Если определяется оптим. фильтр Φ из класса линейных систем, то его последующее расчленение на управляющее устройство A и управляемый объект B , в частности, если A и B соединены в замкнутую систему (рис. 3), не вызывает

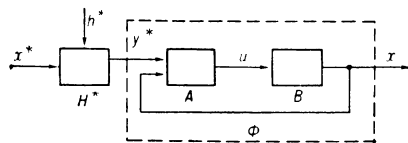


Рис. 3.

принцип. затруднений. Второй тип оптим. систем характеризуется тем, что процесс накопления информации о воздействии x^* не зависит от стратегии (закона действия) управляющего устройства A . Действительно, накопление информации состоит в наблюдении процесса y^* и конструировании на этом основании гипотез о процессе x^* . Поэтому такие системы могут быть названы оптим. системами с независимым или пассивным накоплением информации.

Третий тип теории оптим. систем, кроме черт, общих теориям первых двух типов, содержит еще и свои специфич. черты. Рассмотрим общую структурную схему автоматич. системы (рис. 4). Пусть задан оператор объек-

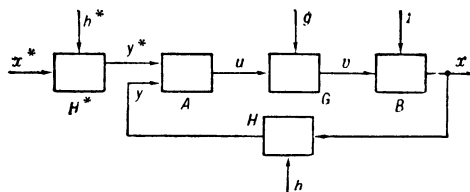


Рис. 4.

та B . На объект B действует случайное возмущение z , к-рое нельзя измерить непосредственно. Управляющее воздействие u поступает на объект B через канал связи G , где оно смешивается со случайным шумом g . Т. о., воздействие v , подаваемое на вход объекта B , отличается, вообще говоря, от u . Далее, информация о состоянии x объекта B проходит через канал связи H , где она смешивается со случайным шумом h и в виде величины y поступает на вход управляющего устройства A . Эта схема отличается от предыдущих наличием случайных шумов g и h в цепях прямой и обратной связи. Кроме того, здесь рассматривается сразу замкнутая (в общем случае — нелинейная) схема вместо разомкнутой. Однако, и это главное, в схеме рис. 4 возможны процессы, к-рым нет аналога в предыдущих схемах. Изучение возмущения z , т. е., по существу, изменяющихся хар-к объекта B , может быть произведено в схеме рис. 4 не путем пассивного наблюдения, а активным методом, путем рациона. экспериментов. Объект B как бы «прощупывается» воздействиями v , имеющими познават. характер, а результаты y этих воздействий анализируются устройством A . Цель таких воздействий — способствовать более бы-

струму и точному изучению хар-к объекта B , что поможет выработать лучший способ управления им.

Однако управляющее воздействие необходимо не только для изучения объекта, но и для приведения его к требуемому режиму. Поэтому в схеме рис. 4 управляющее воздействие должно иметь дуальный характер: оно должно быть в известной мере изучающим и в известной мере также направляющим, ведущим объект к требуемому состоянию. Отсюда теория этого типа систем наз. теорией Д. у.

Именно дуальность управления является осн. физич. фактом, отличающим третий тип оптим. систем от первых двух. В первом из них Д. у. не нужно, поскольку и без него УУ имеет полную информацию об объекте. Во втором типе систем Д. у. невозможно, ибо информация накапливается путем одного лишь наблюдения и темп ее накопления совершенно не зависит от стратегии УУ. В наст. время теория оптим. систем Д. у. продвинута лишь для систем с квантованием по времени. Однако осн. идеи этой теории могут быть распространены и на непрерывные системы. Любые системы автоматич. поиска и, в частности, практически важные системы автоматич. оптимизации являются частными примерами систем Д. у.

Лит.: Фельдбаум А. А., Теория дуального управления, «АвтТ», 1960, т. 21, № 9, № 11; е го же, там же, 1961, т. 22, № 1—2; е го же, О накоплении информации в замкнутых системах автоматического управления, «ИАН. ОТН. Энергетика и автоматика», 1961, № 4. А. А. Фельдбаум.

Дуальное управление в дискретных системах. В этом случае все величины рассматриваются в дискретные моменты времени $t=0, 1, 2, \dots, n$; n считается фиксированным. Схему системы Д. у. см. на рис. 4. Система является замкнутой. Считается, что объект управления B не имеет памяти. Задан оператор объекта $x_s = F(v_s, z_s)$; z_s — случайное возмущение, не поддающееся непосредств. измерению. Сведения о z накапливаются постепенно в процессе работы системы. От управляющего устройства A управляющее воздействие u поступает через канал связи G на объект B . В канале G и смешивается со случайной помехой g . x — реакция объекта на воздействие v , являющаяся суммой u и g . С выхода объекта x поступает через канал связи H (где x смешивается со случайной помехой h) на вход управляющего устройства A в виде воздействия y . Через канал связи H^* на УУ поступает случайное воздействие x^* , к-рое в H^* смешивается со случайной помехой h^* . На вход A поступает их сумма y^* . В рассматриваемой задаче считается, что g_s, h_s, h_s^* — независимые случайные величины с неизменными плотностями вероятностей, относящиеся к моменту времени s . Блоки G, H и H^* не имеют памяти. z_s и x_s^* — ф-ции s и μ и s и λ соответственно, где μ и λ — случайные векторы с заданными априорными плотностями вероятностей $P(\mu)$ и $P(\lambda)$. Управляющее устройство A обладает памятью, т. е. u_s — сигнал с УУ — зависит от предыдущих значений y_i, u_i, y_i^* ($i < s$).

В каждом такте можно определить удельную ф-цию потерь $W_s = W(s, x_s, x_i^*)$, являющуюся мерой отклонения системы в момент s от идеала. Напр., можно задать ф-цию потерь в виде $W_s = (x_s - x_s^*)^2$. Общая ф-ция потерь за все время

работы системы

$$W = \sum_{s=0}^n W_s.$$

Система считается оптимальной, когда минимально матем. ожидание общей ф-ции потерь R , называемое ср. риском.

В общем случае алгоритм действия УУ предполагается случайным. Задача УУ — найти такую последовательность оптим. плотностей вероятностей $P_s(u_s) = \Gamma_s(u_s/u_{s-1}, y_{s-1}, y_s^*)$, при к-рой ср. риск R минимален. Ф-ции Γ_s описывают алгоритм действия УУ или стратегию в s -й момент времени. Векторы в ф-ле определяются след. образом:

$$k_s = (k_0, k_1, \dots, k_s) \quad (0 \leq s \leq n).$$

При работе системы в каждом такте с управляющего устройства A на объект B подается управляющее и одновременно изучающее воздействие u_s , и анализируется реакция y_s объекта на это воздействие. Т. о. происходит активное накопление информации о случайном возмущении z ; последнее можно рассматривать как случайные хар-ки объекта. Математически это отражается в замене априорной плотности вероятности $P(\mu)$ в каждом такте апостериорными плотностями $P_s(\mu)$

$$P_s(\mu) = P(\mu) \frac{\prod_{i=0}^{s-1} P(y_i/\mu, i, u_i)}{P(y_{s-1}, u_{s-1})},$$

где Γ_i — стратегия в i -тый момент времени; $P(y_i/\mu, i, u_i)$ — условная плотность вероятности y_i в i -тый момент времени при фиксиров. μ и u_i ; $P(y_{s-1}, u_{s-1})$ — совместная плотность вероятности y_{s-1}, u_{s-1} .

Аналогичный матем. анализ для $P_s(\lambda)$ показывает, что накопление информации о случайном возмущении x^* носит пассивный независимый характер — отсутствует зависимость от стратегий Γ_i :

$$P_s(\lambda) = P(\lambda) \frac{P(y_s^*/\lambda)}{P(y_s^*)}.$$

Здесь $P(y_s^*/\lambda)$ — условная плотность вероятности y_s^* при фиксированном λ , $P(y_s^*)$ — плотность вероятности y_s^* . Сопоставление выражений для $P_s(\mu)$ и $P_s(\lambda)$ дает возможность сравнить особенности дуального и недуального управления, поскольку $P_s(\mu)$ зависит от стратегий Γ_i управляющего устройства, а $P_s(\lambda)$ от них не зависит.

Дуальность управления сказывается также в том, что уд. риск R_s — часть общего риска, относящаяся к моменту времени s , — зависит от всех стратегий Γ_i в предыдущие моменты времени $i=0, 1, \dots, s$. В каждый момент времени s управление осуществляется так, чтобы уменьшить риск R_s , соответствующий данному моменту, и путем лучшего изучения объекта способствовать также уменьшению рисков R_i в последующие моменты времени $i > s$. По отношению к стратегии Γ_s , соответствующей данному моменту s , R_s — риск действия, сумма же зависящих от Γ_s рисков в последующие моменты времени — $\sum_{i=s+1}^n R_i$ — риск изучения. Оптимальной является стра-

тегия, минимизирующая сумму рисков действия и изучения.

Анализ данной задачи показывает, что оптимальная стратегия в каждый момент времени s является регулярной, а не случайной. Она дается в виде выражения

$$\Gamma_s^* = \delta(v_s - v_s^*),$$

где v_s^* — ф-ция векторов v_{s-1} , y_{s-1} и y_s^* , минимизирующая вместе с указанной стратегией Γ_s^* риск R_s .

Т. И. Товстуха.

ДУБЛИРОВАНИЕ (duplication; doublage; Verdopplung, Reservierung) — один из видов резервирования, отличающийся тем, что, наряду с основным элементом (блоком, устройством), имеется еще только один резервный. Д. — простейший и поэтому наиболее часто применяемый вид резервирования. Так же как и резервирование, Д. может быть общим (когда дублируется вся система) или раздельным (когда дублируются блоки или элементы). В электронной аппаратуре широко применяется Д. с пост. включением. Такие элементы, как сопротивления, конденсаторы, реле, часто могут быть включены параллельно и выход из строя одного из них не нарушает работоспособности устройства.

Е. Ю. Намиот.

ДУГОВОЙ РАЗРЯД (arc discharge; décharge d'arc, décharge en arc; Lichtbogenentladung, Bogenentladung) — электрич. разряд в газе, характеризующийся малым катодным падением потенциала при большой плотности разрядного тока. Плотность тока в Д. р. — от десятых долей до тыс. a/cm^2 . Катодное падение потенциала в дуге примерно в десять раз меньше, чем в *телющем разряде*, и составляет 10–20 в, т. е. примерно равно потенциалу ионизации газа. Это обусловлено тем, что эмиссия электронов с катода вызвана здесь процессами, более энергичными, чем γ -процессы, поэтому для существования разряда достаточно более низкая величина катодного падения потенциала.

Пространств. распределение потенциала в Д. р. дано на рис. 1. Вблизи электродов расположены области катодного U_K и анодного

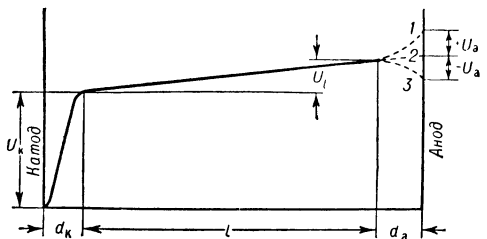


Рис. 1. Распределение потенциала в дуговом разряде.

U_A падений потенциала, протяженность к-рых d_K и d_A мала и соизмерима с длиной свободного пробега электронов. U_K и d_K определяют макс. плотность ионного тока дуги, к-рая для случая плоских электродов равна [2]

$$j_i = \frac{1}{9\pi} \sqrt{\frac{2e}{m_i}} \frac{U_K^{3/2}}{d_K^2},$$

где $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ кул — заряд электрона и m_i — масса иона. Градиент анодного падения потенциала в зависимости от разрядного тока и поверхности анода может быть как положи-

тельным, так нулевым и отрицательным (кривые 1–3). Для столба Д. р. l с падением потенциала U_i характерна низкая напряженность электрич. поля, обусловленная интенсивной ступенчатой ионизацией газа.

Существуют различные формы Д. р., особенности к-рых определяются явлениями на катоде, давлением и отчасти родом газовой среды. В зависимости от явлений на катоде и прежде всего от способа поддержания разряда имеют место две осн. формы Д. р.: самостоят. и несамостоят. разряд. Существование самостоятельного Д. р. обусловлено явлениями, происходящими в самом разряде (рис. 2).

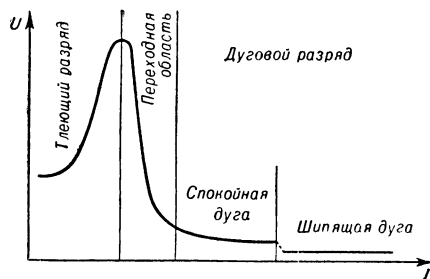


Рис. 2. Вольтамперная хар-ка самостоят. дугового разряда.

Одной из форм самостоят. Д. р. является термоэлектронная дуга, обязанная своим назв. термоэлектронной эмиссии катода, нагреваемого до 2 000–3 500° К за счет энергии, выделяющейся в катодных частях разряда при прохождении разрядного тока. Термоэлектронная дуга между угольными или металлич. электродами в воздухе и нек-рых др. газах широко применяется в дуговых плавильных печах и электросварке, позволяя получать темп-ры до 6 000–10 000° С, а также в качестве источника света (прожекторы). Наибольшее применение в электрометаллургии получил Д. р. перем. тока (однофазный и многофазный), обеспечивающий токи до 2000 а и мощности до 16 Мвт на одну дугу. При высокой темп-ре разряда повышается роль термич. ионизации и фотоионизации в объеме по сравнению с ударной ионизацией.

Темп-ра внутри Д. р. определяется выделяемой в нем энергией, к-рая, в свою очередь, зависит от падения напряжения на дуге U , разрядного тока I и длины дуги L . Это позволяет осуществлять управление темп-рой и мощностью дуги изменением тока и расстояния между электродами. Статич. вольтамперная хар-ка термоэлектронной дуги пост. тока приблизительно описывается [1] ф-лой: $U = a + bL + \frac{c+dL}{I^n}$, где a, b, c, d и n — постоянные, зависящие от рода и давления газа, от размеров, формы и материала электродов, а также от условий горения дуги и охлаждения электродов. В табл. приведены нек-рые значения постоянных для угольных электродов [1]. Для различных металлич. электродов n колеблется в пределах от 0,34 до 1,38.

В зависимости от расстояния между электродами различают короткую и длинную термоэлектронные дуги. В первой тепловое излучение электродов (особенно анода, имеющего более высокую темп-ру) оказывает сильное влияние на тепловой баланс каждого из них.

Постоянная	Воздух без циркуляции	Воздух с циркуляцией	Ar	CO ₂	N ₂
a	35,7	44,1	24,8	44,5	48,2
b	3,0	2,6	0,9	1,7	2,6
c	114,8	17,8	10,2	10,2	23,3
d	1,8	1,8	0	8,7	5,3
n	1	1	1	1	1

В длинной дуге такого непосредств. влияния нет. В случае термоэлектронной дуги в воздухе и использования угольного анода при уменьшении расстояния между электродами и увеличении тока наблюдается т. н. шипящая дуга. Дуга начинает шипеть, когда плотность тока на аноде достигает $50-70 \text{ а/см}^2$ и положит. кратер — место, занимаемое разрядом на аноде, — начинает захватывать боковые поверхности положит. угля.

Вследствие большого влияния темп-ры катода на процессы в термоэлектронной дуге, в ней, более чем в к.-л. др. форме разряда, наблюдается явление гистерезиса. При быстрых изменениях тока давление газа в дуге не успевает установиться, поэтому динамич. хар-ка дуги значительно отличается от статической. Вид динамич. хар-ки зависит от скорости изменения режима дуги. Как показано на рис. 3, она имеет вид явно выраженной гистерезисной петли, ширина к-рой определяется тепловой инерцией разряда и частотой тока.

При размыкании контактов в выключателях в месте разрыва возникает Д. р., вызывающий обгорание и разрушение контактов. В цепях пост. тока осн. фактором, определяющим гашение разряда, является напряжение горения. При перем. токе дуга гаснет при переходе тока через нуль, и последующее зажигание разряда за счет напряжения обратной полярности на промежутке обуславливается скоростью деионизации газа и скоростью нарастания напряжения.

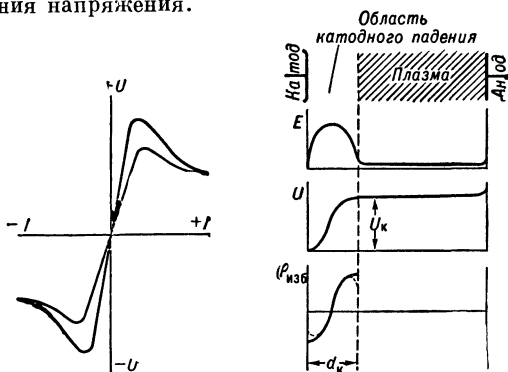


Рис. 3.

Рис. 3. Динамич. вольтамперная хар-ка дуги перем. тока.

Рис. 4. Зависимость напряженности поля E , разности потенциалов U и избыточного пространства заряда $\rho_{изб}$ в дуговом разряде от расстояния между электродами

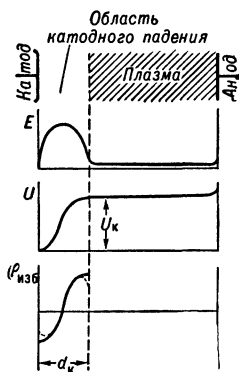


Рис. 4.

непрерывного перемещения катодного пятна по его поверхности не превышает $200-500^\circ \text{С}$. Автоэлектронная дуга имеет место в вакуумных или наполн. газом запаянных разрядных приборах с металлич. электродами. В вакуумных приборах разряд происходит в парах тех веществ, из к-рых состоят электроды, и представляет собой вакуумную дугу, используемую, напр., в вентилях с ртутным катодом. Возникновение автоэлектронной дуги объясняют как автоэлектронной эмиссией, так и γ -процессами с участием многократно заряженных ионов, термич. ионизацией и туннельным эффектом [1, 3, 5].

Несамостоят. Д. р., в отличие от самостоятельного, обусловлен наличием постороннего источника электронной эмиссии и не может существовать лишь за счет энергии разряда. Единств. формой такого Д. р. является разряд с искусственно накаливаемым катодом (газотрон, тиратрон). При небольшой массе катода и значит. мощности, выделяемой в разряде, посторонний накал необходим только для нач. разогрева катода. После же возникновения разряда может существовать при выключ. накале, переходя т. о. в самостоят. термоэлектронную дугу.

Распределение поля, потенциала и пространств. заряда в дуге с плоскими электродами и накаливаемым катодом дано на рис. 4. Если накаливаемый катод имеет очень высокую темп-ру, то при напряжении между электродами, значительно меньшем, чем потенциал ионизации, может существовать разряд, наз. низковольтной дугой. Когда потенциал горения низковольтной дуги лежит в пределах между первым потенциалом возбуждения и потенциалом ионизации, то такая дуга наз. нормальной. В том же случае, когда потенциал горения ниже не только ионизаци. потенциала, но и его первого потенциала возбуждения, дуга является аномальной. Низковольтная дуга находит применение в низковольтных газотронах — тунгарах.

Лит.: 1) Капцов Н. А., Электрические явления в газах и вакууме, 2 изд., М.—Л., 1950; 2) Либ Л., Основные процессы электрических разрядов в газах, пер. с англ., М.—Л., 1950; 3) Энгель А. и Штепск М., Физика и техника электрического разряда в газах, пер. с нем., т. 2, М.—Л., 1936; 4) Энгель А., Ионизованные газы, пер. с англ., М., 1959; 5) Пеннинг Ф., Электрические разряды в газах, пер. с англ., М., 1960.

О. П. Григорьев.

ДУГОГАСИТЕЛЬНАЯ КАТУШКА (blow out coil, suppression arc coil; bobine d'extinction d'arc, bobine de soufflage; Blasspule, Lichtbogenlöschspule, Löserspule, Löschdrossel) — катушка (с сердечником или без него), служащая для создания дутья магнитного.

Д. к. включается в коммутируемую цепь обычно последовательно, реже — параллельно. Контакты помещаются в магнитное поле Д. к. Возникающая между контактами дуга оказывается в магнитном поле, которое способствует перемещению дуги вверх в направлении ее естеств. движения, обусловленного высокой темп-рой и меньшей плотностью ствола дуги по отношению к окружающему воздуху. Д. к. может применяться в цепях постоянного

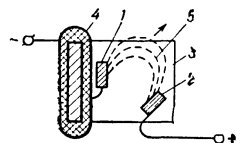


Схема действия дугогасит. катушки (разрез): 1 — неподвижный контакт; 2 — подвижный контакт; 3 — магнитопровод электромагнита; 4 — дугогасит. катушка; 5 — дуга.

В др. форме самостоятельного Д. р. — в т. н. автоэлектронной дуге (или дуге с холодным катодом), эмиссия катода вызывается большой (порядка 10^6 в/см) напряженностью электрич. поля вблизи катода. Плотность тока в катодном пятне такой дуги достигает 10^6 а/см^2 . Несмотря на это, темп-ра катода вследствие

и перем. тока. Направление перемещения дуги не зависит от направления тока в Д. к., т. к. при изменении направления тока изменяется и направление магнитного поля, действующего на дугу. Использование Д. к. с магнитными сердечниками, включенными последовательно в цепь с повышенным напряжением источников питания частоты 500, 1000 гц и более, затруднено из-за возрастания магнитного сопротивления магнитопровода Д. к. под действием магнитного поверхностного эффекта.

С. П. Колосов.

ДУГОГАСЯЩАЯ КАМЕРА (blow out chamber; chambre d'extinction d'arc; Lichtbogen-Löschkammer, Löschkammer)— камера из изоляц. термостойкого материала, в к-рую помещаются контакты мощных коммутац. устройств (защитных автоматов, контакторов и др.) как с целью локализации возникающей между расходящимися контакторами дуги и защиты от перекрытия на корпус или между соседними фазами, так и для облегчения гашения дуги и сокращения времени ее горения. Последнее достигается рациональным расположением щели между стенками камеры, по к-рой перемещается вверх дуга, имеющая вследствие высокой темп-ры меньшую плотность, чем окружающий воздух (т. н. естеств. или тепловое дутье). При этом длина дуги увеличивается, а ее соприкосновение со стенками камеры сопровождается нейтрализацией зарядов и нек-рым охлаждением. При охлаждении дуги уменьшается интенсивность образования ионов из нейтральных молекул газа, а т. к. ионы являются осн. носителями тока в дуге, то это приводит к его уменьшению.

Стенки Д. к. выполняются из нейтральных материалов (асбест, асбоцемент, керамика и др.), а иногда, для улучшения дугогашения, — из материала, выделяющего при нагревании газ (фибра, органич. стекло, нек-рые пластмассы). Такие Д. к. наз. газогенерирующими. Под действием дуги стенки камеры нагреваются, и в ней резко повышается давление. При этом уменьшается длина свободного пробега электрона, а следовательно, и ударная ионизация.

В высоковольтных выключателях для гашения дуги часто используется поток воздуха, поступающий от спец. компрессорной установки, либо минер. масло, к-рым заполняют полость камеры.

Дуга испаряет соприкасающиеся с ней частицы масла, и вокруг нее образуется газовый пузырь, состоящий в осн. из находящихся под повышенным давлением водорода, этилена и метана, к-рые к тому же интенсивно отводят тепло от ствола дуги к окружающим слоям масла. В низковольтных выключателях для улучшения дугогашения используются Д. к. со стенками из нейтральных материалов, но в комбинации с *дутьем магнитным* или с деионными решетками — несколькими изолированными друг от друга металлич. пластинами, к-рые разбивают попадающую на них дугу на неск. последовательно включенных коротких дуг. В каждой из коротких дуг имеет место свое катодное падение напряжения (15—20 в). Поэтому для их поддержания требуется более высокое напряжение, чем то, к-рое имелось до входа дуги в решетку. Особенно эффективны деионные решетки в сетях перем. тока.

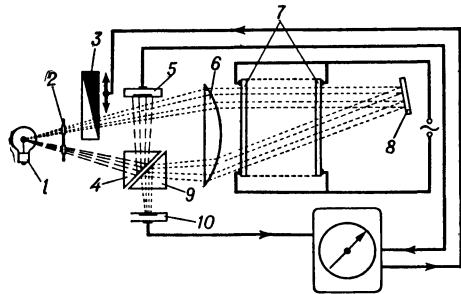
С. П. Колосов.

ДУТЬЕ МАГНИТНОЕ (magnetic blow out; soufflage magnétique; magnetische Blasung, magnetische Lichtbogenblasung)— один из способов повышения эффективности действия *дугогасящих камер*. Д. м. появляется в результате воздействия магнитного поля *дугогасительной катушки* на дугу, возникающую между расходящимися контактами, что ускоряет перемещение дуги и способствует более интенсивному ее охлаждению и вытягиванию. При этом повышается сопротивление дуги и облегчается ее гашение. Слишком интенсивное Д. м. иногда приводит к столь быстрым разрывам цепи, что в нек-рых случаях (напр., при разрыве токов кз в сетях перем. тока или при разрыве цепей пост. тока со значит. индуктивностями) могут появиться нежелательные коммутац. перенапряжения.

С. П. Колосов.

ДЫМНОМЕР (smoke meter; appareil de mesure de fumées; Rauchmesser)— прибор для определения плотности дыма, т. е. концентрации твердых частиц, взвешенных в воздухе или др. газообразной среде. Применяется: для контроля и регулирования производств. процессов (копчение пищевых продуктов, сажевое произ-во и др.); для контроля дымосодержания отходящих газов; для пожарной сигнализации и др. Чаще всего Д. строится по принципу определения степени ослабления потока лучистой энергии, проходящего через дымосодержащий газовый слой определ. толщины. В зависимости от рода излучения Д. подразделяются на радиоактивные и оптич. В радиоактивных Д. используется ионизирующее действие потока α -частиц, испускаемых радиоактивным веществом. Прибор состоит из двух камер, одна из к-рых герметически закрыта, благодаря чему величина поглощения в ней α -частиц постоянна. Дымовые газы, проходя через вторую камеру, ослабляют поток α -частиц. Разность потоков α -частиц, воспринимаемая счетчиками, служит мерилom концентрации дыма.

Разработаны Д. УПКА-58И — измеритель; УПКА-58С — сигнализатор. Датчики приборов могут работать в агрессивных средах; оптика защищена от осаждения аэрозолей и конденсата электронагревом защитных кварцевых стекол, покрытых прозрачным токопроводящим ПП слоем, и рассчитана на технологич. среды с темп-рой до 200° С. Прибор



УПКА-58И работает по методу сравнения с оптич. компенсацией измеряемой величины (рис.). Чувствит. элементами схемы являются ПП фотосопротивления, включ. в смежные плечи измерит. моста пост. тока. Свет от источника 1 через диафрагму 2, объектив 6 и защитные окна 7, между к-рыми проходит контролируемый дым, направляется на зеркало 8.

Отразившись от него, свет проходит в обратном направлении и призмой 9 направляется на измерит. фотосопротивление 10. Компенсационное фотосопротивление 5 освещается независимо от дыма через диафрагму 2 и призму 4. Компенсация производится непосредственно на входе измеряемой величины поворотом кругового оптич. клина 3 под действием величины небаланса измерит. моста. Оптич. схема сигнализатора отличается от вышеприведенной отсутствием оптич. клина и устройств его поворота. Электрич. схема прибора представляет собой фототитратронное реле, срабатывающее при определенном небалансе токов фотосопротивлений, которому соответствует определенная концентрация дыма. Порог срабатывания системы может регулироваться. По аналогичному принципу работает автоматич. корабельный сигнализатор дымности АКСД-57. Контролируемый воздух периодически отсасывается вентиляторами из помещений судна. В случае пожара дым, попадая в датчик, вызывает срабатывание сигнализации.

Лит.: Бутенко Б. М., Судовые пожаросигнальные установки. «Бюл. техн.-экон. информ.», 1959, № 10 (27); Коган Я. И., Применение нефелометров для изучения аэрозолей, «ЗП», 1958, т. 24, № 2; Александровский Ю. В. и Разумов Ю. В., Теплотехнические измерения в судовых паросиловых установках, Л., 1960; Кравец И. Б., Автоматические пожарные сигнализаторы [на судах], «Судостроение», 1958, № 8; «Mesp. Enghg»,

1955, v. 77, № 6; «Electronics and Communs.», 1958, v. 6, № 3. С. Э. Шахбудаган-Шоу.

ДЫРКА (hole, electron hole; lacune électronique, défaut d'électrons, trou; Defektelektron, Elektronenloch, Lochelektron, Mangelelektron) — незаполненное состояние в валентной зоне ПП — понятие зонной теории, введенное для удобства описания явлений переноса зарядов и энергий электронами валентной зоны.

Такое удобство основано на том, что Д. ведут себя в ПП кристалле во многих случаях как настоящие частицы: они способны перемещаться по кристаллу под действием тепла, электрич. и магнитного полей. С этими перемещениями связан перенос зарядов и энергии. Для описания этих явлений Д. приписывают положит. заряд и энергию, равные по величине и противоположные по знаку заряду и энергии отсутствующего электрона, и квазимпульс, противоположный квазимпульсу отсутствующего электрона. Распределение Д. при термодинамич. равновесии подчиняется статистике Ферми; они сосредоточиваются вблизи верха валентной зоны. Эффективные массы Д. также равны по величине и противоположны по знаку эффективным массам отсутствующих электронов (эффективные массы Д. в обычных условиях положительны, т. к. эффективные массы электронов вблизи верха валентной зоны отрицательны).

Лит.: Иоффе А. Ф., Физика полупроводников, [2 изд.], М.—Л., 1957. А. Л. Захаров.

Е, Ж

ЕДИНИЧНАЯ ФУНКЦИЯ (unit function; fonction unitaire; fonction unité de Heaviside; Einheitsfunktion) — функция, равная нулю при отрицат. значениях аргумента и равная единице при положит. значениях аргумента. Е. ф. терпит разрыв в нуле и может быть получена как предел надлежащим образом выбранной непрерывной ф-ции. Примером может служить ф-ция

$$f(t, \alpha) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg \frac{t}{\alpha},$$

которая при $\alpha \rightarrow 0$ превращается в единичную функцию.

Е. ф. представляет типовое воздействие (см. *Единичное ступенчатое воздействие*) и применяется при анализе динамики систем автоматич. управления. Л. П. Сысоев.

ЕДИНИЧНОЕ СТУПЕНЧАТОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, е д и н и ч н ы й с к а ч о к (unit step input; essai d'impulsion unitaire, essai d'échelon unitaire; Einheitssprung), — типовое воздействие, применяемое при анализе динамики САР. Таким воздействием являются сбросы и набросы нагрузки в системах регулирования скорости двигателей, разрыв или мгновенное замыкание электрич. цепи и т. п. Реакция линейной системы на Е. с. в. наз. *переходной функцией* системы. Математич. описанием Е. с. в. является *единичная функция*.

ЕМКОСТНАЯ СВЯЗЬ (capacitive coupling, condenser coupling; couplage capacitif, couplage par capacité; Kapazitätskopplung, kapazitive Kopplung) — вид связи между электрич. цепями, осуществляемой через емкость. Классическим видом Е. с. является связь двух резонансных контуров через конденсатор (рис. 1). В этом случае переменное напряжение, существующее, напр., на первом контуре, вызывает ток, к-рый, ответвляясь через конденсатор

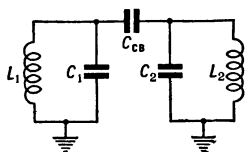


Рис. 1.

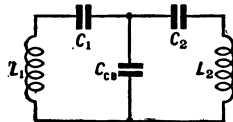


Рис. 2.

связи $C_{св}$, возбуждает во втором контуре колебания той же частоты. Увеличение емкости

конденсатора связи приводит к уменьшению его сопротивления и, вследствие этого, к увеличению протекающего во второй контур тока. Разновидностью схемы Е. с. резонансных контуров является схема с конденсатором связи, включенным одновременно в оба контура (рис. 2). Ток первого контура, протекая по конденсатору связи $C_{св}$, создает на нем падение напряжения, под действием к-рого во втором контуре возникает ток. В этой схеме увеличение емкости $C_{св}$ приводит к уменьшению емкостного сопротивления связи, уменьшению падения напряжения на $C_{св}$ и, следовательно, к ослаблению Е. с. между контурами. Выбор той или иной схемы связи определяется областью применения схемы и конструктивными соображениями.

Е. с. может возникать из-за наличия между цепями паразитной емкости. В цепях высокой частоты такого рода Е. с. вызывают паразитные связи, ограничивающие устойчивое усиление и являющиеся причиной возникновения самовозбуждений, искажений формы сигналов и др. Е. Ю. Намюот.

ЕМКОСТЬ БАРЬЕРНАЯ (barrier capacity; capacité de barrière; Schwellenkapazität, Kapazität der äquivalenten Reaktanz von n-p-Übergängen) — емкость эквивалентного реактивного сопротивления электронно-дырочного перехода или контакта металл-ПП. Значит. часть пространств. заряда в ПП вокруг перехода составляет обедненный слой, на к-ром падает почти все барьерное напряжение и в к-ром концентрация подвижных носителей много меньше концентрации ионизованных атомов примеси. На каждой стороне *обедненного слоя* присутствуют носители одного знака, противоположного знаку заряда избыточной примеси. При изменении высоты барьера путем приложения внешнего напряжения происходит изменение ширины обедненного слоя: при увеличении барьера он расширяется, а при уменьшении сужается. При этом плотность пространств. заряда существенно изменяется лишь вне участка, занимаемого обедненным слоем, когда он наиболее узок, т. к. в этом участке пространств. заряд почти полностью обусловлен фиксированными заряженными центрами (ионами примеси). Расширение пространств. заряда обусловлено за счет ухода нек-рого количества носителей тока соответствующего вида, т. е. за счет тока проводимости по толще ПП и далее через внешний источник.

Е. б. определяется как $C = \frac{dQ}{dU}$, где U — напряжение от внешнего источника, Q — величина дополнит. зарядов, появляющихся по краям обедненного слоя при приложении напряжения U .

Если приложенное напряжение имеет постоянную и достаточно малую переменную составляющие, то переменную составляющую заряда Q можно считать пропорциональной переменной составляющей напряжения с коэфф. пропорциональности $C(U)$, где U — постоянная составляющая напряжения. Т. о., для достаточно малого сигнала схемное поведение барьера совпадает со схемным поведением конденсатора, емкость к-рого равна барьерной. Для больших сигналов схемные свойства барьера будут значительно сложнее благодаря зависимости $C(U)$; они получили наименование «нелинейной емкости». Знание зависимости $C(U)$ имеет большое значение при разработке и применении ПП приборов. Расчету ее посвящен ряд работ. Для резкого перехода между однородно легированными областями ПП, находящегося в режиме обратного смещения, удобна и точна формула, предложенная Шоттки:

$$C = S \sqrt{\frac{\epsilon N e}{8\pi (U + \varphi)}},$$

где S — площадь перехода, ϵ — диэлектрич. проницаемость ПП, U — прилож. напряжение, φ — контактная разность потенциалов между областями, разделенными переходом, e — заряд электрона, N определяется из равенства $1/N = 1/N_a + 1/N_d$, где N_a и N_d — концентрации одновалентной некомпенсированной примеси акцепторов и доноров в обеих областях ПП.

При более сложных распределениях примеси вокруг перехода приближенный расчет Е. б. ведется с предложенным Шоттки допущением о резких границах пространств. заряда; при этом его область между нейтральными материалами отождествляется с обедненным слоем. У переходов с малыми барьерами емкостные свойства определяются не только явлениями в барьере, но и в толще материала, что описывается емкостью диффузионной.

Лит.: Вул В. М., «ЖТФ», 1955, т. 25, вып. 1; Schottky W., «Z. Phys.», 1942, Bd 118, H. 9—10, S. 539; Shockley W., «Bell Syst. Techn. J.», 1949, v. 28, № 3, p. 435; Brown W. L., «Phys. Rev.», 1953, v. 91, p. 518; Schwarz R. F., Walsh J. F., «Proc. I. R. E.», 1953, v. 41, № 12; Schultz W., «Z. Phys.», 1954, Bd 138, H. 5, S. 598; Garrett C. G. B., Brattain W. H., «Phys. Rev.», 1955, v. 99, № 2, p. 376; Giacoletto L. J., «Trans. I. R. E.», 1957, v. ED-4, № 1. А. Л. Захаров.

ЕМКОСТЬ ВХОДНАЯ (input capacitance; capacité d'entrée; Eingangskapazität, Vorkapazität) — емкость входной цепи четырехполосника (измерит. прибора, усилит. каскада, электронной лампы и др.). С Е. в. приходится считаться во всех случаях при работе на ВЧ. Особенно высокие требования предъявляются к уменьшению Е. в. измерит. приборов. Чем больше Е. в., тем больше емкостный ток во входной цепи прибора, тем сильнее подключение измерит. прибора влияет на режим ВЧ цепи, тем менее точны проводимые измерения. В ВЧ трактах (усилителях ВЧ, генераторах, умножителях и др.) подключение цепи с большой Е. в. вызывает потери ВЧ энергии, искажения амплитудно-частотной хар-ки и др. Е. в. образуется за счет емкости монтажа элементов входной цепи и входной

емкости электронной лампы. Е. в. сводится к минимуму разумным расположением деталей и выбором соответствующего типа лампы (экранированная лампа, пентод). Е. в. каскада на электронной лампе $C_{вх} = C_{ск} + KC_{са}$, где $C_{ск}$ — статич. емкость между сеткой и катодом; $C_{са}$ — статич. емкость между анодом и сеткой лампы; K — коэфф. усиления каскада.

И. А. Митасян.

ЕМКОСТЬ ВЫХОДНАЯ (output capacitance; capacité de sortie; Ausgangskapazität) — емкость выходной цепи какого-либо прибора (элемента), к-рая оказывается подключенной параллельно нагрузке прибора. Е. в. электронной лампы является емкость между анодом и катодом. Влияние Е. в. сказывается, напр., при применении резонансных усилителей высокой частоты. Е. в. лампы $C_{вых}$ оказывается подключенной параллельно резонансному контуру и, входя в общую емкость контура, уменьшает его добротность, а ее изменения (напр., при смене лампы) влияют на его настройку. Величина Е. в. зависит от типа лампы и имеет нек-рый разброс для ламп одного типа. В совр. усилит. пентодах величина Е. в. лежит в пределах 5—8 пф, а у триодов — 2—4 пф.

Е. Ю. Намийт.

ЕМКОСТЬ ДИФфуЗИОННАЯ (diffusion capacity; capacité de diffusion; Diffusionskapazität) — отношение изменения заряда носителей одного знака во всем объеме ПП к изменению напряжения на p - n -переходе.

При приложении к p - n -переходу напряжения в прямом направлении возрастают диффуз. токи дырок из p - в n -область и электронов из n - в p -область. Инжектированные неосновные носители создают нек-рый объемный заряд. Для его компенсации через омич. контакты вводят равное количество основных носителей заряда. В совершенной кристаллич. решетке рекомбинация электронов и дырок мала, поэтому возможны значительные отклонения их концентраций от равновесных значений. При изменении напряжения на переходе изменяется величина зарядов неравновесных носителей как в p -, так и в n -области ПП. Однако величина этих изменений зависит от уд. сопротивления и времени жизни неосновных носителей. Эффект изменения заряда при изменении напряжения характеризуется некоторой эквивалентной емкостью. Т. к. в такой емкости заряды не располагаются на эквипотенц. поверхностях, а диффузно распределены в объеме, ее и наз. Е. д. Общая Е. д. перехода состоит из двух емкостей, первая связана с изменением заряда неосновных носителей в p -области ПП, а другая — в n -области. Часто применяются p - n -переходы, сильно отличающиеся по уд. сопротивлениям области. При этом заряд неосновных носителей, накапливаемый в области с низким уд. сопротивлением, много меньше заряда, накапливаемого в области с высоким уд. сопротивлением. Поэтому считается, что Е. д. определяется только второй областью по формуле:

$C_{дифф} = \frac{q}{kT} (i + I_s) \tau$, где i — ток через переход, I_s — ток насыщения перехода и τ — время жизни неосновных носителей заряда. Т. о., диффуз. емкость тем больше, чем больше время жизни неосновных носителей заряда и ток, протекающий через переход. Е. д. обращается в нуль при $i = -I_s$, т. е. она отличается от нуля при прямых напряжениях, приложен-

ных к переходу, и малых обратных напряжениях.

Для ПП триодов так же, как и для одиночного $p-n$ -перехода, введены понятия диффуз. емкостей. Е. д., связанная с изменением напряжения на эмиттерном переходе, наз. Е. д. эмиттера — $C_{эд}$. Поскольку при обычной работе триода на эмиттерный переход подается прямое напряжение, $C_{эд}$ имеет тот же физич. смысл, что и Е. д. одиночного $p-n$ -перехода. Но, поскольку среднее время нахождения неосновных носителей заряда в базовой области триода определяется не временем жизни, а *временем пролета носителей заряда* (неосновных) от эмиттера к коллектору, то

$$C_{эд} = \frac{q}{kT} (i_s + I_{эс}) \tau_{пр},$$

где $I_{эс}$ — обратный ток эмиттерного перехода при обратном напряжении на коллекторе. Для триода, не имеющего электрич. поля в базе,

$$C_{эд} = \frac{q}{kT} (i_s + I_{эс}) \frac{W^2}{2D},$$

где W — расстояние от эмиттера до коллектора и D — коэфф. диффузии неосновных носителей заряда.

На коллекторный переход ПП триода при работе в усилит. режиме подается обратное напряжение, поэтому Е. д. коллектора при рассмотренном выше эффекте равна нулю. Однако изменение заряда неравновесных носителей в базовой области при изменении напряжения, приложенного к коллектору, происходит за счет эффекта модуляции ширины базы коллекторным напряжением (эффект Эрли). Связанная с этим эффектом величина Е. д. коллектора $C_{кд}$ может быть в большинстве случаев рассчитана по формуле: $C_{кд} = i_s \frac{W}{D} \frac{\partial W}{\partial U_c}$.

При работе триода в режиме насыщения на оба перехода подается напряжение в прямом направлении. При этом возникает Е. д. коллектора, аналогично Е. д. одиночного $p-n$ -перехода. В сплавных триодах эта емкость есть результат изменений заряда только в базовой области. В дрейфовых триодах в режиме насыщения появляется составляющая Е. д. коллектора вследствие накопления неосновных зарядов в коллекторной области, поскольку ее уд. сопротивление обычно больше средней величины уд. сопротивления базовой области. М. И. Маркович.

ЕМКОСТЬ ЗАПОМИНАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА, емкость накопителя (storage capacity; capacité de mémoire; Speicherkapazität), — количество информации (чисел и команд), к-рое может одновременно храниться в ЗУ. Емкость — осн. параметр ЗУ, характеризующий сложность и количество одновременно решаемых машинной задач. Выражается числом машинных слов определенной разрядности. Например, Е. з. у. на магнитном барабане машины «Урал» (СССР) составляет 1023 36-разрядных двоичных числа или 2047 команд (по 18 разрядов). При обозначении Е. з. у. удобно пользоваться выражением типа дроби 1023/36 чисел или 2047/18 команд. Усовершенствование ЗУ идет по пути увеличения емкости при уменьшении времени обращения. Однако стремление к большой Е. з. у. и одновременно к малому времени обращения часто требует взаимоисключающих конструк-

тивных решений. Так, увеличение емкости ЗУ на магнитных барабанах ведет к увеличению их геометрич. размеров, что снижает быстродействие, и наоборот.

Величина Е. з. у. связана со структурой запоминающей среды, к-рая может быть непрерывной, допускающей запись информации в любую точку (экран ЭЛТ), и дискретной, где для каждого двоичного знака существуют вполне определ. участки, вне к-рых информация не может запоминаться (*куб ферритовый*). Преимуществом ЗУ с непрерывной средой является большая емкость. Однако она ограничивается взаимным влиянием ячеек, проявляющимся при слишком тесном их расположении: на трубках всякий раз, когда в определ. ячейку направляется электронный луч, часть рассеиваемых электронов попадает на соседние ячейки. ЗУ рассчитывают так, чтобы цифра, записанная в к.-л. ячейке, регенерировалась прежде, чем рассеянные электроны воздействуют на нее. А именно, число возможных обращений к ячейке за время регенерации по всему объему накопителя должно быть меньше допустимого числа обращений m (по паспорту трубки):

$$\frac{Nk}{\frac{t_{\text{такт}} - t_{\text{обр}}}{t_{\text{обр}}}} < m,$$

где N — емкость, k — число обращений к ЗУ за один такт, $t_{\text{такт}}$ — время одного такта работы ЭВМ, $t_{\text{обр}}$ — время обращения к ЗУ.

Увеличение числа ячеек на экране трубки увеличивает не только плотность их размещения, но также и период регенерации.

Повышение емкости ЗУ с дискретной средой увеличением числа ячеек также имеет ограничения, связанные с необходимостью повышать мощность управляющих сигналов, а также с влиянием соседних ячеек на считанный сигнал по заданному адресу. Это ограничивает Е. з. у. из-за невозможности выделения полезного сигнала на фоне помех. Известны трубки, на экране к-рых размещается до 16 384 двоичных знаков и ферритовые ЗУ с емкостью 65 536/37 чисел в одном кубе (ЭВМ ТХ-2, США).

Практически для хар-ки Е. з. у. с непрерывной накопит. средой пользуются понятием плотности записи, т. е. отношением числа двоичных знаков к наиболее характерному геометрич. размеру накопит. среды (длине, площади или объему). Так, продольная плотность записи на магнитной ленте в машине НОРК (США) равняется 20 знакам/мм. Емкость фотографич. ЗУ может быть ок. $1 \cdot 10^9$ двоичных цифр при плотности записи $1 \cdot 10^6$ знаков/мм². В. П. Исаев.

ЕМКОСТЬ ПРОХОДНАЯ (transfer capacitance; capacité de passage, capacité de transfert; Durchgangskapazität) — емкость между анодом и управляющей сеткой электронной лампы. Обозначается $C_{са}$ или $C_{аг}$. Благодаря наличию Е. п. возникает паразитная обратная связь между цепью управляющей сетки и анодной цепью лампы, искажающая частотную хар-ку усилителя. При достаточно большом усилении каскада обратная связь через Е. п. может привести к самовозбуждению. Устойчивое усиление, к-рое может быть получено с каскада, ограничивается величиной емкости $C_{са}$. Максимально допустимый коэфф. усиле-

ния каскада определяется по ф-ле:

$$K_{\text{макс}} = 0,42 \sqrt{\frac{S}{\omega C_{\text{са}}}},$$

где S — крутизна лампы, ω — круговая частота, $C_{\text{са}}$ — Е. п. Величина Е. п. у пентодов значительно ниже, чем у триодов. Е. п. лежит в пределах 0,001—0,01 нф для пентодов и 0,05—0,11 нф для триодов. Е. Ю. Намюот.

ЕМКОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ (distributed capacity; capacité distribuée, capacité répartie; verteilte Kapazität) — емкость, создаваемая близко расположенными токопроводящими элементами цепи, обычно имеющими значит. геометр. размеры по сравнению с длиной волны используемых электромагнитных колебаний (заметная часть длины волны, иногда неск. длин волн). Возникающее в такой системе накопление энергии связано с наличием в системе Е. р. Взаимная емкость проводов, двухпроводных линий и др. распределяется практически равномерно по всей их длине, поэтому, в отличие от сосредоточенной емкости конденсаторов, она наз. равномерно распределенной. Е. р. создают не только близко расположенные провода, но и провода, расположенные близко от шасси, близлежащие витки трансформаторов и катушек индуктивности. Чем больше линейные размеры проводников и чем меньше расстояние между ними, тем емкость больше. На высоких частотах Е. р. иногда оказывает вредное действие. Емкость между проводами и шасси создает паразитные обратные связи. Собственная емкость катушки индуктивности понижает ее добротность и уменьшает стабильность и т. п. Е. р. является одним из основных параметров фидерных линий и влияет на величину их волнового сопротивления. Каждая длинная линия характеризуется величиной распределенной емкости на единицу длины. Е. Ю. Намюот.

ЕМКОСТЬ СИСТЕМ ТУ — ТС (capacity of remote control system; capacité des systèmes télécommandés; Kapazität der Fernwirkungssysteme, Kapazität der Fernwirkanlagen) — количество объектов управления и сигнализации, на к-рое рассчитана система с указанием числа позиций, занимаемых объектами. Е. с. ТУ—ТС определяется выражением $E = \sum q_i \cdot N_i$, где N_i — количество объектов с числом позиций q_i . В системах с распределит. избиранием при временном и частотном разделении сигналов количество импульсов в сигнале растет пропорционально емкости систем. При этом в системах с временным разделением пропорционально емкости увеличивается время передачи, а в системах с частотным разделением — полоса частот, занимаемая в канале связи. Поэтому для увеличения емкости систем применяется метод многоступенчатого, группового избирания объектов, при котором сигнал разбивается на i ступеней по p_i групп элементов сигнала в каждой. Тогда $E = p_i \cdot p_{i-1} \cdot \dots \cdot p_2 \cdot p_1$. Если выбор группы требует одного элемента сигнала, то p совпадают с числом импульсов каждой ступени и $E = n_i \cdot n_{i-1} \cdot \dots \cdot n_2 \cdot n_1$, где n — число импульсов в данной ступени. При равенстве p и n во всех ступенях $E = p^i = n^i$, а полное число импульсов в сигнале — $n_{\Sigma} = i \cdot n$. При заданном $n_{\Sigma} = \text{const}$ теоретически макс. емкость ($E_{\text{макс}}$) получается при равенстве всех p , причем $p = e = 2,73$. Определению подлежит только

оптимальное число ступеней $i_{\text{опт}} = \ln E_{\text{макс}}$. Практически величины p (или n) и $i_{\text{опт}}$ приходится округлять до ближайших целых и тогда максимальная емкость $E_{\text{макс}} \approx 3^{i_{\text{опт}}}$, а число импульсов в сигнале будет минимальным $(n_{\Sigma})_{\text{мин}} = 3 \cdot i_{\text{опт}}$. Без применения многоступенчатого группового избирания пришлось бы затратить большее число импульсов.

Увеличение i и p сопровождается существенным усложнением структуры схемы. Поэтому в пром. устройствах в большинстве случаев применяется $i \leq 3$, число же групп варьируется в широких пределах. Групповой метод применяется как для ТС, так и для телеуправления. При ТУ двухпозиц. объектами используется, кроме того, позиц. разбивка командных импульсов («включить», «отключить»), чем почти вдвое сокращается число импульсов: при $n_{\Sigma} = n + 2$ имеем $2n$ команд. Недостатком позиц. разбивки является невозможность передачи за один цикл разнопозиц. команд.

В системах с комбинац. избиранием при использовании кодов (на все сочетания) емкость систем зависит от количества элементов кода n и величины основания кода M . Увеличение n на единицу при $M=2$ приводит к удвоению емкости систем. Каждое сообщение («включить», «отключить» и т. п.) должно передаваться, как правило, самостоит. кодом, т. е. для N двухпозиц. объектов требуется $2N$ кодов. Однако в этом случае также применима позиц. разбивка. Тогда N кодов выбирают только номера объектов, а характер операции задается видом позиц. импульса. Преимущество такого способа — в снижении ранга дешифраторной схемы, упрощении ее структуры и сокращении числа элементов аппаратуры. Применение группового выбора в системах с комбинац. избиранием не увеличивает числа сигналов, т. к. при данном $n_{\Sigma} = \text{const}$ максимально возможное число комбинаций будет всегда $M^{n_{\Sigma}}$.

В системах с комбинац. избиранием при применении кодов на одно сочетание $\left(C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}\right)$ число избирающих элементов всегда постоянно ($m = \text{const}$). Повышение Е. с. ТУ—ТС достигается за счет увеличения n или m (до $m \leq \frac{n}{2}$) при $n = \text{const}$. Комбинирование на одно сочетание дает значительно меньшее число комбинаций, чем комбинирование на все сочетания при одинаковых n (табл. 1 для $m=2$), но обладает высокими защитными свойствами. Из соображений схемной реализации обычно принимают $m=2$ и реже $m=3$.

Таблица 1.

n	4	5	6	8	10	12
C_n^m	6	10	15	28	45	66
2^n	16	32	64	256	1024	4096

Емкость современных пром. систем телемеханики варьируется в очень широких пределах. Для диспетчерской централизации на ж. д. объем телемеханич. информации для участка

пути, обслуживаемого из одного центр. пункта, достигает многих сотен сигналов; для телемеханизации энергетич. систем этот объем не превосходит, как правило, полусотни сигналов; при телемеханизации пром. предприятий он колеблется от неск. единиц до сотен сигналов; телеуправление тяговыми подстанциями требует сотен сигналов. В табл. 2 приведены значения емкости для нек-рых типов систем телемеханики.

Таблица 2.

Тип устройства	Количество двухпозиц. объектов	
	ТУ	ТС
УТЕ-55	36	80
УТМ-1	16	23
ВРТ-53	39	48
ТМЭ-1	40	42
ВТФ-с/р	54	55
БТИ	57	59
ЧДЦ-ЦНИИ	720	840

Р. Л. Райнес.

ЕМКОСТЬ СОСРЕДОТОЧЕННАЯ (lumped capacity; capacité localisée, capacité concentrée; konzentrierte Kapazität, punktförmige Kapazität)—емкость, геометрически размеры которой пренебрежимо малы по сравнению с длиной волны используемых электромагнитных колебаний. Обычно это конденсатор того или иного назначения. Основные свойства Е. с. характеризуются: величиной емкости,

электрич. прочностью, потерями энергии, стабильностью параметров во времени и при изменении климатич. условий. По конструктивному выполнению конденсатора Е. с. подразделяются на постоянные и переменные, различаются по типу диэлектрика и материалу рабочих пластин. Е. Ю. Намиот.

ЕСТЕСТВЕННАЯ ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЧИСЕЛ (natural form of number representation; forme naturelle de représentation des nombres; natürliche Zahlenrepräsentationsform) — см. *Запятая фиксированная*.

ЖДУЩИЙ БЛОКИНГ-ГЕНЕРАТОР (delay line blocking oscillator; oscillateur à blocage, utilisé comme circuit de déclenchement; Blockingunivibrator, Sperschwingunivibrator) — *блокинг-генератор*, у которого при запертой лампе состояние равновесия устойчиво. Это достигается введением в цепь сетка — катод лампы запирающего напряжения, превышающего напряжение отсечки анодного тока. В Ж. б.-г. с ПП триодами запирающее напряжение вводится в цепь эмиттер — база. Для запуска Ж. б.-г. в цепь сетки подаются импульсы напряжения положит. полярности с амплитудой, превышающей напряжение запирающего. Ж. б.-г. применяется как генератор мощных импульсов определ. формы и длительности, причем его запуск может производиться импульсами, напряжение и форма к-рых могут изменяться в довольно широких пределах. Ж. б.-г. применяются также в логич. схемах и схемах деления частоты. К. Я. Сенаторов.

ЗАВОД-АВТОМАТ (automatic factory, automatic plant; usine-automate; vollautomatische Fabrik)— предприятие, на к-ром весь производственный процесс, включая все виды подготовки производства, управление технологич. процессами, а также учет и отчетность осуществляются системой автоматич. машин, технологич. агрегатов и устройств автоматич. управления.

Ф-ции обслуживающего персонала на З.-а. сводятся к контролю за ходом процесса при его отклонении от нормы. Этот персонал может быть размещен и не на самом З.-а., а на центр. пункте контроля, объединяющем несколько З.-а., оборудованных средствами телеконтроля.

Одной из ключевых проблем создания З.-а. является надежность. Все оборудование как технологическое и транспортное, так и оборудование управления должно быть способно длительное время работать безотказно. Для аварийных случаев на З.-а. должен быть предусмотрен автоматически вводимый резерв, а структура построения производств. линии должна иметь рационально выбранную избыточность.

Создание З.-а. явится завершающим этапом полной автоматизации. См. *Автоматизация производства*. С. П. Красивский.

ЗАДАНИЕ ФУНКЦИЙ В МАШИНЕ (functions setting in computer; Funktionenangabe in Rechenmaschinen) — совокупность приемов, позволяющих программным путем получать с нужной точностью значения различных функций, необходимые для решения задачи на машине при отсутствии в ней предназначенных для этой цели схем (устройств) или при невозможности воспользоваться такими схемами. Способы З. ф. в м. условно делят на алгоритмические и табличные. При алгоритмич. способах применяются различные подпрограммы, предусматривающие вычисление значений функции либо по нек-рой аналитич. формуле, либо как суммы нек-рого ряда, либо как решения конечного или дифференциального ур-ния и т. п. Табличные способы З. ф. в м. применяют тогда, когда приходится иметь дело с функциями, заданными в виде графиков и таблиц. Графически заданную функцию перед вводом в ЦВМ, как правило, представляют в виде таблицы, т. е. для существующих вычислит. машин нет удобного способа, позволяющего вводить в ЗУ машины

непосредственно график. Для вычисления промежуточных значений применяют интерполяц. формулы (напр., формулу Лагранжа). При выборе способа З. ф. в м. следует учитывать время, затрачиваемое на получение значения функции, и количество занимаемых ячеек памяти.

Для того чтобы по заданному x найти $f(x)$, нужно отыскать в таблице соответствующие узлы и произвести расчет по интерполяц. формуле. В простейшем случае линейной интерполяции в таблице нужно найти ближайшие к x значения x_i и x_{i+1} ($x_i \leq x < x_{i+1}$). В случае равноотстоящих узлов достаточно указать в ЗУ значение аргумента x_0 , с к-рого начинается таблица, и величину шага h . Таблица при этом может иметь вид:

Номер ячейки ЗУ	Содержание ячейки
$\alpha - 2$	h
$\alpha - 1$	x_0
α	$f(x_0)$
$\alpha + 1$	$f(x_1 = x_0 + h)$
\vdots	\vdots
$\alpha + l$	$f(x_n = x_0 + lh)$

Такая форма задания обеспечивает очень быстрое вычисление значения функции для заданного значения x . Напр., в случае линейной интерполяции номера ячеек, в к-рых стоит значения функций $f(x_i)$ и $f(x_{i+1})$ для узлов, таких что $x_i \leq x < x_{i+1}$, очевидно, равны

$$\alpha + E\left[\frac{x-x_0}{h}\right] \text{ и } \alpha + 1 + E\left[\frac{x-x_0}{h}\right], \text{ где } E\left[\frac{x-x_0}{h}\right] -$$

целая часть величины $\frac{x-x_0}{h}$. Т. о., номера нужных ячеек можно сразу вычислить, и поиск в таблице фактически отсутствует. Однако способ равноотстоящих узлов имеет тот недостаток, что может привести к значит. увеличению объема памяти, занимаемого таблицей.

Для уменьшения объема памяти разбивают интервал изменения x на части, в каждой из к-рых применяется свой шаг, либо используют второй, более общий, способ неравноотстоящих узлов. Таблица при этом, напр., может выглядеть так:

Номер ячейки ЗУ	Содержание ячейки
α	x_0
$\alpha + 1$	$f(x_0)$
$\alpha + 2$	x_1
$\alpha + 3$	$f(x_1)$
\vdots	\vdots
$\alpha + i$	x_n
$\alpha + i + 1$	$f(x_n)$

При этом способе поиск нужных узлов условно принимается, вследствие чего время, необходимое для вычисления функции, увеличивается.

Для монотонной последовательности аргументов одним из способов поиска необходимых узлов является способ перебора. В случае линейной интерполяции отыскание узлов x_i , x_{i+1} , удовлетворяющих условию $x_i \leq x < x_{i+1}$, осуществляется последовательной проверкой неравенств $x < x_0$, $x < x_1$, ..., $x < x_n$, пока не будет найдено первое значение индекса $(i+1)$, при котором неравенство окажется выполненным. Другим более рациональным способом поиска необходимых узлов является способ деления «пополам». В данном случае для отыскания узлов x_i , x_{i+1} последовательность аргументов x_0, x_1, \dots, x_n делится на две части: x_0, x_1, \dots, x_m и $x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n$. Затем проверяется неравенство $x < x_m$. Если это неравенство выполнено, то делению «пополам» подвергается последовательность чисел x_0, x_1, \dots, x_m , а если неравенство не выполнено, то делению подвергается последовательность $x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n$. Описанный процесс повторяется до тех пор, пока не будет получена часть последовательности, состоящая из одного числа. Это число является одним из искомых узлов x_i или x_{i+1} , участвующих в неравенстве $x_i \leq x < x_{i+1}$.

Часто время, необходимое на поиск нужных узлов, можно сократить, используя способ скользящего начала таблицы. Может оказаться, что из условия задачи видно, что значения аргумента x , для которых нужно будет вычислять значения функции $f(x)$, монотонно возрастают. В этом случае сперва считают, что таблица начинается с чисел $x_0, f(x_0)$. После того как из таблицы был произведен первый выбор необходимых узлов x_i и x_{i+1} , считают, что таблица начинается с чисел $x_i, f(x_i)$ и т. д.

В некоторых случаях весьма удобно З. ф. в м. способом аппроксимирующих многочленов, к-рый является промежуточным между алгоритмич. и табличными способами. При этом способе область задания функции делят на части, на каждой из к-рых существует целый многочлен, достаточно близкий к функции. Такие многочлены наз. аппроксимирующими. Коэффициенты аппроксимирующих многочленов сводят в таблицу и составляют подпрограмму для выбора по значениям аргументов одного из аппроксимирующих многочленов и вычисления его значения (принимаемого за искомое значение функции) по его коэффициентам и по значению аргументов.

Лит.: Китов А. И. и Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961. С. С. Намынин.

ЗАДАННОЕ ЗНАЧЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ (desired value, reference value, set point, control point; valeur prescrite, valeur consigne, point de contrôle, point de reglage; Sollwert, Aufgabewert, Aufgabesoll-

wert) — значение регулируемой величины X , которое необходимо установить или поддерживать в процессе регулирования. Номинальное значение регулируемой величины X_0 может быть постоянной величиной (напр., постоянный размер изделия), заранее известной ф-цией времени (напр., изменение температуры в закалочной печи по определенной программе), или неизвестной ф-цией времени (напр., траектория самонаводящегося зенитного снаряда, меняющаяся в зависимости от неизвестного значения цели).

А. И. Тейман.

ЗАДАЮЩАЯ ОСЬ (в х о д н а я) (reference axis; arbre d'entrée, axe d'entrée; Eingangsachse, Geberachse, antreibende Achse) — ось задающего элемента, положение к-рой определяет требуемое значение регулируемой величины. В следящих системах З. о. чаще всего наз. ось сельсина-датчика. Ею может быть ось потенциометра, связанная с движком, положение к-рого определяет величину управляющего напряжения. Положение З. о. устанавливается рукой человека, двигателем программного устройства или с помощью каких-либо преобразоват. устройств (датчиков).

М. П. Сахаров.

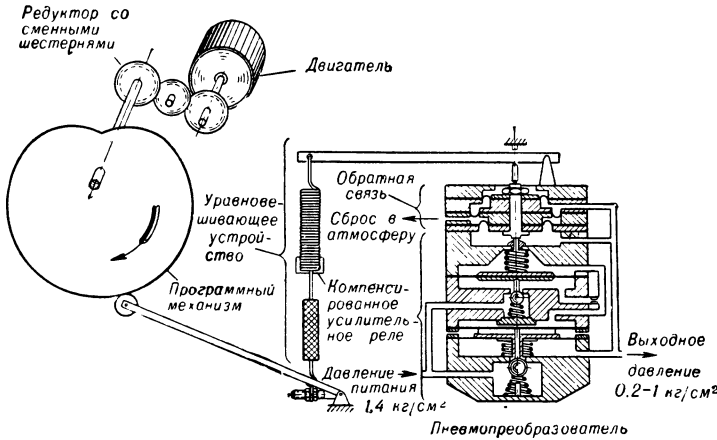
ЗАДАЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ (reference input; grandeur de référence, variable de commande; Führungsgrösse) — воздействие, определяющее требуемый закон применения регулируемой величины.

ЗАДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, за да т ч и к (set point adjustment, setting device; unité de commande; Sollwertgeber, Sollwertesteller), — устройство, используемое в САР для установки заданного значения регулируемой величины, к-рое должна поддерживать САР, или же для задания требуемого закона (программы) изменения регулируемой величины. З. у. в зависимости от физ. природы вырабатываемого им сигнала делятся на электр., механич., пневматич. и гидравлические. Соответственно сигналами служат сила тока или напряжение, перемещение, давление воздуха или жидкости.

З. у. в конструктивном отношении может либо объединяться с регулятором (местное З. у.), либо выполняться в виде отд. устройства, к-рое в схемах регулирования может размещаться на значит. расстоянии от регулятора, напр. на шите (дистанц. З. у.). В зависимости от требований, предъявляемых к регулированию, З. у. бывают ручные (для установки постоянного по величине заданного значения регулируемой величины) и программные (для автоматич. изменения задания по определ. программе в зависимости от времени или от значения какой-либо др. величины). Программа в З. у. задается элементами, профилированными в соответствии с заданной программой (профильными реохордами, лекалами, шаблонами и др.).

Электр. З. у. представляют собой переменное сопротивление или индуктивную катушку. Заданное значение регулируемой величины устанавливается перемещением (вручную либо от программного устройства) движка сопротивления или сердечника катушки. Механич. З. у. выполняются в виде кинематического узла, являющегося частью общей кинематич. системы регулятора. Пневматич. и гидравлич. З. у. — точные редукторы, настраиваемые вручную или автоматически

от программного элемента. Напр., пневматич. З. у. с программой, изменяющейся во времени (рис.), состоит из синхронного двигателя с редуктором, лекала, по профилю к-рого обка-



Пневматический задатчик с программой, изменяющейся во времени.

тывается ролик, системы рычагов и пневмопреобразователя (редуктора), преобразующего линейные перемещения ролика в изменение выходного давления.

Лит.: Андерс В. Р., Пантаев Н. Ф., Автоматическое регулирование процессов переработки нефти, 2 изд., М., 1954; Березовец Г. Т., Малый А. Л., Наджафов Э. М., Приборы пневматической агрегатной унифицированной системы и их использование для автоматизации производственных процессов, М., 1960; Костевич Б. В., Электронные приборы для измерения и регулирования температуры, М., 1952.

Г. Т. Березовец, М. П. Сахаров.

ЗАДЕРЖКА (delay; retard; délai; Verzögerung)—отставание по времени выходного сигнала от входного. З. применяется в вычислительных устройствах для организации динамич.

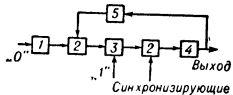


Схема динамического триггера: 1 — схема отсрочки; 2 — схема совпадения; 3 — схема логического сложения; 4 — усилитель; 5 — линия задержки.

циркулирует по замкнутой цепи (1-е устойчивое состояние). При подаче сигнала на вход О-сигнал в цепи исчезает (2-е устойчивое состояние).

Реально З. осуществляется спец. линиями З. В электрич. линиях задержки с распредел. параметрами время З. ~0,01 мксек, в ртутных—0,5—1 мсек, в линиях на кварце, в магнито-стрикционных — до неск. мсек.

Все линии З. искажают форму проходящего через них сигнала («размазывание» формы сигнала в длинных линиях, помехи от отраженных волн в ртутных линиях и т. д.). Поэтому для восстановления формы сигнала на выходе из линии З. принимают спец. меры (использование синхронизир. импульсов в схемах совпадения).

П. Л. Вилерский.

ЗАДЕРЖКА ИМПУЛЬСОВ (pulses delay; retard d'impulsions; Impulsverzögerung)—отставание по времени одной последовательности импульсов относительно другой. З. и.

может объясняться тем, что в любом радиотехническом тракте импульсный сигнал распространяется с конечной скоростью. Такая З. и. обычно бывает связана с инерционностью активных элементов схемы (лампы, транзисторы и др.), а также с наличием паразитных емкостей и индуктивностей. Однако под З. и. применительно к радиотехнич. схемам обычно понимают искусств. методы задержки, осуществляемые с помощью линии задержки и др. устройств. Для З. и. на величину $\tau < 10^{-6}$ сек обычно пользуются линиями с распределенными постоянными, в интервале $10^{-6} \lesssim \tau < 10^{-5}$ сек — искусственными длинными линиями, и в диапазоне $\tau > 10^{-5}$ сек — акустич. линиями задержки. Если к стабильности времени З. и. не предъявляются высокие требования, то в качестве задерживающего элемента часто применяют схему ждущего мультивибратора. При этом время З. и. можно регулировать в широких пределах.

К. С. Ржевский.

ЗАЗЕМЛЕНИЕ (ground; mise à la terre, prise de terre, terre; Erdung, Erdableiter, Erdanschluss)—присоединение к земле части антенной системы или корпуса к-л. радиотехнич. устройства. В пром. электронике под З. понимается присоединение различных точек схемы к металлич. шасси прибора. Для уменьшения потерь излучаемой мощности и увеличения эффективности приемных антенн передатчик или приемник включают между антенной и З. Присоединение З. особенно важно для антенных устройств длинных и средних волн. З. в этом случае выполняется путем укладки в землю ряда проводов или в виде металлич. эсти, расположенной над землей (т. н. «противовес»). Простейшим З. для радиовещат. приемников является присоединение их корпусов к металлич. трубам водопровода или к к-л. металлич. предмету, глубоко зарытому в землю. Применяемое в электронных устройствах З. на корпус прибора связано с тем, что шасси является общим проводником для ряда цепей. В большинстве случаев все цепи устройства однопроводны и токи текут не только по проводникам схемы, но и по всему шасси. Правильное выполнение З. существенно влияет на работу большинства электронных устройств.

В. И. Шебанов.

ЗАКИСЬ МЕДИ, Cu_2O (copper oxide; oxyde de cuivre; Kupferoxydul, Kuproxud),—соединение одновалентной меди с кислородом, основной окисел. З. м.—твердое вещество, растворяющееся в кислотах и аммиаке; не растворяется в воде. В природе встречается в виде красной медной руды — куприта (содержание меди 88,8%).

З. м. обладает сложной структурой, в к-рой ионы кислорода образуют кубич. решетку с постоянной решеткой 2,46 Å, между ними размещаются ионы Cu. Молекулярный вес 143,08; плотность 6 г/см³; $t_{\text{пл}} 1235^\circ$; $t_{\text{кип}} 1800^\circ$, при этом З. м. разлагается с выделением O_2 . Коэфф. линейного расширения $0,93 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ (при

температуре 20°). Коэфф. теплопроводности — 0,0146 кал/см·сек·град.

З. м. получается окислением чистой меди — диффузией атомов Cu к поверхности через образующийся слой окислы, состоящей из З. м., поверх которой имеется слой окиси меди. Скорость окисления увеличивается при повышении температур. В технике изготовления выпрямителей процесс окисления производится обычно при температуре 1000—1050° (но может быть при 800—1300°). Равновесие с кислородом быстро устанавливается при высоких температурах, тогда как при температурах ниже 300° З. м. находится в закаленном состоянии.

З. м. является ПП дырочной проводимости, обусловленной избытком кислорода. Предполагают, что диффундирующие к поверхности ионы Cu соединяются там с O, оставляя свободные узлы в решетке. Эти узлы, являясь дефектами кристалла, определяют электрич. свойства З. м. Удельное сопротивление З. м. сильно зависит от режима термообработки; при отжиге в вакууме оно достигает 10^9 ом·см, а при отжиге в атмосфере, содержащей кислород, понижается до 10^2 ом·см. З. м. электронной проводимости получают введением Sb.

Ширина запрещенной зоны З. м. составляет ~1,5 эв. Уровни акцепторной примеси отстоят от границы валентной зоны на 0,3—0,6 эв. Край длинноволнового собственного поглощения $\approx 0,8$ мк; примесное поглощение до 2 мк. В области 0,6 мк наблюдается сильный спад фотопроводимости, максимум которой находится также в области 0,8 мк. Коэфф. вторичной электронной эмиссии для З. м. равен 1,19—1,25.

Диэлектрич. проницаемость З. м. составляет 8,75. Подвижность дырок при 20° = 60—100 см²/в·сек и меняется с температурой по закону $T^{-(3 \pm 0,5)}$; при высоких температурах зависимость более резкая.

З. м. применяется в меднозакисных выпрямителях, в фотоэлементах и светофильтрах для красной области спектра, а также для получения солей меди, приготвления красок и в качестве фунгицида (вещество для борьбы с грибковыми заболеваниями растений и грибковыми поражениями продуктов растит. происхождения).

Лит.: Грондаль Л. О., «УФН», 1934, т. 14, вып. 3, с. 253; Левинзон А. З., Полупроводниковые выпрямители, Л.—М., 1948; Жузе В. П., Курчатов Б. В., «ЖЭТФ», 1932, т. 2, вып. 5—6, с. 309; Иоффе А. Ф., Физика полупроводников, [2 изд.], М.—Л., 1957; Шаравский П. В., Полупроводниковые выпрямители, в кн.: Справочник по электротехническим материалам, под ред. К. А. Андрианова и др., т. 2, М.—Л., 1960, с. 325; Лашкарев В. Е., «ДАН СССР», 1950, т. 73, № 5, с. 929; «ИАН СССР. Сер. физ.», 1952, т. 16, № 2, с. 186; Гросс Е. Ф., «УФН», 1957, т. 63, вып. 3, с. 575; Kiko in I. K., Noskov M. M., «Phys. Z. der Sowjetunion», 1934, Bd 5, H. 4, S. 586.

Ю. А. Концевой.

ЗАЛИВКА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ (potting of electronic equipment; enrobage de matériel électronique; Gießharzeinbettung elektronischer Apparatur) — способ герметизации электронной аппаратуры, заключающийся в заполнении всего объема, занимаемого элементами аппаратуры, жидким смолообразным составом, впоследствии затвердевающим. З. э. а. обеспечивает ее защиту от разрушающего действия влаги, грибковой плесени, пыли и т. п. Применение З. э. а. сокращает количество крепежных элементов (т. к.

смола выполняет функции арматуры), увеличивает механич. прочность блоков аппаратуры. Процесс заливки может быть автоматизирован. Подробнее см. Герметизация электронной аппаратуры.

Е. Ю. Намиот.

ЗАМЕДЛЕНИЯ СХЕМА (для реле) [slowing down circuit; relais temporisé, circuit temporisateur (pour relais); Verzögerungsschaltung] — схема для замедления времени срабатывания или отпускания электромагнитного реле. Замедление действия реле достигается удлинением переходных процессов, происходящих в его обмотках при срабатывании или отпуске. Как время срабатывания, так и время отпускания реле складывается из времени трогания, т. е. времени нарастания (или спада) тока в обмотке до момента трогания

Схема замедления	Порядок достигаемых замедлений по отношению к номинальным при	
	срабатывании	отпускании
	2	2
	1,5	2-8
	1,5	3-8
	4-5	10-15
	2-3	1-2
	2-3	1-2
	5-20	—
	10	10

якоря, и времени движения якоря до замыкания (или размыкания) контактов. З. с. воздействует на продолжительность времени трогания. На рис. приведен ряд основных З. с. и порядок получаемых с их помощью замедлений.

Лит.: Справочник по элементам автоматики и телемеханики. Реле времени, программные устройства реле, счеты, искатели, под ред. Б. С. Сотскова, [вып. 3], М.—Л., 1960; Сотсков Б. С., Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств, М., 1959.

И. Е. Декабри.

ЗАМКНУТЫЙ КОНТУР (closed loop; closed circuit; boucle fermée, circuit fermé, circuit bouclé; Geschlossener Kreis)—цепь направленного действия, состоящая из прямой цепи и цепи обратной связи. Наличие последней придает 3. к. особые свойства. Основные из них: 1) При положительной обратной связи коэфф. усиления 3. к. возрастает с увеличением интенсивности обратной связи. Положительная обратная связь используется при построении генераторов для увеличения коэфф. усиления и постоянной времени звеньев. 2) Хар-ки 3. к. с отрицательной обратной связью определяются в основном хар-ками последней. Это широко используется при построении САР и в технике моделирования для уменьшения влияния нелинейностей и изменений параметров нек-рых элементов. Для сохранения устойчивости при больших коэфф. усиления применяются различные корректирующие цепи, в частности местные обратные связи. Поэтому различают внешние (основные) и внутренние (местные) 3. к., а также одноконтурные и многоконтурные САР.

Б. И. Андрейчиков.

ЗАПАЗДЫВАНИЕ (delay, time lag, retardation; retard; Verzögerung, Verspätung)—явление, заключающееся в том, что при поступлении сигнала на вход системы или устройства сигнал на выходе появляется лишь через нек-рое время τ (время запаздывания). 3. может быть постоянным и переменным. Численно τ определяется из соотношения $x_{\text{вых}}(t) = x_{\text{вх}}(t - \tau)$. 3. возникает, если имеется конечная скорость передачи сигналов. К системам с 3. относятся сложные САР, описываемые ур-ниями высшего порядка. В структурную схему САР с 3. вводится запаздывающее звено.

В. Н. Новосельцев.

ЗАПАЗДЫВАЮЩИЙ БЛОК, блок чистого запаздывания, блок задержки [delay unit; bloc (ensemble, unité) de retard; Verzögerungsgerät],—электронное моделирующее устройство для воспроизведения сигнала с отставанием на заданный интервал времени τ . Функциональное преобразование, выполняемое 3. б., имеет вид $x_{\text{вых}}(t) = x_{\text{вх}}(t - \tau)$, где t — текущее время. 3. б. широко применяется в электромоделировании технологич. процессов, связанных с переносом вещества или канализацией энергии, а также при аппроксимации ур-ний сложных многомерных объектов ур-нием низкого порядка и запаздыванием. 3. б. применяется также в составе нек-рых систем автоматич. управления и контроля. Напр., при возникновении аварии в энергосистеме записывающее устройство подключается к выходу 3. б.; при этом регистрируется как сама авария, так и процесс, предшествовавший ее возникновению. τ в практич. случаях имеет величину от долей сек. до десятков мин. 3. б. используются исключительно для задержки сигналов в форме электрич. напряжения. Действие 3. б. основано на: 1) способности электрич. конденсаторов сохранять заряд, 2) применении магнитной записи, 3) аппроксимации передаточной функции идеального звена запаздывания $e^{-P\tau}$. Осн. показателем для 3. б. является максимально допустимая при заданной погрешности величина $\omega\tau$, где ω — ширина полосы частот воспроизводимого входного сигнала. В магнитном 3. б. отставание по времени пропорционально расстоянию между голов-

ками записи и воспроизведения и обратно пропорционально линейной скорости носителя. Для этого блока предпочтительна ЧМ передаваемого сигнала, при к-рой довольно просто удается получить погрешность воспроизведения менее 1%. При АМ из-за неоднородности магнитной ленты и ее вибрации погрешность — ок. 15%.

3. б. на конденсаторах основан на сохранении в течение определ. времени уровней напряжений, поданных на конденсаторы, и последующего считывания этих напряжений с отставанием по времени. Задержка осуществляется последоват. коммутацией конденсаторов или последоват. передач входного сигнала вдоль цепочки конденсаторов. $\tau_{\text{макс}}$ для 3. б. на конденсаторах пропорционален числу конденсаторов и обратно пропорционален частоте коммутации, а $\tau_{\text{мин}}$ равно периоду коммутации. Электромех. система ограничивает предельную скорость коммутации и снижает надежность 3. б., поэтому ее применение целесообразно лишь для низкочастотных входных сигналов. Напр., 3. б. (типа БПЗ-1) с кусочно-линейной аппроксимацией, входящий в комплект АВМ МН-7 (СССР), при $\omega\tau \leq 40$ обеспечивает диапазон запаздывания от 0,1 до 20 сек для частот входного сигнала от 0,05 до 0,5 гц. В состав блока входят батарея из 26 стирофлексных конденсаторов, операционные усилители и коммутатор (типовые телефонные искатели шаговые). Преимущества 3. б. на конденсаторах — относительная простота конструкции и возможность использования в ней типовых узлов и элементов.

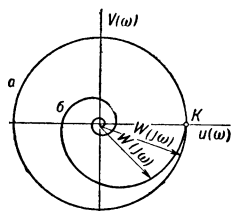
В 3. б., основанных на аппроксимации передаточной функции, обычно используются чисто электронные схемы, амплитудно-частотные хар-ки которых совпадают, а фазочастотные приближаются к идеальному звену запаздывания. Осн. недостаток этого 3. б. — малое значение $\omega\tau$. Воспроизведение передаточной ф-ции целесообразно осуществлять с применением операц. усилителей. Существ. повышение $\omega\tau$ достигается использованием многозвенной схемы, содержащей минимальное количество операц. усилителей. Применение этой схемы в серийном 3. б. типа БПЗ-2 (СССР) обеспечивает диапазон запаздывания от 0,005 до 25 сек. при $\omega\tau \leq 6,5$ для частот входного сигнала от 0,04 до 50 гц. Получают также распространение 3. б., в к-рых τ устанавливается в соответствии с внешним управляющим сигналом путем изменения скорости протяжки магнитной ленты или скорости коммутации конденсаторов. При этом в случае магнитной записи с ЧМ необходимо записывать на ту же ленту и опорную частоту, а в конденсаторных 3. б. согласовывать изменение скорости интерполяции.

Лит.: Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, М., 1959; Догановский С. А., Иванов В. А., Блоки регулируемого запаздывания, М.—Л., 1960.

В. В. Семенов, Я. И. Гриня.

ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЕ ЗВЕНО (delay circuit, delay component; circuit de retard, organe de retard; Verzögerungsglied)—составная часть структурной схемы САР, учитывающая явление запаздывания. Величина на выходе 3. з. воспроизводит без искажения изменение величины на входе, но с некоторым запаздыванием по времени τ . Различают 3. з. непрерывного действия (электромагнитные линии за-

держки, цепи RC , трубопроводы, транспортеры, магнитная запись и т. д.), а также дискретного действия (ЗУ на емкостях, цифровая память и т. д.). Идеальное З. з. имеет передаточную ф-цию вида $W(s) = ke^{-s\tau}$, где τ — время



Амплитудные фазовые хар-ки запаздывающего звена: а — идеального; б — реального.

запаздывания, и переходную хар-ку вида $h(t) = k \cdot 1(t - \tau)$. Амплитудная фазовая хар-ка идеального З. з. $W(j\omega) = ke^{-j\omega\tau}$ представляет собой окружность (рис., а), содержащую бесконечное число циклов, период повторения к-рых соответствует изменению частоты в диапазоне $[i \div (i+1)] \frac{2\pi}{\tau}$, где $i = 0, 1, 2, 3, \dots$. Для реальных З. з. частотная хар-ка есть свивающаяся спираль (рис., б). Важной технич. хар-кой З. з. является «добротность», или «емкость» $D = \frac{\tau}{t_{\text{и}}}$, опреде-

ляющая макс. число импульсов с единичной амплитудой и наикратчайшей длительностью $t_{\text{и}}$, одновременно вмещаемых на интервале запаздывания τ . З. з. с различными временами запаздывания имеют одинаковую амплитудную и различные фазовые хар-ки.

В. И. Гурков.

ЗАПИРАЮЩИЙ СЛОЙ (blocking layer, barrier layer; couche de barrage, couche d'arrêt; Sperrschicht, Halbleitersperrschicht) — слой, образующийся при контакте металла с ПП, полупроводников различного типа проводимости и вообще любых веществ с разной концентрацией электронов и дырок, препятствующий их переходу из области с повышенной в область с пониженной концентрацией; слой, в к-ром локализован потенциальный барьер, образующийся вследствие различия в работе выхода соприкасающихся веществ. З. с. может возникать у поверхности ПП из-за наличия поверхностного заряда, препятствующего подходу основных носителей к поверхности, при контакте металл — металл, но вследствие высокой концентрации свободных электронов толщина его мала (порядка 10^{-8} см). Носители заряда проходят такие тонкие З. с. посредством туннельного эффекта. З. с., обусловленные контактной разностью потенциалов и наличием поверхностных состояний, наз. физическими. Химич. З. с. представляют собой тонкие слои разных ПП, а также слои одного ПП, но с иным содержанием примеси. Химич. З. с. может образоваться из физического при термообработке или электроформовке контакта металл — ПП.

З. с. лежат в основе принципов действия большинства ПП приборов. Они обладают нелинейностью вольтамперной хар-ки и используются для выпрямления переменных сигналов. В состоянии термодинамич. равновесия диффузионная составляющая тока через З. с. вследствие градиента концентрации уравновешивается дрейфовой составляющей, возникающей за счет внутр. поля. При приложении внешнего напряжения нарушается равновесие между дрейфовой и диффузионной составляющими и через З. с. течет ток. Пропускное направление соответствует такой полярности внешнего напряжения, когда внутр.

и внешнее поля противоположны друг другу. Обратная полярность соответствует запирающему направлению. При приложении напряжения в пропускном направлении через З. с. инжектируются неосновные носители. Наилучшими выпрямительными свойствами обладают контакт полупроводник — металл и особенно электронно-дырочный переход. Свойства этих контактов используются при изготовлении транзисторов и др. ПП приборов.

Лит.: Губанов А. И., Теория выпрямляющего действия полупроводников, М., 1956.

Э. Н. Володичин.

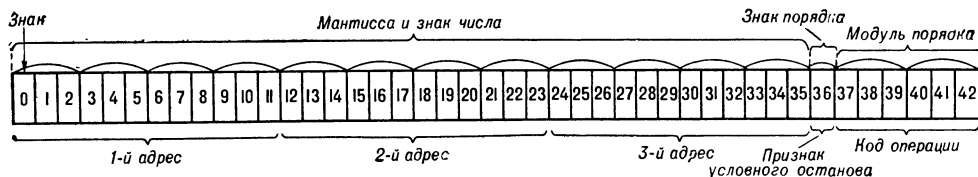
ЗАПИСЬ КОМАНД И ЧИСЕЛ КОМБИНИРОВАННАЯ [mixed base notation (am.), mixed radix notation (англ.); système de notation à base mixte; Gemischtbasisschreibweise] — изображение команд и чисел в ЗУ и АУ с помощью нескольких систем счисления с основаниями, являющимися целыми степенями основания рабочей системы счисления. Современные ЦВМ строятся обычно так, что команды и числа помещаются в одном и том же оперативном ЗУ, над командами можно выполнять те же арифметич. действия, что и над числами, и содержимое любой из ячеек оперативного ЗУ воспринимается либо как команда (если оно поступает в УУ по командным цепям), либо как число (если оно поступает в АУ по числовым цепям). Благодаря этому для изображения команды в ЗУ машины принимают коды с таким же основанием системы счисления, к-рое применяется для изображения чисел. В нек-рых машинах команды и числа размещаются в различных ЗУ, имеющих, в общем случае, ячейки с разной разрядностью. Если при этом командные и числовые цепи нигде в машине не объединяются, то числовые коды команд могут иметь основание системы счисления, отличное от принятой для изображения чисел. Для машин с подобным разделением ЗУ команды выгодно кодировать кодами в двоичной системе счисления как наиболее экономичной. Для записи команд и чисел на бланках при программировании, а также при выдаче их на печать и наборе на клавишных устройствах неудобно использовать рабочую систему счисления, напр. двоичную, троичную или десятичную двоично-кодированную, т. к. такая запись плохо обозрима. Для записи двоично-десятичных чисел применяют десятичную систему счисления. Если машина имеет АУ, работающее в двоично-десятичной системе счисления (эта система является рабочей), то и для изображения команд обычно применяют десятичные цифры. Для двоичной, троичной систем счисления команды и числа записывают, пользуясь в общем случае несколькими системами счисления с большими основаниями, т. е. путем З. к. и ч. к. При этом для команд и чисел стремятся удовлетворить следующим требованиям. Разряды различных частей команды (адреса, код операции, признаки) и числа (мантисса, модуль порядка, знак числа, знак порядка) нельзя объединять в одну цифру. Для обозначения каждой из частей команды или числа нужно применять цифры только одной системы счисления. При комбинированной записи содержимого к.-л. ячейки этим требованиям необходимо удовлетворять одновременно при рассмотрении этой записи и в качестве числа и в качестве команды. Разряды ячейки, служащие для изображения равноценных адресов команды, нужно объединять одинаково. Если в машине применя-

ются команды нескольких типов, в к-рых по-разному разделяется на части разрядная сетка ячейки, то эти требования нужно удовлетворять для любого из типов команд. Для эффективного использования емкости ЗУ отдельные части числа или команды не должны обладать избыточностью, т. е. не должны содержать разрядов, служащих только для согласования комбинированной записи команд разных типов и чисел. При соблюдении указанных требований обеспечивается комбинированное представление команд и чисел, удобное для записи на бланках и для визуального чтения по сигнальным лампочкам пульта управления. Кроме того, выдача на печатающее устройство команд и чисел и набор их на клавишных устройствах производится одинаково, приходится только учитывать различия в представлении команд и чисел в комбинированной записи и десятичных чисел, предусматривая соответствующие переключения в клавишных и печатающих устройствах. Однако в подавляющем большинстве случаев указанные требования удовлетворяются лишь частично. Так, на машине «Стрела» для З. к. и ч. к. применяются двоичная и восьмеричная системы счисления (рис.). На рисунке полукруглыми

воряется не для всех типов команд, так, напр., в командах групповых операций, обращений к внешним ЗУ и устройству выдачи стандартных программ число обрабатываемых или передаваемых кодов записывается в 13—23 разрядах команды; 12-й разряд при этом не используется. При разработке З. к. и ч. к. для одноадресных машин все эти требования трудно, а иногда невозможно удовлетворить также потому, что обычно числа занимают две малые ячейки, в каждой из которых хранится по одной команде. При этом приходится применять различные системы записи для чисел и команд (см. *Запись числа в коде команд*).

Г. А. Мионов.

ЗАПИСЬ ЧИСЛА В КОДЕ КОМАНД (number representation in instruction code; représentation d'un nombre en code d'instructions; Wortaufzeichnung im Befehlskode)—запись числа на бланке с помощью комбинированной системы счисления (принятой для изображения команд данной машины), допускающая ввод по правилам ввода команд. З. ч. в к. к. применяется в тех случаях, когда числа записываются на бланках, набираются на клавишных устройствах либо выводятся на печатающее устройство единым массивом



Комбинированная запись чисел и команд на машине «Стрела».

скобками показано объединение двоичных разрядов ячейки в восьмеричные и двоичные цифры, фигурными скобками — части числа и команды. Как видно из рисунка, в машине «Стрела» для команд удовлетворяются почти все требования (в машине имеется несколько типов команд, напр. арифметич., групповые операции, обращения к внешним ЗУ и устройству выдачи СП и т. д., причем каждый из

кодов вместе с командами. Неудобством З. ч. в к. к. является необходимость предварительного кодирования для ввода и трудность чтения после вывода. Поэтому для больших массивов чисел З. ч. в к. к. не применяется. В тех машинах, в к-рых АУ работает с кодами, в два раза более длинными, чем команда (напр., «Урал-1», «Урал-2»), каждое полноразрядное число может быть записано как пара

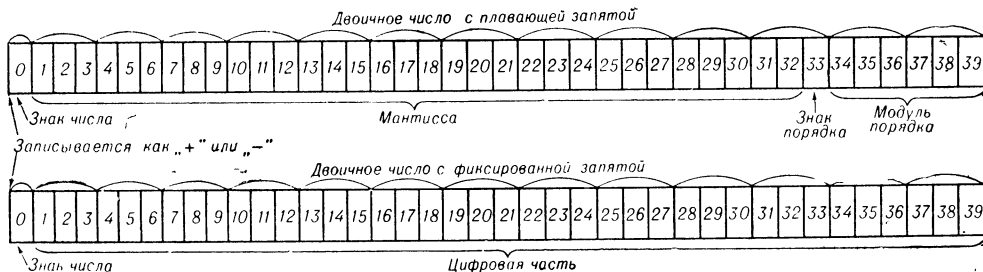


Рис. 1. Распределение разрядной сетки.

типов команд представляется с помощью приведенной комбинированной записи). Первые два требования не удовлетворяются для мантисс чисел, т. к. знак числа и два старших двоичных разряда мантиссы объединены в одну восьмеричную цифру. Т. о., в комбинированной записи отрицательные нормализованные двоичные числа могут начинаться цифрами 7 и 6, а положительные нормализованные — цифрами 3 и 2. Последнее требование удовлет-

последовательных команд. В нек-рых машинах, кроме десятичной записи и З. ч. в к. к., применяется еще специальная запись чисел. Это учитывается при конструировании клавишных и печатающих устройств, могущих переключаться с одной формы представления кодов на другую. В машине «Урал-2» для 40-разрядных чисел с фиксированной и плавающей запятыми (могущих храниться в одной полной ячейке, состоящей из двух неполных)

принята специальная (с помощью восьмеричных цифр) система записи в соответствии с распределением разрядной сетки, показанной на рис. 1. На рис. 2 показано распределение разрядной сетки неполной ячейки для команд и для 3. ч. в к. к.; полукруглыми скобками

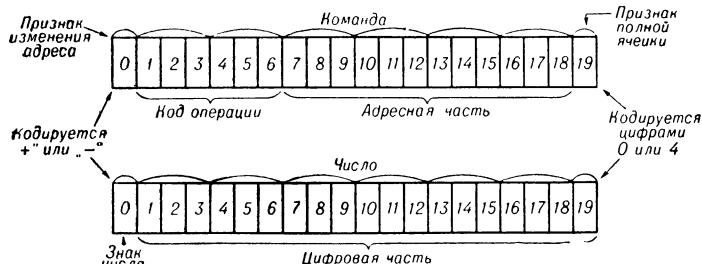


Рис. 2. Распределение разрядной сетки неполной ячейки.

указаны объединения в восьмеричные и двоичные цифры. Например, 40-разрядные числа: —5442106623727 (с плавающей запятой) и +1730261754362 (с фиксированной запятой), представленные здесь в специальной системе записи, можно записать в виде пар кодов команд: —54 42104; —31 17534 и +17 30260; +76 61710 соответственно. Двадцатиразрядные числа представляются только в виде команд.

В приведенных примерах переход от чисел в специальной системе записи к числам в коде команд можно произвести: а) заменяя знак числа двоичной цифрой (по правилу «+»=0, «—»=1) и каждую восьмеричную цифру равным ей трехразрядным двоичным числом, б) разбивая полученный сорокаразрядный код на два двадцатиразрядных, в) считая в каждом двадцатиразрядном коде первую (старшую) цифру признаком переадресации (на бланках записывается как «+» или «—»), следующие шесть двоичных цифр — кодом операции (на бланках записывается в виде двухзначного восьмеричного числа), следующие двенадцать двоичных цифр — адресом (на бланках записывается в виде четырехзначного восьмеричного числа) и последнюю (младшую) двоичную цифру — признаком длины ячейки, номер к-рой указан в адресе (на бланках пишется «4», если этот признак есть 1, и «0» — в противном случае).

Г. А. Миронов.

ЗАПОЛНЕННАЯ ЗОНА (filled band; zone occupée, bande pleine; vollbesetztes Energieband, besetztes Band)—энергетич. зона, все состояния к-рой заняты электронами. Для линейной цепочки, состоящей из N атомов, каждая зона содержит $2N$ состояний, т. к. одному энергетич. уровню соответствуют два состояния с противоположными спинами. Если каждый атом имеет два валентных электрона, то всего в системе имеется $2N$ электронов, к-рые займут все $2N$ состояний валентной зоны, и последняя окажется заполненной. Если же на каждый атом приходится по одному электрону, то зона будет заполнена только наполовину. В первом случае система ввиду отсутствия свободных состояний в зоне не сможет проводить электрич. ток. Во втором — ток возможен, и такая зона может быть названа зоной проводимости.

Р. А. Сурис.

ЗАПОМИНАЮЩАЯ ТРУБКА (storage tube; tube de mémoire, tube à mémoire; Speicherröhre, speichernde Kathodenstrahlröhre) — электрон-

нолучевая трубка, обладающая свойством записывать входные электрич. сигналы в форме зарядов на поверхности диэлектрика, сохранять запись в течение длительного периода времени и воспроизводить сигналы в заданный момент времени. Исходя из физич.

природы записи и считывания сигналов (образование потенциального рельефа зарядами на диэлектрике и модуляция потенциальным рельефом считывающего пучка), 3. т. наз. также потенциалоскопами, а по аналогии с передающими телевиз. трубками с накоплением зарядов на диэлектрич. мишени эти трубки наз. еще и накопит. трубками.

В 3. т. для образования потенциального рельефа на поверхности диэлектрика исполь-

зуются явления вторичной электронной эмиссии и наведенной проводимости. В результате электронной бомбардировки поверхность диэлектрика приобретает равновесный потенциал, величина к-рого определяется разностью потенциалов между катодом источника первичных электронов (катодом электронного прожектора) и коллектором вторичных электронов. Если этот потенциал лежит между первым и вторым критич. потенциалами диэлектрика, то на поверхности диэлектрика устанавливается равновесный потенциал, близкий к потенциалу коллектора. Если же потенциал катода ниже первого критического, то равновесный потенциал диэлектрика устанавливается близким к потенциалу катода. При потенциале катода выше второго критического потенциал поверхности диэлектрика устанавливается близким ко второму критич. потенциалу. Если диэлектрик нанесен тонким слоем на металлическую подложку, наз. сигнальной пластиной, и к подложке приложен потенциал, отличный от равновесного потенциала поверхности диэлектрика, то благодаря наведенной проводимости диэлектрика при простреле диэлектрика первичными электронами потенциал элементов его поверхности может быть смещен к потенциалу сигнальной пластины. Явления вторичной электронной эмиссии и наведенной проводимости используются во многих типах 3. т., которые применяются для преобразования электрических сигналов: 1) в электрич. сигналы — трубки с барьерной сеткой, графконы, трубки с сетчатой мишенью и коллектором-рефлектором и др.; 2) в видимое изображение (потенциалоскопы с видимым изображением) — трубки с полупроводниковым изображением, с черно-белым изображением (с бистабильной записью) и со знаковым изображением.

3. т. с барьерной сеткой — это трубки, в к-рых равновесный потенциал диэлектрика задается спец. сетчатым электродом, наз. барьерной сеткой, непосредственно накладываемой на диэлектрик или отстоящей от него на расстоянии до 0,1 мм (рис. 1). Барьерная сетка уменьшает искажающее влияние, оказываемое на потенциальный рельеф вторичными электронами, возвращающимися на диэлектрик. Сетка частично улавливает эти электроны и частично отражает их непосредственно в те места мишени, откуда они вылетели. При этом отсекаются электроны,

пролетевшие через сетку и попавшие в ускоряющее поле коллектора. Мишень трубки представляет собой пластину из диэлектрика (чаще всего стекло) толщиной ок. 1 мм, на к-рую с одной стороны нанесена металлич. сигнальная пластина, а с другой — расположена

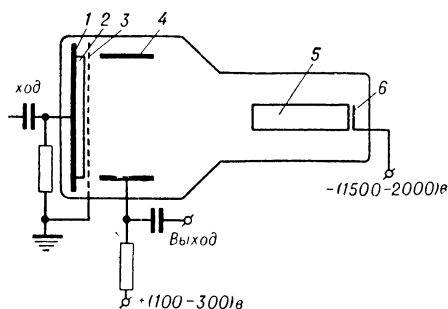


Рис. 1. Схематич. устройство З. т. с барьерной сеткой: 1 — металлич. подложка (сигнальная пластина); 2 — диэлектрич. мишень; 3 — барьерная сетка; 4 — коллектор; 5 — электронный прожектор с отклоняющей системой; 6 — катод прожектора.

барьерная сетка. Трубка имеет один прожектор. Фокусировка луча, как правило, производится электростатич. полем, а отклонение — как магнитным, так и электростатич. полями. Катод электронного прожектора находится под потенциалом, лежащим между первым и вторым критическими. При развертывании немодулированного электронного луча на мишени устанавливается равновесный потенциал, превышающий на неск. в потенциал барьерной сетки, при этом действующий коэфф. вторичной эмиссии равен 1. Входные сигналы подаются на сигнальную пластину, изменяют ее потенциал и через емкость (от сотен до тысяч мкмкф) сигнальная пластина — поверхность диэлектрика — изменяет потенциал поверхности мишени почти на такую же величину. При этом положит. входной сигнал, повышая потенциал поверхности мишени, смещает его от равновесного. Тем самым увеличивается тормозящее действие барьерной сетки, действующий коэфф. вторичной эмиссии становится меньше 1, и в токе коллектора барьерной сетки и сигнальной пластины появляется переменная составляющая сигнала записи. Отрицат. сигнал, напротив, смещает потенциал мишени от равновесного, понижая его, уменьшает тормозящее действие барьерной сетки; действующий коэфф. вторичной эмиссии становится больше 1, и в токе коллектора, барьерной сетки и сигнальной пластины также появляется составляющая сигнала записи. Во время действия входных сигналов электронный луч доводит потенциалы участков мишени до равновесных. После снятия сигналов и луча на мишени остается запись сигналов в виде потенциального рельефа, к-рый может сохраняться длит. время без изменения. Если произвести повторное развертывание луча при постоянном потенциале сигнальной пластины, то в тех местах мишени, где записаны сигналы и потенциал смещен от равновесного, равновесный потенциал вновь будет восстановлен, а в токе коллектора, барьерной сетки и сигнальной пластины появятся сигналы чтения. Если же при повторном развертывании луча входные сигналы будут такими же, как и при первом развертывании, то луч на

всех участках будет бомбардировать мишень, находящуюся под равновесным потенциалом, и в токе коллектора, барьерной сетки и сигнальной пластины составляющие сигналов будут отсутствовать. Если же при повторном развертывании луча входные сигналы отличаются от предыдущих только величиной, они сместят потенциалы участков, где записаны сигналы, на величину, пропорциональную разности входных сигналов. При этом луч опять доведет потенциалы этих участков до равновесных, соответствующих величине входных сигналов второго развертывания, а в токе коллектора, барьерной сетки и сигнальной пластины появится составляющая, пропорциональная разности сигналов при первом и втором развертывании луча. Следовательно, в этом случае трубка работает как вычитающее устройство: в ней ток коллектора, барьерной сетки и сигнальной пластины пропорционален разности напряжения сигнала, записанного на мишени в данный период развертки, и напряжения сигнала, записанного в предыдущий период развертки. Эти трубки наз. вычитающими потенциало스코пами и применяются в радиолокации в устройствах селекции подвижных целей, где выполняют роль задерживающих и вычитающих элементов.

Трубки с барьерной сеткой применяются также в качестве запоминающих устройств оперативной памяти ЦВМ и работают следующим образом. При записи входные сигналы в виде импульсов положительной (1) и отрицательной (0) полярности подаются на сигнальную пластину. Одновременно на отклоняющие пластины подаются адресные отклоняющие напряжения, а на катод прожектора — модулирующее напряжение, отпирающее луч прожектора на время действия входных сигналов. При считывании электронный луч развертывается без подачи входных сигналов. Попадая на участки мишени, где были записаны сигналы, соответствующие 1 или 0, луч считывает эти сигналы, и в цепи сигнальной пластины протекает ток сигнала в виде импульсов положит. или отрицат. полярности. При считывании запись стирается, поэтому для восстановления записи после каждого считывания применяется восстановление записи. Оперативная память на потенциалоскопах с барьерной сеткой позволяет получить емкость до 4—8 тысяч элементов при надежности до 4 тысяч обращений. Трубки обеспечивают скорость срабатывания до 0,4 мксек. З. т. с барьерной сеткой можно поставить в режим, когда мишень за один цикл записи не успевает зарядиться до равновесного потенциала, и тогда можно получить постепенное нарастание потенциального рельефа, глубина к-рого на каждом участке мишени будет пропорциональна сумме всех сигналов, поступивших на данный участок. Эти трубки наз. интегрирующими потенциалоскопами и применяются в радиолокации, где позволяют увеличить превышение сигнала над шумами.

Графekoны — З. т., в к-рых запись производится смещением потенциала мишени к потенциалу сигнальной пластины, созданием в мишени наведенной проводимости (рис. 2). Мишень трубки состоит из тонкого слоя диэлектрика (фтористый магний, сульфид цинка и др.) на металлич. подложке (сигнальной пластине). Со стороны диэлектрика расположены записывающий и считывающий прожек-

торы. В отсутствие записи луч считывающего прожектора, потенциал катода к-рого лежит между первым и вторым критическими, доводит потенциал поверхности мишени до равновесного (близкого к потенциалу коллектора).

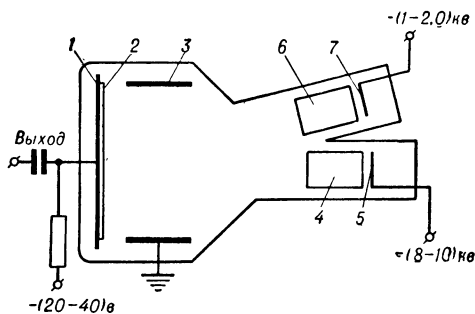


Рис. 2. Схематич. устройство З. т. графekon: 1 — металлич. подложка (сигнальная пластина); 2 — диэлектрич. мишень; 3 — коллектор; 4 — прожектор записывающего луча с отклоняющей системой; 5 — катод записывающего прожектора; 6 — прожектор читающего луча с отклоняющей системой; 7 — катод читающего прожектора.

На сигнальную пластину подается потенциал, отличающийся от равновесного на неск. десятков в. Пишущий луч, модулированный сигналом, пронизывает мишень, создает наведенную проводимость, и потенциал поверхности мишени смещается к потенциалу сигнальной пластины на величину, пропорциональную величине сигнала. Т. о., на поверхности диэлектрика записывается сигнал. Немодулированный считывающий луч постепенно доводит потенциал поверхности диэлектрика до равновесного, а в цепи сигнальной пластины протекают составляющие тока сигнала, пропорциональные глубине записанного потенциального рельефа. В других конструкциях графekonов записывающий прожектор расположен со стороны сигнальной пластины, прозрачной для электронов записывающего луча. Такая трубка наз. графekonом с двухсторонней мишенью. Разрешающая способность графekonов составляет 400—800 строк, скорость записи достигает десятков км/сек, однократную запись можно считать неск. сот раз с числом полутонов до 5—6. В графekonах запись и считывание можно производить одновременно. Для этого необходимо разделить токи записи и считывания в цепи сигнальной пластины, напр. посредством высокочастотной модуляции тока считывания и применения настроенного выходного усилителя. Графekonы применяются для перехода от телевиз. разверток с одними параметрами к разверткам с другими параметрами (напр., для изменения частоты кадров или изменения стандарта телевизионного разложения), для преобразования радиолокационного изображения в яркое телевизионное, к-рое можно наблюдать в незатемненных помещениях (на пунктах управления воздушным движением и др.).

З. т. с сетчатой мишенью и коллектором-рефлектором предназначены для тех же целей, что и графekonы, но позволяют считывать изображения до десятков тысяч раз. Эти трубки работают на принципе вторичной эмиссии. Мишень трубки состоит из металлич. сетки, покрытой диэлектри-

ком со стороны, обратной прожектору. С этой же стороны расположен коллектор-рефлектор. При записи потенциал катода прожектора больше первого критич. потенциала диэлектрика. Запись осуществляется электронами, протевшими сквозь сетку мишени и отраженными от коллектора-рефлектора. Входные сигналы подаются на модулятор прожектора. Считывание осуществляется немодулированным лучом при потенциале сетки мишени, равном потенциалу катода, причем непосредственный контакт электронов считывающего луча с диэлектриком отсутствует. На коллектор-рефлектор подается потенциал, положит. относительно катода, поэтому все прошедшие мишень электроны улавливаются коллектором-рефлектором, в цепи к-рого и снимаются выходные сигналы. В различных местах мишени число прошедших электронов определяется глубиной записанного потенциального рельефа. Стирание записи производится перед очередной записью. Для этого потенциал катода прожектора устанавливается ниже первого критического, а потенциал коллектора-рефлектора — таким же, как при записи. Поэтому поверхность диэлектрика принимает потенциал, близкий к потенциалу катода. Трубка работает последовательно в режимах запись — считывание — стирание — запись, причем при переходе от одного режима к другому необходимо изменять потенциалы на электродах, это является недостатком односторонних трубок. Применение второго прожектора позволяет устранить цикличность работы трубки и необходимость изменения потенциалов.

З. т. с полутоновым изображением работают на принципе управления потоком электронов сетчатой мишенью, на к-рой записаны сигналы в виде потенциального рельефа на диэлектрике (рис. 3). Трубка имеет

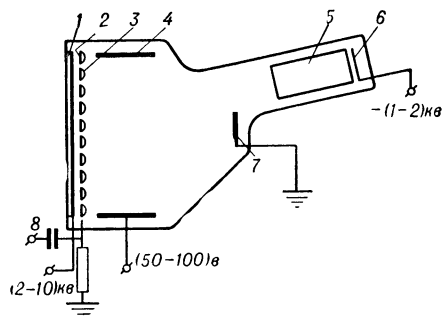


Рис. 3. Схематич. устройство З. т. с видимым изображением. 1 — люминесцирующий экран; 2 — металлич. сетка мишени; 3 — диэлектрич. мишень; 4 — коллектор; 5 — прожектор записывающего луча с отклоняющей системой; 6 — катод записывающего прожектора; 7 — катод воспроизводящего прожектора; 8 — вход стирающих импульсов.

электронные прожекторы (два или три), блок мишени в виде металлич. сетки с нанесенным слоем диэлектрика (плавленый кварц, фтористый магний и др.), сетчатый коллектор и люминесцирующий экран. Один из прожекторов — записывающий и работает при потенциале катода, лежащем между первым и вторым критическими. При записи луч прожектора модулируется входными сигналами, и на поверхности диэлектрика создается положитель-

ный (по отношению к участкам, где нет записи) потенциальный рельеф, глубина к-рого пропорциональна величине сигнала. Второй прожектор (воспроизводящий) работает с расфокусированным лучом, равномерно облучающим всю мишень при потенциале катода, превышающем на неск. v потенциал сетки мишени. Поэтому при отсутствии записи электроны воспроизводящего прожектора не могут проникнуть сквозь сетчатую мишень и улавливаются коллектором. В тех местах мишени, где записаны сигналы, электроны проходят сквозь мишень, и их число пропорционально глубине записанного потенциального рельефа. Если используется третий прожектор, то он служит для стирания изображения. При отсутствии спец. стирающего прожектора стирание осуществляется подачей на сетку мишени положит. импульсов, под воздействием к-рых поверхность диэлектрика принимает (через емкость сетка — поверхность диэлектрика) потенциал, положительный по отношению к катоду воспроизводящего прожектора и лежащий ниже первого критического. Электроны же воспроизводящего прожектора доводят всю поверхность мишени до потенциала катода. Снятие стирающих импульсов понижает потенциал мишени примерно на величину этих импульсов и в зависимости от амплитуды, длительности и частоты импульсов можно получить различную скорость стирания изображения. (Эта скорость определяет время, за к-рое мишень принимает тот потенциал, при к-ром прекращается пролет электронов воспроизводящего прожектора сквозь мишень). За мишенью расположен люминесцирующий экран, потенциал к-рого на неск. $ка$ выше потенциала катода воспроизводящего прожектора. Электроны, пролетевшие сквозь мишень, ускоряются и создают на экране светящееся изображение записанного потенциального рельефа.

З. т. с полутоновым изображением отличаются друг от друга размером экрана (от трех до пятидесяти $см$), яркостью изображения (от сотен $нит$ — 1 $нит$ равен яркости, создаваемой 1 свечой на площади 1 $м^2$ — до десятков тысяч $нит$), разрешающей способностью (от 100 до 800 строк) и др. хар-ками. Благодаря высокой яркости свечения и регулируемому времени сохранения изображения (от десятых долей до десятков сек.) трубки применяются в визуальных индикаторах, обеспечивающих наблюдение при любых условиях внешнего освещения (вплоть до освещения прямыми солнечными лучами), в проекционных индикаторах для получения изображения на большом экране, в устройствах для визуального наблюдения однократных и неперiodич. процессов и др.

З. т. с черно-белым изображением (с бистабильной записью) сходны по устройству с полутоновым З. т., но имеют дополнительно т. н. фиксирующий электронный прожектор. Если катод последнего находится под потенциалом, близким к первому критическому, то потенциальными элементами мишени, бомбардируемой электронами этого прожектора, могут приобретать только два потенциальных уровня в зависимости от потенциала, который они приобрели в результате действия записывающего пучка. Так, если элемент мишени приобрел по отношению к катоду прожектора фиксирующего луча по-

тенциал выше первого критического, то фиксирующий луч доводит его до первого равновесного уровня, равного потенциалу коллектора. Если же элемент мишени при записи приобрел потенциал ниже первого критического, то фиксирующий луч доведет его до второго равновесного уровня, равного потенциалу катода фиксирующего пучка. Следовательно, если без записи потенциал мишени ниже первого критического, то фиксирующий луч будет поддерживать его равным потенциалу катода и электроны воспроизводящего прожектора не будут проходить сквозь мишень. Если же при записи некоторые элементы мишени приобретут потенциал выше первого критического, то потенциал этих элементов будет доведен фиксирующим лучом до потенциала коллектора и электроны в этих местах будут пролетать сквозь сетку на экран. Благодаря такому действию фиксирующего луча на экране получается яркое изображение без полутонов, к-рое можно наблюдать длительное время (до неск. час.). Эти трубки получили применение в осциллографах для регистрации однократных и неперiodических процессов; скорость однократной записи на них достигает нескольких $км/сек$.

З. т. с о з н а к о в ы м и з о б р а ж е н и е м (тайпотроны) по принципу действия аналогичны трубкам с бистабильной записью, но записывающий луч до попадания на мишень переходит здесь через спец. матрицу, в к-рой вырезаны отверстия различной формы. В результате луч приобретает в поперечном сечении форму отверстия, через к-рое он прошел. Число таких отверстий-знаков в матрице может изменяться от десятков до сотен. Тайпотроны применяются как знаковые индикаторы в радиолокациях, вычислит. технике и др.

Лит.: Муляров М. Я., Электроннолучевые приборы, М.—Л., 1954; Кноль М. и Кэйзан Б., Электроннолучевые трубки с накоплением зарядов, пер. с англ., М.—Л., 1955. В. М. Кондратенков.

ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, накопитель (storage unit; mémoire; Befehlsspeicher, Speichereinrichtung, Speicheranordnung, Speicher, Speicherwerk, Rechenpeicher), — часть вычислит. машины или самостоят. устройство, осуществляющее запись, хранение и выдачу кодов чисел и команд. ЗУ служит для хранения исходных данных, промежуточных результатов вычислений, постоянных величин, значений табличных ф-ций, команд программ, окончат. результатов решения, а также в качестве буферных устройств для согласования работы внешних источников информации с ЭВМ. При помощи буферного накопителя данные могут быть восприняты с одной скоростью, задержаны до появления надобности в них, а затем выведены и переданы в ЭВМ с др. скоростью, причем сочетание скоростей ввода и вывода данных зависит от конкретных параметров реальных объектов и хар-к машины. Напр., при сочетании ЭВМ с радиолокац. станцией, данные от к-рой могут поступать группами с высокой скоростью, буферное ЗУ должно принимать их с такой же скоростью и в необходимые моменты времени выдавать в машину с меньшей скоростью. В вычислит. машинах для учета, планирования, бухгалтерско-статистич. расчетов скорости ввода данных в буферное ЗУ значительно ниже, чем скорость вывода их в ЦВМ.

ЗУ могут применяться и в качестве самостоят. устройства как накопители информации

для временного согласования работы неск. объектов, хранения программ или информации и передачи их в нужный момент времени исполнит. органам или для накопления данных, подлежащих передаче по каналу телеизмерения. Наименьшие аппаратные затраты, простота и надежность устройства получаются в случае использования в ЗУ двоичной системы счисления.

Известно много типов ЗУ, отличающихся друг от друга по своим параметрам и областям применения. Они основаны на самых различных физич. и химич. явлениях: механич. и тепловых, электрич. и магнитных, акустич. и оптич., молекулярных и ядерных и др. Наиболее распространены ЗУ, построенные на след. принципах: 1) механич. удаление или перемещение части материала путем пробивок — перфокарты и перфоленты; 2) изменение магнитных свойств материалов — магнитные ленты, барабаны, диски, ферритовые сердечники; 3) накопление электростатич. зарядов в диэлектриках — конденсаторные ЗУ, накопит. ЭЛТ, сегнетоэлектрики; 4) применение ультразвуковых или электромагнитных колебаний — ртутные, кварцевые, магниевые, магнитострикц. и электромагнитные линии задержки и др.; 5) применение явления сверхпроводимости — криотроны, криогенные устройства и др.

Осн. показателями ЗУ являются: *емкость* (см. *Емкость запоминающего устройства*), выражающаяся числом двоичных кодов, к-рое можно одновременно разместить в ЗУ; *быстродействие*, характеризующее время обращения к ЗУ, необходимым для записи и чтения данных; *надежность работы*, определяемая помехоустойчивостью, нечувствительностью к изменениям темп-ры внешней среды, не критичностью к режимам работы схем, отсутствием взаимного влияния на сохранность информации записей и считываний в соседних ячейках; *экономичность*, характеризующаяся отношением затрат на электронное оборудование к емкости ЗУ. Так, экономичность ЗУ с периодич. выборкой определяется количеством ламп, приходящихся на каждую тысячу запоминаемых двоичных знаков, и составляет в среднем для магнитного барабана 1,5, а для ртутных линий 11 ламп.

Замечательным ЗУ является человек. мозг, к-рый содержит около $(10-15) \cdot 10^9$ нервных клеток — нейронов, являющихся ячейками памяти. Длина нейрона примерно 1 мм, площадь основания $0,01 \text{ мм}^2$. Нейроны (элементарные ячейки) соединены в общую схему при помощи «проводов» — нервных и дендритов. Объем мозга в среднем $1,5 \text{ дм}^3$, вес $1,2 \text{ кг}$, мощность ок. $2,5 \text{ вт}$.

Обычно ЭВМ имеет неск. ЗУ различного назначения (рис. 1), отличающихся друг от друга своими технич. хар-ками: 1) оперативное (внутреннее) ЗУ (ОЗУ) для непосредств. работы с АУ и запоминания данных, необходимых для вычислений (см. *Запоминающее устройство оперативное*); 2) *запоминающее устройство внешнее* — для длит. хранения большого количества данных; 3) одностороннее (постоянное) ЗУ для хранения величин, не изменяющихся в процессе вычислений (см. *Запоминающее устройство долговременное*); 4) *запоминающее устройство буферное* для согласования скоростей работы отдельных уст-

ройств машины, а также внешних объектов между собой и с ЭВМ.

По способу записи, хранения и считывания многоразрядных чисел во времени ЗУ разделяются на параллельные и последовательные. В параллельных ЗУ n -разрядное число записывается и считывается одновременно всеми

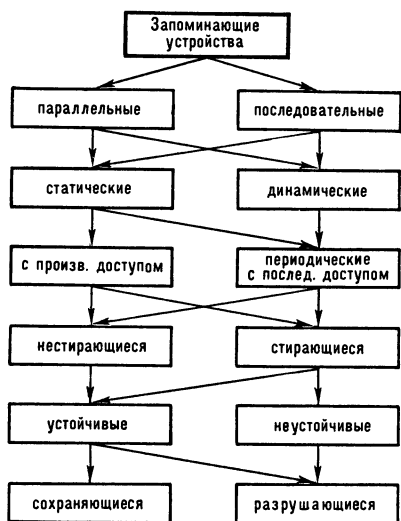


Рис. 1. Классификация ЗУ по принципу действия и использования.

своими n -разрядами. В связи с этим в устройстве должно содержаться n идентичных записывающих и считывающих элементов. В последовательных ЗУ запись и считывание производится последовательно во времени — разряд за разрядом. Это увеличивает время выполнения одной операции примерно в n раз по сравнению с параллельными устройствами, однако объем оборудования уменьшается, так как запись и считывание осуществляются одними и теми же элементами. Существуют также параллельно-последовательное ЗУ.

По способу хранения данных в запоминающей среде различают динамич. и статич. ЗУ. В динамич. ЗУ информация находится в непрерывном движении по отношению к среде, в к-рой она отображается. Хранятся числа благодаря их непрерывной циркуляции по замкнутому тракту, осн. элементом к-рого служат различные линии задержки. В статич. ЗУ данные фиксируются по отношению к *носителю информации* в течение всего времени хранения и только при считывании преобразуются специальными устройствами в к.-л. сигналы.

По способу выборки информации из отдельных ячеек ЗУ делят на ЗУ с последоват. доступом (периодические) и ЗУ с произвольным доступом. К периодич. ЗУ относятся все динамич. и часть статических. В них данные через определенный промежуток времени циклически считываются или записываются при обязательном перемещении относительно считывающих или записывающих элементов. При этом группа чисел, записанных последовательно во времени, будет считываться в таком же порядке. Время выборки периодич. ЗУ непостоянно и зависит от расположения ячеек. В ЗУ с произвольным доступом время,

необходимое для записи или считывания числа, постоянно, не зависит от того, к какой именно ячейке ЗУ происходит обращение, а определяется только временем переключения коммутирующих цепей. Поэтому в таком ЗУ считывание или запись по любому адресу можно производить в любой момент.

ЗУ подразделяются также на стирающиеся и нестирающиеся. Стирающиеся ЗУ позволя-

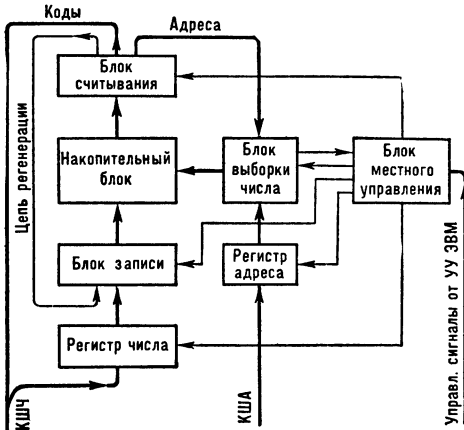


Рис. 2. Схема соединения основных блоков ЗУ.

ют многократно записывать в одни и те же ячейки новую информацию до физич. износа носителя информации. В нестирающихся ЗУ возможна только однократная запись информации либо в процессе изготовления, либо перед решением задачи.

По времени хранения данных без восстановления ЗУ делятся на неустойчивые и устойчивые. Неустойчивые ЗУ используют такие изменения параметров запоминающей среды, к-рые способны сохраняться огранич. время после записи и требуют периодич. восстановления. Устойчивые ЗУ хранят информацию в условиях нормальной эксплуатации сколь угодно долго. Нестирающиеся ЗУ, естественно, относятся к устойчивым.

Наконец, ЗУ подразделяются на сохраняющиеся, в к-рых информация сохраняется при выключении источников питания, и разрушающиеся, в к-рых прекращение подачи питания вызывает разрушение хранящейся информации. Все неустойчивые ЗУ — разрушающиеся. Данное разделение ЗУ особенно необходимо учитывать в тех случаях, когда работа производится в полевых и пр. условиях и возможно кратковременное отключение питания.

Любое ЗУ состоит из следующих осн. блоков (рис. 2): 1) накопит. блок; предназначен для непосредств. хранения данных (напр., *Куб ферритовый*). Он разделяется на отдельные ячейки памяти, общее количество к-рых определяется емкостью ЗУ; 2) регистр числа; служит для кратковрем. (не больше одного такта) хранения кода числа, поступающего из машины в ЗУ по кодовым шинам числа (КШЧ); 3) блок записи; преобразовывает код числа в сигналы, воздействующие на накопит. среду при записи или восстановлении информации. В случае записи блок получает данные от регистра числа, при восстановлении — от блока считывания по цепи регенерации; 4) блок считывания; производит считывание информации

из накопит. блока и выдачу ее в КШЧ. Блок преобразует изменения параметров накопит. среды в сигналы, с к-рыми работает машина. Кроме выдачи информации в КШЧ, часть информации, содержащая сведения об адресах ячеек памяти, может выдаваться на блок выборки числа; 5) блок выборки числа; определяет ячейки памяти по заданному адресу путем дешифрации или сравнения адресов; выдает управляющие сигналы, необходимые для работы блоков записи и считывания; 6) регистр адреса принимает и хранит поступающий по кодовым шинам адреса (КША) адрес ячейки ЗУ, к к-рой производится обращение; 7) блок местного управления; управляет выполнением операций, задаваемых УУ машины, путем выработки необходимых управляющих импульсов в определенной временной последовательности и воздействия на остальные блоки ЗУ.

Возможны отклонения от приведенной типовой схемы. Напр., в односторонних ЗУ отсутствует блок записи, а для накопителя на магнитном барабане не нужна цепь регенерации.

Осн. операции, выполняемыми обычно ЗУ, являются запись, чтение и стирание. Иногда операция стирания может заменяться записью кода «0» или осуществляться при операции чтения. В последнем случае пользуются чтением с регенерацией или без регенерации прочитанных данных.

ЗУ работает следующим образом. После установления регистров числа и адреса в нулевое положение импульсом У «0», поступающим из УУ, по КША поступает адрес ячейки накопит. блока, к к-рой будет производиться обращение. При этом количество адресных каналов K_a связано с общей емкостью накопителя N соотношением $K_a = \log_2 N$. Адрес фиксируется в регистре адреса и подается непосредственно на блок выборки числа,

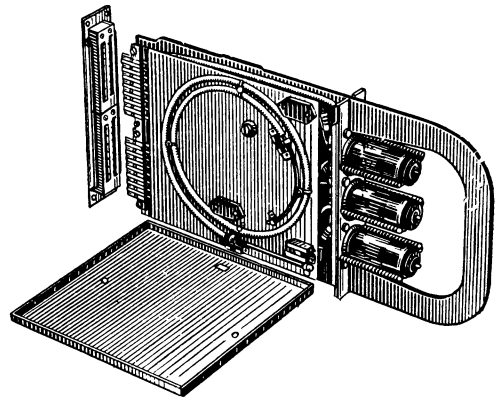


Рис. 3. ЗУ на магнотриксционной линии машины «Пегас» (Англия).

к-рый в случае ЗУ с произвольным доступом является дешифратором адреса, а в случае периодич. устройства содержит счетчик текущих адресов и устройство сравнения, к-рое при совпадении адресов текущего и заданного разрешает проведение операции. Код операции, определяющий запись или чтение, подается из УУ и воздействует на соответствующие цепи блока местного управления, управляющего блоками чтения или записи. При выполнении операции чтения управляющие сигналы подаются на блок считывания и

используются для выделения полезной информации на фоне помех (стробирование) и выдачи ее в кодовые шины КШЧ. В некоторых ЗУ управляющий сигнал, кроме того, подается на блок выборки числа, где он используется для воздействия на запоминающую среду и выделения информации. Для сохранения информации в неустойчивых ЗУ считанный код поразрядно передается по цепи регенерации на блок записи, который записывает информацию в течение этого же такта по тому же адресу. Собственно операция записи выполняется аналогично операции чтения после стирания старых данных в выбранной ячейке одним из указанных выше способов. Код, подлежащий записи, передается с КШЧ на регистр числа и далее на блок записи.

В табл. приведены осн. хар-ки ЗУ ряда отечеств. и зарубежных ЭВМ.

Развитие ЗУ идет по пути создания наиболее экономичных, малогабаритных устройств, обладающих емкостью в миллиарды чисел и быстродействием порядка единиц и долей мксек. Для дальнейших разработок наиболее характерны: использование принципа совмещения во времени отдельных этапов работы ЗУ для повышения быстродействия; разработка ЗУ, позволяющих осуществлять одновременно неск. независимых обращений к различным или одним и тем же ячейкам; применение многоступенчатых систем памяти; создание и использование новых управляющих и накопит. элементов — магнитных сердечников со сложным магнитопроводом (транс-

Основные характеристики запоминающих устройств электронных вычислительных машин

Наименование машины, страна, год выпуска	Тип ЗУ	Емкость накопителя	Быстродействие
ЭНИАК, США, 1946	Параллельное, десятичное, статическое на ламповых триггерах	20 десятиразрядных десятичных чисел	Минимальный такт ЭВМ 200 мксек
ЭДВАК, США, 1951	Последовательное, динамическое, на ртутных линиях Последовательное, на никелевой проволоке, с магнитной записью	1024/43 * числа 20000 чисел	Частота следования импульсов 1 Мгц —
СЕАК, США, 1951	Последовательное, динамическое, на ртутных линиях Параллельное, статическое, на ЭЛТ Вильямса Последовательное, статическое, на магнитной ленте	512/48 чисел 512/48 чисел Длина до 1000 м при плотности 4 имп/мм	Частота следования импульсов 1 Мгц Время обращения 12 мксек Скорость протяжки 4 м/сек
ИРА-1103, США, 1956	Параллельное, статическое, на магнитных сердечниках Параллельное, статическое, на магнитном барабане Последовательное, статическое, на магнитной ленте	До 3 комплектов по 4096/36 чисел 16384 чисел 10 блоков стальной ленты	Время обращения 8 мксек Скорость 30000 код/сек, время выборки 17 мксек 1800 код/сек
ИБМ-705, США, 1955	Параллельно-последовательное, статическое, на магнитных сердечниках Последовательное, статическое, на магнитном барабане Последовательное, статическое, на магнитной ленте	40000 десятичных знаков 30 шт. по 60000 знаков каждый 10 блоков	Время выборки 17 мксек Время выборки 8 мсек Скорость 25000 код/сек Скорость 2500 код/сек
ЭМИДЕК-2400, Англия, 1959	Параллельное, статическое, на магнитных сердечниках Параллельное, диодно-конденсаторное Параллельно-последовательное, на магнитной ленте	4096/37 чисел 64/38 кода Длина ленты 800 м Плотность записи 4 зн/мм	Время обращения 15 мксек Время выборки 6 мксек Время обращения 4 мксек, время выборки 1,5 мксек Скорость протяжки 5 м/сек, скорость чтения 20000 код/сек
ГАММА-60, Франция, 1957	Параллельное, на магнитных сердечниках Параллельное, на магнитном барабане Магнитная лента	4096/24 чисел 32768 чисел 1,2—1,8 млн. знаков	Время обращения 11 мксек Ср. время обращения 10 мсек, скорость 3000 об/мин Скорость 7500 код/сек
БЭСМ АН СССР, СССР, 1953	Параллельное, на магнитных сердечниках Параллельное, диодно-конденсаторное Последовательное, на магнитном барабане Последовательное, на магнитной ленте	1023/45 чисел 384,45 кода 5120 кодов 4 блока по 25—30 тыс. кодов	Время обращения 12 мксек » Ср. время обращения 40 мсек скорость 750 об/мин Скорость протяжки 2 м/сек, скорость считывания 1600 зн/сек
«Стрела», СССР	Параллельное, на ЭЛТ с барьерной сеткой Параллельное, на магнитной ленте Параллельное, одностороннее, на диодах	2048/43 чисел 2 блока по 100000 чисел 256/43 кодов	Время обращения 15 мксек Скорость считывания 800 чисел/сек Время выборки 15 мксек

* Запись m/n означает m чисел по n двоичным разрядам.

флюксоры, биаксы, сердечники с поперечным полем), элементов на тонких магнитных плен-

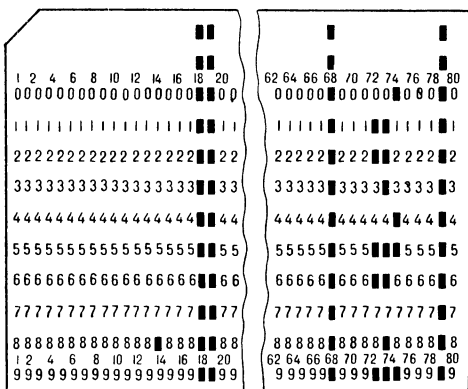


Рис. 4. Стандартная перфокарта.

ках, криотронах, туннельных диодах и др. См. также *Накопитель*.

Лит.: Китов А. И., Криницкий Н. А. Электронные цифровые машины и программирование, М., 1959; Крайзер Л. П., Устройства хранения дискретной информации, М.—Л., 1961; Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т. 2, ч. 2, М., 1959. Р. П. Исеев.

ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО БУФЕРНОЕ, буферный, промежуточный накопитель, БЗУ [buffer storage (амер.), buffer store (англ.); mémoire intermédiaire, mémoire tampon; Pufferspeicher], — устройство, согласующее во времени обмен информацией между отдельными частями ЦВМ, работающих совместно друг с другом или с реальными объектами.

Различие в скорости работы источников и потребителей информации, преобразователей и устройств ЦВМ требует применения БЗУ, к-рые: 1) согласуют работу ЦВМ с независимым по времени поступлением информации от реальных объектов; 2) согласуют передачу информации между медленно- и быстродействующими устройствами; 3) преобразуют и группируют информацию по определ. признакам для последующей передачи. Для БЗУ характерно наличие независимых каналов по приему и выдаче информации, различные времена обращения или различная частота обращения в режимах считывания и записи, отсутствие регенерации информации и закономерность в организации обращений по адресам.

Емкость БЗУ определяется конкретными условиями работы, напр. объемом информации, которая может поступить от реального объекта за период занятости центр. вычислит. устройства, или объемом информации, содержащий законченный смысловой текст или вычисления. Информация в БЗУ записывается в порядке поступления с нарастанием адресов или, при наличии к.-л. признака характера информации, в определ. зоны. Т. к. фактически запис. объем информации может быть неизвестен, то существуют признаки начала и конца информации (напр., в виде *маркера*). Считывание большей частью ведется по каналу, отличному от канала записи. Оно упорядочено по адресам; в некоторых случаях вначале считывается информация,

поступившая последней, как наименее устаревшая.

Информация в БЗУ по самому смыслу подлежит однократному хранению, поэтому режим считывания может не сопровождаться регенерацией. Наилучшим вариантом БЗУ является ЗУ, допускающее одноврем. запись и считывание информации, т. е. независимое обращение по каналу записи и каналу считывания (напр., ЗУ с многодырочными ферритовыми элементами).

Время обращения к БЗУ является ответств. параметром и более важно время обращения по записи как условие сохранения поступающей информации. К времени обращения предъявляются высокие требования, к-рые в основном диктуются необходимостью обеспечить работу ЦВМ с реальными объектами. Напр., от БЗУ требуется большое быстродействие при поступлении информации от нескольких независимых источников, к-рые в предельном случае могут выдавать информацию одновременно.

Наряду с согласованием скорости работы отдельных устройств БЗУ может изменять направление и организацию потока информации (параллельно-последовательная, последовательно-параллельная передача). Они обеспечивают экономичную передачу данных, повышают степень использования устройств, предоставляют возможности для совмещения операций во времени. В зависимости от системы обработки данных применяются один или несколько БЗУ. Широко распространены БЗУ с магнитными барабанами, регистрами на триггерных схемах и накопителями на магнитных сердечниках. Последние обладают широким диапазоном быстродействия, имеют возможность длит. хранения информации без затраты энергии. Отсутствие режима регенерации и некоторое упорядочение выбора информации лишь упрощает ЗУ на магнитных сердечниках. Так, БЗУ для ЦВМ Сименс-2002 (ФРГ) использует магнитные сердечники и имеет емкость 1260 6-разрядных чисел. Оно предназначено для передачи информации между 10-магнитными лентами и оперативным ЗУ, может использоваться для сочленения с линиями связи по приему и выдаче информации.

Лит.: Illenberger K., Ohmann F., Der Magnetkern-Pufferspeicher, ein vielseitiger Baustein für Nachrichtenverarbeitungs-Systeme, «Elektronische Rechenanlagen», 1960, Jg. 2, H. 1, Febr., S. 16—22. А. В. Гусев.

ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ВНЕШНЕЕ, внешний накопитель, ВЗУ [external storage (амер.), external store (англ.); mémoire extérieure; Aussenspeicher, Fremdespeicher], — запоминающее устройство ЦВМ, непосредственно не связанное с АУ при выполнении вычислений и использующееся для ввода информации, временного хранения промежуточных данных и записи конечных результатов. В ВЗУ хранится большое количество информации (млн. слов) в течение значит. промежутков времени. В ВЗУ записываются исходные данные и программы вычислений, объем к-рых обычно превышает емкость быстродействующего оперативного ЗУ (ОЗУ). По мере решения задачи эти данные выбираются из ВЗУ в моменты времени, определяемые программой, а также записывается вновь образовавшаяся в процессе вычислений информация, т. е. происходит обмен между ВЗУ и ОЗУ. Учитывая

большую емкость ВЗУ, к нему, во избежание усложнения конструкций, не предъявляют высоких требований быстродействия, однако более совершенное ВЗУ при равной емкости должно обладать большим быстродействием. Для сокращения времени работы с ВЗУ и увеличения скорости решения обмен данными между ОЗУ и ВЗУ производится сравнительно большими группами, т. к. в этом случае ср. быстродействие ВЗУ будет значительно выше, чем при неупорядоч. записи или считывании. Это объясняется тем, что в конструкциях ВЗУ обычно используются электромеханич. узлы, связанные с последоват. поиском адресов ячеек, на что затрачивается значит. время. Поэтому *носитель информации ВЗУ* часто разделяется на группы ячеек с общим адресом — зоны (см. *Зона магнитной ленты*), внутри к-рых записи или считывание производится последовательно.

ВЗУ выполняется преимущественно на *магнитных лентах*; но используются также и *магнитные барабаны* и *магнитные диски*. Магнитные ленты имеют значит. емкость, к-рую с учетом сменных лент можно считать практически неограниченной. Однако быстродействие магнитных лент, связанное с их перемоткой в процессе поиска и записи или считывания информации, измеряется в среднем секундами и значительно уступает менее емким, но более быстродействующим дискам и барабанам. Для увеличения емкости и повышения быстродействия в ВЗУ обычно входит несколько параллельно работающих блоков магнитных лент. Это позволяет производить заблаговрем. поиск нужной информации на нескольких блоках одновременно. Так, количество блоков магнитных лент в амер. машинах ИБМ-705 достигает 100, в системе «Бизмак» — 200, в «Стретч» — до 256. В целях эффективного использования оборудования ВЗУ в системах с большим количеством блоков применяется принцип группирования и коммутации блоков лент с общим управлением каждой группой.

Дальнейшее развитие ВЗУ направлено на увеличение емкости и ускорение быстродействия при повышении надежности длит. хранения информации за счет новых физич. принципов (термопластич. ленты), совершенствования конструктивных решений (карусельные магнитные ленты, лентобарабаны, ленты типа Дейтафайл и т. п.), а также новых принципов организации ВЗУ (напр., ассоциативная память).

В. П. Исаев.

ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДОЛГОВРЕМЕННОЕ, односторонний накопитель, ДЗУ [permanent storage, non-volatile storage (амер.), non-volatile store, permanent store (англ.); mémoire permanente; Dauerspeicher, Permanentspeicher, leistungsloser Speicher], — устройство ЦВМ для длит. хранения записанной в нем информации, неизменяющейся в процессе вычислений, с целью многократного считывания ее частей. К информации пост. хранения относятся часто встречающиеся константы, стандартные подпрограммы, тестовые программы, программы специализиров. ЭВМ, коды операций при микропрограммировании, табличные данные, нормативы, словари для перевода текстов с одного языка на др. и т. д. В зависимости от характера хранимой информации ДЗУ наз. накопителем констант (НК), накопителем стандартных

программ (НСП), накопителем стандартных программ и констант (НСПК).

Использование ДЗУ в вычислит. машинах освобождает оперативное ЗУ (ОЗУ) от ф-ции хранения пост. информации и расширяет возможности ЦВМ. В информационно-логич. машинах, предназнач. для обработки большого объема информации (машина-справочник, телебиблиотека и т. п.), ДЗУ является гл. частью. В ДЗУ, в отличие от ОЗУ, обычно отсутствует аппарат для записи или перезаписи информации, т. к. запись выполняется один раз предварительно (автоматически или вручную) вне его. В связи с этим ДЗУ по своей конструкции значительно проще, дешевле и занимают меньший объем, чем ОЗУ. Быстродействие ДЗУ может быть достигнуто на порядок выше, чем у ОЗУ, ибо в них экономится время, затрачиваемое в ОЗУ на процесс регенерации; кроме того, использование принципов неразрушающего считывания требует меньших мощностей и предполагает быстрые физич. процессы в накопит. среде. ДЗУ аналогичны книгам, к-рые раз и навсегда набираются и печатаются, а затем многократно визуальнo считываются.

ДЗУ разрабатываются в трех направлениях: 1) используются ОЗУ, в определ. зоны к-рых заносится пост. информация и предусматривается блокировка записи в эти зоны. Такие ДЗУ являются наиболее оперативными в отношении смены информации (напр., магнитный барабан для хранения стандартных подпрограмм); 2) создаются ДЗУ с неразрушающим считыванием и записью вручную или с помощью трафарета (использование двухотверстных трансфлюксоров, ферритовых сердечников с диаметром отверстия, элементов типа «биакс»). По физич. процессам считывания они наиболее быстродействующие; 3) ДЗУ, в которых для записи двоичной информации используются элементы связи в многомерной матрице. Если принять, что наличие элемента связи в узле матрицы соответствует записи «1», то при считывании информации, когда происходит возбуждение адресных цепей, наличие элемента связи приводит к появлению сигнала на выходных шинах.

ДЗУ состоит из ячеек «память», адресной и считывающих систем.

Фотоскопич. однокоординатное ДЗУ состоит из ЭЛТ, луч которой с помощью однокоординатной адресной системы перемещается вдоль радиуса равномерно вращающегося стеклянного диска (1200 об/мин). На дорожках, размещ. на окружностях по краю диска, информация в двоичной форме записана различной последовательностью черно-белых квадратиков со стороны размером в неск. мм. Отражение луча от диска улавливается фотоэлементом. Скорость воспроизведения записанной информации — ок. 1 млн. двоичных знаков в сек. Однако установка луча на указанной адресом дорожке занимает много времени (порядка 30 мсек). На 700 дорожках стеклянного диска диаметром 250 мм размещается 30 млн. двоичных знаков. Дорожки расположены друг от друга на расстоянии ок. 11 мм.

Фотоскопическое двухкоординатное ДЗУ также состоит из ЭЛТ, луч к-рой устанавливается адресной системой в определ. точке плоскости экрана с большой точностью. Число

таких дискретных точек доведено до 32 768 (128×256).

С помощью дополнит. оптич. системы электронный луч трубки отражается по многим (32 или 64) плоскостям-экранам. Благодаря этому он может улавливаться одновременно и параллельно многими (32 или 64) считывающими фотозелентами. Это устройство позволяет, следовательно, увеличить объем считываемой информации (в 32 или 64 раза) и довести его до 1 или 2 млн. двоичных знаков в ДЗУ. Электронный луч трубки используется также для предварительной фотозаписи информации в двоичной форме на светочувствительном слое, покрывающем поверхности экранов, с последующим проявлением и фиксацией записи. В дальнейшем в ДЗУ производится только считывание, к-рое может происходить со скоростью выборки (за время порядка неск. мсек). Для считывания информации из каждой ячейки ДЗУ, хранящей 32 или 64 двоичных знака, необходимо подвести соответствующие напряжения к электродам трубки, устанавливающим луч трубки в заданном месте. Поскольку обычно адреса этой команды заданы в форме двоичных чисел, то в этом ДЗУ приходится автоматически преобразовывать двоичные сигналы кода адреса в напряжения, действующие на отклоняющие луч электроды.

Емкостные и индуктивные многокоординатные ДЗУ состоят из адресной системы, которая позволяет передать энергию на одну из ячеек ДЗУ, минуя остальные. Энергия эта

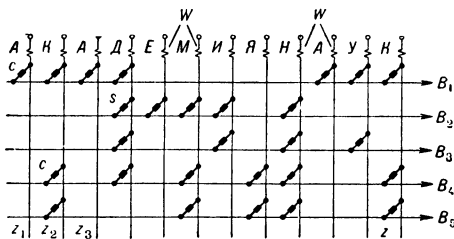
новлено между одной адресной шиной и выходными считывающими шинами. Практически можно одновременно считывать около 1000 двоичных знаков. Элементами связи могут служить емкости, индуктивности (дроссели и тр-ры), сопротивления (в частности, нелинейные — диоды и др.). Наибольшее распространение получают емкостные и индуктивные ДЗУ. В первых используются металлизированные карты с пазами, причем емкости связи образуются между поверхностью металлизированного паза перфокарты и металлической поверхностью считывающей шины. Диэлектриком служит при этом воздушный промежуток и слой бумаги (или пленки), покрывающей шины. Другая конструкция емкостного ДЗУ основана на том, что емкостная связь между адресными и считывающими шинами устраняется экранировкой в тех местах, где нужно записать и считывать нули.

В индуктивных ДЗУ для связи между шинами используются ферритовые стерженьки или Ш-образные сердечники. При пропускании тока по адресной шине относительно большие сигналы возбуждаются в тех считывающих шинах, к-рые магнитно связаны с адресными. В таких ДЗУ можно использовать многокоординатные (2-, 4- и более) адресные системы на миллионы ячеек. Развитие этих систем зависит от успеха совр. разработок технологии печатных микроминиатюрных электронных схем.

Лит.: Гутенмахер Л. И., Электронные информационно-логические машины, М., 1960 (имеется библиограф.). А. В. Гусев, Л. И. Гутенмахер

ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ОПЕРАТИВНОЕ, оперативный накопитель, ОЗУ [working (temporary) storage (амер.), working (temporary) store (англ.); mémoire de travail, zone de travail; Arbeitsspeicher, Zwischenergebnisspeicher], — запоминающее устройство ЦВМ, непосредственно связанное с АУ при выполнении арифметич. и логич. операций. В процессе решения задач на ЦВМ информация обрабатывается постепенно, получающиеся результаты могут являться исходными данными для последующих вычислений. Поэтому необходимо хранить определ. объем чисел, оперативно участвующих в решении, и программу работы машины на некоторый отрезок времени вперед. ОЗУ осуществляет запись, хранение, считывание и стирание информации по любому адресу отдельной ячейки; при этом скорость выборки данных должна соизмеряться с работой АУ. Ввод исходных данных и программы вычислений в ОЗУ производится обычно из внешнего ЗУ (накопителя), на к-рый из ОЗУ поступают промежуточные и конечные результаты. По принципу работы ОЗУ напоминает работу человек. памяти, когда вычисления и промежуточные результаты запоминаются «в уме», а окончательные выводятся на внешний накопитель, напр. бумагу. В силу этого сходства ОЗУ иногда наз. машинной памятью или просто памятью.

Требования к ОЗУ определяются тем, что в процессе решения задачи весь объем информации, поступающей для решения на вход ЦВМ и из нее на выход к потребителю, должен пройти через ОЗУ. Поэтому оно должно: 1) быть стирающимся, т. к. по мере использования одних данных в те же ячейки должна записываться новая информация; 2) обладать

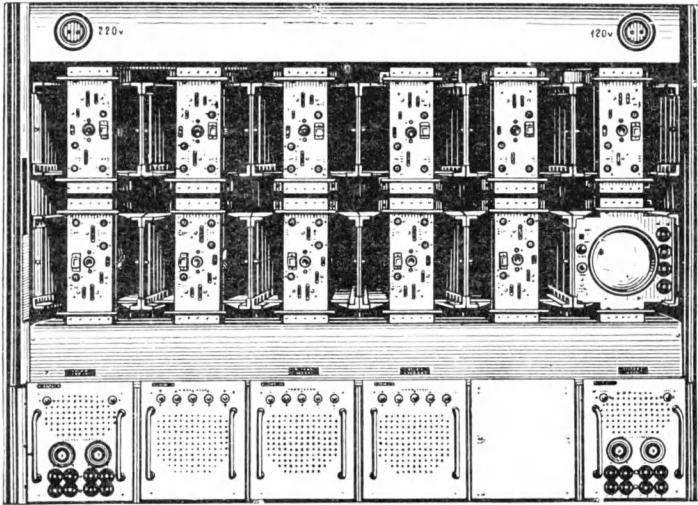


Принципиальная схема установки элементов связи с телеграфным кодом слов «Академия наук»: z — адресные шины ячеек долговрем. запоминающего устройства; с — элементы связи; B — считывающие шины; W — обмотки адресной системы для возбуждения шин Z.

переходит на считывающие выходные шины через элементы связи, соединяющие адресную шину со считывающими только в том случае, когда в данном месте ячейки воспроизводят единицу («1») двоичного знака. Отсутствие элемента связи в данном месте ячейки означает запись нуля («0») двоичного знака. На рис. дана принципиальная схема такого ДЗУ. Элементы связи с соединяют между собой адресные шины ячеек ДЗУ и считывающих шин B в соответствии с кодом записанной и хранимой информации. Воспроизведение информации состоит в получении совокупности электрич. сигналов, соответствующих расположению элементов связи с в данной ячейке, возбужд. сигналами из адресной системы. Так, напр., при последоват. возбуждении ячеек ДЗУ на рис. слева направо будут воспроизведены слова — «Академия наук» двоичным телеграфным кодом. В этом ДЗУ за один такт параллельно считывается столько импульсов («1» или «0»), сколько элементов связи уста-

произвольной выборкой данных, т. е. любая требуемая ячейка должна быть в любое время равнодоступна. Это требование возникает потому, что в общем случае обращение к данным может происходить в самом различном порядке; 3) иметь малое время обращения, к-рое

ки использовались триггерные схемы (ЭНИАК, 1946), различные линии задержки (СЕАК, 1951), барабаны (ИБМ-650, 1954), а позднее накопит. ЭЛТ (НОРК, 1954) и ферритовые сердечники (ТХ-2, 1957). Последние получили исключительно широкое распространение, т. к. обеспечивают высокую надежность работы. Запоминание информации в ферритовой памяти является устойчивым, т. е. не требует восстановления с течением времени (как это необходимо для трубок), кроме того, данные сохраняются при отключении питания.



Оперативное ЗУ машины «Стрела» (СССР).

должно соответствовать скорости работы АУ с тем, чтобы не ухудшать общего быстродействия машины. Напр., при трехадресной системе команд для выполнения одной операции приходится обращаться к ОЗУ четыре раза за один такт. Для машин с большим объемом вводимых и выводимых данных (информаци-

онно-логич. машины) выбор оптим. скорости ОЗУ должен проводится с учетом скорости работы внешних накопителей; 4) обладать возможно большей емкостью, т. к. при этом уменьшается частота обращений к внешнему накопителю и повышается скорость работы ЦВМ.

Тип ЦВМ, в к-ром применено ОЗУ	Год	Емкость		Время обращения мксек	Тип ОЗУ	Система выборки
		количество чисел	количество разрядов			
ТХ-2 (S — память)	1957	65 536	37	6,5	ферритовые сердечники (ФС)	матричная
ТХ-2 (X — память)	1957	64	19	4,1	ФС	линейная
«Транзан» S-100	1957	4 096	38	20,0	ФС	матричная
ИБМ 704—738, память	1957	32 768	36	12,0	ФС	матричная
РКА 501	1958	16 384	23	15,0	ФС	матричная
ЛАРК	1958	10 000	60	4,0	ФС	матричная
«Гамма-60»	1959	32 768	6	10,0	ФС	матричная
«Сименс-2002»	1959	1 000—10 000	49	14,0	ФС	матричная
БТЛ, твисторная память	1959	500	100	6,4	твисторы	линейная
БТЛ, листовая память	1960	4 096	16	4,0	ферритовые платы	матричная
«Стрелч»-7302	1960	16 384	74	2,18	ФС	матричная с масляным охлаждением
Телеметр ЛК	1960	512—8 192	4—100	1,5	ФС	линейная

онно-логич. машины) выбор оптим. скорости ОЗУ должен проводится с учетом скорости работы внешних накопителей; 4) обладать возможно большей емкостью, т. к. при этом уменьшается частота обращений к внешнему накопителю и повышается скорость работы ЦВМ.

Совр. ОЗУ имеют емкость от ста до миллиона чисел, количество разрядов — от одного до сотен и время обращения — от долей до десятков мксек.

В качестве носителей информации ОЗУ на ранних этапах развития вычислит. техни-

2) использование новейших физич. элементов — многоотверстных сердечников (биаксы, флюксоры), тонких магнитных пленок, криогенных запоминающих элементов (элемент Кроува), туннельных диодов.

Лит.: Зимин В. А., Электронные вычислительные машины, М., 1962; Райхман (Rajchman J. A.), Запоминающие устройства вычислительных машин. Обзор современного состояния, «Тр. Ин-та радиоинженеров», 1961, т. 49, № 1 (рус. пер. из «Proc. J. R. E.», 1961, v. 49, № 1).

В. П. Исаев.

ЗАПРЕТА СХЕМА (inhibitor circuit; circuit d'inhibition; Verbot, Inhibition, Verbo-

tenheit) — схема с $n + m$ входами и одним выходом, сигнал на к-ром может возникнуть лишь при отсутствии сигналов на m входах, наз. запрещающими. Остальные n входов (наз. основными) реализуют одну из двух логич. связей — либо «и», либо «или». З. с. используется в вычислит. машинах для осуществления след. логич. ф-ций:

$$P = A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n (\bar{Q}_1 \cdot \bar{Q}_2 \cdot \dots \cdot \bar{Q}_m),$$

$$P = (A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n) (\bar{Q}_1 \cdot \bar{Q}_2 \cdot \dots \cdot \bar{Q}_m),$$

$$P = A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n (\bar{Q}_1 \vee \bar{Q}_2 \vee \dots \vee \bar{Q}_m),$$

$$P = (A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n) (\bar{Q}_1 \vee \bar{Q}_2 \vee \dots \vee \bar{Q}_m),$$

где P соответствует сигналу на выходе, A_i — осн. сигналу на входе, Q_i — запрещающему сигналу на входе З. с.

Весьма часто под З. с. подразумевают схему с одним основным и одним запрещающим входом, т. е. схему с $n = 1$ и $m = 1$. Сигнал на выходе подобной схемы возникает при наличии сигнала на основном и отсутствии сигнала на запрещающем входе. Такая З. с. наз. вентилем несовпадения. Условное его обозначение дано на рис. 1. Вход со стрелкой соответствует осн. входу, а с полукругом — запрещающему.

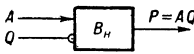


Рис. 1.

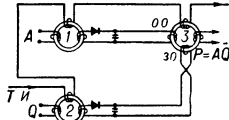


Рис. 2.

На рис. 2 приведена З. с., построенная на ферритовых сердечниках. Сигнал P на выходе этой схемы возникает при отсутствии сигнала Q на запрещающей обмотке 30 выходного сердечника 3 и наличии сигнала на осн. обмотке 00 сердечника 3. Сердечники 1 и 2 служат для запоминания основного и запрещающего сигналов, $ТИ$ — тактовые импульсы.

И. А. Данильченко.

ЗАПРЕЩЕННАЯ ЗОНА (forbidden band; bande interdite; zone interdite; verbotenenes Band, verbotenenes Energieband) — энергетич. зазор между верхним энергетич. уровнем одной зоны и нижним уровнем следующей зоны, лежащей выше первой (см. *Зонная теория*). Величина З. з., отделяющей валентную зону от зоны проводимости, определяет многие электрич. и оптич. свойства ПП: соств. проводимость, край соств. ИК поглощения и т. д. соств. проводимость

$$\sigma = 2\mu q (2\pi m^* kT / h^2)^{3/2} \cdot \exp(-\Delta E_z / kT),$$

где μ — подвижность носителей, ΔE_z — ширина З. з., q и m^* — заряд и эффективная масса электрона, k и h — постоянные Больцмана и Планка, T — абс. темп-ра. Значения ширины З. з. для нек-рых ПП приведены в табл.

ПП	ΔE_z (эВ)	ПП	ΔE_z (эВ)
Алмаз	5–6	Cu_2O	1,4–1,8
Кремний	1,21	ZnO	2,2
Германий	0,75	Fe_2O_3	2,3
Серое олово	0,1	PbTe	0,63

Лит.: Киттель Ч., Введение в физику твердого тела, пер. с англ., М., 1957. Р. А. Сурис.

ЗАПРЕЩЕННОЕ СОСТОЯНИЕ р е л е й н о й ц е п и [forbidden condition (relay

circuit); état interdit; verbotener Zustand (eines Relaiskreises)] — состояние релейной цепи, к-рому на выходе соответствует воздействие, равное 0. В контактной цепи (см. *Релейный контактный элемент*) З. с. относительно к.-л. выхода наз. комбинация состояний входных элементов (а в случае многотактных устройств — и промежуточных), при к-рой ф-ция проводимости этой цепи принимает значение 0 и, следовательно, соответствующий исполнитель. элемент находится в отключенном состоянии. В релейной цепи, построенной на бесконтактных элементах (см. *Релейный бесконтактный элемент*), З. с. относительно к.-л. выхода считается такая комбинация состояний элементов, составляющих данную цепь, при к-рой выходной узел находится в состоянии, соответствующем 0. З. с. релейных цепей обычно записываются в таблицу состояний релейного устройства, где они обозначаются символом 0 в столбце значений соответствующего выхода. Если условия работы релейной цепи не содержат *неиспользуемых состояний* и описываются нек-рой логич. (или булевой) ф-цией, заданной в совершенной дизъюнктивной нормальной форме (см. *Алгебра логики*), З. с. будут соответствовать отсутствующие члены этой формы.

Лит.: Г а в р и л о в М. А., Теория релейно-контактных схем, М.—Л., 1950. В. Д. Казаков.

ЗАПЯТАЯ ПЛАВАЮЩАЯ (floating point; virgule flottante; Gleitkomma) — форма представления числа в ЭЦМ, при к-рой положение запятой относительно разрядной сетки ячейки памяти не фиксировано. Число x , представляемое в форме с З. п., приводится к виду

$$x = \text{sign } x \cdot M_x \cdot r^{P_x},$$

где $\text{sign } x$ — знак числа, M_x — мантисса числа, r — основание системы счисления, P_x — порядок числа. Если $\frac{1}{r} \leq M_x < 1$, то число называется нормализованным, в противном случае — ненормализованным. Например, числа 923,51 (десятичное) и 1010,1 (двоичное) в нормализов. виде представляются $0,92351 \cdot 10^{+3}$ и $0,10101 \cdot 10^{+100}$.

Форма представления числа с З. п. позволяет изображать числа в широком диапазоне: напр., для нормализов. чисел

$$\frac{1}{r} \cdot r^{-(r^m-1)} \leq |x| \leq (1 - r^{-n}) \cdot r^{-(r^m-1)},$$

где x — число, а n и m — соответственно количество разрядов его мантиссы и порядка. Число 0 изображается нулями во всех разрядах M_x . Во многих машинах разрешается выполнение арифметич. действий над ненормализованными числами. Для таких чисел диапазон расширяется:

$$r^{-n} \cdot r^{(r^m-1)} \leq |x| \leq (1 - r^{-n}) \cdot r^{(r^m-1)}.$$

При действиях над нормализованными числами с З. п. получается мало меняющаяся относит. погрешность. Если при выполнении арифметич. действий значение младшего разряда мантиссы округляется по значению дополнительного $(n+1)$ -го разряда (вычисляемому в арифметич. устройстве для целей округления), то относит. погрешность Δx лежит в пределах

$$\frac{r^{-(n+1)}}{(1 - r^{-n})} < \Delta x < r^{-n}.$$

Действия над числами в форме с 3. п. сложнее (в особенности сложение), чем над числами в форме с запятой фиксированной. При сложении прежде всего уравнивают порядки слагаемых, т. е. то из слагаемых, порядок к-рого меньше, денормализуют так, чтобы его порядок стал равен порядку другого слагаемого. После сложения мантисс нормализуют результат. При умножении (делении) производится умножение (деление) мантисс, сложение (вычитание) порядков и необходимая нормализация. Конструкция арифметич. устройств машины с 3. п. сложнее, чем машин с фиксированной запятой. Однако использование запятой плавающей существенно упрощает программирование, так как не требует применения масштабных коэффициентов.

Г. А. Миронов.

ЗАПЯТАЯ ФИКСИРОВАННАЯ (fixed point; virgule fixe; Festkomma) — форма представления чисел в ЭЦМ, при к-рой положение запятой относительно разрядной сетки ячейки памяти фиксировано. Число x , представляемое в форме с 3. ф., имеет вид: $x = \text{sign } x [E(|x|) + D(|x|)]$, где $\text{sign } x$ — знак числа x , $E(|x|)$ — целая часть модуля, $D(|x|)$ — дробная часть модуля. Для устранения нек-рых возможных случаев переполнения (напр., при умножении) в разрядной сетке арифметич. устройства машины обычно фиксируют запятую перед старшим разрядом модуля числа, т. е. $E(|x|) = 0$. Если при этом для изображения $|x|$ отводится n разрядов, то диапазон представимых чисел определяется соотношением: $r^{-n} \leq |x| \leq (1 - r^{-n})$, где r — основание системы счисления. Число 0 изображается нулями во всех разрядах. Для того чтобы представить любые числа в форме с 3. ф., все числа, большие единицы (являющиеся исходными данными или полученные в процессе вычисления), умножаются на масштабные коэфф., в результате чего произведение представляет собой правильную дробь. ЭЦМ с 3. ф. дают возможность выполнять вычисления с постоянной абс. погрешностью, равной погрешности, с которой получается значение младшего разряда $|x|$. Арифметич. действия на ЭЦМ с 3. ф. выполняются проще, чем на машинах с запятой плавающей. Соответственно в этих машинах арифметич. устройства просты по конструкции. Однако программирование для них существенно усложняется вследствие необходимости применять масштабы, а также изменять их в процессе решения с целью уменьшения относит. ошибки (см. Масштабирование).

Г. А. Миронов.

ЗАПЯТОЙ ПЛАВАЮЩЕЙ МЕТОД (floating point method; methode de virgule flottante; Gleitkommamethode, Gleitkommaverfahren) — способ программирования, применяемый на ЭЦМ с запятой фиксированной. Число при этом записывается в двух ячейках (в одной помещаются мантисса и знак числа, в другой — его порядок), и арифметические действия выполняются с помощью СП по правилам, принятым для чисел с плавающей запятой. Число x представляется в виде:

$$x = \text{sign } x \cdot M_x \cdot r^{P_x},$$

где $\text{sign } x$ — знак числа x , M_x — мантисса числа x , r — основание системы счисления, P_x — порядок. Два числа x и y записываются в ячейках a , b , a_1 , b_1 след. образом:

Ячейка	a	b	a_1	b_1
Содержимое	$\text{sign } x \cdot M_x$	$\text{sign } y \cdot M_y$	P_x	P_y

В качестве примера рассмотрим сложение чисел $x + y = z$; логическая схема подпрограммы для этого:

$$A_1 P_2 \overset{1}{\uparrow} A_3 \overset{1}{\downarrow} A_4 \overset{1}{\downarrow} A_5,$$

где A_1 — определение разности порядков путем вычитания $(a_1) - (b_1)$; $P_2 \overset{1}{\uparrow}$ — определение знака этой разности и переход к A_4 , если она отрицательна, или к A_3 , если она положительна; A_3 — выравнивание порядков путем сдвига вправо на $|(a_1) - (b_1)|$ разрядов мантиссы M_y ; A_4 — то же для мантиссы M_x ; A_5 — сложение мантисс, нормализация путем сдвига мантиссы (M_z) результата, если произошло переполнение разрядной сетки при сложении, формирование порядка результата и запись его $\text{sign } z$. M_z и P_z в ячейки c и c_1 .

В приведенной подпрограмме нормализация результата влево не предусмотрена (см. Запятая плавающая). Если отсутствие такой нормализации недопустимо снижает точность решения задачи, то ее предусматривают в A_5 . Сложение по СП выполняется в 10—20 раз медленнее выполнения команды сложения чисел с фиксиров. запятой (без нормализации). СП для умножения и деления, применяемые при 3. п. м., реализуются проще, чем СП сложения. Мантиссы чисел при этом умножаются или делятся, а порядки складываются или вычитаются. Скорость выполнения этих СП в 5—10 раз меньше скорости выполнения умножения и деления для чисел с фиксиров. запятой. С целью уменьшения времени решения задачи 3. п. м. применяют совместно с методом постоянных масштабов для тех участков задачи, в к-рых нельзя использовать этот метод.

Г. А. Миронов.

ЗАРЯДКА ЧАСТИЦ в электрическом поле короны (particles charging in corona electric field; charge des particules dans le champs électrique d'effluve; Teilchenladung im elektrischen Feld der Koronaentladung) — адсорбция ионов во внешней зоне коронного разряда на поверхности твердых или жидких частиц, находящихся в газе. Зарядка частиц происходит при их столкновениях с ионами, движущимися вследствие действия электрических сил и из-за диффузии, обусловленной изменением концентрации ионов у поверхности частиц. Величина потока ионов к поверхности частицы, определяющая процесс зарядки [1], может быть подсчитана из общего диффузионного уравнения

$$\frac{\partial N}{\partial t} l_0 = kEn - D \text{grad } n \text{ ионов/сек}, \quad (1)$$

где N — число ионов, попадающих на единицу поверхности частицы ($1/\text{м}^2$); k — подвижность ионов ($\frac{\text{м}}{\text{сек}} \cdot \frac{\text{в}}{\text{м}}$); E — напряженность электрич.

поля у частицы ($\text{в}/\text{м}$); n — концентрация ионов (ионов/ м^3); D — коэфф. диффузии ($\text{м}^2/\text{сек}$); l_0 — единичный вектор. Трудность решения общего уравнения заставляет упрощать задачу, рассматривая отдельно зарядку малых и относительно больших частиц.

Для очень малых сферич. частиц, радиус k -рых сравним с длиной свободного пробега ионов, можно считать, что отток ионов из разрядного промежутка на частицу очень мал. Поэтому в первом приближении полагают $\frac{\partial N}{\partial t} \approx 0$. В этом случае из (1):

$$n = n_0 e^{-\frac{e\phi}{kT}}, \quad (2)$$

где следует учесть, что $k/D = e/kT$; k — постоянная Больцмана ($\partial \text{ж}/\partial \text{град}$); T — абс. темп-ра; n_0 — нач. концентрация ионов коронного разряда; e — заряд иона (кулон). Вокруг частицы устанавливается больцмановское распределение ионов с потенциалом поля $\phi = \int E dR$. Возможно еще большее упрощение (1): принимают, что потенциал ϕ вблизи частицы определяется только зарядом самой частицы $\phi = Q/R$, и получают закон зарядки малых частиц:

$$Q = 4\pi\epsilon_0 \frac{q}{e} kT \ln \left(1 + \frac{1}{4}\pi\epsilon_0 \sqrt{\frac{2\pi}{mkT}} \times \right. \\ \left. \times 2qn_0 e^2 t \right) \text{ (кулон)}, \quad (3)$$

где q — радиус частицы (μ); m — масса иона (кг); ϵ_0 — диэлектрич. проницаемость вакуума. Несмотря на грубое приближение, ф-ла (3) дает удовлетворит. совпадение с эксперимент. значениями зарядов малых частиц ($q < 1 \text{ мк}$). Более точное решение задачи о зарядах малых частиц дано в [2] и [3].

Для относительно больших частиц можно приближенно считать, что концентрация ионов n постоянна, т. е. $\text{grad } n = 0$; $n = n_0$ и

$$\frac{\partial N}{\partial t} = kEn_0 \text{ (ионов/сек)}. \quad (4)$$

Зарядка большой частицы продолжается до состояния, при к-ром суммарное электрич. поле у всей поверхности частицы E становится близким к нулю. Как показали вычисления [4], к этому моменту частица приобретает макс. заряд:

$$Q_m = 4\pi\epsilon_0 \left(1 + 2\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right) E_0 q^2 \text{ (кулон)} \quad (5),$$

где ϵ — диэлектрич. проницаемость вещества частицы и E_0 — напряженность поля коронного разряда в области нахождения частицы (в/м). Закон кинетики зарядки большой частицы [4] имеет вид:

$$Q = Q_m \frac{\pi k n_0 e t}{4\pi\epsilon_0 + \pi k n_0 e t}. \quad (6)$$

При обычных концентрациях ионов в коронном разряде ($n_0 \approx 10^{14}$ ионов/ м^3) скорость зарядки велика, и за 0,1 сек. частица приобретает 0,95 своего макс. заряда. Очевидно, что для больших и малых частиц имеют силу оба закона зарядки. Однако они проявляются при этом в разной степени, и приближенно можно считать, что заряд частиц с $q < 1 \text{ мк}$ определяется ф-лой (3), а частиц с $q > 1 \text{ мк}$ — (6), если напряженность электрич. поля во внешней области короны имеет значение $30 \text{ кВ/м} < E_0 < 150 \text{ кВ/м}$ и время пребывания частицы в этой зоне не превышает 3 сек. Эти условия обычно выполняются при пром. использовании коронного разряда. Во всех др. случаях нужно применять выражения для комбиниров. зарядки, где приближенно учитываются оба механизма 3. ч. [3].

Ф-лы (3) и (6) пригодны для расчета лишь в случае малых концентраций частиц, когда отсос ионов на частицы слабо изменяет ср. плотность ионов в коронном разряде. При большом количестве частиц пыли в газе 3. ч. определяется не только нач. концентрацией ионов n , но и пространств. зарядом окружающих ее частиц PQ , где P — концентрация частиц и Q — заряд одной частицы. Учет этого фактора приводит к др. закону кинетики 3. ч. с $q > 1 \text{ мк}$:

$$\frac{1}{4\epsilon_0} k n_0 e t = \frac{1}{1-\xi} \cdot \frac{v}{1-v} + \frac{\xi}{(1-\xi)^2} \ln \left| \frac{1-v}{1-\xi v} \right|, \quad (7)$$

где $\xi = \frac{PQ_m}{n_0 e}$ — относит. концентрация частиц в газе, $v = Q/Q_m$ — относит. заряд частицы. Легко видеть, что при малой запыленности, когда $\xi = 0$, ф-ла (7) переходит в (6). Если пыли много и $\xi = \frac{PQ_m}{n_0 e} = 1$, практически все ионы распределены между частицами. Наступает т. н. *короны запыление*, при к-ром все заряды переносятся медленными частицами. Пыли может быть так много, что частицы не смогут получить макс. заряд, и в этом случае их предельный заряд будет равен

$$Q_{\text{пр}} = n_0 e / P. \quad (8)$$

3. ч. в электрич. поле короны определяет силы, действующие на частицы, и их движение в таких устройствах, как электрофилтры, электросепараторы, в аппаратах для электрич. окраски и т. п.

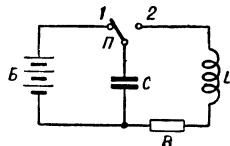
Лит.: 1) Arendt P., Kallmann H., «Z. Phys.», 1926, Bd 35, H. 6, S. 421; 2) Deutsch W., «Ann. Physik», 1922, Bd 68, S. 335; 3) Капцов Н. А., Коронный разряд и его применение в электрофилтрах, М.—Л., 1947; 4) Pauthenier M., (et M-me Moreau-Hanot M.), «J. phys. et radium», 1932, t. 3(7), № 12, p. 590. Е. М. Балабанов.

ЗАСЫЛКА (carry; report; Übertrag) — 1) Оператор программы или оператор логической схемы, осуществляющий вынос величин в стандартные ячейки. 2) Перенос кодов из каких-либо ячеек оперативного ЗУ в стандартные ячейки (см. *Вынос величин в стандартные ячейки, Операторы программы, Ячейки стандартные*). Н. А. Крицкий.

ЗАТУХАНИЕ (attenuation, damping; attenuation, amortissement, affaiblissement; Dämpfung, Abklingen) — уменьшение амплитуды колебаний во времени или пространстве, связанное с рассеянием энергии колебаний. 3. колебаний тока в электрич. контуре вызывается рассеянием электрич. энергии на активном сопротивлении; 3. звуковых колебаний — поглощение энергии этих колебаний в среде. Ю. Ф. Качатов.

ЗАТУХАНИЕ КОНТУРА [network damping (attenuation); affaiblissement de circuit oscillant; Kreisdämpfung] — параметр, характеризующий процесс уменьшения амплитуды собств. *затухающих колебаний* колебательного электрич. контура. Процесс затухания колебаний характеризуется отношением амплитуд A_n и A_{n+1} , двух произвольно выбранных и следующих друг за другом крайних отклонений в одну сторону. Величина $d = \frac{1}{\pi} \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} = 2 \frac{\delta}{\omega}$, где $\delta = R/2L$, наз. затуханием контура (см. рис.). С параметрами контура 3. к. связано соотношением $d = R\sqrt{C/L} = R/q$, где $q = \sqrt{L/C}$ — волновое сопротивление контура. Величина, обратная 3, к., наз. *добротой*.

ностью колебательного контура, или качеством контура, и обычно обозначается буквой Q . З. к. и его добротность характеризуют относит. уменьшение энергии колебаний за время T между двумя

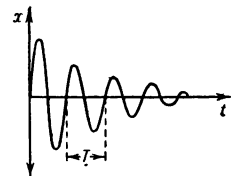


следующими друг за другом крайними отклонениями. Т. к. затухающие колебания являются непериодич. процессом, то величина T может быть названа периодом

лишь условно. Однако этот термин применительно к затухающим колебаниям часто используется без всяких оговорок. Величина Φ , в π раз большая З. к., наз. логарифмич. декрементом З. к. Часто прилагательное «логарифмический» опускают. Величина $1/\Phi = \omega/2\pi\delta = \delta T$ равна числу периодов колебаний, после к-рого амплитуда колебаний уменьшается в $e = 2,718$ раз.

Лит.: Асеев В. П., Основы радиотехники, М., 1947; Гоноровский И. С., Основы радиотехники, М., 1957. Л. Н. Канцов.

ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ [damped oscillations (vibrations); oscillations amorties; abklingende Schwingungen, gedämpfte Schwingungen] — колебания, «амплитуда» к-рых с течением времени уменьшается. З. к. не являются периодич. процессом, поэтому применение для их описания терминов «амплитуда» колебаний, «частота» или «период колебаний» является нестрогим. З. к. наблюдаются в колебат. системах, в к-рых действуют силы, вызывающие переход энергии колебаний в тепловую энергию. В механич. системах причиной затухания колебаний являются силы трения, в электрич. — омич. сопротивление элементов, составляющих электрич. цепь. Математически наиболее просто описывается процесс собств.



ственных З. к. в линейной колебат. системе с одной степенью свободы. Ур-ние процесса можно записать, если известна зависимость силы F , вызывающей затухание колебаний, от скорости движения $\frac{dx}{dt}$ (x — смещение).

Практически интересен случай, когда сила F пропорциональна скорости: $F = -r \cdot dx/dt$, где знак минус учитывает то, что сила F всегда направлена против скорости движения. Ур-ние колебаний в рассматриваемом случае имеет вид

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + r \frac{dx}{dt} + kx = 0. \quad (1)$$

Физич. смысл коэфф. m , r и k зависит от природы системы. Для механич. системы, состоящей из груза, подвешенного на пружине, m — масса груза, k — коэфф. жесткости пружины, r — коэфф. трения. В электрич. колебат. контуре (см. *Затухание контура*), при условии, что переменная x соответствует величине заряда конденсатора контура, m есть индуктивность катушки (обычно обозначается через L), k — величина, обратная емкости конденсатора контура C , r — омич. сопротивление контура.

Решение ур-ния (1) имеет вид

$$x = Ae^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi)$$

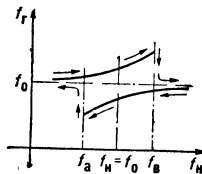
и является математич. записью одного из видов З. к., изображенного графически на рис. Величины A и φ определяются нач.

условиями. Угловая частота $\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \delta^2}$ тем меньше, чем быстрее убывает амплитуда колебаний, т. е. чем больше коэфф. затухания системы $\delta = \frac{r}{2m}$. Величина, обратная коэфф. затухания, равна времени, за к-рое амплитуда З. к. уменьшается в $e = 2,718$ раз (e — основание натуральных логарифмов). При уменьшении затухания и стремлении δ к нулю ω стремится к собств. частоте системы без затухания $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ (см. *Собственные*

колебания), а колебания становятся *незатухающими колебаниями*. С др. стороны, при $\delta \rightarrow \omega_0$ период З. к. стремится к бесконечности, а при $\delta \geq \omega_0$ процесс З. к. сменяется аperiodическим (см. *Аperiodические системы*), иначе — лимитационным.

Лит.: Стрелков С. П., Введение в теорию колебаний, М.—Л., 1950. Л. Н. Канцов.

ЗАТЯГИВАНИЕ ЧАСТОТЫ (pulling of frequency; trainage de fréquence; Mitnahme, Mitnahmeerscheinung, Zieherscheinung) — явление, наблюдаемое в автогенераторе при расстройке контура нагрузки, в результате к-рого в ту же сторону изменяется частота колебаний автогенератора, причем возникновение колебаний становится возможным на любой из двух частот, расположенных вблизи собств. частоты контура. Область частот, в пределах к-рой возможно это явление, наз. *петлей затягивания*. З. ч. значительно ухудшает стабильность частоты автогенератора, т. к. делает ее зависящей от параметров нагрузки. Для борьбы с этим вредным явлением между автогенератором и его нагрузкой помещается *буферный каскад*. При связи колебат. контура автогенератора с колебат. контуром нагрузки, превышающей критическую (см. *Связанные цепи*), в системе из двух контуров имеют место две частоты связи, лежащие выше (быстрая) и ниже (медленная) резонансной частоты контура. *Частотная характеристика* системы в этом случае имеет вид двугорбой кривой. Поэтому становится возможным возбуждение автогенератора на любой из частот связи. При перестройке резонансной частоты контура нагрузки частоты связи будут изменяться. Поэтому частота колебаний автогенератора будет зависеть от настройки этого контура. При приближении собств. частоты контура нагрузки f_n к собств. частоте контура автогенератора f_0 со стороны более низких частот (рис.) частота колебаний автогенератора f_r будет следовать за f_n , пока не достигнет верхней частоты связи f_b , а затем скачком изменится до меньшего значения. При изменении собств. частоты контура нагрузки в обратном направлении скачок частоты получится в точке f_a , где f_n меньше f_0 , т. е. на нижней частоте связи. Из рис. видно, что в диапазоне частот от f_a до f_b частота колебаний, генерируемых автогенератором, может быть или выше или ниже собств. частоты его контура, смотря по тому, откуда производится перестройка частоты контура



нагрузки; это изменение частоты f_g носит петлеобразный (гистерезисный) характер, при к-ром прямое ее изменение не совпадает с обратным.

Наиболее сильно явление 3. ч. проявляется у генераторов СВЧ, к-рые не могут быть защищены от влияния нагрузки. В радиолокац. станциях, напр., генератор СВЧ в передатчике обычно связывается передающей линией непосредственно с ВЧ нагрузкой (антенной). При вращении антенны величина и характер нагрузки генератора СВЧ несколько меняются вследствие отражений энергии от вращающихся сочленений в линии связи и от объектов, расположенных в непосредств. близости от антенны. Наличие отражений приводит к изменению величин активной и реактивной составляющих сопротивления антенны, вносимых в колебательную систему генератора. При сильной связи с нагрузкой (что необходимо для отдачи в нее макс. мощности) это может привести к изменению частоты колебаний, генерируемых генератором, и к ее затягиванию. Влияние колебаний нагрузки на частоту генератора СВЧ характеризуется степенью 3. ч. (наз. иногда коэфф. затягивания), т. е. пределами изменения частоты его колебаний от f_{\min} до f_{\max} при работе на ВЧ нагрузку с пост. величиной коэфф. стоячей волны (см. Волна стоячая), равной 1,5, и изменением фазы отражения волны от нагрузки на 360° . У мощных импульсных магнетронных генераторов степень 3. ч. лежит в пределах 8—25 Мгц и увеличивается при укорочении рабочей длины волны.

Лит.: Евтянов С. И., Радиопередающие устройства, М., 1950; Штейн Н. И., Автогенераторы гармонических колебаний, М.—Л., 1961.

Ю. Б. Любченко.

ЗАХВАТЫВАНИЕ ЧАСТОТЫ (entrainment of frequency; capture de fréquence; Mitziehen, Mitzieheffekt) — принудит. увлечение (синхронизация) собств. колебаний автогенератора внешней периодич. эдс, частота колебаний к-рой мало отличается от частоты собств. колебаний источника. 3. ч. может происходить на унтер-тоне. В этом случае частота автогенератора совпадает с частотой, в целое число раз меньшей частоты внешнего воздействия. Явление захватывания может быть использовано для стабилизации частоты источника колебаний путем синхронизации его частоты высокостабильными колебаниями внешней эдс. Однако в ряде случаев (при гетеродинном приеме незатухающих колебаний, в гетеродинном волномере и в др. аппаратуре, использующей метод биений) явление 3. ч. оказывается вредным, т. к. нарушает норм. условия работы аппаратуры.

При воздействии колебаний внешнего достаточно мощного источника на колебат. систему автогенератора в схеме последнего вначале возникают биения частот собств. f_0 и входящих f_1 колебаний, частота к-рых F равна разности частот обоих колебаний: $F = f_1 - f_0$. В процессе сближения частот f_1 и f_0 начиная с нек-рой разности частот F (рис.) биения скачкообразно исчезают. Происходит 3. ч. автогенератора внешней эдс, и он начинает генерировать колебания на частоте внешнего источника (точка В на рис.). При дальнейшем изменении частоты внешней эдс до точки С автогенератор будет продолжать генерировать на внешней частоте. В точке С вновь скачкообразно возникают биения частот обоих ко-

лебаний F ; частота биений возрастает при дальнейшем увеличении частоты внешнего источника. Явление 3. ч. прекращается, и автогенератор начинает снова генерировать колебания на собств.

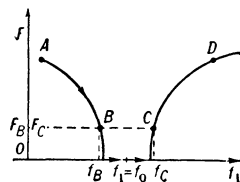
частоте f_0 . Полоса частот, в пределах к-рой биения частот обоих источников не имеют места (от f_B до f_C на рис.), наз. полосой захватывания. В пределах этой полосы частота колебаний автогенератора остается равной частоте внешней периодич. силы, а угол сдвига фаз между колебаниями обоих источников изменяется от -90° до $+90^\circ$ на краях полосы захватывания, проходя через 0 при совпадении обеих частот. Ширина полосы захватывания Δf зависит от соотношения между напряжением внешнего источника E , воздействующего на автогенератор, и напряжением U собств. колебаний автогенератора: $\Delta f = f_0 \frac{E}{U}$. Т. о., полоса захватывания Δf прямо пропорциональна величине внешней периодич. силы и возрастает при увеличении последней. У генераторов релаксационных колебаний полоса захватывания значительно шире, чем у генераторов синусоидальных колебаний. Это обуславливает широкие возможности использования первых в режиме внешней синхронизации.

Лит.: Асеев Б. П., Основы радиотехники, М., 1947; Теодорчик К. Ф., Автоколебательные системы, 3 изд., М.—Л., 1952; Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, 5 изд., М., 1954.

Ю. Б. Любченко.

ЗАЩИТА В СИСТЕМАХ ТУ—ТС (protection in remote control system; protection en télécommande; Schutz gegen Fehlschaltung und Fehlsignalisierung in der Fernsteuerung) — совокупность методов и средств, предотвращающих путем использования избыточности информации ложное управление объектами и ложную сигнализацию об их состоянии, к-рые могли бы произойти в результате искажения сигнала или повреждения аппаратуры. Обычно при построении схем защиты учитывается вероятность только единичного искажения сигнала под действием помех или повреждения в аппаратуре. Если, однако, повреждение существенно увеличивает вероятность др. повреждений, то таковые также должны учитываться. Искажения сигнала, вызванные аппаратурным повреждением, часто бывают многократными. За исключением приема кодов с коррекцией искажения, защита строится на принципе невыполнения искаженных сигналов. Контроль за искажением сигнала осуществляется либо контролем сигнала в целом (или его части), либо каждого его элемента.

Защита, основанная на контроле всего сигнала в целом, предполагает фиксацию признаков, общих для любого сигнала данной системы ТУ—ТС, причем наличие или отсутствие искажения может быть установлено по окончании приема всего сигнала или его части. Этот способ в принципе обеспечивает защиту от любого числа однотипных искажений при любых импульсных признаках и позволяет осуществить защиту от повреждений в общих узлах системы.



Защита постоянным числом импульсов с одинаковыми импульсными признаками состоит в том, что в системе используются коды, содержащие не только одинаковое общее число импульсов, но и пост. число импульсов с одинаковым импульсным признаком — коды на одно сочетание. Такая защита может выполняться в цепях дешифратора, для чего последний должен реагировать как на избирающие, так и на неизбирающие импульсные признаки всех элементов кода. Так, напр., при контактной схеме дешифратора цепь выбора для каждого кода составляется последовательным соединением нормально открытых контактов, наборных реле, участвующих в образовании данной цепи, и нормально закрытых контактов всех остальных наборных реле. Применение дешифраторов, структура которых не обеспечивает защиты в их цепях, требует защиты, основанной на контроле числа включающихся индивидуальных элементов. В системах ТУ, использующих коды типа C_n^1 , такая защита

носит назв. «защита от двух». При пользовании кодами на все сочетания для применения защиты по методу пост. числа избирающих импульсов необходимо преобразование кода, осуществляемое либо удвоением числа импульсов, либо разделением комбинаций. В первом случае сигнал кодируется по закону на все сочетания — от одного до n , а передаваемая в канал связи серия из $2n$ импульсов всегда характеризуется постоянством числа избирающих импульсов. Число наборных реле в пункте приема определяется полным количеством импульсов в сигнале,

соответствии с этим выходные цепи дешифратора разделяются на 2 группы, выбор которых производится с помощью реле А и Б (рис. 2), включаемых от дополнит. элементов сигнала.

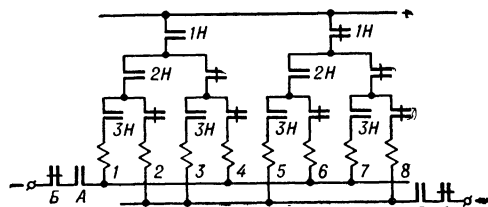


Рис. 2. Контактная пирамида при защите методом деления комбинаций: 1Н—3Н — контакты наборных реле; А и Б — контакты вспомогат. наборных реле.

При единичном искажении сигнала защита обеспечивается переходом в др. группу выходных цепей. Метод зеркального отображения состоит в том, что импульсная серия дополняется подобной же, но зеркально отображен-

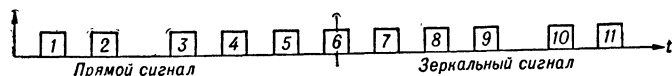


Рис. 3. Защита методом зеркального отображения: 1—5 — импульсы серии выбора; 7—11 — импульсы зеркальной серии.

ной (рис. 3). Импульсы 1—5 образуют серию выбора, а импульсы 7—11 — серию контроля. На приемном пункте сравниваются обе половины импульсной серии и в случае их различия действует защита. Метод подтверждения сигнала состоит в том, что после принятия сигнала выбора на исполнит. пункте посылается обратный, контрольный сигнал.

При совмещении контрольного сигнала с исходным передающая сторона посылает исполнит. сигнал (рис. 4). Заданный и ответный сигналы могут сравниваться как автоматически, так и непосредств. наблюдением. Метод взаимоиключающих сигналов характеризуется сопоставлением в пункте приема полученного сигнала с возможными видами сигнала. Применяется в основном в ТС при использовании

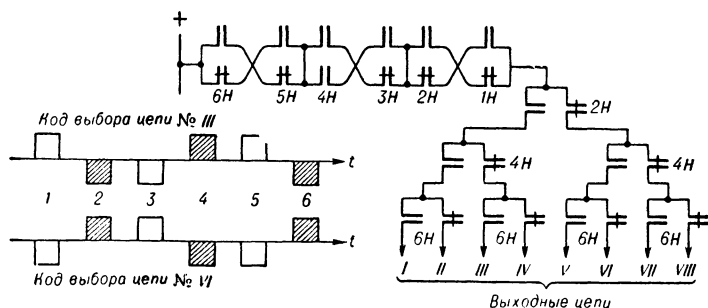


Рис. 1. Контактная пирамида при защите удвоением числа импульсов: 1Н—6Н — наборные реле.

а число ступеней пирамиды дешифратора соответствует половинному числу импульсов. На рис. 1 приведен пример построения подобной схемы. Схема пирамиды образована контактами четных наборных реле; контакты др. наборных реле используются для защиты, построенной из переключающихся контактов всех наборных реле. Контакты каждой пары смежных наборных реле 1Н—2Н, 3Н—4Н, 5Н—6Н соединены по взаимоисключающей схеме. Для образования любой выходной цепи обязательно срабатывание 3 наборных реле. Второй метод преобразования кода на все сочетания основан на том, что любая из выходных цепей образуется за счет четного или нечетного количества избирающих элементов. В

кода типа C_n^1 . При ТС положения двухпозиционных объектов каждому положению соответствует сигнал из 2 импульсов с противоположными импульсными признаками (рис. 5). Искажение одного из импульсов

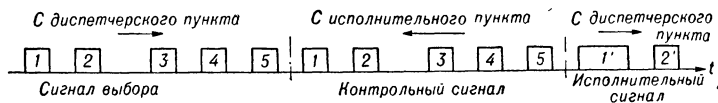


Рис. 4. Защита методом подтверждения сигнала.

приводит к тому, что оба импульса получают одинаковые признаки, что фиксируется элементами защиты.

В бесконтактных циклич. системах защита обычно строится на контроле всего сигнала в целом, причем после приема неискаженного

сигнала управления система автоматически прекращает прием данного сигнала, что вызывается необходимостью предотвращения отмены правильно принятого сигнала в случае искажения его в последующих циклах. Прием др. сигналов управления возможен только по-



Рис. 5. Защита методом взаимоисключающих сигналов,

сле прекращения передачи предыдущего сигнала. В нек-рых циклич. системах применяется защита, основанная на принципе накопления. В этом случае исполнение любого сигнала осуществляется только после приема его в неск. следующих друг за другом циклах. Вспомогат. средством для улучшения защиты в циклич. системах является введение самоконтроля системы, позволяющего контролировать работу основных блоков и узлов и облегчающего защиту при аппаратурных повреждениях (см. *Надежность системы телемеханики*).

Защита, основанная на контроле элемента сигнала, осуществляется проверкой импульсного признака каждого элемента сигнала. Такой принцип пригоден для всех методов избирания как при передаче команд, так и при приеме сигнализации, однако он не обеспечивает защиты от повреждений в местных цепях системы. Выполняется двумя способами: 1) сравнением переданного и возникшего в канале связи импульсов, причем защита на передающей стороне и ее схема зависят от вида импульсного признака; 2) контролем принимаемого импульса, что примени-

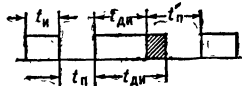


Рис. 6. Защита при контроле элемента сигнала (постоянства паузы): t_n — короткий импульс; $t_п$ — пауза; $t_{дл}$ — длинный импульс; $t_{ди}$ — искаженный длинный импульс; $t'_п$ — искаженная пауза.

мо только к сигналам с временным импульсным признаком. Если, напр., в канал связи передается сигнал, у к-рого время импульса постоянно, а время паузы между импульсами постоянно, то в результате внешних помех искажения сигнала выразятся либо в укорочении удлиненного импульса, либо в удлинении короткого (рис. 6). Любое из этих искажений неизбежно сопровождается нарушением постоянства величины паузы, что контролируется элементами защиты.

Лит.: Гор я н о в О. А. и Р а й н е с Р. Л., Телеуправление, М.—Л., 1954; М а л о в В. С., Телемеханика в энергетических системах, М.—Л., 1951.

Р. В. Билик.

ЗАЩИТА ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ [convertors protection; protection des convertisseurs ioniques (à soupapes électro-iques); Stromrichterschutz] — предусматривается при след. аварийных и ненорм. состояниях: 1) Перегрузка по сравнению с допускаемой по ГОСТу. 2) Короткие замыкания (кз) на стороне выпр-мл. тока, а также внутри выпрямителя (напр., в тр-ре, в соединит. проводах между тр-ром и анодами). Для схемы питания «две обратные звезды с управн. реактором» ток кз

на стороне выпр-мл. напряжения определяется (без учета активных сопротивлений и падения в дуге вентилля) соотношением

$$I_{dk} = \frac{6}{\pi} I_{k2} = \frac{6}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{S_{тр}}{U_2 x_*} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{S_{тр}}{U_2 x_*},$$

где $S_{тр}$ — типовая мощность тр-ра выпрямителя; U_2 — фазное напряжение вторичной обмотки тр-ра; I_{k2} — фазный ток кз; x_* — относит. сопротивление фазы тр-ра, равное напряжению кз тр-ра. 3) Обратное зажига-

ние (потеря вентильности в одном или неск. вентиллях). Ток обратного зажигания I_{03} образуется из тока I_{031} , посылаемого в потерявший вентильные свойства анод вентиллями, принадлежащими к тому же комплекту, что и поврежденный вентиль, и тока I_{032} от источника пост. напряжения, с к-рым данный выпрямитель работает параллельно или к-рый он питает (напр., другие параллельно включенные выпрямители, противо-дс двигателя, электролизной ванны или аккумуляторной батареи и т. п.)

$$I_{03} = I_{031} + I_{032}.$$

В мощных преобразоват. установках амплитудное значение тока I_{031} (примерно через полпериода после возникновения обратного зажигания) достигает значения $(1,5-2) I_{k2}$.

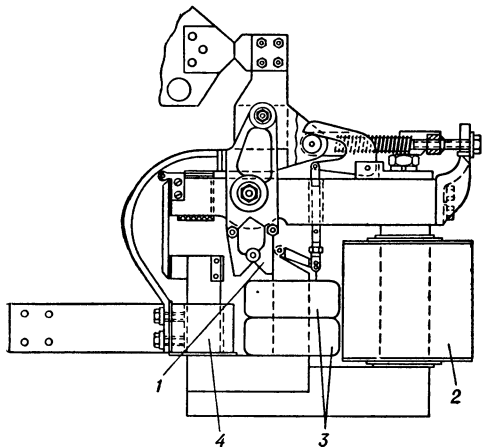
Ток I_{032} стремится к значению $\frac{U_d}{R}$, где U_d — напряжение внешних источников пост. тока; R — омич. сопротивление контура тока I_{032}

$$I_{032} = \frac{U_d}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L_d} t}\right)$$

В мощных установках I_{032} может достигнуть очень больших значений. Так, уже через полпериода ток доходит до $3,5 I_{k2}$ (ок. 80 000 а). 4) В инверторном режиме, когда возможен прорыв запираия (опрокидывание), сопровождающийся протеканием больших аварийных токов. 5) При нарушениях в работе вспомогательных устройств, угрожающих целости ртутного вентилля: снижении вакуума ниже 5—10 мм рт. ст. (в запаянных вентиллях вакуум не контролируется), повышении или понижении темп-ры по сравнению с предписанным завод-изготовителем температурным диапазоном (для совр. ртутных одноанодных вентилей задается узкий диапазон допустимых темп-р порядка 40—45°), прекращении работы системы возбуждения, сеточного управления.

Т. к. аварийные токи нарастают весьма быстро, то осн. требованием к З. в. п. является быстрдействие. Благодаря отсутствию зашеложенных устройств и интенсивному гашению дуги полное время отключения быстрдействующего выключателя составляет 0,02—0,04 сек. На рис. дан один из типов быстрдействующих выключателей (ВАБ-2). В отключенном положении якорь 1 удерживается пружиной в левом положении. Включение осуществляется включающей катушкой 3. При этом якорь 1 поворачивается в правое (показанное на рис.) положение и удерживается потоком держащей катушки 2. Автоматич. отключение достигается, когда поток, создаваемый шиной гл. тока 4, вытесняет из якоря 1 поток держащей катушки. Быстро-

действующие выключатели могут быть установлены в след. точках схемы выпрям. установки: а) в анодной цепи (между тр-ром и вентилем) для разрыва полного тока обратного зажигания $I_{03} = I_{031} + I_{032}$. Для этой



Конструктивная схема быстродействующего выключателя типа ВАВ-2.

цели применяются быстродействующие 6-полюсные анодные выключатели; б) на стороне выпрямл. тока предусматриваются выключатели обратного действия — для разрыва внешней составляющей тока обратного зажигания I_{032} (внутр. составляющая тока обратного зажигания I_{031} при этом ликвидируется либо макс. защитой, действующей на выключатель перем. тока, либо сеточной защитой, запирающей вентили выпрямителя); в) на линиях, отходящих к нагрузке, — быстродействующие выключатели прямого действия — для защиты от кз в линиях.

Действие сеточной защиты заключается в снятии с помощью спец. быстродействующего сеточного реле положит. импульсов. В результате, после перехода анодных токов через нулевые значения, соответствующие вентили окажутся запертыми и не зажгутся вновь. Скорость действия сеточной защиты не более 0,01 сек. Сеточная защита ликвидирует только внутр. ток обратного зажигания I_{031} . При большом токе обратного зажигания действие сеточной защиты недостаточно надежно; поэтому ее не рекомендуется применять при выпрямл. напряжении более 1500 в.

В инверторном режиме защита при прорыве осуществляется быстрейшим снятием входного напряжения — с помощью быстродействующего выключателя прямого действия на входе инвертора или сеточного запирающего вентилей выпрямителя, если источником входного напряжения является ионный выпрямитель.

Т. к. германиевые, а также кремниевые вентили весьма чувствительны к перегрузкам, рекомендуются: 1) индивидуальная защита каждого вентиля от перегрузок спец. быстродействующими предохранителями. При срабатывании предохранителя включается присоединенная параллельно ему лампочка, указывающая, в каком вентиле произошло повреждение; 2) защита от внутр. и внешних кз и перегрузок, действующая на короткозамыкатель, шунтирующий питание перем. током; а своими вспомогат. контактами — на

отключение выключателя со стороны перем. тока; одновременно срабатывает сигнализация, указывающая, в какой ветви произошло кз; 3) защита от кз перегрузок всего ПП выпрямителя, действующая на короткозамыкатель, как в п. 2; 4) защита от перенапряжений — см. *Перенапряжения в вентильных преобразователях.*

ЗАЩИТА ГОРОДСКИХ СЕТЕЙ (local network protection; protection des réseaux urbains; Stadtnetzschutz) — совокупность защитных устройств, применяемых в городской электр. сети для ликвидации нарушений норм. режима. Стремясь к макс. упрощению защитных устройств, применяют гл. обр. простейшие релейные защиты в сочетании с плавкими предохранителями. Релейная защита, как правило, имеет двухфазное и, в зависимости от требований чувствительности, однорелейное или двухрелейное исполнение на оперативном перем. токе.

Тип используемой защиты определяется элементом сети. Оsn. видом для питающих и распределит. сетей 6—10 кВ является макс. токовая защита с использованием реле прямого действия, встраиваемых в приводы выключателей, или реле, имеющих контактную систему, которая позволяет осуществлять защиту по принципу демультипликации катушки отключения выключателя. При параллельной работе питающих линий 6—10 кВ со стороны распределит. подстанций предусматривается макс. направленная защита, выполняемая по 90°-ной схеме, или продольная дифференц. защита. Сигнализация однофазных замыканий на землю в питающих и распределит. сетях 6—10 кВ осуществляется приборами направл. действия.

Защита понижающих тр-ров распределит. сетей 6—10 кВ выполняется со стороны первичного напряжения предохранителями с кварцевым наполнителем большой разрывной способности, со стороны вторичного напряжения — плавкими предохранителями или термореле, встраиваемыми в механизмы расцепления автоматич. выключателей. Элементы распределит. сетей до 1000 в защищаются плавкими предохранителями, номин. данные к-рых выбираются в соответствии с пропускной способностью защищаемого элемента.

В совр. сетях, обеспечивающих повыш. уровень бесперебойности электроснабжения, защитные устройства производят локализацию возникающих нарушений норм режима одновременно с автоматич. вводом в работу резервных элементов (см. *Автоматическое включение резерва*). Тип устройства в таких случаях органически сочетается со схемой распределит. сети. Напр., для замкнутых сетей со стороны напряжения до 1000 в избирает. защита и автоматич. изменение режима работы сети при повреждении ее элементов достигаются без нарушения бесперебойности электроснабжения потребителей. Для этого применяются релейная защита в сети 6—10 кВ и автоматы обратной мощности, устанавливаемые на стороне вторичного напряжения тр-ров. В распределит. сетях, выполняемых по т. н. самособирающейся схеме, локализация без нарушения бесперебойности осуществляется применением автоматич. устройств, содержащих предохранители 6—10 кВ большой разрывной способности в сочетании с автоматич. выключателями нагрузки.

Лит.: Глазунов А. А., Глазунов А. А., Электрические сети и системы, 4 изд., М.—Л., 1960; Правила устройства электроустановок, раздел 3, М.—Л., 1957; Федосеев А. М., Релейная защита электрических систем, М.—Л., 1952; Солдаткина Л. А., Вопросы проектирования городских электрических сетей, М., 1956; Петько Н. И., Релейная защита и автоматика на городских электростанциях и сетях, М., 1960. В. А. Козлов.

ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, релейная защита (protection of alternating current supply lines; protection des lignes d'énergie à courant alternatif; Schutz von Drehstromfernleitungen), — комплекс автоматич. устройств, отключающий в случае повреждения линии или ненорм. условий ее работы определ. элемент электропередачи (генератор, тр-р, линию, нагрузку и др.) или действующий на сигнал. Информация о состоянии защищаемого элемента в виде сведений о величине токов и напряжений непрерывно поступает в защитное устройство, к-рое обрабатывает ее по заранее предусмотр. программе и в случае нарушения нормального режима работы устанавливает место и вид повреждения.

В общем случае к релейной защите (РЗ), действующей при повреждениях на отключение, предъявляются требования: 1) селективности, 2) быстроты, 3) чувствительности, 4) надежности. К защитам, действующим на сигнал, часть требований (напр., быстрота) может не относиться. Селективное действие РЗ, обеспечивающее отключение только поврежд. элемента, при наличии резервирования питания, а также устройств автоматического повторного включения (АПВ), автоматического включения резерва (АВР) и др. средств автоматики, позволяет при достаточном быстродействии исключить перемены в электроснабжении потребителей. Миним. время срабатывания совр. РЗ 0,02—0,04 сек. Устройства РЗ (за исключением неск. типов) выполняются на электр. принципе с использованием токов и напряжений защищаемого элемента.

Осн. элементами РЗ являются гл. органы (пусковые, измерительные), срабатывающие при нарушениях нормального режима работы защищаемого элемента, и логическая часть, которая в соответствии с комбинацией сигналов, получаемых от главных органов, может подать сигнал на отключение элемента или сигнализацию. Для питания логич. части РЗ и др. целей используется оперативный ток — постоянный от независимого источника (аккумуляторные батареи) или переменный от трансформаторов тока и напряжения и сети низкого напряжения установки.

По способам обеспечения селективности РЗ делятся на 2 группы. В относительно селективных защитах селективность достигается ступенчатым выбором (напр., по времени и по току) уставок защит последоват. элементов, каждая из к-рых может реагировать на данное повреждение (защиты токовые, токовые направленные и дистанционные; рис. 1). Абс.

селективные защиты реагируют на повреждение только в защищаемом элементе; это — продольные защиты (рис. 2), основанные на сравнении электр. величин по концам защищаемого элемента, и поперечная дифференц. защита.

Осн. типы защит: токовая — с плавно- или ступенчатозависимыми хар-ками, срабатывающая при превышении током заданного значения; гл. орган — макс. реле тока; параметры срабатывания — ток срабатывания $I_{сз}$ и выдержка времени срабатывания $t_{сз}$.

Направленная токовая — токовая защита, дополненная органом направления мощности; гл. органы — макс. реле тока и реле направления мощности; параметры срабатывания — $I_{сз}$ и $t_{сз}$. Дистанционная — выдержка времени к-рой зависит от отношения напряжения U_p к току I_p , подводимых к реле, и угла φ_p между ними; автоматически увеличивается по мере возрастания расстояния от места включения защиты до точки повреждения; гл. органы — реле сопротивления; параметры срабатывания — сопротивление $z_{сз}$ и $t_{сз}$ защиты. Дифференциальные — основаны на сравнении электр. величин по концам защищаемого элемента или в к-л. его точках. Различают: а) продольную дифференц. токовую защиту с применением вспомогат. проводов и непосредств. сравнением комплексов токов; гл. органы — реле тока; параметр срабатывания — $I_{сз}$; б) поперечную дифференц. защиту, гл. органы к-рой сравнивают токи параллельных линий; гл. органы — макс. реле тока (иногда дополняются миним. реле напряжения), реле направления мощности; параметры срабатывания — ток $I_{сз}$ (напряжение $U_{сз}$). Высокочастотная, или радиопродольная, защита, в к-рой связь между концами защищаемого элемента обеспечивается током ВЧ, передаваемым по защищаемому элементу, или спец. радиоканалами.

На каждом элементе электропередачи, как правило, устанавливается защита, обеспечивающая отключение всех повреждений на защищаемом элементе и действующая в качестве резервной при повреждениях на смежных элементах. Если осн. защитой является абсолютно-селективная защита, то резервной — отдельная относительно-селективная защита. В соответствии с правилами устройства электротехнич. установок [2] на элементах электропередачи предусматривается: 1) Защита турбогенераторов большой мощности (рис. 3): а) от многофазных замыканий в обмотке статора — продольная дифференц. токовая защита без замедления ($8,9PTH$), действующая на отключение генератора и автомат гашения поля (АГП); б) от замыканий на землю в обмотке статора — токовая защита нулевой последовательности ($10, 11PT, 25PB$),

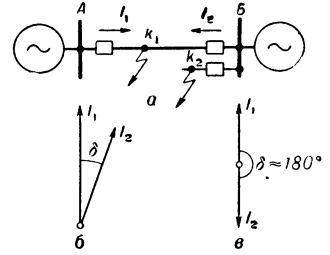


Рис. 2. Принцип действия продольной защиты: а — схема линии и условные положит. направления токов с двух сторон; б — векторная диаграмма токов при кз на линии k_1 ; в — векторная диаграмма токов при внешнем кз k_2 .

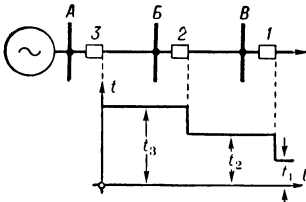


Рис. 1. Хар-ки выдержек времени макс. токовых защит со ступенчатозависимой выдержкой времени.

действующая на отключение генератора и АГП; в) от замыканий между витками одной фазы в обмотке статора (при наличии выведенных параллельных ветвей обмотки и их соединении в звезду) — односистемная дифференц. защита (15РТФ, 24РВ), действующая на отключение генератора и АГП; г) от внешних

всех видов повреждений внутри кожуха и от понижения уровня масла — газовая защита, действующая на сигнал при слабом газообразовании и, как правило, на отключение — при сильно; б) от кз в обмотках и на выводах — продольная дифференц. защита без замедления (на тр-рах небольшой мощности — токовая

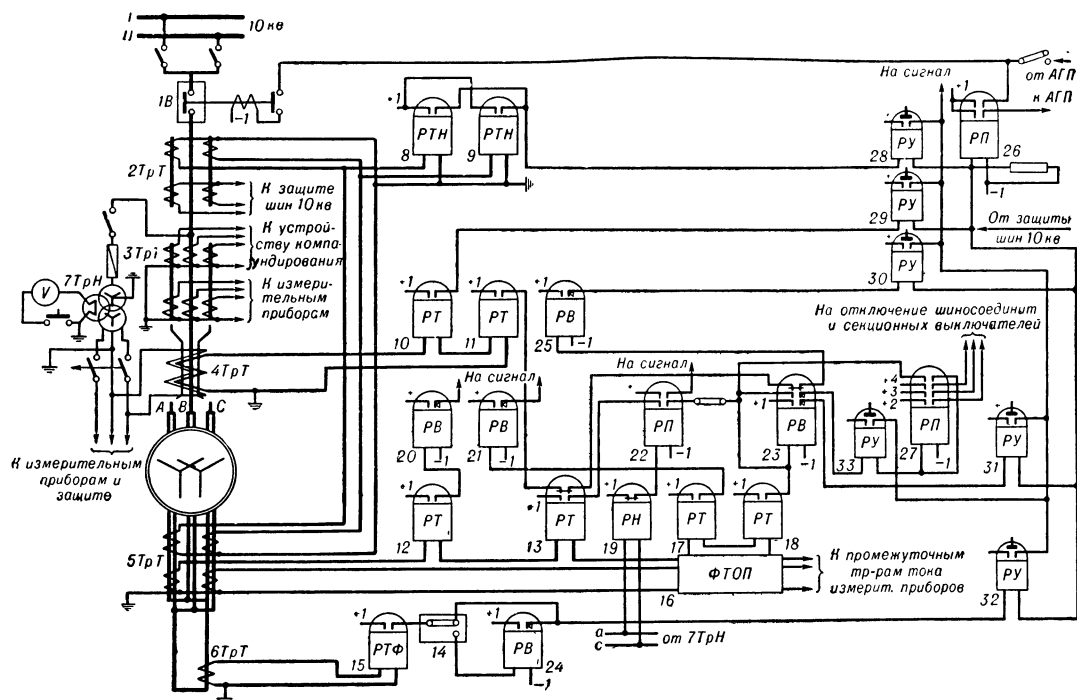


Рис. 3. Схема защиты турбогенератора мощностью 50—60 Мвт ($U_{\text{ном}}=10$ кВ): 1В — выключатель; 2ТРТ, 3ТРТ, 5ТРТ, 6ТРТ — тр-ры тока; 4ТРТ — тр-тока нулевой последовательности типа ТНПШ; 7ТРТН — тр-р напряжения; 8,9РТН — реле тока с насыщающимися тр-рами типа РНТ-562; 10РТ, 12РТ — реле тока ЭТ-521; 11РТ — реле тока ЭТД-551/60; 13РТ — реле тока ЭТ-523; 15РТФ — реле тока ЭТ-521/Ф; 16ФТОП, 17, 18РТ — фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2; 19РН — реле напряжения ЭН-529/160; 20, 21, 23, 24, 25РВ — реле времени; 22, 26, 27РП — реле промежуточные; 28—33РУ — реле указательные.

кз (резервная) — токовая защита обратной последовательности (16ФТОП, 18РТ, 23РВ) с приставкой (13РТ, 19РН) для действия при симметричных повреждениях. Как правило, защита имеет две выдержки времени; д) от перегрузок токами обратной последовательности — осуществляется защитой от внешних кз, дополненной чувствит. реле тока (17РТ) обратной последовательности, действующим на сигнал; е) от симметричной перегрузки — макс. токовая защита, использующая ток одной фазы (12РТ, 20РВ), действующая на сигнал; ж) от появления второго замыкания на землю в цепи возбуждения генератора (вводится в действие после появления устойчивого замыкания в одной точке), как правило, действующая на сигнал (на рис. 3 не показаны).

В отличие от турбогенераторов, на гидрогенераторах продольная дифференц. защита может действовать на остановку турбины и на автоматич. пожаротушение; дополнительно предусматривается защита от повышения напряжения, действующая на отключение, и защита от замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения (действует на сигнал).

2) Защита трансформаторов и автотрансформаторов: а) от

отсечки и макс. токовая защита), действующая на отключение; в) от сверхтоков внешних кз (резервная) — токовые защиты, выполняемые по схемам, аналогичным схемам резервных защит генераторов (на многообмоточных тр-рах иногда дополняются органом направл. мощности); г) от однофазных кз в сети с большим током замыкания на землю (резервная) на повышающих тр-рах и автотрансформаторах — токовая защита нулевой последовательности, действующая на отключение с выдержкой времени; д) от сверхтоков перегрузки (если она возможна) — макс. токовая защита с действием на сигнал.

На блоках генератор — тр-р (автотрансформатор), образующих один рабочий элемент, нек-рые из защит (продольная дифференц. защита, токовые защиты от внешних кз и перегрузок) могут выполняться для блока в целом, что позволяет уменьшить их количество. Защита от замыканий на землю генератора в блоке осуществляется макс. реле напряжения нулевой последовательности, действующим на сигнал.

3) Защита шин 110 кВ и выше осуществляется присоединенными элементами или спец. дифференц. токовыми защитами без выдержки времени, охватывающими все эле-

менты, присоединенные к секции или системе шин. Спец. защита шин генераторного напряжения выполняется преим. в виде неполной (охватывает только питающие элементы) дифференц. двухступенчатой защиты с токовой отсечкой, комбиниров. отсечкой по току и напряжению или дистанц. защитой в качестве первой ступени и чувствительной макс. токовой защитой с выдержкой времени в качестве второй, предназнач. для резервирования.

4) Защита линий от кз осуществляется (в зависимости от номин. напряжения, конфигурации и режима заземления нейтралей, требований селективности, быстродействия и ряда др. условий) устройствами РЗ из числа перечисл. выше осн. типов. В случае применения относительно-селективных защит, выполняющих одновременно ф-ции основных и резервных (обычно в сетях 110 кВ и ниже), используются токовые защиты со ступенчато-зависимыми хар-ками выдержки времени и дистанц. защиты; при выполнении осн. защит в виде абсолютно-селективных (обычно в сети 110 кВ и выше) предусматриваются отдельные резервные относительно-селективные защиты (токовые и упрощенные дистанционные). В сетях 35 кВ и ниже, работающих, как правило, с изолиров. или заземл. через дугогасящие катушки нейтральями, в тех случаях, когда устройство контроля изоляции, установленное на шинах, не позволяет достаточно быстро определить поврежд. линию, предусматривается селективная защита от однофазных замыканий на землю. Эта защита действует на сигнал или, когда это необходимо по условиям техники безопасности (сети 2—10 кВ, питающие торфопредприятия, передвижные строит. механизмы и др.), на отключение без замедления.

5) Для защиты потребителей электроэнергии от кз используются плавкие предохранители (обычно при напряжении до 1 000 В), а также наиболее простые и надежные устройства РЗ (при напряжении 3—10 кВ).

Широко применяемые сложные электроме-ханич. реле имеют ряд недостатков. ПП реле (направления, мощности, сопротивления и др.) и схемы защит (дистанционные, высокочастотные) обладают повыш. чувствительностью и быстродействием и меньшими габаритами. Ведутся работы по совершенствованию ПП устройств РЗ, выяснению возможностей применения магнитных элементов с прямоуг. петлей гистерезиса и по выявлению новых принципов выполнения РЗ (использование электр. величин волновых процессов в линиях, зондирование состояния изоляции импульсами токов ВЧ и др.).

Лит.: 1) Федосеев А. М., Основы релейной защиты, 2 изд., М.—Л., 1961; 2) Правила устройства электроустановок, М.—Л., 1957. В. Г. Дорожников.

ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПОСТОЯННОГО ТОКА (protection of direct current supply lines; protection des lignes d'énergie à courant continu; Schutz von Gleichstromfernleitungen) — комплекс автоматических устройств, осуществляющих контроль за отклонением режима работы передачи от нормального и обеспечивающих подачу сигнала, перевод передачи в др. режим работы или отключение передачи и отдельных ее элементов.

Осн. органы З. э. п. т. (измерит. элементы) реагируют на повреждения в передаче или

нарушения норм. режима работы и посылают сигналы на логические элементы. Логич. элементы оценивают сигналы и в зависимости от их сочетания и очередности изменяют режим работы, обеспечивают действие устройств сигнализации или автоматич. отключение передачи, а также отдельных ее частей. З. э. п. т. охватывает преобразоват. подстанций, линию передачи и заземляющие линии. Защита реверсивных передач выполняется с учетом работы преобразоват. подстанций в выпрямит. или инверторном режимах.

Большинство повреждений в схемах преобразования и на воздушной линии носит неустойчивый характер. Поэтому на каждой полупериоду передачи установлены устройства, позволяющие осуществлять двукратное автоматическое повторное включение (АПВ) передачи и АПВ отдельных мостов после их отключения от защиты. Кроме того, на выпрямит. подстанции предусмотрено устройство, позволяющее в нек-рых случаях перед запуском сеток выпрямителя автоматически переводить выпрямитель в инверторный режим работы. При этом уменьшаются перенапряжения в передаче, т. к. энергия, запасенная в линии, отдается в систему перем. тока.

Выполнение З. э. п. т. и их действие определяются особенностями протекания аварийных процессов в электропередаче и схемой преобразования. При соответствующем выполнении защиты преобразоват. подстанции удается автоматически без перерыва в передаче электроэнергии выводить из работы только поврежд. мост, не допуская существ. уменьшения передаваемой мощности. Заземление ср. точки схемы преобразования на каждом конце передачи делит передачу на две полупериоды и почти устраняет влияние аварийных процессов одной полупериоду (полюс — земля) на другую. Для каждой полупериоду выполняется независимая друг от друга своя система защиты. Установка шунтирующих вентилях на инверторной подстанции обеспечивает (без устройства спец. связи между концами передачи) четкую работу защиты выпрямителя. конца в тех случаях, когда при повреждениях на стороне инвертора требуется хотя бы кратковременно прекратить передачу мощности по линии. При этом защита инвертора воздействует на зажигание шунтирующих вентилях, закорачивая передачу на стороне пост. тока, а защита от кз на выпрямит. подстанции отключает передачу (запуском сеток выпрямителей).

Наиболее характерным видом повреждения преобразователей в выпрямит. режиме является обратное зажигание, к-рое приводит к перемагничиванию двух- и трехфазному кз схемных обмоток тр-ра, а в инверторном режиме — опрокидывание инвертора. На линии передачи возможны замыкания полюса на землю, к-рые при заземлении ср. точки схемы преобразования приводят к кз полупериоду передачи.

На рис. дана принцип. схема полупериоду передачи пост. тока и присоединений защиты. Осн. защиты на выпрямительной подстанции: 1) Дифференц. защита преобразоват. моста реагирует на все повреждения в преобразователе, вызывающие нарушения норм. соотношения между пост. и перем. токами моста. Осн. назначение — защита от обратных зажиганий. Датчиками информации о работе моста являются тр-ры тока TrT и тр-ры пост. тока $TrPT$, установл. со стороны линии.

Зона действия защиты ограничивается ее тр-рами тока. Реле защиты имеет рабочую и тормозную обмотки, при нарушении баланса токов в к-рых защита срабатывает. Осн. требование к защите — быстрое (0,5—1 мсек) запирающее сеток выпрямителя, предотвращающее ввод в работу неповрежд. вентилей. Защита действует на записание вентилей моста, зажигание шунтирующего вентиля и на устройство автоматич. повторного ввода

выпрямитель, т. к. ток по линии со стороны инвертора к месту кз не проходит.

На инверторной подстанции установлены аналогичные защиты. Дифференц. защита моста реагирует на однофазные опрокидывания инвертора, т. к. в этом случае нарушается баланс токов на входе и выходе моста (периодически закорачивается мост через вентили и прекращается протекание тока в фазах тр-ра преобразователя). По принципу действия защита

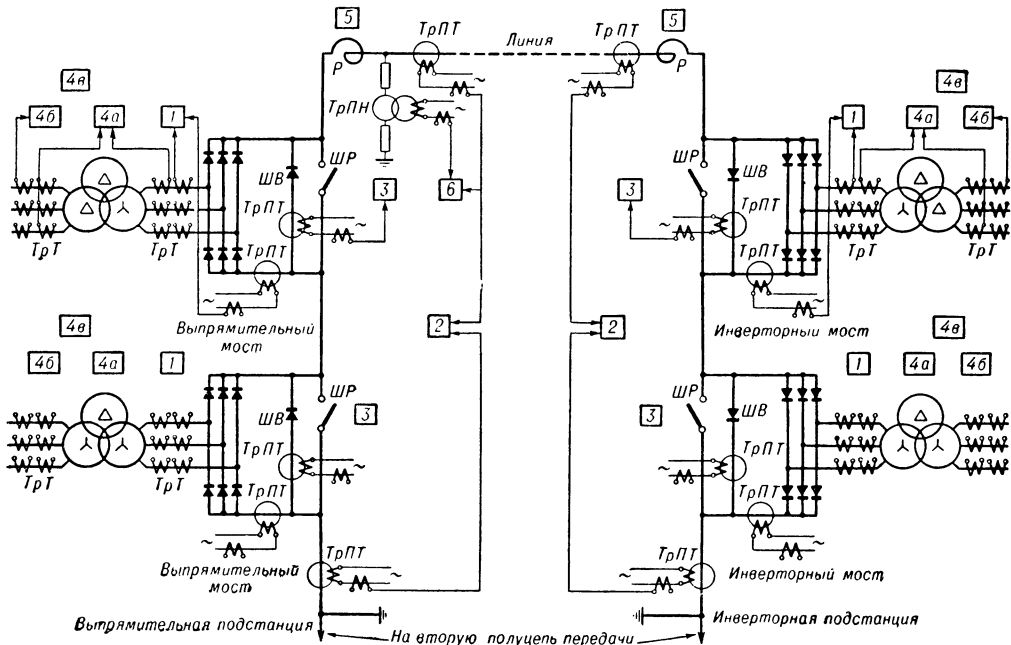


Схема устройств защиты полупеи передачи пост. тока: 1 — дифференциальная защита моста; 2 — защита полупеи от замыканий на землю; 3 — защита шунтирующего вентиля; 4а — дифференциальная защита тр-ра; 4б — защита тр-ра от перегрузки и внешних повреждений; 4в — газовая защита тр-ра; 5 — газовая защита сглаживающего реактора; 6 — защита линии от кз.

моста в работу. 2) Дифференц. защита полупеи передачи реагирует на замыкания на землю в мостовой схеме преобразования и действует с выдержкой времени на запуск АПВ полупеи, если повреждение к тому времени не устранено защитой моста. При неуспешном АПВ отключается полупея передачи. Датчиками информации являются ТрПТ, установлен. на выводах полупеи передачи. Информация поступает через дифференц. тр-р защиты на реле тока. 3) Токовая защита шунтирующего вентиля ШВ срабатывает с выдержкой времени при длит. протекании тока в его цепи, к-рое может иметь место при пробое ШВ или отказе включения шунтирующего разъединителя. Защита действует на включение шунтирующего разъединителя и при неуспешном включении — на отключение полупеи передачи, работает с выдержками времени. Датчиком информации является ТрПТ, установл. в цепи ШВ. 4) Защита тр-ра преобразователя имеет обычное выполнение. Токовая защита тр-ра от внешних повреждений, работающая с выдержкой времени, не реагирует на кз на стороне пост. тока после вентилей, т. к. регулятор тока, установл. на выпрямит. подстанции, не допускает увеличения тока в линии. Защита также не реагирует на кз в сети 3-фазного тока, питающей

не должна реагировать на 2-фазные опрокидывания инвертора, однако и в этом случае она может срабатывать, т. к. ТрТ намагничиваются и перестают трансформировать постоянную составляющую тока. В схеме защиты имеется дополнит. реле, срабатывающее при закорачивании фаз схемой обмотки тр-ра. Защита отключает с выдержкой времени, позволяющей инвертору при кратковрем. нарушениях втянуться в работу. Она действует аналогично защите, установленной на выпрямит. подстанции.

Защита линий от кз устанавливается на выпрямит. подстанции. По принципу действия является защитой миним. напряжения и реагирует на снижение напряжения при кз на линии. Цепь оперативного тока защиты заведена через контакты блокирующего реле тока, к-рое выводит защиту из действия при отсутствии напряжения на линии (включение передачи в работу и т. д.). Защита не обладает избирательностью и реагирует на повреждения в линии и в схеме преобразования; действует на отключение полупеи передачи и запуск устройства АПВ. Применяют избират. защиту, реагирующую только на повреждения в линии. Действие ее основано на разности производных напряжения на линии при кз до и после сглаживающего реактора.

Для защиты сглаживающих реакторов P , установл. по концам линии, используется газовая защита. Необходимо указать на защитные ф-ции, выполняемые подхватывающим и компаундирующим устройствами инверторной подстанции и регулятором тока, установл. на выпрямит. подстанции. Первое устройство предотвращает опрокидывание инвертора при кратковрем. пропусках зажигания. Оно контролирует длительность горения вентилей инвертора и при пропуске зажигания вентилей, вступающего в работу, обеспечивает зажигание следующих по порядку вентилей. Для устойчивой работы инвертора необходимо, чтобы угол погасания его не уменьшался ниже допустимого. Компаундирующее устройство за счет изменения угла опережения поддерживает угол погасания неизменным, обеспечивая в зависимости от напряжения в приемной системе и величины инвертируемого тока устойчивую работу инвертора. Компаундирующее устройство и регулятор тока улучшают условия втягивания инвертора в работу после его опрокидывания.

Заземление ср. точки схемы преобразования выносится за пределы города или насел. пункта и выполняется в виде линии длиной 20—30 км. Контроль исправности заземляющей линии осуществляется спец. автоматич. устройствами.

Лит.: Мелик-Саркисов В. С., Защита электропередачи постоянного тока, в сб.: Известия НИИ постоянного тока, сб. 2, М.—Л., 1957; Ривкин Г. А., Преобразовательные установки большой мощности, 2 изд., М.—Л., 1959. В. М. Маранчак.

ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ (electric drive protection; protection des commande

(напр., вентиляторная установка), и электродвигателей мощностью менее 1 кВт, вне зависимости от типа привода.

З. э. от перегрузки может осуществляться: плавкими вставками предохранителей, применяемых для всех электродвигателей за исключением асинхронных с кз ротором и двигателей пост. тока при безреостатном пуске; максимальными реле; макс. катушками (расцепителями) автоматов; тепловыми реле. Для защиты трехфазных двигателей, работающих от сети с изолированной нейтралью, обычно тепловые реле устанавливаются в двух фазах; этим достигается защита от перегрузки в случае работы двигателя на двух фазах. В системах с заземленной нейтралью реле устанавливают в трех фазах. З. э. от токов кз осуществляется плавкими вставками предохранителей, максимальными реле и макс. катушками автоматов (без выдержки времени). В случае применения для защиты от токов кз автоматов последние должны иметь ток уставки, равный 120% от пускового тока электродвигателя. Защита электродвигателей от чрезмерного снижения или полного исчезновения напряжения обязательна, кроме случаев, когда электродвигатель по условиям технологии. процесса после внезапного снижения или кратковрем. исчезновения напряжения в сети, должен снова автоматически восстановить свою норм. работу. Такие электродвигатели, как правило, не должны иметь защиты от перегрузки. Элементы защит обычно встраиваются в пусковые аппараты (табл.).

Электрические аппараты и встроенные в них защитные элементы.

Наименование аппарата	Требования, к-рым удовлетворяет аппарат по защите			Примечание
	от перегрузки	от токов кз	от снижения напряжения	
Переключатели (рубильники) с предохранителями	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	1. В т. ч. и для кз электродвигателей, если при пуске предохранители будут зашунтированы
Автоматические воздушные выключатели (максимально-нулевые)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. При соответствующих уставках
Магнитные пускатели с тепловыми реле	<input type="checkbox"/>	—	<input type="checkbox"/>	
Контакторы	—	—	<input type="checkbox"/>	3. При перегрузке свыше 30%
Контакторы с реле макс. тока с ограниченой зависимой хар-кой	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. При работе с отсечкой и при $I_{кз}=7 I_{ном}$

Обозначения: ☐ — аппарат полностью удовлетворяет требованиям по защите; ☐ 1 — то же, но при условии, указанном в соответств. примечании.

électriques; Schutz elektrischer Antriebe) — электрические устройства для автоматич. отключения электродвигателей при перегрузке (определяемой перегрузочной способностью электродвигателя), коротких замыканиях и чрезмерном снижении напряжения на зажимах. З. э. от перегрузки считается необходимой для электродвигателей с длит. режимом работы и совершенно обязательной для электродвигателей, работающих во взрывоопасной среде. З. э. от перегрузки не обязательна для электродвигателей, работающих в повторно-кратковрем. режиме; электродвигателей, перегрузка к-рых по технологич. условиям работы электропривода маловероятна

Для отдельных асинхронных электродвигателей (или синхронных с асинхронным запуском), имеющих такую мощность, при к-рой невозможно подобрать комплектную стандартную аппаратуру, следует защиту от перегрузки и токов кз осуществлять с помощью индукц. токовых реле с ограничением зависимой хар-кой и отсечкой (обычно реле макс. тока ИТ-81 или ИТ-82), ток трогания к-рых выбирается равным 130% от номин. тока, а кратность тока отсечки реле по отношению к току трогания — равной кратности пускового тока электродвигателя. Для крупных двигателей пост. тока применяют также защиты от чрезмерного снижения тока возбуждения (реле

обрыва поля — РОП) и от превышения скорости вращения двигателя (с помощью центробежного выключателя).

Лит.: Ривлин Л. Б., Электродвигатели и их эксплуатация, Л.—М., 1950; Воронов В. И., Ловцкий Н. Н., Проектирование силового электрооборудования промышленных предприятий, Л.—М., 1950; Ривлин Л. Б., Обслуживание фабрично-заводских электродвигателей, 6 изд., М.—Л., 1943. Г. М. Иванов.

ЗВУКОВОЕ ДАВЛЕНИЕ (sound pressure; pression sonore; Schalldruck) — избыточное, по отношению к равновесному, давление, возникающее в звуковом поле. З. д. p обусловлено сжатиями и разрежениями среды, в которой распространяется звуковая волна, и связано с плотностью среды ρ формулой $p = c^2 (\rho - \rho_0)$, где ρ_0 — равновесная плотность, c — скорость звука. В плоской волне, распространяющейся в пологит. направлении координатной оси, З. д. пропорционально скорости v частиц среды: $p = \rho_0 cv$. В случае плоских и сферич. волн З. д. выражается через интенсивность волны J и волновое сопротивление среды $z = \rho_0 c$ ф-лой $p = \sqrt{J \cdot z}$. З. д. является перем. во времени величиной, меняющейся, в случае гармонич. волн, с частотой волны. Различают мгновенное, макс. (или амплитудное) и средне-кватратичное (или эффективное) значения этой величины.

З. д. измеряется в барах или атмосферах ($1 \text{ атм} = 981 \cdot 10^3 \text{ бар}$). Амплитудное значение З. д. в воздухе, соответствующее порогу слышимости, равно $2 \cdot 10^{-4} \text{ бара}$; при разгворе средней громкости оно составляет неск. бар. В воде при распространении звуковой волны интенсивностью 10 вт/см^2 амплитуда З. д. достигает $5,5 \text{ атм}$. При З. д. такого порядка в фазе разрежения волны возможен разрыв сплошности жидкости и образование кавитации (см. *Кавитация ультразвуковая*). Перем. З. д., равное в среднем во времени нулю, следует отличать от пост. во времени давления звукового поля. З. д. является важной хар-кой звукового поля.

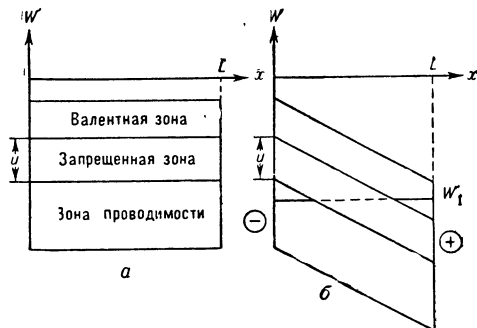
Лит.: Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959. К. А. Наугольных.

ЗВУКОВОЙ ВЕТЕР (quartz wind; vent sonore; Quarzwind) — регулярные течения среды, возникающие в интенсивном звуковом поле. При распространении звуковой волны в вязкой среде энергия волны вследствие диссипации передается внутреннему хаотич. движению молекул среды, а импульс волны, будучи величиной направленной, не может передаться хаотич. движению и переходит к среде, вызывая ее течение. При этом скорость З. в. оказывается пропорц. коэфф. поглощения волны и ее интенсивности, так что частотная зависимость скорости ветра определяется частотной зависимостью коэфф. поглощения. В случае нерелексивующих сред по измерениям скорости З. в. можно определить отношение коэфф. объемной и сдвиговой вязкости. После включения источника звука З. в. разгоняется постепенно, до тех пор, пока торможение за счет вязкости среды не скомпенсирует его разгон под действием звука. При этом поток может турбулизироваться, что приводит к рассеянию звука и искажению звукового поля. З. в. возможен и в идеальной (невязкой) среде, в частности, при распространении в ней одиночных звуковых «пакетов»; в этом случае возникновение З. в. обусловлено тем, что средняя плотность

среды в области пакета отлична от равновесной. Для теоретич. описания явления З. в. необходимо учитывать нелинейные члены в ур-ниях механики сплошной вязкой среды (см. *Нелинейные эффекты в акустическом поле*). З. в. является помехой при измерении интенсивности звука с помощью радиометра, оказывая на него дополни-т. давление. З. в. имеет и полезные применения: на явлении З. в. основана работа нек-рых типов насосов, удобных для работы в агрессивных средах. Образование З. в. у поверхности тел, помещенных в звуковой поток, может увеличить теплоотдачу через их поверхность. Способствуя перемешиванию жидкости, З. в. вызывает дополни-т. полезный эффект при нек-рых промышл. применениях УЗ, как, напр., при ускорении растворения, гомогенизации и др.

Лит.: Стретт Дж. В. (Лорд Рэлей), Теория звука, пер. с англ., т. 2, 2 изд., М., 1955, с. 212, 324; Русаков И. Г., О звуковом ветре, «ЖПФ», 1930, т. 7, вып. 5; Ивановский А. И., Теоретическое и экспериментальное изучение потоков, вызванных звуком, М., 1959. К. А. Наугольных.

ЗИНЕРОВСКИЙ ПРОБОЙ (Zener effect, Zener breakdown; rupture Zener; Zenersches Überschlag, Zener-Durchschlag, Zener-Durchbruch) — увеличение проводимости ПП или диэлектрика в сильном электрич. поле, связанное с туннельным переходом электронов из валентной зоны в зону проводимости. Энергия электрона кристалла ПП или диэлектрика, находящегося в электрич. поле с напряженностью E , линейно зависит от координаты, что на зонной диаграмме изображается наклоном зон (рис.). При этом ста-



Зонная диаграмма: а — в обычном кристалле; б — при наложении поля E ; W — энергия; W_1 — энергия, при к-рой возможен туннельный переход; L — размер кристалла.

новится возможным «горизонтальный» переход электрона из валентной зоны в зону проводимости, если в последней свободны состояния с равной энергией. Возможность таких туннельных переходов впервые рассмотрена амер. физиком К. Зинером, именем к-рого они были названы. По Зинеру, вероятность туннельных переходов

$$f = \exp \left[- \frac{(\pi^2 / h) (2m^*)^{1/2} (\Delta E)^{3/2}}{qE} \right],$$

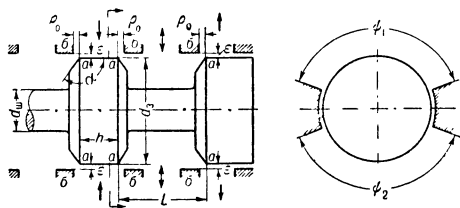
где m^* — эффективная масса, h — постоянная Планка, ΔE — ширина запрещенной зоны, q — заряд электрона. Эффект Зинера можно наблюдать в переходе с сильно легированными областями, т. к. на границе двух ПП разного типа проводимости зоны искривлены. Если к переходу приложить обратное напря-

жение, то, начиная с некоторого потенциала, обратный ток через него резко возрастает, хотя поля и недостаточны для возникновения ионизации ударной. Это явление может быть связано с увеличением туннельного тока через $p-n$ -переход в сильных полях. Для Ge и Si, напр., требуются поля порядка $3 \cdot 10^5$ в/см. Явление Зинера заметно лишь в тонких $p-n$ -переходах, т. к. с увеличением ширины перехода растет вероятность лавинного пробоя путем ударной ионизации и вероятность туннельного перехода уменьшается.

Лит.: Полупроводники в науке и технике, т. 2, М.—Л., 1958; Данэлэп У., Введение в физику полупроводников, пер. с англ., М., 1959; Zener C., «Proc. Roy. Soc. London A», 1934, в. 145, № 855, р. 523. В. Н. Мордович.

ЗНАКОПЕЧАТОЧНАЯ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ ТРУБКА (charactron; tube charactron; Elektronenstrahlröhre zum Schreiben von Zahlen und Buchstaben auf dem Schirm) — см. Характерон.

ЗОЛОТНИКОВАЯ ПАРА, золотник (slide valve; tiroir, tiroir de distribution; Schieber), — регулируемый гидравлич. дроссель, широко применяемый в гидравлич. передачах в качестве управляющего устройства исполнит. механизмов и гидравлич. усилителей. З. п. (рис.) конструктивно проста, надежна, противна, требует сравнительно небольших



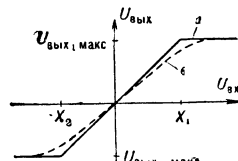
Основные элементы золотниковой пары: $a-a$ — дросселирующие кромки золотника; $b-b$ — дросселирующие кромки втулки; r — смещение золотника от среднего положения; p_0 — нач. осевое расстояние между кромками ($p_0 > 0$ соответствует нач. осевому зазору, а $p_0 < 0$ — перекрытию); d_3 — номинальный диаметр золотниковой пары; e — радиальный зазор между золотником и втулкой; $\psi = \sum \psi_i$ — суммарный центральный угол окна втулки; $\psi_{\max} = 360^\circ$ — соответствует кольцевым проточкам; h — ширина пояса золотника по рабочим кромкам; L — расстояние между кромками золотника двух поясов; $d_{\text{ш}}$ — диаметр шейки золотника; α — угол кромок золотника (обычно $\alpha = 90^\circ$).

усилий для перемещения золотника относительно втулки. В зависимости от числа рабочих окон З. п. бывают 1-, 2- и 4-щелевые. Число щелей определяется принципиальной схемой гидравлич. исполнит. механизма или гидроусилителя, в к-рых используется З. п. (см. Гидравлический исполнительный механизм). Разработаны способы компенсации гидродинамич. сил, наиболее эффективным является создание определенного профиля канавок золотника.

Лит.: Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т. 2, ч. 1, М., 1959. В. А. Хохлов.

ЗОНА ЛИНЕЙНОСТИ элемента или системы (zone of linearity; zone linéaire, domaine de linéarité; Linearitätszone, Linearitätsbereich, Bereich der Linearität) — диапазон изменения входного сигнала, в котором статич. хар-ка звена или системы оста-

ся линейной. Т. к. реальная статич. хар-ка элементов или систем отличается от идеальной (рис.) З. л. ($-x_2 < x_{\text{вх}} < x_1$) ограничивается тем значением входного сигнала, при к-ром отклонение реальной



Зона линейности и зона насыщения: a — идеальная (аппроксимирующая) хар-ка; b — реальная хар-ка; $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ — соответственно входная и выходная координаты; x_1 и x_2 — значения координаты, определяющие величину зоны линейности.

хар-ки от идеальной линейной находится в заданных пределах.

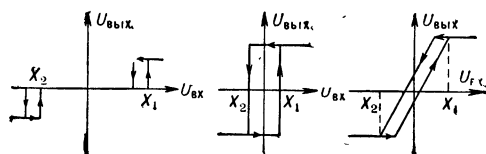
Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория. Под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954. В. А. Таран.

ЗОНА МАГНИТНОЙ ЛЕНТЫ (magnetic tape zone; zone de bande magnétique; Magnetbandbereich) — участок магнитной ленты, предназначен. для записи группы данных, которым присваивается общий адрес. Размещение материала группами позволяет уменьшить время передачи данных в оперативное ЗУ, т. к. время поиска относится только к первому числу данной З. м. л., а последующая выборка происходит без предварит. ожидания. Применяют два метода адресации З. м. л. Первый заключается в последовательном счете номеров З. м. л., при этом текущий адрес всегда хранится в ЭВМ. Второй — в записи на ленте перед каждой зоной кода адреса, для отличия к-рого от чисел вводят спец. маркерные знаки (см. Маркер). Применяется перфорирование на ленте кода адреса, к-рый считывается фотодатчиком (напр., в машине «Урал»). Размер З. м. л., т. е. макс. количество размещаемых данных, определяется емкостью оперативного ЗУ, но может быть и меньшим. Расположение З. м. л. на ленте бывает последовательным или параллельно-последовательным; применение длинных лент увеличивает время поиска З. м. л. В. П. Исав.

ЗОНА НАСЫЩЕНИЯ элемента или системы (saturation zone; zone de saturation; Sättigungsbereich, Sättigungszone) — диапазон изменения входного сигнала, в котором изменение выходной величины остается практически постоянным и равным своему макс. значению. Статич. хар-ка нелинейного звена, обладающего З. н., $x_{\text{вх}} > x_1$, $x_{\text{вх}} < -x_2$ приведена на рис. в ст. Зона линейности. З. н. в хар-ках систем объясняются огранич. мощностями источников энергии, ограниченностью координат элементов и т. п.

Лит. см. при ст. Зона линейности. В. А. Таран.

ЗОНА НЕОДНОЗНАЧНОСТИ (zone of ambiguity; zone d'ambiguité; Ungleichheits-



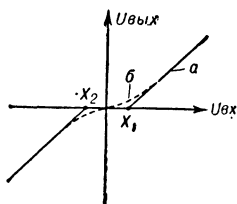
Зоны неоднозначности: $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ — соответственно входная и выходная координаты; x_1 и x_2 — значения координаты, определяющие величину зоны неоднозначности.

bereich) — диапазон изменения входного сигнала, в к-ром каждому значению сигнала

может соответствовать нек-рое множество значений выходного сигнала, зависящих от направления движения системы и ее предшествующего состояния. З. н. появляется вследствие сухого трения, люфта, гистерезиса в элементах; является, как правило, нежелат. явлением, т. к. часто приводит к автоколебаниям в замкнутом контуре. Типичные З. н. приведены на рис.

Лит. см. при ст. Зона линейности. В. А. Таран.

ЗОНА НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ, зона застоя, мертвая зона (dead zone; zone d'insensibilité; Unempfindlichkeitszone, Totzone, neutrale Zone, Regelunempfindlichkeit), — диапазон значений входной величины элемента, при к-ром выходная величина его равна нулю. В статич. хар-ке (рис.) элемент З. н. представляет собой участок с нулевой ординатой. Величина З. н. определяется пороговым значением $U_{вх}$, начиная с к-рого при увеличении или уменьшении $U_{вх}$ выходная величина $U_{вых} \neq 0$. В элементах САР появляется из-за перекрытий в пневматических и гидравлич. золотниках, сухого трения в подвижных частях, зазоров между контактами электрич. устройства, действия шумов и т. п.



Зона нечувствительности: а — идеальная хар-ка; б — реальная хар-ка.

Ур-ние нелинейной хар-ки, имеющей З. н. и участки линейности, имеет вид:

$$U_{\text{вых}} = \begin{cases} k(U_{\text{вх}} - x_1) & \text{при } U_{\text{вх}} > x_1 \\ 0 & \text{при } -x_2 < U_{\text{вх}} < x_1 \\ k(U_{\text{вх}} + x_2) & \text{при } U_{\text{вх}} < -x_2 \end{cases}$$

Для хар-ки З. н. линейного усилителя со значит. внутр. шумами введено понятие порога чувствительности — ср. квадратичное напряжение шумов, деленное на коэфф. усиления. Влияние З. н. на устойчивость САР зависит от самой системы и от места нахождения З. н. в структурной схеме. З. н., включенная, напр., последовательно с главной обратной связью, ведет к неустойчивости в неустойчивой САР в разомкнутом состоянии и стабилизирует систему, когда САР в разомкнутом состоянии устойчива. В. Ю. Рутковский, В. А. Таран.

ЗОНА ПАМЯТИ в ЦВМ (memory zone; zone de mémoire; Speicherungszone, Speicherbereich, Speicherabschnitt) — участок ЗУ, содержащий ряд последовательно расположен. запоминающих ячеек, задаваемых в программе работы ЦВМ начальным и конечным адресами. Предназначается для записи и хранения группы данных, выделяемых по к.-л. признаку. Помимо произвольных З. п., формируемых программистом при составлении программы, существуют фиксированные З. п. Они используются для работы с к.-л. одним конкретным устройством (напр., в машине «Стрела» ячейки оперативного ЗУ с № 1 по № 20 отводятся для работы с накопителем стандартных подпрограмм) или обладают особым свойством (напр., в машине НОРК, в ЗУ на ЭЛТ имеется З. п., допускающая повышенную частоту обращений без восстановления). В. П. Исеев.

ЗОНА ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ (proportional control zone;

bande de réglage proportionnelle; Proportionalbereich) — см. Регулирование пропорционального предела.

ЗОННАЯ ПЛАВКА (zone melting; fusion zonale, procédé de fonte par zones; Zonenschmelzverfahren) — способ обработки твердого вещества (ПП, металла и др.), при котором вдоль образца перемещается узкая расплавленная зона, создаваемая печью сопротивления, индукц. нагревом, бомбардировкой электронным пучком или мощным лучом света. З. п. широко применяется для очистки различных веществ от микропримесей, для выращивания монокристаллов, получения гомогенных многокомпонентных сплавов. Веществу придают форму длинных брусков. Перемещение расплавленной зоны осуществляется при движении источника нагрева или самого бруска либо за счет температурного градиента в нем, либо под действием электрич. тока, с использованием эффекта Пельтье. Скорость перемещения зоны варьируется от десятых долей до неск. мм в мин. Наиболее широко применяется нагрев печью сопротивления и индукционный, и перемещение расплавл. зоны при движении источника нагрева. Для удержания расплавл. и твердой фаз вещества в контакте его помещают в лодочку из инертного материала (напр., очищенного графита или кварца) или поддерживают с помощью магнитного поля, или располагают вертикально и подбирают диаметр бруска и длину расплавл. зоны т. о., чтобы она удерживалась в контакте с твердой фазой за счет поверхностного натяжения. Два последних способа наз. бестигельной З. п.

Установка для З. п. представляет собой кварцевую трубу с уплотнениями на концах, укрепленную на стойках. Внутри трубы помещается вещество. Снаружи находится источник нагрева и система привода для перемещения электромагнитного поля или бруска (рис.). З. п. Ge и Si ведут в токе инертного газа (Н, Аг или N) или в вакууме 10^{-4} – 10^{-5} мм рт. ст. При выращивании монокристаллов зону расплавляют между монокристаллич. затравкой и поликристаллич. заготовкой и перемещают в сторону заготовки. Гомогенные многокомпонентные сплавы изготавливают многократной З. п., изменяя направление движения зоны после каждого прохода.

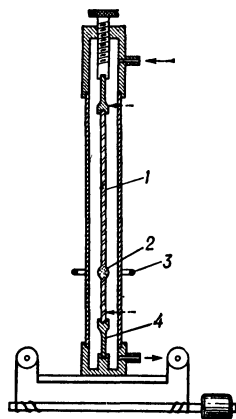


Схема установки для бестигельной зонной плавки: 1 — брусок вещества; 2 — расплавл. зона; 3 — кольцо ВЧ нагревателя; 4 — держатель слитка.

З. п. для очистки веществ от примесей наз. зонной очисткой. Она осуществляется многократным повторением З. п. в одном направлении; при этом примеси с коэфф. распределения >1 отесняются в один конец слитка, а <1 — в другой (величины коэфф. приведены в ст. Германий и Кремний). Степень очистки зависит от количества проходов зоной, величины коэфф. распределения примеси и степени загрязнения

ности материала. Длина расплавленной зоны подбирается т. о., чтобы при разумном количестве проходов (обычно 20—40) обеспечить высокую степень чистоты материала и распределение примеси, близкое к конечному. Загрязненные части слитка отрезают и направляют на очистку хим. методами. Степень очистки ПП контролируют, измеряя распределение уд. сопротивления вдоль образца. Зонную очистку веществ с высокой реакционной способностью (напр., Si) ведут преимущественно без тигеля.

Лит.: Пфанн В. Дж., Зонная плавка, пер. с англ., М., 1960; Методы получения чистых металлов. Сб. переводов, под ред. В. С. Емельянова и А. И. Евстохина, М., 1957; Германий. Сб. переводов, под ред. Д. А. Петрова, М., 1955; Кремний. Сб. переводов под ред. Д. А. Петрова, М., 1960. О. В. Сопов.

ЗОННАЯ ТЕОРИЯ [band theory; *theorie de zones; Zonentheorie* (in Festkörpern)] — учение об энергетическом спектре квазичастиц: носителей заряда (электрон, дырка), носителей упругих колебаний кристалла (фононы) и т. д. Наиболее важными для электрических свойств твердого тела являются представления о зонной структуре энергетич. спектра носителей заряда. В атомах, удаленных друг от друга, электроны находятся на энергетич. уровнях, определяемых спектром изолиров. атома. При сближении атомов влияние их друг на друга увеличивается и каждый энергетич. уровень расщепляется на N подуровней (рис. 1). Т. к. число

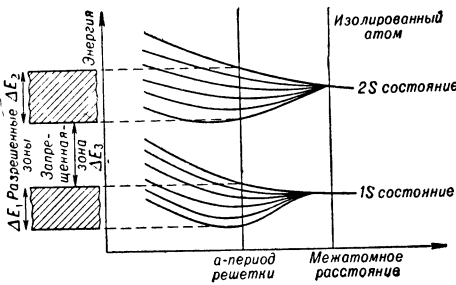


Рис. 1. Зависимость энергетич. уровней от постоянной решетки цепочки шести атомов водорода.

атомов N очень велико, а величины $\Delta E_{1,2}$ конечны и определяются концентрацией и законом взаимодействия между атомами, то расстояние между отдельными подуровнями, имеющее порядок $\Delta E_{1,2}/N$, очень мало. Поэтому можно говорить о «размазывании» дискретного энергетич. уровня отдельного атома в непрерывный спектр. Сильнее всего размазываться будут уровни, соответствующие электронам, наиболее удаленным от ядра, а следовательно, слабее всего с ним связанным. На электроны внутр. оболочек влияние соседних атомов слабее, т. к. размеры их орбит меньше ср. межатомного расстояния. Поэтому эти уровни слабо отличаются от таковых в изолиров. атоме. Т. о. энергетич. спектр носителей заряда в твердом теле имеет вид полос (зон) разрешенных энергий, отделенных друг от друга областями запрещенных энергий.

К тем же результатам можно прийти и иным путем, если представить себе электроны, движущиеся в поле периодически расположенных в пространстве ядер. Тогда энергия электрона характеризуется волновым вектором k . Ока-

зывается, что при определенных значениях k энергия электрона претерпевает разрыв, равный ширине области запрещенных энергий ΔE_z (рис. 2). Области изменений k , при к-рых энергия меняется непрерывно, представляют собой многогранники, вид к-рых определяется симметрией кристалла и номерами соответствующих энергетич. зон, наз. зонами Бриллюэна (рис. 3). Аналогичные представления могут быть развиты и для других квазичастиц (экситонов, фононов и т. п.).

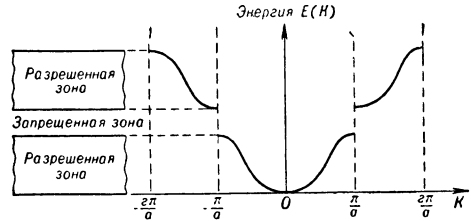


Рис. 2. Зависимость энергии $E(K)$ от волнового числа K в одномерной модели кристалла (a — межатомное расстояние),

В свете 3. т. становится понятной разница между изоляторами, ПП и металлами. Это различие связано с их поведением во внешнем электрич. поле. Приложение внешнего поля ускоряет электроны в нек-ром направлении и вызывает их упорядоченное движение, т. е. электрич. ток. Однако ускорение электронов связано с их переходом с одного энергетич. уровня на другой. Согласно принципу Паули — Ферми, устанавливающему отсутствие или нахождение на каждом уровне квантованной системы одного или двух электронов (в последнем случае электроны имеют противоположные спины), такое движение возможно лишь при наличии в зоне свободных состояний. При темп-ре абс. нуля электроны полностью освобождают верхнюю энергетич. зону, заполняя все состояния в нижних. Если верхняя зона не перекрывается с нижними, то проводимость отсутствует. К таким веществам относятся диэлектрики и ПП. В металлах верхняя зона перекрывается с нижними. В связи с этим в ней всегда есть электроны и имеет место высокая проводимость. В диэлектриках запрещенная область энергий между незаполненной зоной и заполненной столь велика (обычно более 5 эВ), что и при высоких темп-рах электроны не могут ее преодолеть под действием только теплового возбуждения. В ПП запрещенная область менее 5 эВ и тепловое возбуждение электронов из заполненной зоны в незаполненную или на пустые локальные уровни, а также с занятых локальных уровней (см. *Донор* и *Акцептор*) приводит к появлению проводимости.

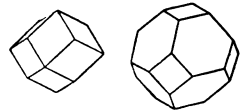
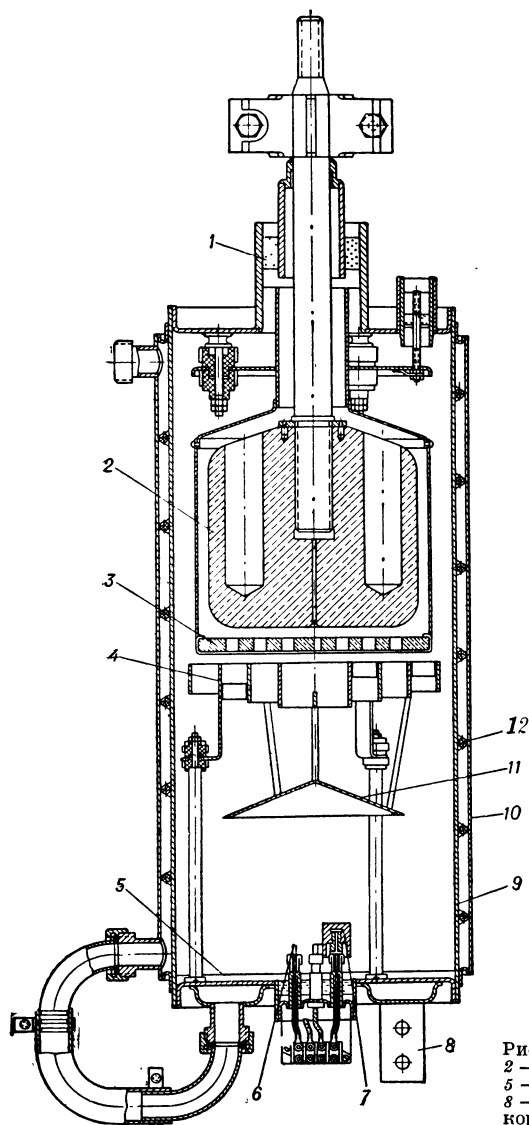


Рис. 3. Первые две зоны Бриллюэна для объемноцентрированной кубич. решетки.

Лит.: Киттель Ч., Введение в физику твердого тела, пер. с англ., М., 1957; Зейтц Ф., Современная теория твердого тела, пер. с англ., М.—Л., 1949; Бете Г. и Зоммерфельд А., Электронная теория металлов, пер. с нем., Л.—М., 1938; Шокли В., Теория электронных полупроводников, пер. с англ., М., 1953. Р. А. Сурис.

И

ИГНИТРОН (ignitron; ignitron; Ignitron, Ignitronröhre, Zündstiftgefäß, Zündstifttröhre) — ртутный вентиль, проводимость тока



(зажигание) в к-ром вызывается появлением на поверхности ртути катодного пятна, возникающего периодически с частотой напряжения, питающего поджигатель. Частота напряжения на аноде игнитрона обычно синхронна с частотой возникновения катодного пятна. Конструкция И. приведена на рис. 1.

Анод И. является приемником заряд. частиц и изготавливается так же, как и управляющая сетка, из специально уплотненного с миним. примесью графита. Фильтр — обычно беспотенц. электрод с большой развитой поверхностью (из малоуглеродистой стали), служит для ослабления ионного потока к сетке и для ускорения деионизации после прекращения анодного тока. Движение катодного пятна по поверхности ртути сопровождается бурным выходом из него ртутных капель, к-рые, попав в анодную область И., могут вызвать обратное зажигание. Отражат. экран значительно ослабляет вероятность обратного зажигания, уменьшая количество капель, попадающих в анодную область. Внутр. корпус, в отличие от ртутного вентили с дугой возбуждения, не изолируется от ртути катода.

При приложении к ПП поджигателю, соприкасающемуся с ртутью, положит. напряжения возникающий ток проходит через область контакта поджигателя с ртутью, формируя требующееся для зажигания электрич. поле. Управление моментом зажигания дуги при помощи сетки (изменением запирающего потенциала на положительный в момент, когда необходимо открыть И. — зажечь дугу) возможно при наличии дежурной дуги на подхватывающем аноде, к-рый поддерживает существование катодного пятна. Для изготовления поджигателя применяются карбид кремния, кремний или соединения бора (карбид бора, нитрид бора) и др. Поджигатели на основе соединений бора обладают большей стабильностью, но эти материалы более дефицитны и технология их изготовления более сложна. Обычная форма поджигателя показана на рис. 2.

Рис. 1. Игнитрон ИВС-300/5: 1 — стеклянный изолятор; 2 — анод с анодным выводом; 3 — сетка; 4 — фильтр; 5 — ртуть; 6 — поджигатель; 7 — подхватывающий анод; 8 — катодный вывод; 9 — внутр. корпус; 10 — наружный корпус; 11 — отражат. экран; 12 — направляющая спираль.

Применяются два вида включения поджигателя (рис. 3): зависимая схема и независимые (тиратронно-конденсаторная и электромагнитная).

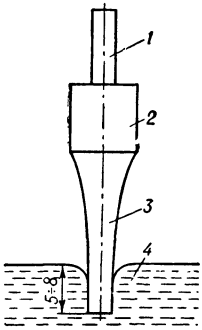


Рис. 2. Игнитронный поджигатель: 1 — металл. вывод; 2 — ПП тело поджигателя; 3 — место контакта поджигателя с ртутью; 4 — ртуть.

В схеме зависимого поджигания (рис. 3,а) положит. напряжение с анода И. через тиратрон поступает на поджигатель. Изменяя момент зажигания тиратрона, можно сдвигать момент приложения положит. напряжения к поджигателю, момент возникновения катодного пятна и зажигания И. Зажигаясь, И. шунтирует дугу поджигателя и горящий тиратрон. Зависимое поджигание применяется в основном у И. открытой конструкции, падение напряжения между анодом и катодом у к-рых не превышает 11—14 в.

При независимой схеме поджигания (рис. 3,б) длительность тока через поджигатель определяется элементами схемы поджига. При этом в независимых схемах

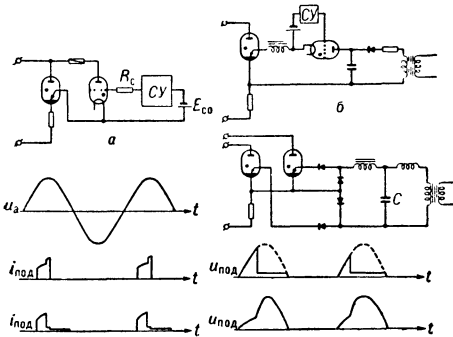


Рис. 3. Схемы поджигания игнитронов: а — зависимого; б — независимого.

длительность поджигающего импульса не превышает 500 мксек, а в зависимой схеме она порядка 2 000 мксек.

И, так же, как и ртутные вентили с дугой возбуждения, широко применяются на электрифициров. транспорте, в электролизных установках цветной металлургии и химич. произ-в, для ионного возбуждения мощных синхронных машин, ионного электропривода. Специфич. область применения И. является электр. сварка на перем. токе. Относительно невысокие прямое и обратное напряжения и небольшие скорости его изменения в различных режимах машин электросварки позволяют применять в таких машинах И. открытой конструкции (рис. 4). Наиболее широко используемая схе-

ма включения (встречно-параллельная) показана на рис. 5. И. выполняет роль коммутатора, подключающего питающее напряжение к сварочному тр-ру СТ на необходимое число периодов напряжения сети. Маломощной цепью поджигателя контролируются подключение мощной цепи электросварки, изменение продолжительности включения, управление (за счет фазовой регулировки) величиной действующего напряжения, питающего нагрузку. Высококачеств. сварка металлов с различными толщинами и св-вами может быть получена при прерывистом режиме работы И. Нагрузочные хар-ки отечеств. сварочных И. даны на рис. 6.

Рис. 4. Игнитрон для однофазных сварочных машин.

Значит, повышение амплитуды тока в И. возможно при коакс. конструкции. В ней вывод катода сделан в верхней части кор-

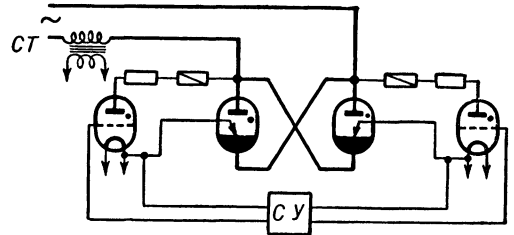


Рис. 5. Схема встречно-параллельного включения игнитронов: CU — сеточное управление.

пуса, и весь ток проходит по стенке в направлении, противоположном дуговому разряду, и создает магнитный поток, стягивающий дугу по оси разряда. Это приводит к уменьшению вероятности обратных зажигания. При одинаковых размерах И. коакси-

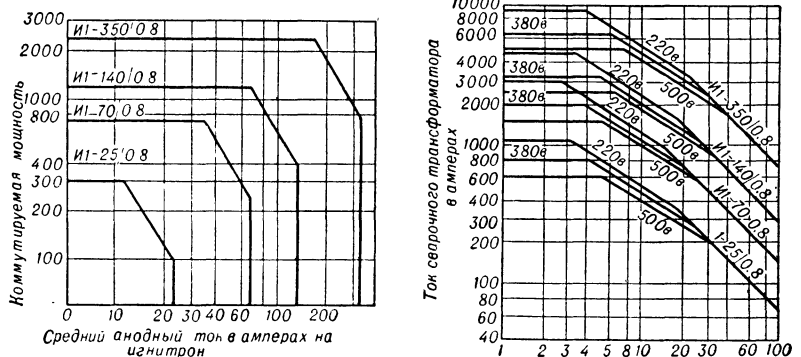


Рис. 6. Нагрузочные хар-ки игнитронов.

альная конструкция допускает увеличение пика тока по сравнению с обычной более чем на 60%.

В генераторах импульсов большой мощности, применяемых, в частности, для получения сильных замкнутых магнитных полей, управляющих термоядерными реакциями, в качестве формирующих элементов генераторов используется разряд конденсатора через И. Длительность импульса составляет 2—10 мксек, разрядное напряжение 20—25 кВ, амплитуда — до 150 000 А. И. выдерживает до 10 000 импульсов.

Условия работы и назначение И., допустимая величина напряжения и тока определяют его конструктивные особенности. В настоящее время промышленностью выпускаются разборные (откачиваемые в процессе работы) и запаянные И., которые имеют значительно более высокий КПД, меньшие габариты и лучшие электрические характеристики.

Ю. Д. Хромой.

ИГР ТЕОРИЯ (game theory; *theorie de jeux*; *Spieltheorie*) — математич. дисциплина, устанавливающая количеств. закономерности в конфликтных ситуациях. Под «конфликтной» разумеется ситуация, в к-рой сталкиваются интересы двух или более сторон, преследующих различные цели. Конфликтные ситуации возникают в различных областях практики (военные действия, экономич. соперничество, отношения между производящими организациями и потребителями и т. д.). Характерным для конфликтной ситуации является то, что ни одна из сторон не контролирует ситуацию полностью, а может лишь отчасти влиять на ее результат. Поэтому каждое решение должно приниматься с учетом противодействия противника.

Цель И. т. — выработка рекомендаций по оптимальному (в том или ином смысле) поведению каждой из сторон в конфликтной ситуации. Чтобы сделать возможным математич. анализ ситуации, строится ее формализованная, упрощенная модель, наз. игрой. От реальной конфликтной ситуации игра отличается тем, что она ведется по определ. правилам. Простейшими примерами являются игры в обычном смысле слова: шахматы, шашки, различные карточные игры. Терминология, заимствованная из таких игр, применяется и для др. конфликтных ситуаций: их участники условно именуются игроками, а результат конфликта — выигрышем или платежом. Если в игре участвуют два игрока, она наз. парной, если несколько — множественной. Игрой с нулевой суммой наз. игра, в к-рой сумма выигрышей всех сторон равна нулю.

Самым простым классом игр являются парные игры с нулевой суммой. В такой игре интересы игроков прямо противоположны: выигрыш одного равен проигрышу др. Поэтому можно рассматривать выигрыш только одного из игроков, считая, что он стремится обратить его в максимум, а его противник — в минимум.

Развитие игры во времени удобно представлять как ряд последоват. этапов или ходов. Ходом наз. выбор одного из предусмотр. правилами игры вариантов. Ходы делятся на личный (сознательно осуществляемый игроком — напр., передвижение фигур на шахматной доске) и случайные (когда выбор выполняется с помощью к.-л. механизма случайного выбора — бросание монеты, тасовка и сдача карт, стрельба в цель). Если игрок

при каждом личном ходе знает результаты всех предыдущих ходов — как личных, так и случайных, — то игра наз. игрой с полной информацией (пример — шахматы). Большинство игр, имеющих практич. значение, не принадлежит к этому классу, т. к. обычно конфликтная ситуация сопровождается нек-рой неизвестностью по поводу действий противника.

Важнейшим понятием И. т. является стратегия, к-рой наз. совокупность правил, определяющих однозначно выбор хода в зависимости от ситуации, сложившейся в процессе игры («в таких-то обстоятельствах я буду поступать так-то»). Если игра состоит только из личных ходов, то выбор определ. стратегии каждым из игроков однозначно определяет числ. исход игры (какой игрок и сколько выиграет). Если игра содержит, кроме личных, еще и случайные ходы, выбор стратегии однозначно определяет ср. выигрыш. Цель И. т. — выработка рекомендаций по выбору наивыгоднейшей (оптимальной) стратегии каждым из игроков, т. е. той стратегии, к-рая в среднем обеспечивает ему макс. выигрыш (миним. проигрыш).

П р и м е р (парной игры с нулевой суммой). Игроки *A* и *B* одновременно и независимо друг от друга записывают каждый одно из трех чисел: 1, 2 или 3. Если сумма напис. чисел четная, то *B* платит *A* эту сумму; если она нечетная, то, наоборот, *A* платит *B* эту сумму.

Очевидно, игра состоит из двух ходов; оба — личные. У стороны *A* три стратегии: *A*₁ — писать 1; *A*₂ — писать 2; *A*₃ — писать 3. У стороны *B* аналогичные три стратегии: *B*₁ (1), *B*₂ (2) и *B*₃ (3). Правила игры удобно записать в виде таблицы (матрицы), где даны стратегии обоих игроков и соответствующие выигрыши стороны *A*:

Матрица 1.

	<i>B</i>			
		<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₃
<i>A</i>				
<i>A</i> ₁		2	−3	4
<i>A</i> ₂		−3	4	−5
<i>A</i> ₃		4	−5	6

Если игра выполняется только один раз, то каждый из игроков с равным основанием может выбрать любую стратегию; но при повторении игры положение меняется. Пусть игрок *A* выбрал одну стратегию (напр., *A*₂) и придерживается ее. Тогда уже по результатам первых нескольких партий игры его противник (*B*) догадается о стратегии игрока *A* и будет отвечать на нее наименее выгодным для *A* образом (в данном случае стратегией *B*₃). То же относится и к любому выбору стратегии любой из сторон: противник всегда будет отвечать на нее наименее выгодным образом. Для каждого игрока речь идет о выборе наиболее безопасной стратегии, приводящей после длительной игры к разумным противником к наибольшему ср. выигрышу.

Приведенный пример относится к так называемым конечным играм, в к-рых у каждого игрока имеется только конечное число стратегий. Привести конечную игру к нормальной форме — значит записать ее в виде матрицы 1, где перечислены все возможные

стратегии игроков и соответствующие выигрыши.

Конечная игра, в k -рой игрок A имеет m стратегий (A_1, A_2, \dots, A_m), а игрок B имеет n стратегий (B_1, B_2, \dots, B_n), наз. игрой $m \times n$. Игра $m \times n$, приведенная к норм. форме, записывается в виде матрицы:

Матрица 2.

$A \backslash B$	B_1	B_2	\dots	B_n
A_1	a_{11}	a_{12}	\dots	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	\dots	a_{2n}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
A_m	a_{m1}	a_{m2}	\dots	a_{mn}

Здесь через a_{ij} обозначен выигрыш (или ср. выигрыш) игрока A при условии, что игроки выбрали соответственно стратегии A_i и B_j . Решить игру $m \times n$ — значит указать для игроков A и B пару оптм. стратегий, к-рые являются наивыгоднейшими (в смысле ср. выигрыша) как для одного, так и для другого. Сравнит. оценка стратегий производится в расчете на наименее благоприятное поведение противника. В качестве разумной стратегии рекомендуется такая, при к-рой достигается макс. возможный гарантированный выигрыш в наименее благоприятных условиях. Этот принцип является в И. т. основным и наз. принципом минимакса.

Исходя из него, игрок A должен выбрать ту из своих стратегий, для к-рой миним. значение выигрыша достигает максимума:

$$\alpha = \max_i \min_j a_{ij},$$

а игрок B — ту, при к-рой макс. значение выигрыша минимально:

$$\beta = \min_j \max_i a_{ij}.$$

Величина α наз. максимумом, или нижней ценой игры; величина β — минимаксом, или верхней ценой игры. Нижняя цена игры есть макс. выигрыш, к-рый может гарантировать себе игрок A при любом поведении B ; верхняя цена игры — проигрыш, больше к-рого заведомо не проиграет B при любом поведении A .

Для определения величин α и β в игре с матрицей 1 найдем миним. число в каждой строке. Это будут соответственно — 3, —5 и —5. Макс. из этих чисел (максимин) равно —3, то есть $\alpha = -3$. Найдем макс. число в каждом столбце (4, 4 и 6). Минимум из них (минимакс) равен 4, то есть $\beta = 4$.

В общем случае $\alpha \leq \beta$. В частном случае может оказаться $\alpha = \beta$, и тогда про игру говорят, что она имеет седловую точку — такой элемент платежной матрицы, к-рый одновременно является минимальным в своей строке и максимальным в своем столбце. Примером игры с седловой точкой может служить игра с матрицей:

Матрица 3.

$A \backslash B$	B_1	B_2	B_3	B_4
A_1	4	5	9	3
A_2	8	4	3	7
A_3	7	6	8	9
A_4	7	2	4	6

Здесь $\alpha = \beta = 6$.

Седловая точка соответствует паре оптм. стратегий игроков A и B , а общее значение $\alpha = \beta = v_0$ наз. чистой ценой игры. Пара оптм. стратегий, пересекающихся в седловой точке, дает т. н. решение игры. Оно обладает следующим свойством: если один из игроков придерживается своей оптм. стратегии, то для другого никакое отступление от своей оптм. стратегии не может быть выгодным: оно или не изменит выигрыша, или изменит его в нежелат. сторону. Решение является для игры как бы положением равновесия: отступление от оптм. стратегий приводит для отступающего к невыгодным последствиям, вынуждающим его вернуться к оптм. стратегии.

Напр., в игре с матрицей 3 решением являются стратегии A_3 и B_2 , а чистой ценой игры $v_0 = 6$. Если в такой игре игрок A будет придерживаться стратегии A_3 , то для его противника любое отступление от B_2 будет невыгодным. Наоборот, если B будет придерживаться B_2 , то для A будет невыгодным отступать от A_3 .

Доказано, что каждая игра с полной информацией имеет седловую точку. Однако наличие седловой точки еще не означает, что игра есть игра с полной информацией.

Если $\alpha \neq \beta$, то игра не имеет седловой точки, чистой цены v_0 и решения из числа стратегий A_i, B_j . Однако, если расширить понятие стратегий, то решение, обладающее свойством равновесия, можно найти для любой игры. Для этого нужно, кроме «чистых» стратегий игроков A и B , рассмотреть еще и «смешанные», состоящие в случайном чередовании нескольких чистых стратегий с определен. вероятностями (частотами).

Если, напр., игрок A применяет стратегию A_1 с вероятностью P_1 , стратегию A_2 с вероятностью P_2 и т. д., причем $\sum P_i = 1$, то это означает, что он применяет смешанную стратегию, к-рую можно обозначить

$$S_A = \begin{pmatrix} A_1, A_2, \dots, A_m \\ P_1, P_2, \dots, P_m \end{pmatrix}$$

При этом нек-рые из чисел P_1, P_2, \dots, P_m могут обращаться в нуль. В частности, когда все значения P_1, P_2, \dots, P_m равны нулю, кроме одного $P_i = 1$, смешанная стратегия обращается в чистую A_i . Если рассматривать не только чистые, но и смешанные стратегии, то оказывается, что каждая игра $m \times n$ имеет по крайней мере одно решение, обладающее указанным свойством равновесия. Это утверждение составляет содержание осн. теоремы И. т., впервые доказанной Дж. фон-Нейманом в 1928.

Выигрыш v , получаемый в результате решения, наз. ценой игры. Из осн. теоремы следует, что каждая конечная игра имеет цену. Если $\alpha \neq \beta$, то решение существует только в смешанных стратегиях.

Напр., для игры с матрицей 1 решением является пара смешанных стратегий:

$$S_A^* = \begin{pmatrix} A_1, A_2, A_3 \\ 1/4, 1/2, 1/4 \end{pmatrix}; \quad S_B^* = \begin{pmatrix} B_1, B_2, B_3 \\ 1/4, 1/2, 1/4 \end{pmatrix},$$

т. е. для того, чтобы обратить свой ср. выигрыш в максимум, каждый игрок должен чередовать числа 1, 2, 3 случайным образом с частотами соответственно $1/4, 1/2$ и $1/4$, т. е. писать

цифру 2 вдвое чаще, чем каждую из остальных. При этом цена игры $v = 0$, т. е., если каждый игрок будет пользоваться своей оптич. стратегией, игра будет «безобидной» и ср. выигрыш будет равен нулю. Отступление же от оптич. стратегии дает возможность противнику «наказать» за это отступающего и уменьшить его выигрыш.

Смешанные стратегии на практике могут осуществляться различными способами: 1) непосредств. «жребий», когда пускается в ход какой-то механизм случайного выбора (бросание монеты, игральной кости, датчик случайных чисел) и в зависимости от исхода жребия выбирается стратегия, и 2) осуществление «физич. смеси» стратегий, когда применяется одновременно несколько стратегий в определ. пропорции (напр., в ходе военных действий применяется сразу несколько образцов вооружения, обладающих различными хар-ками).

Методы решения конечных парных игр с пулевой суммой в достаточной мере разработаны. Наиболее просто (элементарными аналитич. и графич. методами) решаются игры 2×2 и $2 \times n$. В случае $m > 2$, $n > 2$ могут быть применены метод *линейного программирования* и метод *итераций* [2]. Для бесконечных игр до сих пор не существует общих методов решения.

В настоящее время круг применений И. т. быстро расширяется, и И. т. смыкается с методами обоснования рационал. решений в самых различных областях практики. В частности, И. т. можно использовать при построении алгоритмов для управления системами, на к-рые случайным образом воздействуют внешняя среда или др. управляющие системы. Для последней ситуации примером является игра, состоящая в погоне за маневрирующим противником.

Лит.: 1) Блекуэлл Д. и Гиршик М. А., Теория игр и статистических решений, пер. с англ., М., 1958; 2) Вентцель Е. С., Элементы теории игр, М., 1959; 3) Мак-Кинси Дж., Введение в теорию игр, пер. с англ., М., 1960; 4) Льюис Р. Д., Райфа Х., Игры и решения, пер. с англ., М., 1961. Е. С. Вентцель.

ИЕРАРХИЧНОСТИ ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ [control hierarchy principle; principe d'hierarchie de commande (de gestion); Abstufungssteuerungsprinzip, Treppensteuerungsprinzip, Einstufungssteuerungsprinzip] — принцип многоступенчатого построения управляющих систем, при котором ф-ции управления распределяются между соподчиненными частями системы. Управляющие сигналы устройств «старшего ранга» носят обобщенный характер и конкретизируются в подчиненных устройствах. При этом существенно уменьшаются потоки управляющей информации. Так, при микропрограммном управлении ЦВМ коды операции, поступающие из центрального УУ, преобразуются в последовательность микрокоманд, содержащих все необходимые для управления отдельными устройствами управляющие сигналы. Напр., в схеме управления прокатным станом блок, управляющий скоростями валков на основе измерения толщины листа на входе, получает корректирующие сигналы от блока, оценивающего толщину прокатного листа. В сложных совр. вычислит. системах имеются спец. устройства распределения (диспетчерские устройства), следящие за ходом вычис-

лит. процесса в разных блоках системы и выдающие управляющие сигналы этим блокам.

И. п. у. имеет важное значение для построения самообучаемых и самоорганизующихся систем, для к-рых обязательна сложная структура соподчинения отдельных управляющих блоков.

Лит.: Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959. Ю. А. Шрейдер.

ИЗБИРАНИЕ в телемеханике (selection; selection; Selektion in der Fernwirktechnik) — обеспечение приема адресной передачи информации в системах телемеханики. Термин «И.», широко распространенный в телемеханике, имеет смысл, близкий к термину «разделение каналов» в связи. Характерной особенностью систем телемеханики является, как правило, большое количество адресной информации по сравнению с количеством информации, содержащейся в сигнале управления для одного объекта. В телемеханике осуществляется передача машинной информации управления между оператором или управляющей машиной и многими объектами, в то время как в связи обычно каждый из каналов используется для передачи речевой или телеграфной информации между двумя произвольными абонентами.

Методы И. делятся на многоканальные и кодовые. Первые подразделяются на многопроводный, временной (распределит.) и частотный методы. Возможны также комбинированные методы, напр. частотно-временной, многопроводно-временной и т. п. Для многоканальных методов И. характерна возможность независимой и одновременной (при временном разделении за один цикл) передачи информации всем объектам и от всех объектов. Кодовые методы И. отличаются от многоканальных (см. *Телемеханическая система*) тем, что адресная передача осуществляется спец. кодированным сигналом, содержащим адрес объекта и передаваемую объекту информацию (напр., включить или выключить). Кодовые методы И. различаются способом построения кодовых комбинаций из элементов комбинирования и способом передачи элементов комбинирования (алфавитом) (см. *Кодирование в телемеханике*). Особенностью кодовых методов И. является невозможность одновременной (циркулярной) передачи информации объектам. Достоинством кодового И. является возможность статистич. кодирования по множеству сообщений, к-рое позволяет повысить по сравнению с многоканальной передачей как эффективность, так и помехоустойчивость передачи при наличии избыточности в передаваемых сообщениях, напр. при управлении многими, слабо связанными между собой объектами, редко изменяющими свое состояние. Выбор метода И. зависит от быстродействия, помехоустойчивости, свойств передаваемой информации, простоты аппаратуры и ряда др. требований к системе телемеханики. Существенное влияние на выбор метода И. оказывают число объектов, характер их работы и степень рас-средоточенности.

Из многоканальных методов И. широко применяется временной (распределит.) метод, при к-ром адресность передачи обеспечивается путем выделения для передачи информации на данный объект и с данного объекта временных интервалов, не совпадающих с

интервалами, выделенными для др. объектов. К достоинствам временного метода И. относятся небольшие перекрестные искажения и малые аппаратные затраты на исполнение пунктов для известит. сигнализации. Недостатком метода являются большие аппаратные затраты на исполнение пунктов при телеуправлении рассредоточенными объектами. Временной многоканальный метод И. широко используется в многоканальных системах телеизмерения, в системах ТУ и ТС. Многоканальный частотный метод И. используется в системах телеизмерения и в системах управления рассредоточенными объектами. Полоса частот, выделяемая для обмена информацией с данным объектом, зависит от быстродействия, от количества командной и контрольной информации и от методов ее передачи. Положит. свойством частотного метода И. является слабая зависимость аппаратных затрат от расположения объектов управления и структуры канала связи. К недостаткам этого метода относится трудность размещения значительного числа рабочих частот в выделяемой полосе частот, из-за недостаточной стабильности реальных генераторов и недостаточной узкополосности приемных фильтров.

Многопроводный метод И. применяется при относительно небольшом числе объектов и малых расстояниях от диспетчерского пункта (см. *Дистанционное управление*). Несмотря на простоту аппаратуры, этот метод И. при передаче на большие расстояния распространения не получил из-за высокой стоимости и дефицитности линий связи.

Из кодовых методов И. широко применяется двоячный последовательный код C_n^1 . В системах с таким кодом часть временных интервалов обычно используется для передачи только адресной информации, а остальные интервалы — для передачи непосредственно команд. К достоинствам этих систем относятся весьма небольшое усложнение аппаратуры исполнит. пунктов для получения многоканальной обратной сигнализации, позволяющей за время цикла, равное времени управления, получить информацию о состоянии всех объектов. Недостаток метода — сравнительно низкая помехоустойчивость при ограниченной амплитуде сигнала.

В системах телемеханики для рассредоточенных объектов широкое применение нашли частотные коды. В системах с небольшим числом объектов применяется одноимпульсный код с частотным признаком, наз. также одночастотным кодом. Достоинствами такого кода являются высокая помехоустойчивость при ограниченной амплитуде сигнала и простота аппаратуры декодирования на исполнит. пункте. При большом числе объектов для более эффективного использования канала широко применяются двухчастотные коды с последоват. и паралл. посылкой частот. Эти коды незначительно уступают по помехоустойчивости одночастотному коду, но позволяют существенно увеличить емкость системы. Недостаток частотных кодов — сравнительно большая сложность получения адресной известительной информации. В системах, использующих коды с частотными признаками, сигнализация о состоянии объектов получается обычно по вызову путем передачи

аварийной сигнализации или путем последоват. опроса всех объектов. При этом время, затрачиваемое на получение информации о состоянии N объектов, в N раз больше времени, необходимого для управления одним объектом. Для многих объектов это допустимо.

В системах с рассредоточенными группами объектов широко распространено групповое или многоступенчатое И. При этом одна часть кода используется для передачи адреса группы объектов, а вторая — для передачи адреса объектам в данной группе. Групповое И. в этом случае позволяет обычно упростить аппаратуру И., а при некоторых кодах (напр., коды C_n^1) уменьшает требуемую для передачи полосу частот.

В ряде случаев целесообразно использовать комбинированные методы И. Так, напр., в системе телемеханики при большом числе рассредоточенных групп может быть применен для выбора исполнит. пунктов один из частотнокодовых методов, а для выбора объекта на пункте — многоканальный распределит. метод И. или последоват. код на одно сочетание C_n^1 .

Лит.: Горьяинов О. А. и Райнес Р. Л., Телеуправление, М.—Л., 1954; Малов В. С., Телемеханика, М.—Л., 1960; Мановцев А. П. и Раввин Г. И., Основы телеуправления и телеконтроля, М.—Л., 1959; Промышленная телемеханика, [Сб. ст.], М., 1960; Смирнов А. С., Телеуправление и корабельные телемеханические системы, Л., 1958; Состояние промышленной телемеханики. Обзор, М., 1959. В. В. Наумченко.

ИЗБИРАТЕЛЬ ЧАСТОТНЫЙ в телемеханике (frequency discriminator; selecteur de fréquence; Frequenzwähler)—электрич. или электромеханич. контур или полосовой фильтр, пропускающий частоту избирания. Полоса пропускания И. ч. выбирается, исходя из возможности размещения в рабочем диапазоне нужного числа частот без взаимных помех, необходимого быстродействия системы, а также стабильности И. ч. и генераторов по частоте (см. *Генератор частоты*). В частотных системах телемеханики используется тональный диапазон частот (300—3400 гц) и реже — подтональный (20—300 гц). Чем уже полоса пропускания фильтра, тем меньше быстродействие. При заданной минимальной длительности импульса Δt полоса пропускания

$$F > \frac{1}{\Delta t}.$$

Ф-ции И. ч. в простейших частотных системах телемеханики выполняют последоват. или паралл. резонансные контуры. Нек-рые схемы включения резонансного контура в И. ч. показаны на рис. 1. В схеме рис. 1,а реле через выпрямит. схему подключено непосредственно к индуктивности. На рис. 1,б для согласования с линией связи контур подключен через согласующий тр-р. Для этих схем требуется значит. мощность сигнала, т. к. реле подключены непосредственно к контуру. На рис. 1,в и 1,г даны схемы И. ч. с последоват. и паралл. резонансными контурами, в которых для уменьшения входной мощности сигнала реле подключено к контуру через усилитель, часто выполняемый на ПП триодах. На рис. 1,д и 1,е даны схемы с ПП усилителями для двухчастотного кода с последоват. посылкой частот. В схеме (рис. 1,д) вначале передается частота f_1 , на к-рую настроен контур L_1C_1 . При этом от контура L_1C_1 заряжается

конденсатор-накопитель C_2 в коллекторной цепи триода. Затем частота f_1 без паузы заменяется частотой f_2 , на к-рую настроен контур L_2C_2 . Триод, включенный по схеме усилителя среднего значения тока, открывается, и конденсатор C_2 разряжается на обмотку реле, к-рое срабатывает. В случае необходимости реле становится на блокировку через свой контакт (на схеме не показан). Схема

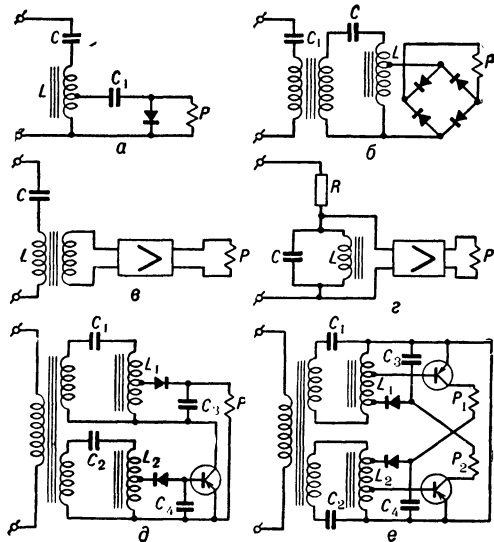


Рис. 1. Схемы частотных избирателей с резонансными контурами: а — последоват. контур с непосредственно подключенным реле; б — последоват. контур с непосредственно подключенным реле и согласующим тр-ром; в — последоват. контур с реле, подключенным через усилитель; г — паралл. контур с реле, подключенным через усилитель; д — двухчастотный избиратель на одну комбинацию; е — двухчастотный избиратель на две комбинации.

на рис. 1, е отличается от предыдущей тем, что она реализует две комбинации кода f_1f_2 и f_2f_1 . Если вначале передается частота f_1 , а затем f_2 — срабатывает реле p_2 . При изменении порядка следования частот срабатывает реле p_1 . В схемах И. ч. (рис. 1, д и 1, е) часто применяют транзисторы кремниевые, во избежание разряда конденсаторов-накопителей неуправляемыми токами триодов, или транзисторы германиевые с автосмещением от диода кремниевого. Избиратель с одиночным резонансным контуром имеет относительно малую избирательность. Обобщ. резонансная кривая контура как функция параметра $x = Q \frac{2\Delta f}{f_0}$ показана сплош-

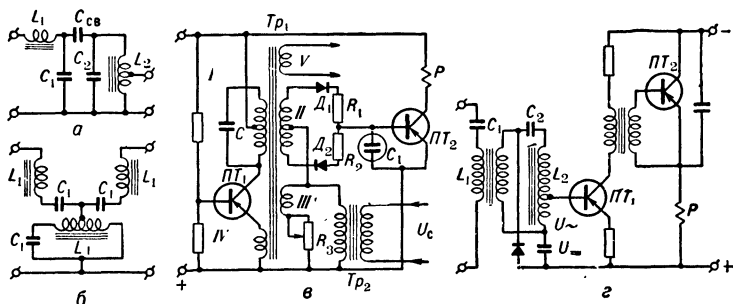


Рис. 3. Схемы частотных избирателей: а — двухконтурный фильтр; б — Т-образный фильтр; в — синхронный фильтр-генератор; г — двухконтурный избиратель со стабильной полосой пропускания.

ной линией на рис. 2, где $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ — резонансная частота, $Q = \frac{\omega_0 L}{r}$ — добротность контура, Δf — расстройка контура (от f), r — приведенное сопротивление, эквивалентное потерям в контуре. Чем больше Q , тем острее резонансная кривая и выше изби-

рательность контура. Активные потери складываются из потерь в меди, железе индуктивности и в диэлектрике конденсатора. Для нагруз. контура к этим потерям добавляется мощность, потребляемая нагрузкой контура, что также увеличивает r и снижает Q . Качество ферромагнитного материала индуктивности играет решающую роль в величине

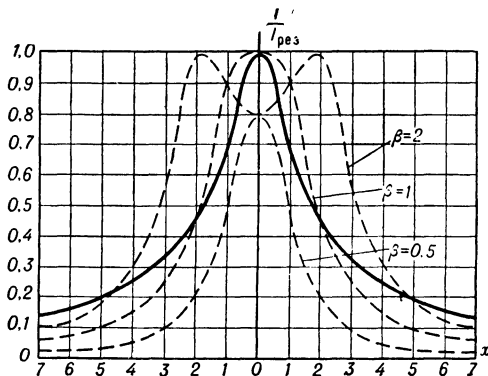


Рис. 2. Кривые избирательности для резонансного контура и двухконтурного фильтра.

добротности. В резонансных контурах избирателей на подтональных и тональных частотах хорошо зарекомендовали себя альсиферовые кольцевые сердечники типа ТЧ-60. Реально достижимая величина добротности контуров с индуктивностями, выполненными на сердечниках этого типа (при подключении реле непосредственно к части обмотки дросселя), изменяется на подтональных частотах от $Q=10$ до $Q=30$. На тональных частотах добротность выше.

При повышенных требованиях к избирательности применяют более сложные полосовые фильтры. Кривые избирательности двухконтурного фильтра (рис. 3, а) показаны пунктиром на рис. 2. Для различных коэф. связи:

$$K_{св} = \frac{C_{св}}{\sqrt{(C_1 + C_{св})(C_2 + C_{св})}},$$

к-рый уменьшается при уменьшении емкости конденсатора $C_{св}$. При сильной связи, когда $\beta = QK_{св} > 1$, кривая избирательности имеет два максимума. С уменьшением β избирательность улучшается. Т-образный фильтр с тремя индуктивностями, показанный на рис. 3, б, обладает более высокими избират. свойствами.

В качестве И. ч. используется также синхронный фильтр-генератор (рис. 3, в). Он состоит из генератора (триод $ПТ_1$, резонансный тр-р $Тр_1$, конденсатор C) и фазового детектора-усилителя (триод $ПТ_2$, диоды полупроводниковые D_1, D_2 , сопротивления R_1 и R_2). Сигнал U_c подводится к первичной обмотке тр-ра, к II вторичной обмотке этого тр-ра подключены обмотка III и средняя точка обмотки резонансного тр-ра. Генератор настроен на определ. частоту (используются частоты звукового диапазона свыше 1000 гц). При частоте сигнала, сильно отличающейся от частоты генератора, опорное напряжение фазового детектора, поступающее с обмотки II, и напряжение сигнала, приложенное между серединой обмотки II и общей точкой сопротивлений R_1, R_2 , имеют разную частоту. При этом фазовый детектор выдает перем. ток, к-рый не воздеиствует на цепь базы триода $ПТ_2$, т. к. она шунтирована конденсатором большой емкости C_1 . При частоте сигнала, близкой к частоте генератора, последний захватывается частотой сигнала (через обмотку III). Опорная частота становится равной частоте сигнала, и детектор выдает в цепь базы триода $ПТ_2$ импульсы отрицат. полярности, накапливающиеся на конденсаторе C_1 , триод открывается и реле P срабатывает. Полоса захватывания регулируется сопротивлением R_3 . Достоинство фильтр-генератора — совмещение в одном элементе И. ч. и генератора, используемого для передачи ТС с исполнительного пункта, а также возможность получения относительно узкой полосы пропускания (3—4% от резонансной частоты); недостаток — большая зависимость полосы пропускания от уровня сигнала. При увеличении уровня сигнала полоса расширяется. Ширина полосы также зависит от темп-ры окружающей среды.

И. ч. рис. 3, г состоит из двух резонансных контуров — L_1C_1 и L_2C_2 . Второй контур подключен к понижающей вторичной обмотке первого контура. На базу $ПТ_1$ подается сумма двух напряжений. Выпрямл. напряжение (U_+) поступает через вентиль от вторичной обмотки первого контура, и перем. напряжение (U_-) — от части обмотки второго контура. Полоса пропускания первого контура шире результирующей полосы пропускания первого и второго контуров, поэтому в точках, удаленных от резонансной частоты, $U_+ > U_-$ и $ПТ_1$ заперт, т. к. напряжение U_+ положительно. В полосе, близкой к резонансной частоте $U_+ \sim U_-$, $ПТ_1$ открывается и срабатывает реле P , включенное после $ПТ_2$, работающего в режиме детектирования. Полоса избирателя (50—80 гц в звуковом диапазоне) мало зависит от уровня сигнала при изменении его в широких пределах (в 10 раз от уровня срабатывания). В резонансных контурах избирателя используются броневые сердечники из оксифера типа ОБ-20.

На рис. 4 показаны схемы электромеханич. избирателей камертонного (рис. 4, а) и язычкового (рис. 4, б) типа. Их полоса пропускания

может быть более узкой (порядка 1% от резонансной частоты), что повышает требования к стабильности частоты генераторов. Для расширения полосы пропускания с сохранением достаточной избирательности применяют электромеханич. полосовые фильтры

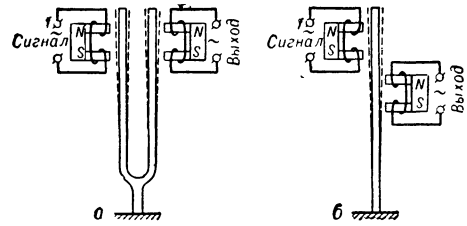


Рис. 4. Электромеханич. резонансные избиратели: а — камертонный; б — язычковый.

с неск. степенями свободы. Электромеханич. резонансные избиратели сложны в изготовлении и при недостаточном высоком качестве изготовления нестабильны в работе.

Лит. см. при ст. Избирание частотное в телемеханике. О. П. Шиликин.

ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ, селективность (selectivity, discrimination; selectivité; Selektivität, Trennschärfe, Trennungsv ermög), — свойство электр. цепи выделять из воздействующих на ее вход возмущений возмущения только определенного вида. Применительно к радиоприемникам выделять это способность радиоприемника выделять из множества сигналов различных радиостанций, действующих на его вход, сигналы определенной станции. Сущность И. заключается в изменении приемным устройством соотношений интенсивности сигналов от различных источников в пользу выделяемого сигнала. И. достигается различными способами. При разделении сигналов используют их различие по виду и свойствам переносчика сигналов (непрерывные колебания ВЧ, импульсы ВЧ, импульсы пост. тока). В линиях связи, где переносчиком сигналов являются непрерывные колебания ВЧ, основным видом И. является частотная И. Т. к. для передачи каждого сообщения в этом случае отводится определенный частотный диапазон в общей полосе частот канала связи, то разделение сигналов

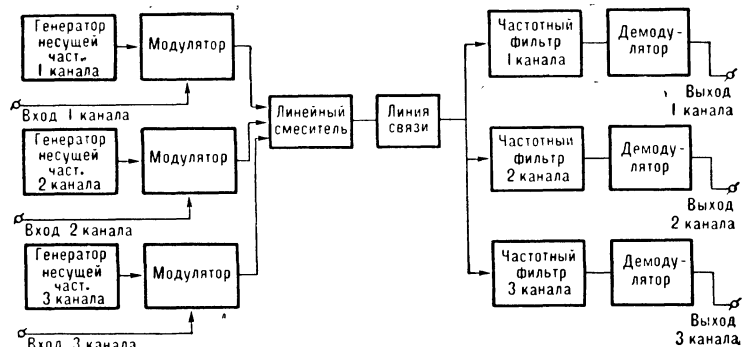


Рис. 1.

на приемном конце производится с помощью частотных фильтров электрических (рис. 1). Приемное устройство может быть одноканальным. В этом случае фильтры, определяющие

его полосу пропускания, перестраиваются на частоту выбранного канала (станции). Частотная избирательность достигается применением в приемных устройствах линии связи электрич. колебательных контуров, обладающих свойствами резонанса, т. е. способностью предпочтительно выделять на элементах контура напряжение источника, частота которого равна резонансной частоте данного колебательного контура (см. *Контур электрический, Резонанс, Частотное разделение и уплотнение каналов*).

В линиях связи, где переносчиком сигналов являются импульсы высокой частоты, разделение сигналов от различных источников осуществляется обычно по частоте высокочастотного заполнения импульсов, а также по времени их возникновения. Поэтому основными видами И. в этих линиях связи являются частотная и временная И. Временная И. достигается открыванием приемного устройства на время, когда на вход его поступают импульсные сигналы, предназначенные для передачи сообщений по данному каналу связи, и закрыванием его на все остальное время (см. *Временной селектор*).

При использовании в качестве переносчика в линии связи импульсов пост. тока основным видом И. является временная И. — *временное разделение каналов*. В этом случае для разделения каналов применяется поочередная передача сообщений отдельных каналов, что достигается с помощью спец. устройств — распределителей или коммутаторов. На приемном конце линии с помощью такого же коммутатора, работающего синхронно с передающим, производится разделение сообщений по каналам связи. Сигналы для управления самим коммутатором обычно передаются по этой же линии связи (рис. 2).

Кроме указанных основных способов И., в линиях связи применяют и ряд других. К таким способам относятся: применение остронаправленных антенн в линиях радиосвязи, позволяющих уменьшить интенсивность сигналов от всех станций, направление приема которых не совпадает с направлением

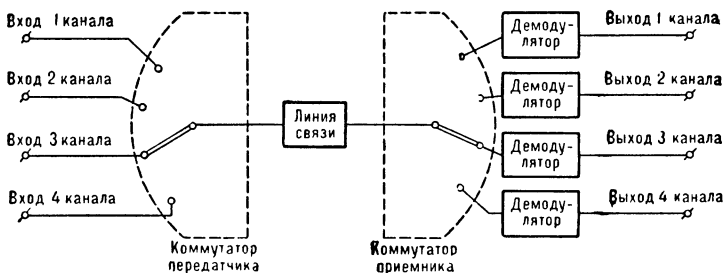


Рис. 2.

главного лепестка диаграммы направленности антенны (пространственная И.); многократное повторение передаваемого сообщения, при котором вероятность искажения одних и тех же значений сообщения уменьшается (вероятностная И.); применение в приемниках усилителей, по-разному усиливающих слабые и сильные сигналы — ослабляющих слабые сигналы по сравнению с сильными (амплитудная И.).

Лит. см. при ст. *Контур электрический, Временное разделение каналов*. И. М. Мошкунев.

ИЗБЫТОК ФАЗЫ (phase margin; marge de phase; Phasenüberschuß, Phasenfrequenzkennlinienwert) — значения фазовой частотной характеристики разомкнутой системы, отсчитываемые от уровня -180° , т. е. $\gamma(\omega) = \theta(\omega) + 180^\circ$, где $\gamma(\omega)$ — И. ф., $\theta(\omega)$ — фазовая частотная хар-ка.

Р. С. Рудман.

ИЗБЫТОЧНОСТЬ (redundancy; redundanz; Redundanz) — величина, характеризующая возможность представления сообщения в более экономной форме. В частном случае дискретного сообщения И. — безразмерная величина, показывающая, какая доля исходного числа элементов сообщения может быть устранена статистич. кодированием. И. меняется от 0 до 1 и часто указывается в процентах.

Дискретные сообщения составляются из символов, выбираемых из набора символов — *алфавита*. Так, текстовая телеграмма составляется из 32 символов рус. алфавита. Цифровые данные (таблицы) образуются комбинацией десяти символов — цифр 0, 1, 2, ..., 9. Большое распространение имеют двоичные сообщения, составленные из двух символов — 0 и 1. Чтобы передать или записать N -элементное сообщение, образованное символами m -символьного алфавита, достаточно указать, какой из m символов находится на 1, 2, ..., N месте в сообщении.

Любой m -символьный алфавит может рассматриваться как набор m различных цифр, и тогда конкретное сообщение, составленное из символов этого алфавита, может трактоваться как m -ичное число (число в системе счисления с основанием m). Очевидно, что отрезок сообщения 82364920215074 является 14-значным десятичным числом, а отрезок 010000010000001 — 15-значным двоичным числом. N -буквенная телеграмма является N -значным, 32-ичным числом (рус. алфавит можно превратить в набор 32 цифр, произвольно пронумеровав буквы алфавита).

Чтобы передать или записать сообщение из N элементов, потребуется передать или записать N -значное m -ичное число или, др. словами, N m -ичных цифр. Во многих случаях

число цифр, необходимых для записи или передачи сообщения, может быть уменьшено. Если *энтропия* источника сообщений равна H m -ичных единиц на символ (для того чтобы получить числ. значение H в m -ичных единицах информации, нужно взять логарифм с основанием m в выражении для H), то согласно осн. теореме Шеннона можно так закодировать сообщения, что в кодированной форме ср. количество m -ичных цифр на один элемент сообщения будет сколь угодно близко к H .

Т. о., сообщение из N элементов в кодиров. форме потребует прибл. NH m -ичных цифр, в то время как посимвольная («естественная») форма сообщения требовала N m -ичных цифр. Следовательно, $N - NH$ цифр оказываются «избыточными», т. к. они могут быть устранены статистич. кодированием. Относит. количество этих избыточных цифр

$$R = (N - NH)/N = 1 - H \quad (1)$$

наз. **избыточностью**.

Т. к. $0 \leq H \leq 1$, то $0 \leq R \leq 1$. Когда $H=1$ (макс. значение), то $R=0$ (И. отсутствует). Когда $H=0$, имеет место макс. И., $R=1$.

И. не изменится, если N -элементное сообщение в естественной и кодиров. формах представлять n -ичными цифрами ($n \neq m$). В этом случае в естественной форме потребуется $N \log_n m$ n -ичных цифр, а числ. значение H в m -ичных единицах надо умножить на модуль перехода к др. основанию логарифмов, т. е. на $\log_n m$, чтобы получить значение H в n -ичных единицах. В результате ф-ла (1) примет вид:

$$R = 1 - \frac{H}{\log_n m}.$$

Особенно часто берут $n=2$, вычисляя H в двоичных единицах информации. Энтропия H достигает макс. значения $\log_2 m$, когда отсутствуют к.-л. ограничения при построении сообщений: все символы равновероятны; вероятность появления последующего символа не зависит от предшествующих символов. В этом случае любые сообщения из N элементов равновероятны. При наличии ограничений H уменьшается и появляется И.

Примеры. 1) $m=4$, четыре символа a_1, a_2, a_3, a_4 . $P(i)$ — вероятности появления символов a_i — заданы: $P(1)=1/2$, $P(2)=1/4$, $P(3)=P(4)=1/8$; $\log_2 4=2$ двоичных единиц;

$H = -\sum_{i=1}^4 P(i) \log_2 P(i) = 7/4$ двоичных единиц;

$R=1/8$ (12,5%). Идеальным кодированием число символов может быть уменьшено на 12,5% (в данном случае кодирование сравнительно просто, осуществить кодом Шеннона — Фэно).

2) $m=2$, два символа: 0 и 1 $P(0)=P(1)=1/2$. Вероятность появления символа a_j зависит от предыдущего a_i . Эти вероятности $P_i(j)$ заданы: $P_0(0)=P_1(1)=0,9$; $P_0(1)=P_1(0)=0,1$. Типичное сообщение имеет следующий вид: ... 0000111111111111000000000000001111100. $H = \sum_i \sum_j P(i) P_i(j) \log P_i(j) = 0,47$ двоичных

единиц, $R=0,53$ (53%). Т. о., в естеств. форме содержится более половины избыточных символов.

3) $m=4$. Символы A, B, C, D делятся на 2 группы: символы A, B могут сопровождаться только символами C, D , и наоборот. Все символы равновероятны. Типичное сообщение имеет вид $ACADADBCADBCBC$. $\log_2 4=2$ двоичным единицам, $H=1$ двоичной единице, $R=0,5$, т. е. И. достигает 50%. Действительно, зная, к какой группе принадлежит первый символ, можно кодировать A и C как 0, B и D как 1.

Если статистич. свойства дискретного источника неизвестны, за исключением числа символов в алфавите, то берут нулевое приближение к энтропии $H=H_0=\log_2 m$ и считают, что И. отсутствует: $R=0$. Более полное знание статистич. свойств будет давать нам новые приближения (сверху) к энтропии и новые приближения (снизу) к величинам И. Так, для рус. текста $H_0=\log_2 32=5$ двоичным ед. энтропия при учете вероятности: букв $H_1=4,35$, при учете вероятности двухбукв. сочетаний $H_2=3,52$, при учете трехбукв. сочетаний $H_3=3,01$ и соответственно $R_0=0$, $R_1=0,13$, $R_2=0,3$, $R_3=0,4$, где $R_i=1-H_i/H_0$.

Полагают (это проверялось различными образом поставл. опытами), что И. текста с уче-

том всех имеющихся статистич. связей составляет около 0,5.

Часто наличие И. является полезным обстоятельством, повышающим помехоустойчивость процесса передачи сообщений (см. *Защита в системах ТУ—ТС*). В этих случаях и сообщения в естеств. форме можно рассматривать как избыточное сообщение, закодированное специфич. помехоустойчивым кодом. Лит. см. при ст. *Информации теория*.

Д. С. Лебедев.

ИЗБЫТОЧНЫЕ ДЫРКИ [excess electron holes; lacunes électroniques superflues (redondantes); Überschußdefektelektronen, Überschuß-leerstellen] — сверхтермодинамически равновесная концентрация дырок в валентной зоне полупроводника. И. д. возникают при облучении, при бомбардировке материальными частицами, в сильном электрическом поле и т. д. Электроны при этом переводятся на более высокие энергетич. уровни. При введении И. д. через потенциальный барьер в электронный ПП из дырочного или из металла, вследствие рекомбинации с избыточными электронами, концентрация И. д. остается постоянной. При неравномерном распределении И. д. диффундируют в направлении меньших концентраций. При прекращении возбуждения концентрация И. д. уменьшается, приближаясь к нулю. Диффузия И. д. используется в $p-n-p$ -транзисторах и $p-n$ -диодах (см. *Инжекция неосновных носителей заряда*).

А. Н. Федоров.

ИЗБЫТОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ (excess electrons; électrons libres, électrons abondants; Überschußelektronen) — сверхтермодинамически равновесное количество электронов. И. э. создаются теми же воздействиями, что и избыточные дырки.

А. Н. Федоров.

ИЗЛУЧАТЕЛЬ УЛЬТРАЗВУКА (ultrasonic radiator; radiateur ultrasonore; Ultraschallstrahler, Ultraschallgeber) — устройство для получения УЗ энергии. По назначению И. у. делятся на 2 группы, соответствующие двум основным направлениям применения УЗ: 1) И. у. для информационных и контрольно-измерит. целей (*ультразвуковой дефектоскопии*), подводной связи и наблюдения (гидролокации, гидроакустики, см. *Гидролокатор*), медицинской диагностики, контроля технологических процессов (см. *Ультразвуковой контроль*) и др.; 2) И. у. для энергетич. воздействия на вещество (см. *Ультразвуковая технология*). К И. у. 1-й группы предъявляются требования стабильности частоты и амплитуды, возможности модуляции излучаемой энергии, заданной полосы пропускания и, часто, обратимости, т. к. эти же излучатели в большинстве случаев используются и в качестве приемников приходящего сигнала. И. у. 2-й группы должны быть просты, дешевы, удобны в эксплуатации, иметь высокий кпд; обратимость и возможность модуляции, а в ряде случаев и стабильность излучения, вообще не имеют никакого значения. Каждый И. у. по существу является преобразователем энергии. По виду подводимой энергии И. у. могут быть разбиты на след. группы: электромеханич., электроакустич., аэродинамич., гидродинамические излучатели ультразвука и механические излучатели ультразвука. Электромеханические И. у., которые, в свою очередь, по методу преобразования делятся на магнитострикционные (см. *Магнитострикционный преобразователь*), пьезоэлектрические

(см. *Пьезоэлектрический преобразователь*) и электродинамические излучатели, являются самыми распространенными, так как хорошо удовлетворяют требованиям 1-й группы. Для 2-й группы они слишком сложны и дороги, но часто применяются как хорошо известные (информационные применения УЗ появились задолго до энергетических). Для работы электромеханич. И. у. необходим источник питания ВЧ энергией, т. е. электрич. генератор, как правило, ламповый (см. *Ультразвуковой ламповый генератор*) или, значительно реже, машинный (см. *Ультразвуковой генератор машинный*) — сравнительно дорогие устройства, требующие спец. наблюдения при эксплуатации. Кпд электромеханич. И. у. вместе с электрич. генератором в лучшем случае не превышает 30%.

Для работы аэродинамич. и гидродинамич. И. у. требуются источники потоков газа или жидкости. Процесс преобразования в этих И. у. нелинеен и необратим: он реализуется либо в виде модуляции пост. потока газа или жидкости (*ультразвуковые сирены*), либо в виде нелинейного звукообразования (*ультразвуковые свистки*), либо, наконец, в виде спец. автоколеб. систем. Недостатки этих типов И. у. — некая нестабильность работы, не всегда высокий КПД — следствие их недостаточной изученности. Как правило, аэродинамич. И. у. применяются для создания мощного УЗ поля в газах, а гидродинамич. — в жидкостях. Электроакустич. И. у., преобразующие электрич. энергию непосредственно в УЗ, только начинают разрабатываться. Необходимо отметить И. у. с использованием коронного разряда в газах (монофон), близко примыкающие по своим свойствам к электромеханическим, и электроискровые, близкие к установкам, основанным на *электрогидравлическом эффекте*, в которых используется ударная волна, получающаяся при искровом разряде в жидкости. Наконец, очень мало изученные и практически пока не используемые чисто механич. И. у., к к-рым относятся излучатели с неуравновешенными грузами, ударные и фрикционные.

Основные величины, характеризующие работу И. у.: излучаемая номин. акустич. мощность, интенсивность (мощность на единицу излучающей поверхности), КПД, собств. частота, механич. добротность, а для электромеханич. И. у. — еще и полоса пропускания и электрич. входное сопротивление. Неизбежные потери энергии особенно неприятны в электромеханич. И. у., т. к. электрич. энергия сравнительно дорога, а потери превращаются в тепло и ведут к необходимости искусств. охлаждения мощных И. у. Наконец, по форме фронта излучаемой волны И. у. делятся на плоские и фокусирующие (цилиндрич. или сферич.); И. у., дающие расходящуюся волну, применяются крайне редко: обычно используется естественное расхождение плоского пучка.

Лит.: Бергман Л., *Ультразвук и его применение в науке и технике*, пер. с нем., М., 1956; Гершгал Д. А., Фридман В. М., *Ультразвуковая аппаратура*, М.—Л., 1961. Л. Д. Розенберг.

ИЗМЕРЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ (automatic measurement; mesure automatique; automatische Messung) — измерение, окончательный результат которого в виде числа получается полностью без участия человека. И. а. осуществляется либо методом уравнивания

измеряемой величины образцовой величиной, либо методом совпадения измеряемой и образцовой величин. При первом способе известная величина автоматически изменяется до тех пор, пока не станет равной измеряемой величине (до уравнивания эффектов, производимых обеими величинами). После этого производится отсчет значения измеряемой величины по установленному значению известной величины. При втором способе измеряемая величина сравнивается с набором пост. известных величин и значение ее отсчитывается по значению совпавшей с ней известной величины. При каждом способе возможно как одновременное, так и разновременное сравнение измеряемых и известных величин. При И. а. автоматически выполняется не только сравнение измеряемой и образцовой величин, но и представление результата в цифровой форме. Для этого в приборах, полностью реализующих процесс И. а., используются дискретные образцовые величины, к-рые изменяются или набираются по определенному цифровому коду (см. *Цифровые измерительные приборы*).

При автоматизации к-св. и совокупных измерений необходимые вычислит. операции выполняются автоматически. К-св. И. а. могут быть выполнены путем преобразования совокупности частных измеряемых величин в результирующую измеряемую величину с помощью функциональных преобразователей и последующего прямого измерения результирующей измеряемой величины, либо путем прямых измерений частных измеряемых величин с последующим автоматич. вычислением значений результирующей измеряемой величины по результатам прямых измерений. При И. а. обычно имеют дело с измеряемыми величинами, изменяющимися во времени. Для обеспечения удовлетворит. информации о таких величинах при проведении И. а. большое значение имеют динамич. свойства измерит. устройств (см. *Динамические характеристики контрольно-измерительных приборов*). Часто И. а. называют также измерение, при к-ром участие человека, не будучи полностью исключено, сводится лишь к снятию отсчета показания прибора по положению указателя относительно градуированной шкалы или по записи в определенной системе координат. При этом к автоматич. измерит. приборам относят и приборы непрерывного действия с автоматич. уравниванием. И. а. играет большую роль как при управлении производств. процессами, являясь важной частью *контроля автоматического*, так и при эксперимент. исследованиях.

Лит.: Карандеев К. Б., Рабинович В. И., Чапенко М. П., *О определении понятия измерения*, «ИТ», 1961, № 12; Чапенко М. П., *О классификации цифровых измерительных приборов*, «ИТ», 1961, № 5; Темников Ф. Е., *Автоматические регистрирующие приборы*, 2 изд., М., 1960.

В. Ю. Кнеллер.
ИЗМЕРЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА (ultrasonic absorption measurement; mesure d'absorption d'ultrason; Ultraschallabsorptionsmessung). Наиболее распространен и импульсный метод И. п. у. Генератор ВЧ импульсов (рис.) возбуждает пьезокристалл на короткое время (порядка неск. мксек), в результате чего в исследуемую среду излучаются короткие (длиной неск. м) дуги УЗ волн. Одновременно электрич. сигнал подается на осциллограф. Достигая приемного пьезокристалла, УЗ импульс возбуждает

на нем импульс ВЧ напряжения, который детектируется, усиливается и также поступает на вертикальные пластины осциллографа. Величина этого сигнала пропорциональна амплитуде принятого УЗ импульса. Если на расстоянии x_1 от излучателя амплитуда принятого сигнала A_1 , а на расстоянии x_2 — A_2 ,

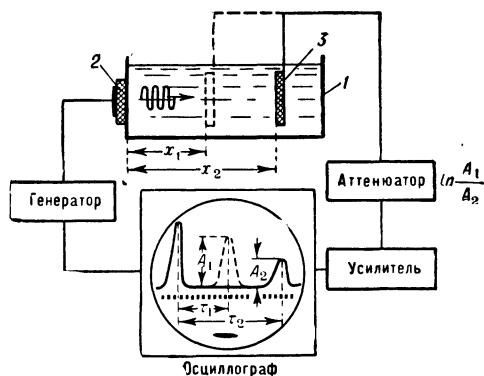


Схема импульсного метода измерения поглощения (и скорости) УЗ: 1 — измерит. кювета; 2 — излучающий пьезокристалл; 3 — приемный пьезокристалл.

то по закону *ультразвука поглощения* $A_1/A_2 = e^{\alpha(x_2-x_1)}$ или $\ln \frac{A_1}{A_2} = \alpha(x_2-x_1)$, где α — коэфф. поглощения, к-рый отсюда и определяется. Обычно между приемником и усилителем включается аттенюатор, с помощью к-рого показания осциллографа при изменении расстояния x поддерживаются постоянными. Шкала аттенюатора градуируется в логарифмич. масштабе и сразу, дает значение $\ln \frac{A_1}{A_2}$, отношение к-рого к величине x_2-x_1 определяет α исследуемой среды. Точность импульсного метода составляет несколько %.

И. п. у. возможно и в непрерывном режиме посредством любого из приемников, предназначен. для *исследования ультразвуковых полей*, однако при этом трудно избежать увеличения ошибок из-за наложения отраженных волн и электрич. наводок. Оптич. метод дифракции света на УЗ и метод УЗ интерферометра, применяемые для *измерения скорости ультразвука*, могут быть также использованы и для И. п. у. в жидкостях и газах. Методом интерферометра коэфф. поглощения УЗ определяется по спаду импульсов анодного тока, обусловленному периодич. образованием стоячих волн при движении рефлектора. В оптич. способе методе мерой поглощения УЗ служит изменение интенсивности дифракц. полос, зависящей от амплитуды УЗ волны. Для И. п. у. производится одновременное фотографирование дифракц. картин на различных расстояниях от источника УЗ, затем фотометрируются линии нулевого или первого порядка, и коэфф. поглощения УЗ находится по ф-ле

$$\alpha = \frac{1}{2(x_2-x_1)} \ln \frac{I_1}{I_2},$$

где I_1 и I_2 — относит. интенсивности фиксиров. линий дифракц. картин, полученные на расстояниях x_1 и x_2 от источника УЗ. Ф-ла справедлива для весьма малых амплитуд УЗ

волны, при к-рых интенсивность спектр. линий пропорциональна интенсивности УЗ. Однако при И. п. у. следует вообще пользоваться малыми амплитудами, т. к. при больших амплитудах вследствие нелинейных искажений формы УЗ волны коэфф. поглощения УЗ сильно возрастает и меняется не только с амплитудой волны, но и с расстоянием от излучателя. Для И. п. у. в малопоглощающих жидкостях используется реверберационный метод. Коэфф. поглощения УЗ определяется этим методом по временному спаду интенсивности диффузного УЗ поля, возбуждаемого в сосуде с хорошо отражающими стенками, напр. в стеклянной колбе. И. п. у. в твердых образцах на низких частотах осуществляется резонансными методами, основанными на радиотехнических измерениях механической добротности образца, нагружающего УЗ вибратор.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956; Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961; Matschek I., Einführung in die Ultraschalltechnik, VVT, В., 1957. В. А. Шутинков.

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ УЛЬТРАЗВУКА (ultrasound velocity measurement; mesure de vitesse d'ultrason; Ultraschallgeschwindigkeitsmessung). Наиболее распространены интерферометрический, оптич. и импульсный методы. В последнем непосредственно измеряют скорость УЗ, тогда как в первых двух измеряют длину УЗ волны Λ в исследуемой среде, а скорость УЗ вычисляют по ф-ле $c = \Lambda f$, где f — частота УЗ колебаний, равная частоте лампового генератора, возбуждающего вибратор (обычно — пьезокварцевую пластинку). Частота генератора измеряется *волномером*.

Метод *ультразвукового интерферометра* основан на измерении длины стоячей волны Λ_0 , возникающей между излучателем и рефлектором (рис. 1). Периодич. образование стоячих волн при перемещении рефлектора вызывает перем. реакцию столба среды (жидкости или газа) на излучатель, что ведет к периодич. изменению падения напряжения на излучателе и тока в

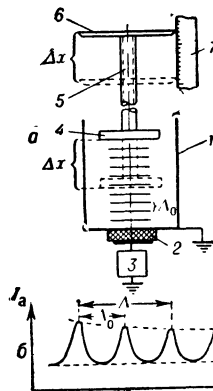


Рис. 1. Метод УЗ интерферометра с подвижным рефлектором: а — схема (1 — кювета с исследуемой жидкостью или газом; 2 — пьезоэлектрич. излучатель УЗ; 3 — ламповый генератор с прибором для регистрации пульсаций анодного тока или падения напряжения на излучателе; 4 — рефлектор; 5 — микрометрич. винт; 6 — барабан со шкалой; 7 — линейная шкала для отсчета величины перемещения рефлектора Δx); б — изменение анодного тока при перемещении рефлектора.

анодной цепи генератора. Пульсации анодного тока фиксируются миллиамперметром и электромеханич. счетчиком. Если на отрезке пути Δx наблюдается n пульсаций тока, то длина бегущей волны в среде: $\Lambda = 2\Lambda_0 = \frac{2\Delta x}{n}$.

Частота УЗ при этом поддерживается пост. путем стабилизации генератора, напр. посредством кварцевого стабилизатора (стабильность частоты 10^{-5}). Погрешность И. с. у. при этом определяется точностью отсчета Δx , зависящей от качества микрометрич. винта и акустич. поля. Применение оптич. систем отсчета Δx позволяет достичь точности 0,05—0,03%. При измерениях меняющейся длины волны (напр., с изменением темп-ры, давления, частоты УЗ и т. д.) более точные результаты дает применение интерферометра с фиксиров. Δx . Такой интерферометр пригоден и для И. с. у. в твердых телах.

Оптический метод основан на наблюдении дифракции света на УЗ с помощью оптич. спектрографа (рис. 2, а). Создаваемый

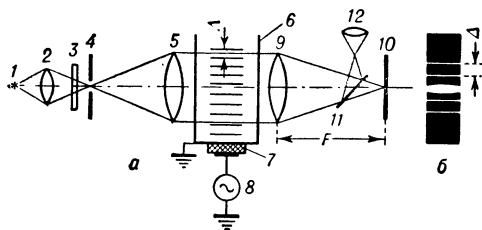


Рис. 2. Оптич. метод наблюдения дифракции света на УЗ: а — схема (1 — источник света, 2 — конденсор, 3 — световой фильтр, 4 — щель коллиматора, 5 — линза коллиматора, 6 — прозрачная кювета с исследуемой средой (или прозрачное твердое тело), 7 — источник УЗ, 8 — ламповый генератор синусоидальных электрич. колебаний, 9 — объектив зрительн. трубы, 10 — фотоэмульсия, 11 — полупрозрачное зеркало, 12 — окуляр для визуального наблюдения дифракц. картины); б — фотография картины дифракции света на УЗ.

коллиматорной линзой 5 параллельный пучок света за линзой проходит через исследуемую среду, в к-рой возбуждаются УЗ волны, и объективом зрительн. трубы фокусируется на фотоэмульсию. Периодич. изменение плотности среды в УЗ волне действует на световой пучок как фазовая дифракц. решетка. В результате дифракции света изображение щели в фокусе объектива зрительн. трубы распадается на систему регистрируемых фотоэмульсионных линий (рис. 2, б), отстоящих друг от друга на расстоянии Δ , к-рое измеряется компаратором или фотометром. Длина УЗ волны определяется по дифракц. ф-ле $\Lambda = \frac{F\lambda}{\Delta}$, где F — фокусное расстояние объектива зрительной трубы и λ — длина световой волны. Метод пригоден для И. с. у. в оптически прозрачных средах. Точность метода достигает 0,02—0,03%.

Импульсный метод, лежащий в основе пром. установок (напр., типа УЗПС), основан на использовании схемы, применяемой также и для измерения поглощения УЗ. С помощью меток времени на экране осциллографа определяется промежуток времени t между моментом запуска УЗ импульса в исследуемую среду и моментом его приема. Если измерен пройденный импульсом путь x , то скорость УЗ находится по ф-ле: $c = x/t$. Импульсный метод не требует измерения и стабилизации частоты и пригоден для И. с. у. в любых средах. Практич. точность абс. И. с. у. этим методом 0,1—0,5%. Существуют и др., менее распространенные методы И. с. у.

Скорости ультразвука в некоторых веществах

Вещество	Температура (°C)	Скорость звука (м/сек)
Жидкости		
бензол	20	1326
вода	25	1497
метил. подистый	20	834
ртуть	20	1451
этиловый спирт	20	1180
Газы		
азот	0	334
водород	0	1284
воздух	0	331
фтористый кремний	0	167
Твердые тела *		
алюминий		6360
сталь		5850
плексиглас		2670

* Приведены значения скорости продольных волн в неогранич. средах.

Лит. см. при ст. Измерение поглощения ультразвука. В. А. Шумилов.

ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ (measurement methods by eddy currents; methodes de mesures au moyen de courants de Foucault; Wirbelstrommeßverfahren) — измерения параметров изделий из проводящих материалов (немагнитных и магнитных), при которых о величине измеряемых параметров судят по величине воздействия на измерит. катушку датчика перем. поля вихревых токов, возбужденных в изделии. Применяются датчики параметрические или трансформаторные. Чувствит. элементом параметрического датчика является катушка, питаемая током повыш. частоты, расположенная около контролируемого изделия. Вихревые токи, наводимые полем в изделии, оказывают обратное воздействие на катушку, изменяя ее активное и реактивное сопротивление. Величина этих изменений ΔR и ΔX (т. н. приведенных сопротивлений) зависит от геометрич. размеров изделия и параметра $m = \sqrt{\omega \mu \gamma}$, где $\omega = 2\pi f$ — угловая частота тока, μ — магнитная проницаемость материала, γ — его электропроводность. Замеряя ΔR и ΔX , можно определить любую из этих величин. Трансформаторный датчик содержит систему из двух катушек — возбуждающей и измерит. Возбуждающая катушка, по виткам к-рой протекает ток повыш. частоты, наводит в контролируемом изделии вихревые токи. Поля вихревых токов изменяют активную и реактивную составляющие напряжения, наводимого на измерит. катушке, что дает возможность измерять геометрич. размеры, γ или μ изделия. Конструктивно оба типа чувствит. элементов выполняются либо в виде накладных катушек (для измерений параметров крупных изделий, имеющих плоскую поверхность или цилиндрич. с большим радиусом кривизны), либо (для измерения параметров мелких изделий) в виде «проходных» катушек, в к-рые вводится изделие, играя роль как бы сердечника.

Измерение магнитной проницаемости методом вихревых токов производить неудобно, поскольку у ферромагнитных материалов она меняется в течение периода. Наибольшее применение метод вихревых токов нашел для измерения геометрич. размеров и электро-

проводности. И. в. в. т. позволяют одним датчиком вести одновременный контроль двух параметров изделия, в частности электропроводности и геометрич. размера, или вести контроль одного параметра, отстраиваясь от мешающего влияния изменений другого. Это обусловлено тем, что



изменения для длинной цилиндрич. катушки с введенным в нее длинным немагнитным цилиндрич. изделием: X_0 — реактивное сопротивление катушки при отсутствии в ней изделия; $2a$ — диаметр изделия; сплошные кривые для $\alpha = \text{const}$, $\omega\gamma$ — переменное; пунктирные кривые для $\omega\gamma = \text{const}$, α — переменное.

щие напряжения на измерит. катушке). Задача одновременного измерения двух параметров сводится к решению системы двух ур-ний, связывающих эти параметры с ΔX и ΔR . Имеются 2 основных способа решения этих ур-ний: графич. — посредством номограмм, построенных на основе графиков, аналогичных рис.; способ фазовых соотношений, при к-ром измеренные значения приведенных сопротивлений катушки (или составляющих напряжения на ней) преобразуются схемой или вычислит. устройством в величины, каждая из к-рых зависит только от одного из параметров контролируемого изделия. Для этой цели могут быть использованы мосты и компенсаторы с уравниванием двумя параметрами (см. *Мост переменного тока*, *Компенсатор переменного тока*); примером отстройки от мешающего параметра может явиться измерение диаметра ($2a$) немагнитных прутков перем. электропроводности. В этом случае выбирается достаточно высокая частота, с тем чтобы $ma \gg 1$. Физически это означает, что за счет поверхностного эффекта практически весь поток вытесняется из сечения тела независимо от его свойств. Изменение индуктивности обмотки при этом определяется уменьшением сечения потока на величину сечения тела.

Величины погрешностей измерения методом вихревых токов зависят от соотношений между параметрами контролируемых изделий и частотой тока. Напр., в случае контроля цилиндрич. образцов с применением графич. метода, для достижения миним. погрешностей рекомендуется выбирать значение обобщенного параметра $ma \geq 2,5$ при измерении диаметра и $2,5 \leq ma \leq 3,5$ при измерении электропроводности. При использовании вычислит. устройств (способ фазовых соотношений) рекомендуется выбирать значения обобщенного параметра в пределах $3,5 \leq ma \leq 4,5$. Метод вихревых токов позволяет контролировать широкий круг физич. параметров, связанных функционально с γ и μ (состав сплавов, наличие примесей в чистых металлах и сплавах, степень термообработки, температу-

материалов, концентрацию электролитов и др.), а также геометрич. параметры (диаметры прутков, стержней и труб, толщину проводящих и непроводящих покрытий на проводящих основах, толщину листовых материалов, малые перемещения, уровни проводящих жидкостей). Кроме того, метод применим в *дефектоскопии*: для обнаружения поверхностных и подповерхностных трещин и раковин в проводящих изделиях различной конфигурации, обнаружения неоднородностей структуры, пористости. Существенное преимущество метода контроля с помощью вихревых токов — его бесконтактность.

Лит.: Родигин П. М., Коробейникова И. Е., Контроль качества изделий методом вихревых токов, М. — Свердлов., 1958; Грабовский В. П., Контроль удельного электрического сопротивления и геометрических размеров изделий из немагнитных металлов при помощи вихревых токов, в кн.: Автоматическое управление, [М., 1960]; Non-destructive testing handbook, ed. by R. C. McMaster, v. 1—2, N. Y., 1959; Förster F., Breitfeld H., Theoretische und experimentelle Grundlagen der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung mit Wirbelstromverfahren, «Z. Metallkunde», 1952, Bd 43, № 5; Förster F., Stabke K., там же, 1954, Bd 45, S. 166—87.

В. П. Грабовский.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ КЛАССИФИКАЦИЯ [measuring instruments classification; classification des appareils de mesure (instruments de mesure); Klasseneinteilung für Meßgeräte] может производиться по различным признакам. 1) По способу определения значения измеряемой величины — компарирующие приборы, приборы непосредств. измерения. 2) По способу выдачи результата измерений — показывающие, регистрирующие приборы (см. *Регистрация автоматическая*). 3) По способу образования результата измерения — приборы непрерывных измерений, дискретных измерений (*цифровые измерительные приборы*). 4) По характеру изменения измеряемой величины — приборы для статич. измерений, для динамич. измерений (см. *Динамические характеристики контрольно-измерительных приборов*). 5) По назначению — рабочие, образцовые приборы. 6) По роду работы — приборы с подвижными измерит. системами (стрелочные приборы), с наводкой, автоматич. приборы. 7) По способу нормирования точности — лабораторные, технич. приборы (см. *Класс точности*). 8) По роду измеряемой величины — электроизмерит., механич., акустич., приборы для линейно-угловых измерений и др. В зависимости от задач классификации в основу ее могут быть положены и др. общие признаки приборов. Кроме того, в пределах каждой из указанных групп приборы могут классифицироваться по другим, более частным признакам, напр. электроизмерит. приборы — по типу измерит. системы и т. п. Установленной И. п. к. нет, в нек-рых литературных источниках классификация близка к изложенной выше, в других — отличается.

1а) **Компарирующие приборы** служат для сравнения мер друг с другом или для сравнения измеряемой величины с отдельными от прибора мерами. Одним компарирующим прибором без мер произвести измерение нельзя (грузовые весы, грузовой манометр, электродинамич. компараторы перем. и пост. тока и др.). 1б) **Приборы непосредственных измерений** имеют предварительно градуированное отчетное приспособление, по к-рому определяется

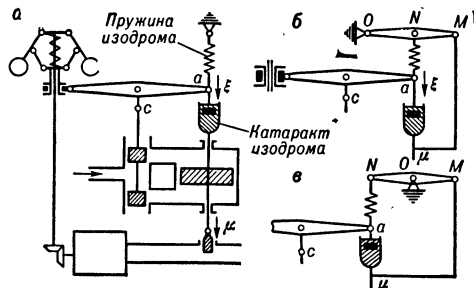
значение измеряемой величины. К ним относятся как стрелочные приборы (вольтметр, циферблатные весы и др.), так и приборы с наводкой (электрич. мост, катетометр и др.). 2а) Показывающие приборы имеют отсчетное приспособление для визуального отсчета показаний (стрелочный вольтметр, микрометр и др.). 2б) Регистрирующие приборы производят запись измеряемой величины в виде графика (напр., самопишущий вольтметр) или в виде ряда чисел (напр., цифровой печатающий хронограф). 3а) Приборы непрерывных измерений реагируют на непрерывные изменения измеряемой величины (напр., стрелочные вольтметры). 3б) Приборы дискретных измерений (цифровые приборы) реагируют на конечные изменения (кванты) измеряемой величины (напр., цифровые вольтметры). 4а) Приборы для статических измерений предназначены для измерения практически неизменных во времени (в процессе измерения) величин (напр., грузовые весы, ртутный термометр). 4б) Приборы для динамических измерений служат для измерения величин, меняющихся во время измерения (напр., акселерографы, осциллографы). 5а) Рабочие приборы — это измерительные приборы, предназначенные для практич. измерений. 5б) Образцовые приборы служат для проверки и градуировки рабочих приборов. 6а) Приборы с подвижными измерительными системами — это приборы, в к-рых энергия измеряемой величины преобразуется в механич. энергию перемещения указателя отсчетного приспособления (напр., стрелочный манометр с пружиной Бурдона, магнитоэлектрич. амперметр). 6б) Приборы с наводкой — это приборы, для измерения которыми требуется произвести операции перемещения нек-рых элементов прибора (напр., потенциометры, мосты). 6в) Автоматические приборы — это приборы с наводкой, в к-рых необходимые операции производятся не человеком, а автоматически (напр., автоматич. потенциометры, автоматич. мосты, цифровые вольтметры). 7а) Лабораторные приборы — рабочие приборы, при пользовании к-рыми необходимо учитывать точность измерения — определять погрешности измерений, вводить поправки и др. (напр., мост перемен. тока, применяемый для точных измерений при исследовательских работах). 7б) Технические приборы — рабочие приборы, при применении к-рых принимается определенная, наперед установленная точность (напр., термометр для измерения темп-ры воды в паровом котле на электростанции). 8) Классификация по роду измеряемой величины пояснений не требует.

Лит.: Маликов М. Ф., Основы метрологии, ч. 1, М., 1949; Маликов С. Ф., Введение в технику измерений, М., 1949; Арутюнов В. О., Электрические измерительные приборы и измерения, М.—Л., 1958; Шрамков Е. Г., О классификации электроизмерительных приборов, «Э-во», 1950, № 7.

М. А. Земельман, Г. И. Кавалеров.

ИЗОДРОМ [PI-device (element), stabilisator without drooping; élément à action PI; PI-Regelungseinrichtung, PI-Glied] — устройство для осуществления «гибкой», или «исчезающей» обратной связи. Изодром представляет собой либо механизм, состоящий из катаракта, пружины и системы рычагов, либо

дифференцирующую цепь, включенную в обратную связь. На рис., а дана схема центробежного регулятора скорости паровой машины с изодромной обратной связью. В состоянии равновесия точка а под действием пружины занимает определенное место, нахождение точки с зависит от среднего положения золотника, тогда муфта чувствит. элемента занимает положение, соответствующее заданному числу оборотов машины, т. е. система стабилизации — астатическая. При нарушении равновесия в первый



момент в катаракте возникает сила торможения, пропорциональная скорости движения поршня, вызывающая перемещение точки а.

Верхний конец пружины через систему рычагов можно сделать подвижным (рис., б, в). В этом случае система будет статической. Величина и знак статизма определяются конструкцией рычага ONM. На рис., б — статизм положительный, на рис., в — отрицательный.

Ур-ние изодромной обратной связи без учета массы поршня катаракта: $T_i \ddot{\xi} + \dot{\xi} = \beta T_i \dot{\mu} + \mu$, где $\mu = \frac{\Delta m}{m_{\max}}$ — относит. перемещение поршня; $\xi = \frac{\Delta y}{y_{\max}}$ — относит. перемещение точки а; T_i — время И.; $\beta = \frac{m_{\max}}{y_{\max}}$ —

постоянный коэфф., обычно $\beta = 1$; $i = \beta \frac{NO}{MO}$ — коэфф., характеризующий остаточную неравномерность регулирования. Если точка N неподвижна, то $i = 0$. Ур-ние электрич. изодромной обратной связи совпадает с ур-нием дифференцирующего звена.

Коэфф. с размерностью времени в ур-нии изодромной обратной связи, характеризующий ее эффективность, наз. временем И. Для гидравлич. варианта исполнения $T_i = D_i / C_i$, где D_i — коэфф. демпфирования, зависящий от размеров катаракта и вязкости жидкости, его заполняющей; C_i — жесткость пружины И. Для электрич. изодромной связи $T_i = RC$, где R и C — соответственно сопротивление и емкость контура.

Лит.: Воронов А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954; Айзерман М. А., Теория автоматического регулирования двигателей, М., 1952. В. Ю. Рутковский.

ИЗОМОРФИЗМ (isomorphism; isomorphism; Isomorphismus) — взаимно-однозначное соответствие между двумя множествами каких-либо объектов. Пусть даны множества $M = \{x\}$ и $M' = \{x'\}$, причем над элементами M определено множество соотношений $F = \{f\}$, а над элементами M' — множество соотношений $F' = \{f'\}$. Если между элементами M и M', а также между соотношениями из F

и F' можно установить взаимно-однозначное соответствие: $x \leftrightarrow x'$, $f \leftrightarrow f'$, такое, что из выполнения соотношения f для к.-л. элементов M следует выполнение соотношения f' для соответствующих элементов M' , и обратно, то множества M и M' называются изоморфными (точнее, изоморфными относительно систем соотношений F и F'), а соответствие между M и M' — изоморфизмом. Часто соответствующие соотношения (f и f') попарно отождествляют и говорят, что И. сохраняет систему соотношений F . Важность понятия И. в том, что всякому свойству множества M , вытекающему из системы соотношений F , соответствует аналогичное свойство множества M' . Поэтому в рамках теории, изучающей именно эти свойства, множества M и M' тождественны, неразличимы. Такие множества служат «моделями» друг друга, и, изучая одно из них, мы тем самым устанавливаем свойства другого.

Пример И. Множество $M = \{x\}$ — все действительные числа. Множество $M' = \{x'\}$ — положительные числа. Соотношение элементов в M : $x_1 + x_2 = x_3$. Соотношение элементов в M' : $x'_1 \cdot x'_2 = x'_3$. И. между этими множествами устанавливается соответствием: $x = \log_a x'$; $x' = a^x$; ($a > 0$, $a \neq 1$). На этом И. основаны применение таблиц логарифмов и устройство логарифмич. линейки.

И. является математич. уточнением расплывчатого понятия аналогии, которое широко применяется в различных областях знания. Однако выводы по аналогии, обладая большой эвристич. ценностью, не только не достоверны, но и не допускают сколько-либо точной оценки степени достоверности. На более высоком уровне развития к.-л. науки она вырабатывает математически точное описание действительности, т. е. описание посредством аксиоматически заданной системы понятий и соотношений между ними (а также правил дедуктивного вывода), причем существенно, что указывается способ однозначной интерпретации действительности в терминах данной теории (и тем самым способ проверки того, сколь адекватно данная теория описывает действительность). Такое описание заменяет понятие аналогии понятием И., строго очерчивая совокупность свойств, по отношению к к-рым данные множества тождественны, т. е. выводы, полученные относительно одного из них, справедливы и для другого.

Понятие И. играет фундаментальную роль во всех областях науки и техники. Применение графиков, номограмм и т. д. базируется на И. между множествами действит. чисел и точек прямой. Широко применяется И. между комплексными числами и точками плоскости (напр., в гидродинамике, электростатике, теплотехнике), между векторами и упорядоченными тройками чисел. На И. множеств ф-ций основано операционное исчисление — мощный аппарат прикладной математики (напр., для расчета электрич. схем, САР и т. д.). В вычислит. технике и автоматике используется И. между логич. алгеброй Буля, арифметикой чисел в двоичной системе и релейными схемами; в электротехнике — И. между хар-ками электрич. цепей и тензорами. Вообще, возможность общего математич. описания различных явлений (напр., электрич., акустич. и механич. колебаний, явлений диффузии и тепло-

передачи) выражает И. изучаемых объектов относительно интересующих нас свойств. Использование электронных вычислит. машин представляет собой по существу создание и изучение систем, изоморфных исследуемым объектам.

Лит.: Энциклопедия элементарной математики, кн. 1, М.—Л., 1951; Математика, ее содержание, методы и значение, т. 3, М., 1956; Ван-дер-Варден Б. Л., Современная алгебра, пер. с нем., [2 изд.], ч. 1, М.—Л., 1947; Курош А. Г., Теория групп, М.—Л., 1944; Эшби У. Р., Введение в кибернетику, пер. с англ., М., 1959. Л. Б. Левитин.

ИЗОХРОН ОБЛАСТЬ [isochrone region; region d'isochrone; Isochronbereich (eines Zustands- oder Phasenraumes)] — часть пространства состояний либо фазового пространства динамич. системы, из любой точки $a(x_1, x_2, \dots, x_n)$ к-рого можно перейти в полюс И. о. — точку $a_0(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0})$ за заданное время T , не нарушая наложенных на данную систему ограничений.

Рассмотрим динамич. систему в виде последоват. цепи элементов направл. действия

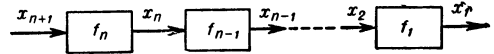


Рис. 1. Структура управляемой системы.

(рис. 1), описываемую системой из n ур-ний вида

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x_i, x_{i+1}), \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Ограничения, наложенные на систему, состоят в выполнении условий $x_{j1} \leq x_j \leq x_{j2}$ (j — индекс огранич. координаты), а ф-ции f_i удовлетворяют условию знакопостоянства:

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_{i+1}} > 0 \quad \text{или} \quad \frac{\partial f_i}{\partial x_{i+1}} < 0$$

во всем диапазоне допустимых изменений x_{i+1} . Тогда И. о. систем указанного класса обладают следующими гл. свойствами: 1) И. о. для любого положит. T_i односвязны, имеют то же число измерений, что и пространство состояний рассматриваемой системы, а длина радиуса-вектора, проведенного из полюса a_0 в любую точку границы И. о., конечна и больше нуля; 2) с увеличением T границы И. о. монотонно расширяются, так что все точки области, соответствующей времени перехода T_r , принадлежат также И. о. со временем перехода T_s , если $T_r < T_s$; 3) переход системы из состояния, изображаемого точкой, расположенной на границе И. о. с временем перехода T_p , в состояние, изображаемое полюсом этой И. о. за время T_p , возможен

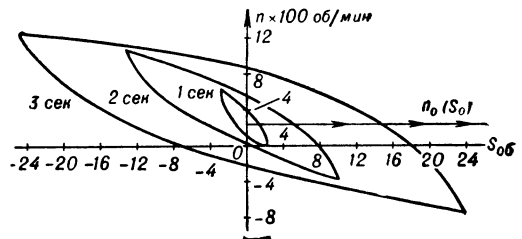


Рис. 2. Семейство границ области изохрон для следящего привода.

только по траектории, к-рая все время (за исключением скачков нулевой длительности) проходит по границам допустимых состояний,

определяемых налож. на систему ограничениями. Семейство границ И. о. для следящего привода, движение к-рого описывается нелинейным ур-нием 2-го порядка, показано на рис. 2 (для случая, когда заданное состояние изменяется). Понятие об И. о. получает новый смысл в свете *максимума принципа*. Границы И. о. в фазовом пространстве представляют собой гиперповерхности. Внешняя нормаль к такой гиперповерхности совпадает с вектором Φ , играющим большую роль в принципе максимума.

Построение И. о. состоит в нахождении их границ для заданных: времени перехода, расположения полюса, ур-ний движения и ограничений. Один из возможных способов построения границ И. о. заключается в следующем. Положим, что нач. состояние системы изображается точкой, совпадающей с полюсом И. о. a_0 , а время течет «назад». Будем изменять управляющие воздействия так, чтобы траектория движения изображающей точки проходила по границам ограничений и совершала не более m скачков за время T_p . Изображающая точка в момент T_p будет расположена на границе И. о. с временем T_p . Варьируя моменты скачкообразных изменений управляющих воздействий, соответствующих скачкам изображающей точки с одного ограничения на др., можно получить достаточно «густую» совокупность точек, расположенных на границе данной И. о., пригодную для интерполирования. При этом каждой из найденных т. о. точек границы И. о. будет соответствовать определенная, известная из построения форма оптим. процесса перехода из данной точки в полюс. Располагая сеткой границ И. о. для различных значений T и поверхностей, объединяющих точки с подобными формами оптим. перехода, можно для любого нач. состояния системы указать миним. время ее перехода в заданное состояние и оптим. форму перехода.

Лит.: Лерпер А. Я., «Авт», 1954, т. 15, № 6; Сун Цзянь, там же, 1960, т. 21, № 1; Наджафова Г. А., там же, т. 21, № 7; е е же, там же, 1961, т. 22, № 2. А. Я. Лерпер.

ИКОНОСКОП (iconoscope; iconoscope; Iconoskop, Bildspeicherröhre, speichernde Bildaufnahmeöhre) — электроннолучевая трубка с односторонней емкостной мозаикой и вторичной электронной эмиссией, предназначенной для работы в кинокамерах телевизионных передатчиков, где осуществляет преобразование оптич. изображения в электрич. телевиз. сигнал. И. является одним из видов *передающих телевизионных трубок*.

ИМПЛИКАНТ ПРОСТОЙ ф у н к ц и и f (prime implicant of function; implicat prime de fonction; Primimplikand) — элементарная конъюнкция (см. *Алгебра логики*), имплицитирующая f , сокращение которой хотя бы на одну букву приведет к тому, что она перестанет имплицитировать f . Выражение A имплицитирует выражение B , если равенство $A \vee B = 1$ выполняется при всех значениях переменных, входящих в A и B . Элементарной наз. такая конъюнкция, в которой каждая переменная появляется не более одного раза (напр., $\bar{a}bc$, $\bar{a}de$ — элементарные конъюнкции, в то время как $\bar{a}ad$ и abb ими не являются). Задача нахождения И. п. заданной ф-ции встает при *минимизации* логич. (или булевых) ф-ций, а следовательно, и схем релейных

устройств, т. к. минимальная дизъюнктивная нормальная форма логич. ф-ции есть дизъюнкция нек-рых простых импликантов этой ф-ции. При минимизации недоопределенных логич. функций, т. е. таких, в которых нек-рые члены соответствуют *безразличным состояниям*, встает задача отыскания И. п. ф-ции, совершенная дизъюнктивная нормальная форма к-рых может включать наряду с «обязательными» членами еще и нек-рые из «допустимых». Такие И. п. наз. минимальными членами.

Лит.: Гаврилов М. А., Минимизация булевых функций, характеризующих релейные цепи, «Авт», 1959, т. 20, № 9, с. 1217—38; Quine W. V., The problem of simplifying truth functions «Amer. Math. Monthly», 1952, v. 59, № 8, p. 521—31. В. Д. Казаров.

ИМПУЛЬСА ФРОНТ (impulse front, wave-front; flanc d'impulsion; Impulsflanke, Stoßstirn) — участок кривой, определяющий форму импульса, соответствующий нарастанию от нулевого значения до макс. (передний фронт) или спаданию от макс. до нулевого (задний фронт). Длительность фронта — время от момента достижения импульсом 0,1 макс. значения до 0,9, и наоборот.

М. П. Сахаров.
ИМПУЛЬСНАЯ ПЕРЕХОДНАЯ ФУНКЦИЯ, весовая функция (impulse response, weighting function; fonction poids, fonction de transmission impulsionnelle; Impulsübergangsfunktion, Gewichtsfunktion), — реакция линейной системы на единичное *импульсное воздействие*. И. п. ф. $W(t, \tau)$ зависит в общем случае от момента τ , в к-рый прикладывается импульс $\delta(t-\tau)$, и момента наблюдения t , а в случае стационарных систем — только от интервала $t-\tau$. И. п. ф. равна нулю при $t < \tau$ (условие физ. осуществимости). Через нее выражается необходимое и достаточное условие *устойчивости* линейных систем:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |W(t, \tau)| d\tau < C \text{ для всех } t \text{ (} C \text{ — постоянная).}$$

Для систем, описываемых дифференц. уравнениями вида $L_t Y = X$ (L_t — дифференц. оператор), И. п. ф. можно также истолковать как решение однородного ур-ния $L_t W(t, \tau) = 0$ при определ. начальных условиях.

И. п. ф. позволяет проводить исследование систем в области вещественной переменной и является основной хар-кой САР. При помощи И. п. ф. можно определить выходной сигнал $y(t)$ линейной САР, получаемый при подаче

$$\text{на вход сигнала } x(t): y(t) = \int_{t_0}^t w(t, \tau) x(\tau) d\tau.$$

В случае стационарных систем и $t_0 = -\infty$ это выражение принимает вид:

$$y(t) = \int_{-\infty}^t w(t - \tau) x(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} w(\tau) x(t - \tau) d\tau.$$

И. п. ф. связана с *частотной характеристикой* и с *передаточной функцией* системы соотношением:

$$Y(p) = \int_0^{\infty} w(t) e^{-pt} dt$$

(p — комплексная постоянная). Зависимость между И. п. ф. и *передаточной функцией* $h(t)$ имеет вид: $W(t) = \frac{dh(t)}{dt}$. И. п. ф. оптимальной в смысле среднеквадратичного критерия системы определяется из интегрального ур-ния

$$K_{yx}(t) = \int_0^{\infty} w(\tau) K_{xx}(t-\tau) d\tau; \quad K_{yx}(t) - \text{корреляционная функция взаимная выхода и входа системы, } K_{xx}(t) - \text{корреляц. ф-ция входа системы.}$$

Для многомерных САР с m входами $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_m(t)$ и n выходами $y_1(t)$, $y_2(t)$, ..., $y_n(t)$

$$\text{имеет место ур-ние } y_i(t) = \sum_{k=1}^m \int_{-\infty}^t w_{ik}(t, \tau) x_k(\tau) d\tau,$$

где И. п. ф. $w_{ik}(t, \tau)$ определяется как величина реакции на i -том выходе в момент t при подаче на k -й вход единичного импульса в момент τ , при условии, что все остальные входные сигналы тождественно равны нулю. И. п. ф. можно определить интегрированием соответствующих дифференц. ур-ний САР, преобразованием частотной хар-ки и передаточной ф-ции или экспериментально.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория. Под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 2 изд., М., 1960. А. И. Тейман.

ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА (pulse system, sampled data system; système à «échantillonnage», système impulsionnelle, système à données intermittentes; Impulssystem, Pulssystem) — система, в которой по крайней мере одна из величин, характеризующая ее состояние или внешнее воздействие, подвергается импульсной модуляции. И. с. состоит из элемента, осуществляющего импульсную модуляцию, и непрерывной части, подверженной воздействию модулированной последовательности импульсов. В зависимости от вида импульсной модуляции И. с. подразделяются на амплитудные, широтные, фазовые и частотные. В разомкнутых И. с. модуляции подвергается внешнее воздействие, а в замкнутых — также выходная величина непрерывной части. К разомкнутым И. с. относятся, напр., И. с. связи; к замкнутым — системы прерывистого регулирования, импульсные следящие системы.

В И. с. легко осуществляются многоканальная передача управляющих сигналов, основанная на временном разделении каналов, измерение физич. величин объектов регулирования, без нарушения последнего. Благодаря импульсности модуляции повышается помехозащищенность передачи управляющих сигналов.

Лит.: Цыпкин Я. З., Теория импульсных систем, М., 1958. Я. З. Цыпкин.

ИМПУЛЬСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, и м п у л с н о е в о з м у щ е н и е (pulse input, pulse action; essai d'impulsion, action d'impulsion; Impulseinwirkung), — воздействие, отличное от нуля лишь в малом интервале времени (по сравнению с основными временными хар-ками системы, к к-рой прикладывается И. в.). За время существования И. в. реакция системы остается практически постоянной. Основные хар-ки И. в.: 1) длительность τ — интервал существования; если И. в. повторяется с периодом T , вводят понятие скважности $\gamma = \frac{\tau}{T}$; 2) форма; 3) амплитуда — максимальное значение сигнала.

Для определения и оценки свойств систем автоматич. управления и каналов связи обычно исследуют их реакцию на различного рода И. в. При этом идеализируют формы И. в., рассматривая воздействия вида прямоугольных, трапециальных, пилообразных им-

пульсов, импульсов с формой вида $\cos^2 \omega t$ и т. п. Если уменьшать τ , оставляя при этом неизменной площадь (т. е. интенсивность) И. в., то в пределе при $\tau \rightarrow 0$ получим воздействие вида δ -импульса. Понятие δ -импульса применяется при исследовании переходных процессов.

Л. А. Тененбаум.
ИМПУЛЬСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ [motor pulse control; commande impulsionnelle; Impulssteuerung (Stoßsteuerung) elektrischer Antriebe] — метод управления скоростью вращения электродвигателей или вращающим моментом, основанный на периодич. изменении параметров цепей двигателя или схемы его присоединения к источнику энергии. В качестве коммутирующих импульсных элементов (ИЭ) применяются реле, контакторы [1], магнитные усилители [2], полупроводники [3], транзисторы [4,5]. Если двум схемам включения двигателя соответствуют существенно различные значения установившейся скорости, то, изменяя отношение интервалов времени, в течение к-рых двигатель включен согласно 1-й и 2-й схемам, можно регулировать скорость вращения в широком диапазоне. Напр. (рис. 1, а), при замкнутом контакте ИЭ цепь якоря Я подключена

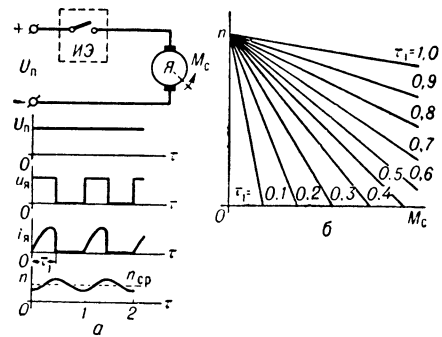


Рис. 1. Принцип импульсного регулирования скорости: а — простейшая схема; б — механич. хар-ки электропривода.

к источнику U_n и двигатель разгоняется. При разомкнутом контакте двигатель тормозится статич. моментом нагрузки M_c . Среднее значение скорости n определяется относит. временем τ_1 включения ИЭ и нагрузкой M_c . Механич. хар-ки электропривода (рис. 1, б) идентичны реостатным. Подобные схемы отличаются низкими кд и коэфф. использования двигателя при глубоком регулировании скорости. Это обусловлено режимом прерывистых токов в цепи якоря, при котором эффективный ток может быть значительно больше среднего.

Особая структура выходных каскадов усилителей на переключающих транзисторах (рис. 2, а) и применение повышенной частоты модуляции могут обеспечить работу двигателя в режиме непрерывных токов. Пусть в интервале $\tau_1 > 1 - \tau_1$ полярность управляющего напряжения u_y такова, что включены T_1 , T'_1 , и ток якоря i_a возрастает. В интервале $1 - \tau_1$ включаются T_2 , T'_2 , и напряжение на якоре u_a реверсируется. Однако величина i_a не может измениться скачком. Под влиянием ЭДС самоиндукции якоря ток будет течь в прежнем направлении через диоды D_2 , D'_2 навстречу

U_n и уменьшаться. В схеме обеспечивается реверсирование привода и рекуперативное торможение, а механич. хар-ки (рис. 2,б)

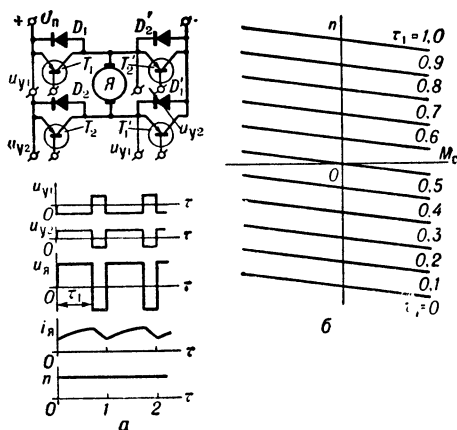


Рис. 2. Реверсивная схема импульсного регулирования на транзисторах: а — схема; б — механич. хар-ки привода.

соответствуют естественным при питании от источника с регулируемым напряжением ($2\tau_1 - 1$) U_n . Потери в двигателе также соответствуют работе на естеств. хар-ке. Источник U_n не должен препятствовать рекуперации. Системы электропривода с импульсным регулированием скорости отличаются простотой, надежностью, малыми габаритами и весом, а схемы на транзисторах — также высокой экономичностью, поэтому они нашли применение в самолетных электроприводах, в металлургии, в металлообрабатывающих станках.

Лит.: 1) Кулебакин В. С., Нагорский В. Д., Электрификация самолетов, т. 2, М., 1952; 2) Роткоп Л. Л., Импульсный метод регулирования скорости асинхронного двигателя с применением бесконтактной аппаратуры управления, «ВЭ», 1958, № 1; 3) Автоматизированный электропривод, вып. 2 — Твердин Л. М., Система УВВ-Д с импульсным регулированием скорости вращения, М., 1960; 4) Нагорский В. Д., Управление двигателями постоянного тока, «ИАН СССР. ОТН», 1960, № 2; 5) Коссов О. А., Статистические характеристики привода постоянного тока с импульсным полупроводниковым усилителем, «ВЭ», 1960, № 7. О. А. Коссов.

ИМПУЛЬСНЫЙ РЕЖИМ (pulse regime; régime impulsionnel, régime d'impulsions; Impulsbetrieb, Tastbetrieb) — режим работы электронной лампы, тиатрона и пр., при котором токи, протекающие через лампу, отличны от нуля лишь в течение малых интервалов времени. И. р. имеет место при определенном подборе параметров схемы, в которую включена лампа. Процессы, протекающие в такой схеме, имеют прерывистый характер. Т. к. лампа, работающая в И. р., обычно большую часть времени заперта, мгновенная мощность, развиваемая ею в моменты прохождения тока, может достигать очень большого значения за счет накопления энергии в остальные моменты времени. При этом средняя величина энергии, потребляемой устройством, остается такой же, как у устройства, работающего в непрерывном режиме и имеющего значительно меньшую мгновенную мощность. Токи, протекающие через лампу, работающую в И. р., могут значительно превышать номинальное значение, установленное для непрерывного режима, вследствие своей кратковременности. Примером ламп, работающих

в И. р., являются лампы, входящие в схемы различных устройств импульсной техники, формирующих последовательности импульсов различной формы (мультивибратор, блокинг-генератор и др.). Л. П. Сысоев.

ИМПУЛЬСНЫЙ РЕЖИМ ГЕНЕРАТОРА (generator pulse regime; régime impulsionnel du générateur; Generatorimpulsbetrieb) — см. Модуляция импульсная.

ИМПУЛЬСНЫЙ СИГНАЛ (impulse signal; signal d'impulsion, signal impulsionnel; Impulssignal, Impulszeichen) — кратковрем. изменение электрического напряжения или тока, в частности кратковременное появление напряжения или тока. В радиотехнике различают И. с. двух основных типов: И. с. постоянного тока, называемые видеоимпульсами, и радиочастотные И. с. — радиоимпульсы. Радиоимпульсом наз. кратковрем. посылка ВЧ колебаний. В инженерной практике радиоимпульсы часто наз. высокочастотными пачками, или импульсами с ВЧ заполнением. Радиоимпульсы обычно получают путем модуляции генераторов гармонич. колебаний видеоимпульсами, длительность к-рых много больше периода ВЧ колебаний.

Импульсы характеризуются амплитудой, длительностью, частотой следования или скважностью, а также формой. Обычно применяются импульсы прямоугольной формы, но в различных случаях практики возможно применение импульсов пилообразных, треугольных, колоколообразных и др. Радиоимпульсы характеризуются еще частотой заполнения и используются при радиотелеграфной передаче, в радиолокации, радионавигации, радиоастрономии и др. В зависимости от назначения устройства частота заполнения радиоимпульсов может изменяться от 10^5 гц (длинные волны) до 10^{11} гц (миллиметровые волны). Длительность радиоимпульсов, используемых на практике, обычно лежит в пределах от 10^{-7} до 10^{-1} сек. К. С. Рожевич.

ИМПУЛЬСНЫЙ ЭЛЕМЕНТ (impulse element; élément impulsionnel; Impulselement, Impulsglied, periodischer Taster) — элемент, преобразующий непрерывную входную величину в последовательность импульсов, модулированных по амплитуде, длительности, фазе или частоте. Типовой И. э. характеризуется коэфф. пропорциональности K_n , периодом повторения T или частотой повторения импульсов $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$, длительностью импульсов γT , формой импульсов $S(t)$. И. э. используется в импульсных автоматич. системах в качестве модулятора и усилителя.

Лит.: Цыпкин Я. З., Теория импульсных систем, М., 1958. Я. З. Цыпкин.

ИНВАРИАНТНОСТЬ системы автоматического регулирования (invariance; invariance; Invarianz, Unveränderlichkeit) — полная или частичная независимость к.-л. координаты от действующих на САР возмущений. И. достигается введением в систему соответствующим образом подобранных связей по возмущающим воздействиям с целью лучшей стабилизации или лучшего воспроизведения изменяющегося задания. См. также Регулирование комбинированная система.

Лит.: Теория инвариантности и ее применение в автоматических устройствах [под ред. В. С. Кулебакина], М., 1959; Улагов Г. М., Регулирование по возмущению, М.—Л., 1960. О. П. Ларичев.

ИНВЕРСИОННЫЙ СЛОЙ (inversion layer; couche d'inversion; Inversionsschicht) — поверхностный слой ПП, тип проводимости к-рого противоположен объемному. Его существование по *зонной теории* объясняется изгибом энергетич. зон у поверхности, возникающим вследствие воздействия внешнего электрич. поля или поля, создаваемого зарядами в поверхностных состояниях. Изгиб энергетич. зон вверх смещает проводимость поверхностного слоя ПП к *p*-типу, а вниз — к *n*-типу, т. к. при этом изменяется энергетич. промежуток между уровнем Ферми и границами зон, что и приводит к изменению проводимости. Кислород, особенно озон, создающий отрицат. заряд, соприкасаясь с поверхностью ПП, образует И. с. дырочной проводимости. Влага в воздухе, создающая положит. заряд, на материале *p*-типа образует И. с. электронной проводимости. Т. о., отрицат. внешнему потенциалу соответствует И. с. дырочной проводимости, положительному — электронной. Подвижность носителей заряда в И. с. ниже, чем в объеме из-за рассеяния на поверхности. В тонких И. с. (значительно меньше длины свободного пробега в объеме) подвижность оказывается пропорциональной толщине слоя, а проводимость — пропорциональной квадрату толщины и обратно пропорциональной разности потенциалов между объемом и поверхностью. Требуется относительно большое время (от секунд до часов) для установления стационарной проводимости И. с. при воздействии на поверхность как внешним полем, так и изменением среды.

И. с., возникающие на поверхности кристаллов ПП приборов, создают каналы поверхностной проводимости, увеличивают барьерные емкости и обратные токи переходов; в транзисторах, электронно-дырочные переходы к-рых получены в процессе выращивания монокристаллов по Чохральскому, возможно закорачивание эмиттера с коллектором.

Лит.: Кингстон Р., Поверхностная электронная проводимость на германии *p*-типа, вызванная парами воды, в сб.: Проблемы физики полупроводников, под ред. В. Л. Бонч-Бруевича, пер. с англ., М., 1957; Brown W. L., «Phys. Rev.», 1953, ser. 2, v. 91, № 3, p. 518. А. Н. Федоров.

ИНВЕРСНАЯ СТРУКТУРА (inverse structure; structure d'inversion; Inversionstruktur; Umkehrstruktur, Spiegelungsaufbau) — структура, имеющая те же воспринимающие элементы, что и данная структура, но обратная ей по действию. Это значит, что при одном и том же состоянии воспринимающих элементов воздействие на выходе И. с. равно 1, если на выходе данной структуры оно равно 0, и равно 0, если на выходе данной структуры оно равно 1. Примером элементарной И. с. может служить размыкающий контакт реле по отношению к замыкающему контакту; при одном и том же состоянии реле значения проводимостей этих контактов противоположны.

Булева ϕ -ция (см. *Алгебра логики*) И. с. обозначается через \bar{f} (f — ϕ -ция исходной структуры, черта сверху — знак инверсии, логич. отрицания). Если булева ϕ -ция исходной структуры задана ϕ -лой, то булеву ϕ -цию И. с. можно получить, используя законы инверсии алгебры логики:

$$\overline{x \cdot y} = \bar{x} + \bar{y}, \quad \bar{x} + \bar{y} = \overline{xy}.$$

Если же исходная структура задана таблицей включения, то для получения таблицы включения И. с. достаточно в исходной таблице изменить все значения выхода с 1 на 0, и наоборот. Для планарных структур И. с. можно получить графич. способом.

Лит.: Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, М.—Л., 1950. В. В. Воржева.

ИНВЕРСНЫЙ КАСКАД, паразитный усилитель (inverter stage; étage d'inversion; Umkehrstufe, Inverterstufe), — усилит. схема, позволяющая без применения тр-ра получить два напряжения, равных по величине и противоположных по фазе. И. к. обычно используется в качестве предоконечного, когда последующий каскад работает по двухтактной схеме. Он может быть собран как на лампах, так и на ПП приборах. И. к. являются схемами реостатного типа и потому просты в конструктивном отношении; но в них трудно обеспечить симметрию выходных напряжений и строго противоположный сдвиг фаз в широком диапазоне частот. В результате уровень нелинейных искажений всей схемы возрастает.

В типовом И. к., собранном на одной лампе (рис. 1), сопротивление нагрузки разбито на два (R_1 и R_2), одно из к-рых включается

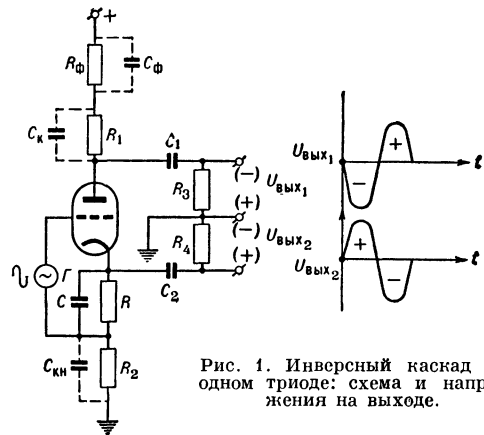


Рис. 1. Инверсный каскад на одном триоде: схема и напряжения на выходе.

в анод, другое — в катод. С этих сопротивлений снимаются два симметричных напряжения для питания следующего каскада. Цепочка RC служит для задания автоматич. смещения на сетку лампы. При идеальных условиях норм. работа И. к. требует выполнения соотношений $R_1=R_2$, $C_1=C_2$, $R_3=R_4$. В реальных схемах эти равенства нарушаются: 1) из-за того, что источник питания имеет конечное внутр. сопротивление; 2) если в цепь питания включен НЧ фильтр $R_фC_ф$, то условие $R_1=R_2$ не будет выполняться в области низких частот; 3) когда наличие емкости катод-накал $C_{кн}$ нарушает условие $R_1=R_2$ в области верхних частот; при этом усиление нижнего плеча схемы будет меньше, чем верхнего; 4) если входные сопротивления след. каскада не равны между собой, нарушается условие $R_3=R_4$. С помощью регулировки элементов схемы и подключения компенсирующей емкости $C_к$ параллельно R_1 можно добиться достаточно симметричной формы напряжений на выходе. Недостатком И. к. (рис. 1) является то, что генератор на входе не заземлен. От этого дефекта свободна схема (рис. 2), собранная на двойном триоде. Входной сигнал

от генератора Γ усиливается лампой L_1 и затем поступает через разделит. емкость C_2 на делитель $R_1 R_2$. Если делитель подобран так, что уменьшение сигнала равно усилению второго каскада, то амплитуда сигнала, поступающего с анода L_2 , будет точно равна

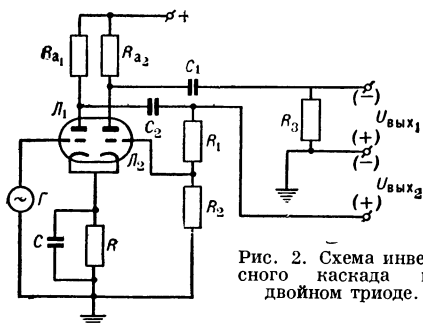


Рис. 2. Схема инверсного каскада на двойном триоде.

амплитуде сигнала с анода L_1 . Сдвиг фаз между этими напряжениями равен 180° . Если второй каскад имеет усиление K , то, при отсутствии паразитных сопротивлений и емкостей в схеме, норм. работа И. к. обеспечена при условиях: $(R_1 + R_2)/R_2 = K$; $R_1 + R_2 = R_{a1}$; $C_1 = C_2$; $R_{a1} = R_{a2}$. В реальной схеме все указанные элементы практически требуют дополнит. регулировки.

Лит.: Цыкин Г. С., Электронные усилители, М., 1960. Р. С. Ржевский.

ИНВЕРТОР, в вычислительной технике (not-circuit, not-gate; circuitnon, porte-non; Nein-Schaltung, Nicht-Schaltung, Nicht-Tor), — 1) Схема с одним входом и одним выходом, в к-рой сигнал на выходе возникает

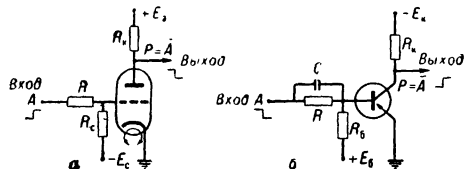


Рис. 1. Схема потенциального инвертора: а — на трехэлектродной лампе; б — на транзисторе типа $p-n-p$.

лишь при отсутствии сигнала на входе. Применяется для реализации элементарной логич. операции «не». Различают И. потенциальный и импульсный. Потенциальный И. обеспечивает низкий уровень напряжения на выходе

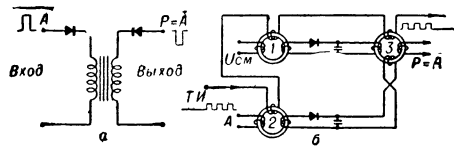


Рис. 2. Схема импульсного инвертора: а — на импульсном тр-ре; б — на ферритовых сердечниках.

при высоком уровне на входе, и наоборот (рис. 1). Импульсный И. инвертирует импульсные сигналы. При этом возможны два варианта: а) И., изменяющий полярность входных сигналов (рис. 2, а); б) И., формирующий импульс на выходе при отсутствии импульсного сигнала на входе и не выдающий

никакого сигнала при наличии импульса во входной цепи. При этом соотношение между полярностями входного и выходного сигналов не имеет значения (рис. 2, б).

2) Решающий усилитель АВМ, используемый для осуществления преобразования $x_{вх}(t) = -x_{вых}(t)$.

ИНВЕРТОР АВТОНОМНЫЙ (autonomous inverter; onduleur autonome; selbstgeführter Wechselrichter) — один из видов *вентильных преобразователей*, в котором используются управляемые вентили с хар-ками типа тиратрона, преобразующие электрич. энергию перемен. тока в энергию пост. тока и отдающие ее в сеть, к-рая не содержит др. источников энергии этой же частоты. Т. о., с энергетич. точки зрения И. а. выполняют те же ф-ции, что и ламповые генераторы синусоид. или несинусоидальных колебаний. Однако в связи с использованием в И. а. управляемых вентилей, в к-рых управляющий электрод может лишь «открыть» прибор, но не может ни «запереть» его, ни управлять величиной протекающего через него тока, в схемах И. а. должны быть обязательно предусмотрены средства, обеспечивающие поочередное отпирание и запираание вентилей и, тем самым, переход тока с одного вентиля на др. (коммутацию тока).

От инвертора, *ведомого сетью*, И. а. отличается тем, что в его приемной сети не имеется

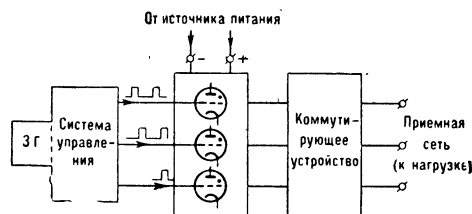


Рис. 1. Структурная схема 3-фазного автономного инвертора: 3Г—генератор, задающий частоту.

др. источников активной энергии. В связи с этим величина и форма кривой напряжения в приемной сети зависят целиком от параметров схемы И. а. и нагрузки. Частота выходного напряжения И. а. определяется только частотой отпирания вентилей импульсов, подаваемых от системы управления (рис. 1) и при необходимости может регулироваться.

На рис. 2, а дана схема однофазного параллельного И. а. Вентили B_1 и B_2 зажигаются

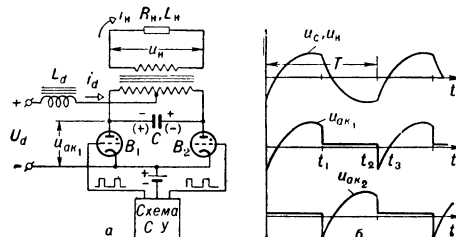


Рис. 2. а—Схема 1-фазного параллельного инвертора; б — линейные диаграммы напряжений на конденсаторе U_C (они же на нагрузке— U_H) и на вентильях U_{ak1} и U_{ak2} .

поочередно, благодаря подаче на их управляющие электроды (сетки) в противофазе отпирания импульсов. Гашение каждого вентиля при зажигании следующего осуществ-

вляется коммутирующим конденсатором C . К концу интервала проводимости B_1 напряжение на конденсаторе C имеет полярность, показанную на рис. 2,а знаками без скобок. При зажигании B_2 это напряжение прикладывается к вентилю B_1 , причем плюс оказывается на катоде, так что B_1 гаснет. Затем во время работы B_2 конденсатор перезаряжается (на рис. 2,а знаки в скобках) и при отпирании B_1 гасит B_2 и т. д.

Конденсатор C обеспечивает в течение определенного интервала времени после погасания отрицат. напряжение на аноде по отношению к катоду (на рис. 2,б интервал t_3-t_2), что необходимо для восстановления управляемости вентилей после интервала проводимости. Если за это время восстановление управляемости погасшего вентилей не успеет произойти, этот вентиль вновь окажется проводящим, когда его анодное напряжение станет положительным. При этом оба вентилей будут проводить одновременно, и дальнейшая коммутация тока окажется невозможной, т. е. произойдет «срыв» или «опрокидывание» И. а.

Конденсатор C является также источником реактивной мощности для приемной сети, если нагрузка в последней имеет индуктивный характер.

Если в качестве коммутирующего устройства используются конденсаторы (рис. 2,а), то И. а. называется инвертором с емкостной коммутацией. Коммутирующим устройством может также служить электрич. машина, напр. синхронный двигатель или компенсатор, потребляющие необходимую для их вращения активную мощность от И. а. В этом случае И. а. наз. инвертором с электромашиной коммутацией.

По способу получения перем. напряжения, подаваемого на вход системы управления, И. а. делятся на самоуправляемые — в системе управления имеется отдельный задающий генератор (напр., маломощный ламповый или ПП генератор импульсного или синусоидального напряжения) — и самоуправляемые. В самоуправляемых И. а. вход системы управления подключен к приемной сети инвертора так, что он, его система управления и приемная сеть с нагрузкой образуют автоколеб. систему.

По числу фаз на вентильной стороне тр-ра И. а. с любым видом коммутации делят на 1-, 3-, 6-фазные и т. д. При этом в схеме И. а. может быть использована любая из известных преобразоват. схем.

В зависимости от способа включения конденсаторов И. а. с емкостной коммутацией

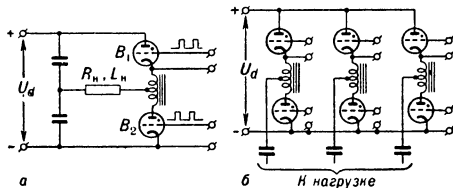


Рис. 3. Схемы последовательных инверторов: а — 1-фазного с разделенной коммутирующей емкостью; б — 3-фазного, собранного по мостовой схеме.

(при любом числе фаз) бывают неск. типов: параллельный — когда конденсаторы включены параллельно нагрузке (рис. 2,а), последовательный (рис. 3), параллельно-последо-

вательный и т. д. Все эти схемы И. а. весьма существенно отличаются друг от друга своими рабочими хар-ками.

Для получения осн. хар-к И. а. необходимо сначала найти кривую изменения выходного напряжения во времени. В случае однофазных схем И. а. для этого достаточно решить дифференц. уравнения, описывающие процессы в схеме в течение одного полупериода (особенно, если в схеме число реактивных элементов, определяющих порядок дифференц. уравнения, не превышает двух). Постоянные интегрирования определяются из условий периодичности процессов в схеме и отсутствия разрывов на границах полупериода в кривых напряжения на коммутирующих конденсаторах и токов в индуктивных нагрузках L_n и в индуктивности L_d («кусочно-припасовочный» метод). После нахождения мгновенных значений выходных напряжения u_n и тока i_n , а также входного тока i_d вычисляются зависимости от времени действующего значения выходного напряжения U_n/U_d в ф-ции параметров нагрузки, величины коммутирующей емкости и рабочей частоты (обобщенные внешние хар-ки), а также вычисляются зависимости от этих же величин входного тока, времени восстановления управляемости и др. зависимости, характеризующие работу этой схемы.

В многофазных схемах И. а. выходное напряжение весьма мало отличается от синусоидального; в этих случаях достаточно точные результаты могут быть получены методом осн. гармоники. Анализ И. а. ведется при этом по схеме замещения для осн. гармоники. В этой схеме (рис. 4) И. а. представлен идеализиров. многополюсником H , осуществляю-

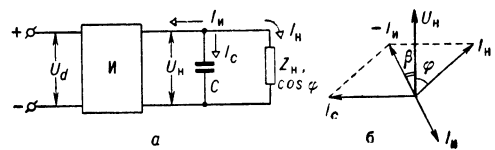


Рис. 4. а — Схема замещения параллельного инвертора (для одной фазы); б — векторная диаграмма для основной гармоники.

щим преобразование пост. тока в переменный, нагрузкой Z_n и коммутирующими конденсаторами C , подключенными к его выходу. Из условия равенства активных и реактивных составляющих векторов токов инвертора и нагрузки можно получить, переходя от токов к проводимостям:

$$\frac{1}{\cos \beta} = \sqrt{\left(\frac{\omega C Z_n \sin \varphi}{\cos \varphi}\right)^2 + 1},$$

где β — угол между выходным напряжением U_n и опережающим его током I_n .

Подводимое к И. а. пост. напряжение U_d , действующее значение выходного фазового напряжения U_n и угол опережения зажигания β связаны равенством (при отсутствии потерь)

$$U_d = ak U_n \cos \beta,$$

где a — коэфф., определяемый схемой инвертирования (1,17 — для 3-фазной схемы с нулевым выводом и для схемы с уравнил. реакт. ток, 1,35 — для 6-фазной схемы с выводом ср. точки и 2,34 — для 3-фазной мостовой

схемы), k — коэфф. трансформации инверторного тр-ра.

Из двух последних соотношений вытекает выражение для обобщенной внешней хар-ки И. а.:

$$ak \frac{U_n}{U_d} = \sqrt{\left(\frac{\omega C Z_n - \sin \varphi}{\cos \varphi}\right)^2 + 1},$$

к-рая, как видно из рис. 5, имеет падающий характер, что является осн. недостатком

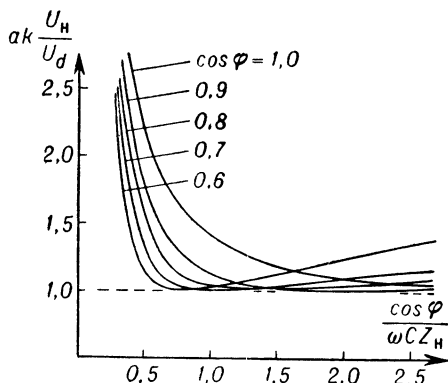


Рис. 5. Обобщенные внешние хар-ки параллельного инвертора для разных значений $\cos \varphi$ нагрузки. По оси абсцисс отложено отношение активной составляющей проводимости нагрузки к проводимости коммутирующего конденсатора, перенесенного на сторону нагрузки, по оси ординат — отнosit. выходное напряжение.

схемы параллельного И. а. (в схемах последоват. и параллельно-последовательных И. а. этот недостаток сказывается в меньшей степени). Аналогично можно получить и др. хар-ки И. а.

И. а. применяется либо непосредственно (напр., для питания от низковольтных источников пост. тока: сухих элементов, аккумуляторов, различных газоразрядных источников света, требующих повыш. напряжения), либо в *вентильных преобразователях частоты*, где выходным звеном являются обычно И. а., либо, наконец, в преобразователях пост. тока с промежуточным преобразованием его в перем. ток для целей трансформирования. При выборе схемы И. а. необходимо учитывать назначение всего преобразователя в целом. Так, напр., в преобразователях частоты для питания установок индукц. нагрева требуются однофазные схемы И. а., и осн. задачей является получение достаточно высокой частоты на выходе (до 1000—2000 гц) и достаточно большой мощности (десятки и сотни кет). В преобразователях частоты, предназначенных для установок привода перем. тока с частотным управлением, необходимы схемы И. а., дающие 3-фазное и возможно более близкое к синусоидальному выходное напряжение и позволяющие изменять это напряжение и рабочую частоту в достаточно широких пределах.

Следует отметить большую перспективность полупроводниковых И. а., осн. частью к-рых являются ПП управляемые вентили, обладающие весьма малым временем восстановления управляемости (порядка 20 мксек) и очень малым падением напряжения в прямом направлении (порядка 1 в).

Лит.: Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 3, М.—Л., 1956; Шиллинг В., Схемы выпрямителей, инверторов и преобразователей частоты, пер. с нем., М.—Л., 1950; Ostendorf W., Der fremdgeführte Wechselrichter in Gegentakt-schaltung, «Arch. Elektrotechnik», 1938, Bd 32, H. 6; Лабунцов В. А., Вопросы применения ионных преобразователей частоты для изменения скорости вращения асинхронных двигателей, в кн.: Труды совещания по автоматизированному электроприводу переменного тока 25—28 мая 1955 г., М., 1958; Васильев А. С. и Слухоцкий А. Е., Ионные и электронные инверторы высокой частоты, М.—Л., 1961. В. А. Лабунцов.

ИНВЕРТОР, ВЕДОМЫЙ СЕТЬЮ (network driven inverter, dependent inverter; onduleur alimenté à partir d'un réseau, onduleur non autonome; fremdgeführter Wechselrichter, netzgeführter Wechselrichter) — один из видов *вентильных преобразователей*, предназначен. для передачи активной мощности из сети пост. тока в сеть перем. тока, имеющую собств. источники активной и реактивной мощности и задающую частоту. И. в. с. является генератором активной мощности для сети перем. тока и потребителем активной мощности для сети пост. тока. При работе И. в. с. искажается напряжение приемной сети и потребляется из сети реактивная мощность, величина к-рой составляет примерно 50% от выдаваемой И. в. с. активной мощности. И. в. с. может работать только с управляемыми вентилями и при наличии независимого источника мощности в сети пост. тока, к-рым может служить выпрямитель или генератор пост. тока.

Инвертирование применяется на транспорте для рекуперативного торможения электроподвижного состава переводом выпрямителей электропоездов или тяговых подстанций в инверторный режим, в энергетике — для передачи энергии пост. током, где И. в. с. устанавливается на приемной подстанции и преобразует пост. ток в переменный; в пром-сти — для рекуперативного торможения двигателей пост. тока, имеющих вентильный электропривод. На транспорте И. в. с. включается по двухполупериодной схеме с нулевым выводом (на электропоездах перем. тока) или по 6-фазной схеме с уравнил. реактором (на тяговых подстанциях ж. д., работающих на пост. токе). В вентильном электроприводе чаще всего применяется 6-фазная схема с уравнил. реактором или 3-фазная схема с нулевым выводом с соединением схемной обмотки тр-ра в зигзаг. При передаче энергии пост. током И. в. с. включается по 3-фазной мостовой схеме или по 12-фазной каскадно-мостовой схеме.

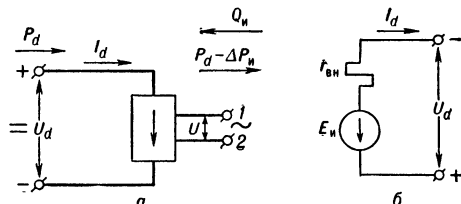


Рис. 1. Схемы замещения инвертора, ведомого сетию: а — четырехполюсником; б — источником напряжения.

В общем виде, независимо от схемы включения, И. в. с. можно представить в виде четырехполюсника, связывающего сети пост. и перем. тока (рис. 1, а). Активная мощность $P_d = U_d \cdot I_d$ из сети пост. тока поступает на зажимы \pm и выдается в сеть перем. тока с зажимов 1, 2, причем часть мощности ΔP_d

теряется во внутр. сопротивлении И. в. с. Реактивная мощность $Q_n = P_d \operatorname{tg} \varphi_1$ поступает из сети перем. тока, где φ_1 — угол сдвига первой гармоники тока сети $I_{1\phi}$ относительно неискаженной эдс приемной сети E . Ток I_d , идущий из сети пост. тока, определяется отношением разности напряжения, подведенного к И. в. с. U_d , и противо-эдс инвертора E_n к внутр. сопротивлению И. в. с. $r_{вн}$ (рис. 1, б). E_n создается приемной сетью перем. тока и направлена навстречу I_d так же, как в двигателе пост. тока. I_d протекает в И. в. с. от зажима «+» к зажиму «—», причем внутри каждого вентиля ток течет от анода к катоду. Поэтому при работе вентиля в инверторном режиме к их анодам присоединен провод внешней цепи пост. тока с положит. потенциалом, а к катодам — с отрицательным (в противоположность выпрямителю).

Принцип. схема включения инвертора передачи пост. тока дана на рис. 2. Инвертор И

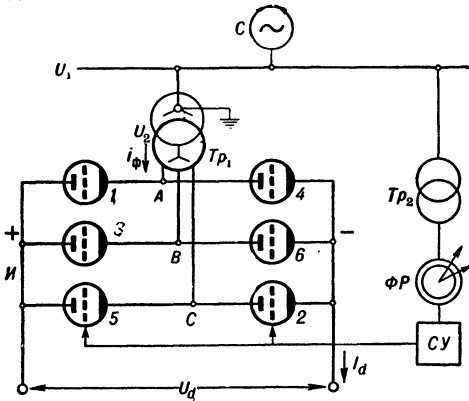


Рис. 2. Принципиальная схема включения инвертора, ведомого сетью, передачи пост. тока.

состоит из 6 одноанодных управляемых ртутных вентилях 1—6, включенных по 3-фазной мостовой схеме и пронумерованных в порядке зажигания. И. в. с. подключен к шинам приемной сети перем. тока C через тр-р Tr_1 с коэфф. трансформации $k = \frac{U_2}{U_1}$. От тех же шин через вспомогат. тр-р Tr_2 и фазорегулятор ΦP питается схема управления И. в. с. CU , к-рая генерирует импульсы управления, передаваемые на управляющие сетки вентилях 1—6 через изолирующие тр-ры (на чертеже не показаны). С помощью фазорегулятора можно вручную изменять сдвиг между сеточным импульсом и анодным напряжением вентилей на угол зажигания α . Этот сдвиг может быть получен и автоматически от спец. регулирующих устройств.

Преобразователь, приведенный на рис. 2, может работать как в выпрямительном, так и в инверторном режимах. Для перевода выпрямителя в инверторный режим при изменении полярности пост. напряжения необходимо задержать зажигание очередного вентиля на угол $\alpha > 90^\circ$, т. к. эдс выпрямителя $E_b \equiv \cos \alpha$, и при $\alpha = 90^\circ$ эта эдс переходит через нуль от положит. значений к отрицательным, что соответствует изменению направления мощности. Изменение угла зажигания приводит к изменению сдвига первой гармоники фазного тока тр-ра $I_{1\phi}$ относительно эдс сети E на угол $\varphi_1 = \alpha + \frac{1}{2}$, где γ — угол коммутации вентилей,

характеризующий время перехода тока с одного вентиля на др. На рис. 3 даны напряжения фаз e_d и e_r на вторичной обмотке тр-ра и

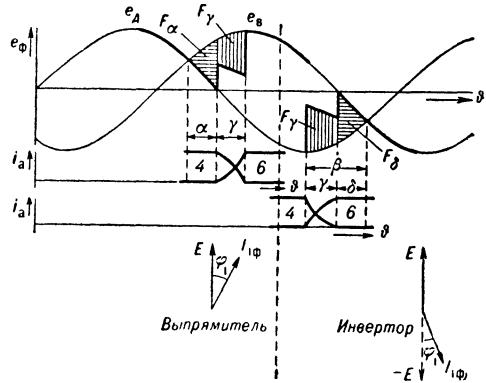


Рис. 3. Кривые изменения напряжений и токов и их векторные диаграммы при коммутации вентилей 4 и 6 3-фазной мостовой схемы в инверторном и выпрямит. режимах.

анодные токи вентилей 4 и 6 при коммутации в выпрямит. режиме (слева) и в инверторном режиме (справа). Там же приведены векторные диаграммы фазного тока и эдс сети выпрямителя и инвертора. Угол зажигания вентилей И. в. с. β отсчитывается от точки пересечения отрицат. полуволн напряжений коммутирующих фаз в сторону опережения. Он определяет момент зажигания последующего вентиля (в данном случае 6-го). Момент погасания предыдущего вентиля (здесь 4-го) определяется углом погасания δ . Связь между углами зажигания, погасания и коммутации в основном эксплуатац. режиме работы И. в. с. дается выражением: $\beta = \gamma + \delta$, причем $\beta = 180^\circ - \alpha$. Угол погасания характеризует запас устойчивости И. в. с., т. к. он показывает, какое время остается после погасания вентиля до перехода анодного напряжения погасшего вентиля через нуль. Время, определяемое углом погасания, необходимо, чтобы восстановились управляющие свойства и электр. прочность погасшего вентиля. Условием устойчивой работы И. в. с. является требование: $\delta \geq \delta_0$, где δ_0 — угол, соответствующий миним. времени восстановления управляющих свойств сетки вентиля. Для совр. высоковольтных ртутных вентилях $\delta_0 = 2-3^\circ$, а угол погасания $\delta = 15^\circ$.

При работе с неизменным β с ростом нагрузки растет площадка коммутации F_γ , заштрихов. на рис. 3 вертикально, и уменьшается площадка погасания F_δ , заштрихов. горизонтально. При этом напряжение на зажимах И. в. с. U_d возрастает. Входная хар-ка И. в. с. в осн. режиме определяется выражением

$$U_d = U_{d0} \cos \beta + \frac{3}{\pi} x_\gamma I_d,$$

где $U_{d0} \cos \beta$ есть противо-эдс И. в. с. E_n ; $U_{d0} = 1,35 U_2$ — идеальное напряжение холостого хода, определяемое линейным напряжением U_2 вторичной обмотки тр-ра; $x_\gamma = x_T + x_C$ — реактивное сопротивление коммутации, определяемое как сумма реактивных сопротивлений питающего тр-ра Tr_1 и сети C . Величина $\frac{3}{\pi} x_\gamma$ — внутр. сопротивление инвертора $r_{вн}$ (см. рис. 1, б).

Рост γ и площадки коммутации F_γ с ростом нагрузки является нежелательным, т. к. при этом снижается запас устойчивости. Для сохранения запаса устойчивости инвертор передачи пост. тока снабжается компаундирующим устройством, к-рое автоматически поддерживает неизменным угол погасания δ , изменяя соответствующим образом угол β . Поэтому запас устойчивости сохраняется при изменении нагрузки, а входная хар-ка И. в. с. в осн. режиме становится падающей прямой и определяется выражением:

$$U_d = U_{d0} \cos \delta - \frac{3}{\pi} I_d x_\gamma.$$

И. в. с. может выпасть из режима (опрокинуться) при нарушении коммутации вентиля. Причинами опрокидывания могут быть увеличение тока I_d или снижение напряжения приемной сети U_1 .

Лит.: Каганов И. Л., Инвертирование постоянного тока в трехфазный, М.—Л., 1941; Баудин К., Передача энергии постоянным током высокого напряжения, пер. с нем., М.—Л., 1958.

В. В. Худяков.

ИНВЕРТОР ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ (pneumatic inverter; inverseur pneumatique; pneumatischer Inverter) — устройство для изменения знака входной величины. И. п. может выполнять функции след. вида:

$$P_{\text{вых}} = -P_{\text{вх}} + P_0, \quad (1)$$

$$\overline{P_{\text{вых}}} = -\overline{P_{\text{вх}}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{вх}}$ и $P_{\text{вых}}$ — давления сжатого воздуха, соответствующие входному и выходному сигналам, P_0 — пост. давление, $\overline{P_{\text{вх}}} = P_{\text{вх}} - P_0$, $\overline{P_{\text{вых}}} = P_{\text{вых}} - P_0$.

Пример И. п. показан на рис. 1. Он состоит из пневматич. камер А, Б, В, Г и Д, отделенных друг от друга стенкой и гибкими мембранами 6, 7, 8. Камеры Д и В сообщены с атмосферой.

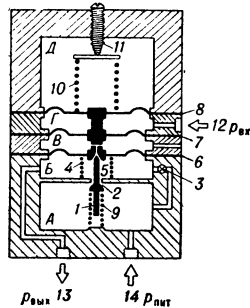


Рис. 1. Пневматич. инвертор для выполнения ф-ции вида $P_{\text{вых}} = -P_{\text{вх}} + P_0$.

Давления устанавливаются при отсутствии давления в камере Г винтом 11, действующим на пружину 10. При ввертывании винта мембранный блок опускается, сопло 5 опускает шток 1, открывая седло 2, и воздух проходит из камеры А в камеру Б, увеличивая давление на выходе И. п. Воздух поступает до тех пор, пока сила, возникшая от увеличения давления в камере Б, действуя на мембрану 6, не уравновесит суммарное усилие от пружин 4 и 10. Тогда мембранный блок поднимется, и клапан прикроет доступ воздуха из камеры А,

после чего давление в камере Б и на выходе инвертора перестанет изменяться и установится на значении, соответствующем данному повороту винта 11. Далее И. п. работает след. образом. При подаче сигнала в камеру Г, благодаря тому, что эффективная площадь мембраны 8 больше, чем мембраны 7, возникает усилие, направл. вверх, под действием к-рого мембраны поднимутся и сопло 5 отойдет от штока 1 и откроет доступ воздуха из камеры Б в атмосферу. Давление на выходе инвертора будет понижаться до тех пор, пока снова не наступит равновесие сил на мембранном блоке. Эффективная площадь мембраны 8 в два раза больше площади мембран 6 и 7, поэтому равновесие возможно только тогда, когда давление в камере Б уменьшится на величину, равную давлению, поданному в камеру Г. Благодаря наличию пост. протока воздуха через дроссель 3 из камеры А в камеру Б сопло 5 в положении равновесия всегда перемещено от штока 1, благодаря чему повышается точность работы инвертора.

И. п. для выполнения функции (2) может быть построен на базе пневматич. решающего усилителя, представляющего собой двухмембранное устройство с тремя камерами (рис. 2)

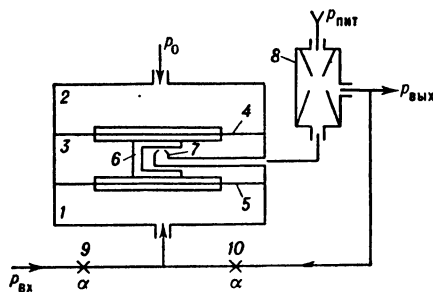


Рис. 2. Пневматич. инвертор для выполнения ф-ции вида $\overline{P_{\text{вых}}} = -\overline{P_{\text{вх}}}$.

Две из них, 1 и 2, — глухие, камера 3 соединена с атмосферой. В ней расположены скоба 6, соединяющая гибкие мембраны 4 и 5 и служащая одновременно заслонкой сопла, и сопло 7, к к-рому подводится давление питания через эжектор 8. Выходом И. п. служит давление, устанавливающееся в межсопловой камере эжектора. Сигнал давления, соответствующий заданному нач. уровню P_0 , подводится к камере 2. К камере 1 через пост. дроссели 9 и 10 подводятся входной сигнал $P_{\text{вх}}$ и давление $P_{\text{вых}}$ с выхода инвертора. Если дроссели 9 и 10 линейны и их коэфф. расхода α равны, то на выходе И. п. установится давление, равное входному сигналу, отсчит. от нач. уровня P_0 , но с обратным знаком.

Пневматич. инверторы применяются гл. обр. при создании схем пневматич. вычислит. устройств, а также в пневматич. схемах автоматич. регулирования, когда требуется изменить знак какой-либо величины.

Лит.: Березовец Г. Т., Малый А. Л., На джафов Э. М., Приборы пневматической агрегатной унифицированной системы и их использование для автоматизации производственных процессов, М., 1960; Электротехническая промышленность за рубежом. Средства автоматизации производственных процессов РИ-273-1. М., 1960; Березовец Г. Т., Дмитриев В. В., 1960; Малый А. А., Новая система пневматических вычислительных устройств «АиТ», 1961, т. 22, № 1.

Г. Т. Березовец.

ИНДИКАТОР РАВНОВЕСНЫХ СХЕМ (null indicator; indicateur de zéro; Nullanzeigergerät, Nullindikator) мостовых, компенсационных — то же, что нульоргана.

ИНДИКАТОРНАЯ ЛАМПА, «магический глаз» (tuning indicator, «magic eye»; indicateur visuel d'accord cathodique; Signallampe, Anzeigeröhre), электронно-световой индикатор, электронно-лучевой индикатор, визуальный индикатор настройки, — комбинированная электронная лампа, где один из электродов содержит люминесцирующий экран, размеры светящейся части или яркость свечения к-рого зависят от потенциала управляющего электрода. И. л. применяется в качестве указателя настройки радиоаппаратуры, а также в качестве нулевого прибора в измерит. аппаратуре, в индикаторах переключения, ламповых вольтметрах, индикаторах сигнала и др.

Простейшим видом И. л. является *триод*, внутр. поверхность анода к-рого покрыта слоем люминофора, светящегося при бомбардировке электронами. При уменьшении количества бомбардирующих электронов яркость свечения уменьшается и прекращается совсем, когда при достаточно большом отрицат. потенциале сетки анодный ток становится равным нулю (лампа «заперта»). В простейшей конструкции анод выполняется в виде узкой прямоугол. пластинки, расположенной за сеткой, параллельно оси катода, или же в виде полоски люминофора, нанесенного на проводящей прозрачной подложке (напр., из хлористого олова). Сама подложка располагается на внутр. поверхности стеклянного баллона. В последнем случае управляющий электрод выполнен в виде пластинки с прямоугольной или клиновидной щелью, а светящаяся часть люминесцентного экрана имеет форму восклицат. знака. Такая конструкция обычно оформляется в баллоне сверхминиатюрной приемо-усилит. лампы.

Одна из распространенных конструкций И. л. схематично показана на рис. 1, а соответствующая схема включения — на рис. 2. В одном баллоне помещены два триода с общим

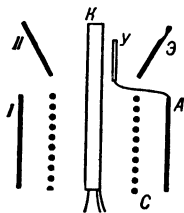


Рис. 1.

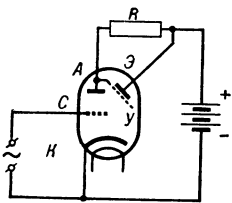


Рис. 2.

катодом косвенного накала. Первый триод — обычный, а у второго, расположенного над первым, анодом служит конусообразный экран Э, внутр. поверхность к-рого, обращенная к катоду, покрыта люминофором. Управляющий электрод второго триода выполнен в виде стержня У и внутри лампы присоединен к аноду первого триода. К этому же аноду через сопротивление R (сотни тысяч ом) присоединен экран Э, на к-рый подается пост. положит. потенциал по отношению к катоду. Распределение свечения экрана зависит от разности потенциалов между экраном и управляющим электродом. Когда эта разность, рав-

ная падению напряжения $I_a R$ на сопротивлении R , близка нулю, экран светится равномерно, когда же потенциал управляющего электрода ниже потенциала экрана, то электрич. поле между экраном и катодом искажается, и на экране появляется темный сектор, ширина к-рого увеличивается с увеличением разности потенциалов. При использовании И. л. в радиоприемнике в цепь сетки первого триода подается отрицат. напряжение смещения, полученное от детектора, связанного с входным колебат. контуром. При подстройке этого контура в резонанс с приходящими колебаниями напряжение смещения возрастает, потенциал на сетке становится более отрицательным, анодный ток уменьшается, $I_a R$ падает, и темный сектор на экране становится уже. При полной настройке темный сектор сводится на нет и экран светится равномерно.

В другой конструкции, обычно оформляемой в баллоне пальчиковой приемо-усилит. лампы, люминесцентному экрану Э придают форму раковины, помещаемой вертикально в верхней части баллона (на рис. 3 показана его

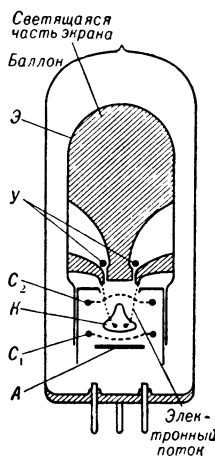


Рис. 3.

схема, а на рис. 4 — схема включения). В качестве управляющего электрода используются два горизонтально расположен. стержня У, помещенных ниже экрана. Под стержнями горизонтально помещена сетка второго

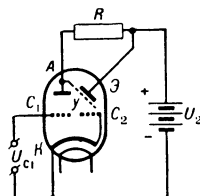


Рис. 4.

(индикаторного) триода C_2 . Она соединена с катодом и служит для ограничения величины тока на экран. Еще ниже и также горизонтально помещен оксидный подогревной катод К фанонного профиля с выступом кверху. Плоская часть катода обращена к сетке C_1 и аноду А (выполненному в виде изогнутой пластины), входящим в состав первого (обычного) триода этой комбинированной лампы. К аноду первого триода присоединен управляющий электрод второго триода, раковиннообразный анод, экран к-рого присоединен через большие сопротивления (неск. сотен тысяч ом), — также к аноду первого триода. В рабочем режиме на экран подается положит. потенциал сетки первого триода, потенциал управляющего электрода (стержня) второго триода оказывается весьма низким, и этот электрод «отбрасывает» на экран широкие «тени», оставляя лишь в его верхней средней части узкую светящуюся клиновидную полосу; по мере улучшения настройки аппаратуры полоска расширяется и при точной настройке становится наибольшей.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Справочник по радиотехнике, под общ. ред. Б. А. Смиренина, М.—Л., 1950; Электровакuumные приборы, Справочник, М.—Л., 1956. А. Г. Александров.

ИНДУКТИВНАЯ СВЯЗЬ (inductive coupling, magnetic coupling; couplage inductif; Induktionsverbindung, Magnetische Kopplung, Induktive Kopplung)—вид связи между электрич. цепями, осуществляемый через взаимную индукцию. Если магнитное поле, создаваемое током одной электрической цепи, пронизывает витки проводов другой цепи, между цепями возникает магнитное взаимодействие — взаимная индукция. Изменение тока в одной цепи вызывает изменение магнитного поля и возникновение электродвижущей силы в др. цепи, и наоборот. Количественно И. с. характеризуется взаимной индуктивностью (коэфф. взаимной индукции), численно равной тому магнитному потоку, к-рый пронизывает одну из цепей, когда в другой цепи течет ток, равный единице. Единицей измерения взаимной индуктивности в практич. системе единиц служит *генри*. В НЧ и ВЧ цепях радиоэлектронных схем И. с. осуществляется с помощью катушек индуктивности различных видов, в к-рых концентрируется практически все магнитное поле цепи. На СВЧ применяются витки и петли связи. Для регулирования величины И. с., как правило, применяются соосные катушки индуктивности, одна из к-рых может перемещаться относительно другой. Реже пользуются вращающимися катушками индуктивности — *вариометрами*. Изменяя расстояние между катушками или их взаимное расположение, можно регулировать величину И. с. Чем больше сближаются соосно расположенные катушки, тем большая часть магнитного потока катушки одного контура пронизывает витки катушки второго контура, тем сильнее становится И. с. Для уменьшения И. с. катушки раздвигают. И. с. с помощью раздельных катушек индуктивности наз. *трансформаторной связью*. При автотрансформаторной И. с. часть витков катушки индуктивности одного контура (цепи) служит индуктивностью (или частью индуктивности) второго контура (цепи). Чем больше витков являются общими для обоих контуров (цепей), тем сильнее И. с.

В связанных контурах, находящихся особо широкое применение в качестве полосовых фильтров, степень И. с. количественно оценивается коэфф. связи, к-рый определяется формулой: $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$, где L_1 и L_2 — индуктивности первичного и вторичного контуров (соответственно); M — коэфф. взаимной индукции между катушками L_1 и L_2 . И. с. может носить паразитный характер. В таких случаях необходимо изменять взаимное расположение деталей или применять электромагнитные экраны: помещать катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы и др. в сплошные оболочки из ферромагнитного материала.

П. А. Минасян.

ИНДУКТИВНОСТИ КАТУШКА (inductor, inductance, inductance coil; self, bobine d'induction, bobine de self; Induktionsspule, Selbstinduktions-spule) — провод, свернутый в катушку так, что в располож. рядом витков ток направлен в одну сторону. И. к. применяются в устройствах автоматич. управления, в электронной аппаратуре и в измерит. технике, в качестве *дросселя электрического*, элемента колебательного контура, элемента коррекции, элемента *линии задержки*, эталона индуктивности и др. Важнейшая хар-ка И. к. — величина ее индуктивности. И. к. обладает со-

средоточенной индуктивностью. Существенные хар-ки И. к. — также собственная емкость, температурная стабильность индуктивности, активное сопротивление, добротность, влагостойкость. Конструктивное оформление И. к. может быть весьма разнообразным и определяется требованиями, предъявляемыми к ее хар-кам. И. к. могут быть с сердечником или без него, с однослойной, многослойной, спиральной намоткой, каркасные и бескаркасные, с постоянной или перем. индуктивностью (*вариометры*) и т. п. Индуктивность катушки пропорциональна квадрату количества витков и зависит от диаметра катушки, типа намотки и толщины провода. Для изменения величины индуктивности применяются И. к. с перемещающимися сердечниками. Введение ферритового сердечника увеличивает индуктивность, латунного — уменьшает. Способ намотки определяет величину собственной емкости катушки и ее температурную стабильность.

А. Е. Розинкин.

ИНДУКТИВНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ (distributed induction; inductance distribuée; verteilte Induktivität) — индуктивность, создаваемая токопроводящими элементами схемы, имеющими достаточно большие линейные размеры (заметная часть длины волны используемых электромагнитных колебаний). И. р. проводов, линий и др. равномерно распределяется по всей их длине, поэтому, в отличие от сосредоточенной индуктивности катушек, она наз. распределенной. И. р. обладают провода, выводы сопротивлений и конденсаторов, штыри (ножки) ламп и т. п.; величина этой индуктивности обычно не велика и составляет доли *мкн*. Однако на высоких частотах влияние И. р. начинает сильно сказываться. Монтаж электронной аппаратуры, работающей на ВЧ, выполняется максимально короткими проводниками. Детали стремятся располагать непосредственно на ламповых панелях, чтобы избежать влияния И. р. Величина И. р. является одним из основных параметров фидерных линий и влияет на величину их *волнового сопротивления*. Каждая *длинная линия* характеризуется величиной И. р. на единицу длины.

Е. Ю. Намиот.

ИНДУКТИВНОСТЬ СОСРЕДОТОЧЕННАЯ (lumped induction; inductance concentrée; konzentrierte Induktivität, punktförmige Induktivität) — индуктивность, геометрич. размеры к-рой пренебрежимо малы по сравнению с длиной волны применяемых электромагнитных колебаний. Как правило, это катушка индуктивности того или иного назначения. Основные свойства И. с. характеризуются: величиной индуктивности, добротностью, собственной емкостью, стабильностью параметров во времени и при изменении климатич. условий.

Е. Ю. Намиот.

ИНДУКТОР НАГРЕВАТЕЛЬНЫЙ (induction heater; inducteur de chauffage; Heizungsinduktor, Heizinduktor) — электромагнитная система для индукц. нагрева проводящего тела. Индуктор состоит из двух частей: индуктирующего провода, с помощью к-рого создается магнитное поле, и токоподводов. Простейшим И. н. является цилиндр из соленоида. Индуктированные вихревые токи, а следовательно и нагрев, сосредоточиваются в участках объекта, находящихся непосредственно под индуктором, вследствие чего ширина нагретой полосы оказывается близкой к ширине

индуктора. Явление сосредоточения индуктированного тока под проводом с током носит назв. эффекта близости и широко используется при индукц. нагреве для получения нагретых зон сложной формы. Так, выполнив провод индуктора в виде зигзага, можно получить на изделии нагретую зону той же формы.

Индукторы для поверхностного нагрева применяются в основном для поверхностной закалки отдельных участков различных изделий. В основном все типы И. н. могут быть разделены на 2 вида: индукторы для нагрева одновременным и непрерывно-последовательным методами. В первом случае площадь индуктирующего провода должна быть примерно равна нагреваемой. Такие индукторы при частотах до 10 000 гц и выше выполняются одновитковыми без пост. охлаждения индуктирующего провода во время нагрева. Чтобы избежать перегрева и расплавления индуктирующего провода, в к-ром выделение тепла иногда достигает $0,5 \text{ ккал/см}^2$, его выполняют массивным. Т. к. глубина проникновения тока в медь мала (при 1000 гц ок. 2 мм), то ненагруженный ток металлом служит только для отвода тепла, выделяющегося в слое толщиной Δ_1 . Для обеспечения теплоотвода толщина индуктирующего провода d_1 (мм) должна выбираться из соотношения $d_1 \approx (2,5-4)x_k$ мм, где x_k — глубина слоя (мм) с содержанием мартенсита более 50%. Нижний предел выбирается, если $x_k > 5$ мм, верхний — при меньших глубинах. Индуктор для нагрева под закалку простых цилиндрич. деталей способом одноврем. нагрева (рис. 1) имеет на поверхности индуктирующего провода отверстия диаметром 1,5 мм с шагом 7—10 мм для подачи на деталь закалочной воды

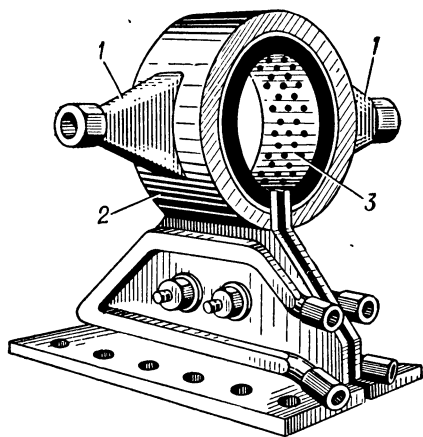


Рис. 1. Индуктор для закалки цилиндрич. деталей способом одновременного нагрева: 1 — воронки для выравнивания давления закалочной воды в камере 2; 3 — индуктирующий провод с отверстиями для выхода закалочной воды.

после выключения тока; т. о., И. н. периодически охлаждается. Токотводящие шины имеют отдельное постоянное охлаждение. Все ответств. части И. н., особенно токоведущие, сваривают или паяют твердыми припоями — латунными или серебряными. При закалке участка поверхности ширина индуктирующего провода берется на 15—20% больше требуемой ширины закаленной полосы. При закалке всей поверхности ширина И. н. должна быть при-

мерно равна длине детали. Зазор между И. н. и деталью обычно составляет 2—5 мм. В нек-рых случаях, напр. при закалке коленчатых валов, И. н. выполняется разъемным из двух частей: верхнего полукольца и нижней части, состоящей из 2 сегментов, соединяемых зажимами. В станках-автоматах для закалки коленчатых валов применяется гидравлическая подача верхнего полукольца И. н. Если деталь при нагреве под закалку не вращают, то в зоне, расположенной против токоподводов, она обычно нагревается слабее, т. к. ток в И. н., следуя по пути наименьшего электрич. сопротивления, частично выходит на боковые поверхности индуктирующего провода и лишь постепенно переходит на его внутр. поверхность. Т. о., около токоподводов напряженность поля имеет меньшее значение. Это явление устраняется, если около токоподводов установить небольшие магнитопроводы, собранные из листового электротехнич. стали. Такие магнитопроводы вообще полезно устанавливать против участков, в к-рых необходимо повысить интенсивность нагрева.

При закалке способом непрерывно-последоват. нагрева провод И. н. обычно изготавливается из медной трубки прямоугольного сечения и имеет пост. водяное охлаждение. Толщина стенки трубки при частотах ниже 10 000 гц выбирается в зависимости от глубины проникновения тока в медь Δ_1 , к-рая при бл. равна: $\Delta_1 \approx 7/\sqrt{f}$ см. Оптимальная толщина стенки трубки d_1 , при которой активное сопротивление минимально, находится из соотношения $d_1 \approx 1,6 \Delta_1 \approx 11/\sqrt{f}$ см. При радиочастотах, вследствие малости Δ_1 , руководствуются лишь соображениями механ. прочности и применяют трубки толщиной 1—0,5 мм. Вода, охлаждающая И. н., часто используется и для закалки; при этом она подается в индуктирующий провод И. н. и выпускается на нагретую поверхность через отверстия, просверленные в его задней, по отношению к движению, кромке. Если необходимо в широких пределах регулировать давление закалочной воды, И. н. выполняют из двух спаянных боковыми поверхностями трубок, передняя из к-рых служит только для охлаждения И. н., а задняя — для подвода воды, необходимой для закалки. Для предотвращения попадания брызг воды под И. н. через кольцо с прорезью или отверстиями, расположенное перед ним, подается сжатый воздух. Это кольцо не должно быть замкнутым контуром и поэтому снабжается поперечными разрезами.

При радиочастотах ток в И. н. много меньше, чем при звуковых, что дает возможность применять более легкие конструкции И. н. Это облегчает изготовление многовитковых И. н. малых размеров и позволяет шире использовать пром. ламповые генераторы, поставляемые комплектно с выходными трансформаторами, рассчитанными на сравнительно высокое напряжение на зажимах, к к-рым приключается И. н. Для выравнивания нагрева на радиочастотах применяются магнитопроводы из феррита, встраиваемые в И. н. Простейшим И. н. для закалки внутренних поверхностей является соленоид, помещенный внутрь отверстия, стенки к-рого необходимо нагреть. Однако такие И. н., при диаметрах меньше 100 мм, имеют более низкий кпд, чем И. н. для внеш-

них поверхностей. Практически при радиочастотах затруднительно осуществить нагрев отверстия диаметром меньше 50 мм и при звуковых — меньше 80—100 мм. Причина этого — «кольцевой» эффект, вследствие которого в значит. мере стягивается на внутреннюю, удаленную от нагреваемой поверхности стенку И. н. Более совершенными являются И. н. с магнитопроводами из ферромагнетика (при радиочастотах — из феррита) (рис. 2).

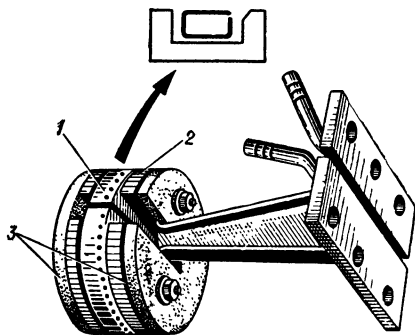


Рис. 2. Индуктор для заделки внутренней цилиндрич. поверхности непрерывно-последовательным способом: 1 — индуктирующий провод с отверстием на ребре для выпуска закалочной воды; 2 — магнитопровод; 3 — изоляц. шайбы для крепления магнитопровода.

В этом случае благодаря высокой магнитной проницаемости ферромагнетика напряженность магнитного поля на обратной стороне провода близка к нулю, и ток вытесняется к наружной стороне индуктирующего провода. Магнитопровод выполняется в виде цилиндра, желательно разрезанного на несколько

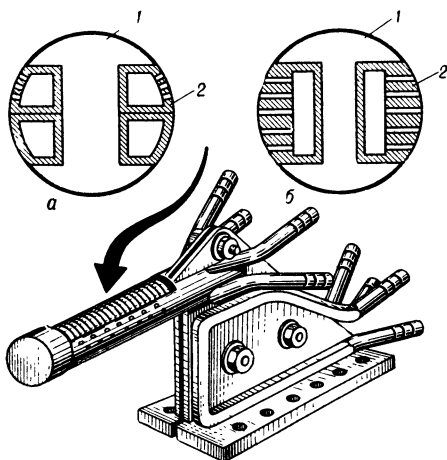


Рис. 3. Петлевой индуктор для заделки внутренних цилиндрич. поверхностей способом одновременного нагрева при вращении закаливаемой детали: а — конструкция с отдельными камерами для охлаждения индуктора и выхода закалочной воды; б — конструкция без постоянного охлаждения; 1 — магнитопровод; 2 — индуктирующий провод.

частей в радиальном направлении, что снижает возникающие в нем при работе тепловые напряжения. При диаметрах меньше 30 мм применяются петлевые И. н. с магнитопроводами (рис. 3). Равномерность нагрева слоя для заделки достигается быстрым вра-

щением детали. Кпд И. н. с магнитопроводами высок и обычно близок к 80%. Нагрев отверстий диаметром меньше 15 мм может быть осуществлен стержневым И. н., представляющим собой трубку, диаметром на ~ 4 мм меньше диаметра отверстия, размещаемую коаксиально по отношению к стенкам отверстия и соединяемую съемными токоподводами с источником тока ВЧ. Плоские поверхности на радиочастотах подвергают нагреву для заделки И. н., имеющими вид плоских спиралей или зигзагов. При звуковых частотах применяются И. н. с магнитопроводами (рис. 4). Существуют также секционирован-

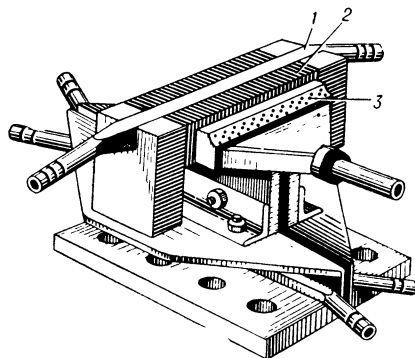


Рис. 4. Индуктор для заделки плоской поверхности непрерывно-последовательным способом: 1 — индуктирующий провод; 2 — магнитопровод; 3 — душевое устройство для подачи закалочной воды.

ные И. н. с отдельными подводами тока к каждой секции. Включая или выключая ток в различных секциях в нужном порядке, можно при непрерывном последоват. нагреве получать закаленные полосы переменной ширины и требуемой формы. Подобные же И. н. с ферритовыми магнитопроводами из П-образных пластинок феррита с закругленными углами и толщиной 4—8 мм наиболее целесообразно применять и на радиочастотах. При нагреве внешних конич. поверхностей (рис. 5) равномерность нагрева достигается подгонкой зазора до индуктора вдоль высоты изделия.

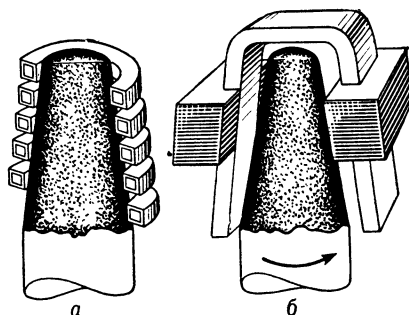


Рис. 5. Способы индукц. нагрева поверхностей конич. деталей: а — конусность мала; б — значительная конусность, при к-рой выравнивание нагрева осуществляется индуктором с магнитопроводом при обязательном вращении детали.

Нагрев внутр. конич. и ступенчатой поверхностей осуществляется петлевыми И. н. соответств. формы, снабженными магнитопроводами. Нагрев участков торцевых поверхностей производится И. н. зигзагообразной формы с

вращением детали или плоским кольцевым И. н., внутрь к-рого установлен магнитопровод. И. н. располагается против нагреваемого торца. Существует неск. конструкций И. н. для нагрева под закалку по одному зубу или впадине шестерен среднего и крупного модуля. Закалку шестерен модуля $m > 8$ по одному зубу производят гл. обр. с использованием частот 2500—10 000 гц в петлевом И. н. с магнитопроводом, охватывающим зуб с двух сторон. Чтобы закалить впадину между зубьями шестерни, индуктирующий провод располагают вдоль окружности шестерни, устанавливая против впадин магнитопроводы, входящие при рабочем положении внутрь впадин. Закалка производится непрерывно-последоват. способом с движением индуктора вдоль образующей шестерни. При этом закаленный слой имеет разрыв только на вершине зуба. Наилучший тип И. н. для закалки шестерни

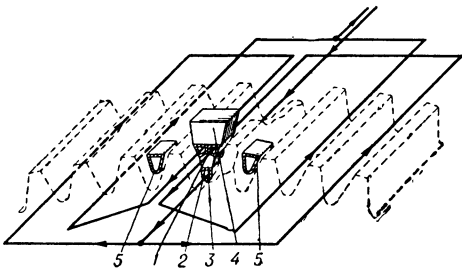


Рис. 6. Схема индуктора для нагрева впадины между зубьями шестерни: 1 и 2 — индуктирующий провод; 3 — промежуточный магнитопровод; 4 — магнитопровод; 5 — охлаждающая пластина для предотвращения нагрева обратной стороны зуба.

с $m > 5$ по впадине — двухвитковый И. н. для одновременного нагрева, провода к-рого расположены вдоль всей впадины (рис. 6) один над другим. Магнитопроводом 3 регулируют распределение нагрева.

Индукторы для сквозного нагрева кузнечных заготовок. Для сквозного нагрева используются,

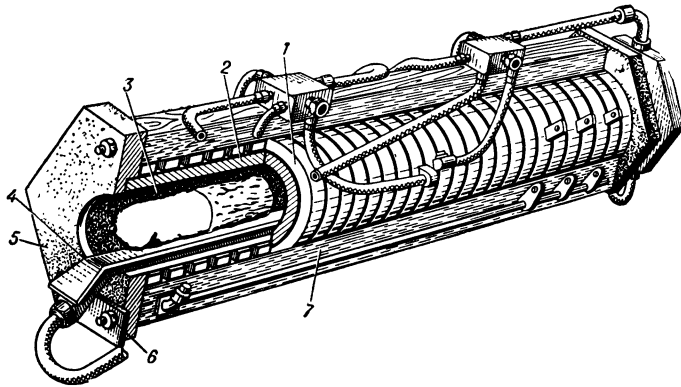


Рис. 7. Индуктор для сквозного нагрева цилиндрич. заготовок: 1 — спираль из профилированной медной трубки; 2 — электрич. изоляция (гильза из миканита); 3 — тепловая изоляция из керамич. вкладышей; 4 — полая направляющая из жароупорной стали; 5 — асбестоцементные плиты; 6 — лагунные шпилки; 7 — деревянные стяжки для крепления витков индуктора.

как правило, звуковые частоты. И. н. изготавливается из трубки прямоугольного сечения и при большой длине разделяется на неск. секций, имеющих отдельное охлаждение (рис. 7). Диа-

метр И. н. должен быть в 1,5—1,8 раза больше диаметра заготовки, что обеспечивает размещение тепловой изоляции, напр. из шамотных колец высотой 100—150 мм. Равномерный нагрев заготовок обеспечивается, если длина И. н. превышает длину заготовки на (0,5—1,0) D , где D — диаметр И. н. При нагреве заготовок прямоугольного сечения в И. н. устанавливаются две направляющие. Плотность тока в токонесущей части обмотки И. н. не должна превышать 100 а/мм², эквивалентная толщина индуктир. провода принимается равной глубине проникновения тока. Для нагрева концов заготовок применяют овальные и щелевые И. н. Заготовки располагают в ряд и продвигают вдоль щели. Лобовые части щелевого И. н. отогнуты в сторону, чтобы не мешать прохождению заготовок вдоль щели; вследствие этого значит. длины лобовых частей И. н. кпд его ниже, чем овального.

Индуктор для нагрева листового материала. При частотах выше 70 кгц широкое применение для нагрева различных листов и лент находят овальные И. н. Особенно высокий кпд, порядка 90—92%, достигается при нагреве листового материала в

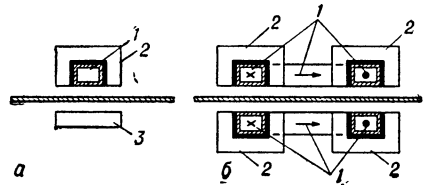


Рис. 8. Схема индукторов для нагрева листового материала в поперечном магнитном поле при размещении индуктирующего провода: а — с одной стороны нагреваемого листа; б — с обеих сторон нагреваемого листа; 1 — индуктирующий провод; 2 — магнитопровод; 3 — ярмо магнитопровода.

поперечном магнитном поле; толщина материала должна быть меньше глубины проникновения тока, что обычно выполняется при частотах ниже 10 000 гц. Однако в этом случае трудно получить равномерный нагрев по всей ширине листа.

И. н. (рис. 8, б) имеет более высокий кпд, чем И. н. (рис. 8, а). Индукторы для нагрева под сварку. При стыковой сварке труб применяются разъемные И. н., снабженные пост. охлаждением. Если И. н. не имеет магнитопровода, то минимальная ширина И. н. составляет 1,6 величины зазора между И. н. и нагреваемой поверхностью. Дальнейшее уменьшение ширины И. н. не приводит к изменению ширины нагретой полосы, вызывая лишь рост активного сопротивления и снижение кпд. При необходимости уменьшить ширину нагретой полосы следует И. н. выполнить с магнитопроводом из пластин П-образной формы. При изготовлении труб с продольным швом применяют И. н., подобный изображенному на рис. 4. При этом И. н. располагают вдоль свариваемых кромок. При достаточно большом диаметре трубы можно заметно повысить кпд

И. н., поместив внутрь трубы добавочный магнитопровод.

Лит.: Слухоцкий А. Е. и Рыскин С. Е., Индукторы для индукционного нагрева машиностроительных деталей, М.—Л., 1954; Богданов В. Н., Рыскин С. Е., Шамова А. Н., Индукционный нагрев в кузнечном производстве, М.—Л., 1956; Слухоцкий А. Е., Закалочные индукторы, 2 изд., М.—Л., 1957; Лозинский М. Г., Промышленное применение индуктивного нагрева, М., 1958.

А. Е. Слухоцкий.

ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА КОНТРОЛЬ РЕЖИМА (control of induction heating condition; contrôle du régime de chauffage par induction; Betriebszustandskontrolle der Induktionserwärmung) — измерение основных параметров, характеризующих процесс нагрева изделия, с целью обеспечения требуемых результатов термич. обработки в массовом и серийном произ-ве. И. н. к. р. осуществляется с учетом технологич. особенностей и назначения процесса, а также хар-к установки. При индукц. нагреве основными параметрами являются конечная темп-ра и общая продолжит. цикла, определяемые подводимыми к индуктору нагревательной мощностью и частотой. Мощность, выбранная при отработке режима индукц. нагрева изделия данного типа, контролируется при питании индуктора токами пром. или повышенной частот (от машинного генератора) по показаниям ваттметра. При индукц. нагреве на радиочастоте (при питании индуктора от лампового генератора) из-за отсутствия ВЧ ваттметров о режиме нагрева судят по напряжению на индукторе, определяемому по показаниям вольтметра, а также по приборам, измеряющим ток и напряжение в анодной цепи лампового генератора. Длительность процесса индукц. нагрева каждого изделия устанавливается при отработке технологии и регламентируется с помощью реле времени (электромагнитных, моторных, электронных и др.), автоматич. отключающих напряжение, питающее индуктор, через заданный промежуток времени. Для обеспечения идентичных условий индукц. нагрева необходимо поддерживать неизменным с точностью порядка $\pm 1\%$ (что обеспечивает выполнение многих технич. требований) питающее индуктор напряжение пром., повышенной или высокой частот. Для этого используются различные системы автоматич. стабилизации напряжения.

При непрерывно-последоват. методе нагрева изделий с одинаковыми по длине формой и сечением режим определяется подводимой к индуктору мощностью и скоростью движения изделия относительно индуктора. Режим нагрева при этом контролируется периодически или непрерывно. В большинстве случаев контроль и автоматич. регулирование режима осуществляются одной электрич. системой. Для периодич. или 100%-го бесконтактного контроля темп-ры изделий, подвергаемых быстропротекающему процессу индукц. нагрева, применяются пирометры различных типов. Для выборочного контроля темп-ры применяется термопарный метод (крепление спая термопары к поверхности изделия в зоне нагрева). В зависимости от цели индукц. нагрева (поверхностная закалка, сквозной нагрев для обработки давлением, сварка, пайка и др.) результаты проведенного режима нагрева проверяют на охлажденных изделиях измерением твердости, а также с помощью металлографич. анализа (макро- и микроструктурно) на поверхности и разрезе изделия. Приме-

няются также методы контроля без разрушения.

Лит.: Лозинский М. Г., Промышленное применение индукционного нагрева, М., 1958; Демичев А. Д., К вопросу о дозировании индукционного нагрева, в кн.: Промышленное применение токов высокой частоты, М.—Л., 1952 (Тр. первой Ленинградской конференции); Судakov П. М., Дозирование индукционного нагрева при термической обработке деталей, в кн.: Промышленное применение токов высокой частоты, кн. 46, Рига, 1957.

П. М. Судakov.

ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУР (temperature control of induction heating; contrôle des températures de chauffage par induction; Temperaturkontrolle der Induktionserwärmung) — измерение температуры нагреваемого тела с целью установления нужного режима нагрева. И. н. к. т. осуществляется с помощью контактных или бесконтактных измерителей (датчиков) и соответствующих измерит. схем. Информация о температуре во время процесса нагрева и его результатах используется для контроля качества продукции и подбора наиболее целесообразных технологич. режимов. По временным хар-кам наиболее типичными видами контроля являются: 1) периодич. измерения приборами с ручной наводкой или автоматич. приборами; 2) непрерывный контроль по показаниям автоматич. приборов при непрерывном и длиннопериодном процессах; 3) автоматич. запись. Автоматич. регулирующие контрольно-измерит. приборы, используя информацию, содержащуюся в измерит. сигнале, позволяют сочетать перечисл. виды контроля с автоматич. регулированием процесса нагрева. По хар-кам, зависящим от формы нагреваемого объекта, возможны след. типичные виды контроля: 1) контроль темп-ры в определ. точке на поверхности нагреваемого объекта; 2) контроль распределения темп-ры вдоль нек-рой линии на поверхности объекта; 3) контроль распределения темп-ры по нек-рой поверхности объекта.

Особенности И. н. к. т. определяются спецификой индукц. нагрева, для к-рого характерны: высокие скорости нарастания темп-ры, широкий диапазон рабочих темп-р, большой ассортимент материалов, подлежащих нагреву, разнообразие размеров и форм нагреваемых объектов, различия в конструкциях нагревателей и устройств, окружающих нагреваемый объект. Выбор методов и приборов для И. н. к. т. должен происходить с учетом конкретных особенностей процесса.

Важнейшими технич. хар-ками приборов температурного контроля являются: пределы измеряемых темп-р, величина допустимой погрешности, скорость реакции на изменение темп-ры, размеры поверхности нагреваемого объекта, необходимые для нормальной работы прибора. Для И. н. к. т. применяются только электрич. методы измерения темп-ры. Наиболее распространены термоэлектрич. метод и метод измерения темп-ры тел по их излучению (см. Температур измерения).

Лит.: Кулешов Г. П., Электрические пирометры, М.—Л., 1932; Катыс Г. П., Оптические датчики температуры, М.—Л., 1959; е го же, Методы и приборы для измерения параметров нестационарных тепловых процессов, М., 1959.

П. М. Судakov.

ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ЧАСТОТА ТОКА (induction heating current frequency; fréquence de courant pour chauffage par induction; Induktionserwärmungs-Wechselstromfrequenz) — выбор частоты тока определяет основные технико-экономич. показатели установок для индукц. нагрева. При правильно

выбранной частоте достигается наибольшая скорость нагрева при наименьшем перепаде темп-ры в нагреваемой области, а также обеспечивается наибольший кпд всей установки. При поверхностном нагреве под закалку частота выбирается так, чтобы глубина Δ проникновения тока в сталь, нагретую выше точки магнитного превращения, была неск. больше требуемой глубины прогрева x . При этом происходит наиболее равномерное выделение тепла в нагреваемом слое $\Delta \approx 50/\sqrt{f}$ см, где f — частота тока в гц. Понижение частоты, вызывая уменьшение времени нагрева, приводит к росту как полезной уд. мощности, так и уд. мощности потерь в индукторе, к-рая не должна превышать $0,5 \text{ квт/см}^2$, что обеспечивается условием $x > 0,25 \Delta$. Поэтому частоту целесообразно выбирать в диапазоне $\frac{150}{x^2} < f < \frac{2500}{x^2}$, где x — глубина прогрева в см. В этой полосе частот оптимальной является частота, при к-рой $x \approx 0,5 \Delta$, или $f_{\text{опт}} \approx \frac{600}{x^2}$ гц.

Если нагреваемая ферромагнитная деталь имеет цилиндрич. форму, следует проверить, обеспечивает ли частота условие получения высокого кпд индуктора:

$$f > \frac{30\,000}{D^2} \text{ гц}, \quad (1)$$

где D — диаметр детали (см). Наименьшее время сквозного нагрева может быть получено, если $\Delta \geq 0,2 D$. При дальнейшем понижении частоты ток по сечению цилиндра спадает линейно до нуля на осциллирующей, и условия выделения тепла не меняются. Верхний предел частоты определится неравенством:

$$f < \frac{60\,000}{D^2} \text{ гц}. \quad (2)$$

При сквозном нагреве деталей прямоугольного сечения оптим. условия обеспечиваются неравенством:

$$\frac{10\,000}{b^2} < f < \frac{60\,000}{b^2}, \quad (3)$$

где b — наименьший размер сечения (см).

Ф-лы (1—3) справедливы также и в применении к изделиям из большинства немагнитных сталей, имеющих уд. сопротивление, близкое при всех темп-рах к уд. сопротивлению ферромагнитных сталей, нагретых выше точки магнитного превращения. При сквозном индукц. нагреве труб, в частности для стыковой сварки, наибольшая равномерность нагрева и кпд достигаются при условии:

$$0,2 \Delta < d < \Delta, \quad (4)$$

где d — толщина стенки трубы (см), Δ — глубина проникновения тока при заданной темп-ре (см). Для индукц. нагрева стальных труб с высоким кпд должно соблюдаться условие (1). При нагреве деталей, изготовленных из материалов с низким уд. электрич. сопротивлением, вместо условия (1) следует пользоваться соотношением $D > 5\Delta$. При шовной сварке стальных труб непрерывно-последовательным нагревом посредством плоского индуктора, перемещаемого вдоль шва, частота выбирается по соотношению (4), причем оптимальные условия имеют место при $d \approx (0,2-0,5)\Delta$.

Лит.: Вологдин В. П., Поверхностная индукционная закалка, М., 1947; Слухоцкий А. Е. и Рыскин С. Е., Индукторы для индукционного нагрева машиностроительных деталей, М.—Л., 1954; Слухоцкий А. Е., О сквозном нагреве кузнеч-

ных заготовок прямоугольного сечения, в кн.: Промышленное применение токов высокой частоты, кн. 46, Рига, 1957; Родигин Н. М., Индукционный нагрев стальных изделий токами нормальной частоты, Свердловск, М., 1950. А. Е. Слухоцкий.

ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ (induction heating; chauffage par induction; Induktionsheizung, Induktionserhitzung, Induktive Erwärmung) — нагрев проводящих электрич. тел за счет теплового действия вихревых токов, наводимых электромагнитной индукцией. И. н. основан на использовании магнитной составляющей перем. электромагнитного поля (в отличие от *дизэлектрического нагрева*, применяемого для нагрева плохопроводящих электрич. ток материалов за счет электрич. составляющей электромагнитного поля). И. н. применяется для плавки металлов и сплавов, а также и стекла, для получения чистых ПП и металлов методом *зонной плавки*, для поверхностной и местной закалки стальных и чугуновых машиностроит. деталей, для пайки и сварки металлов, для нагрева металла под пластич. деформацию, при проведении химич. реакций в газовом ВЧ разряде, в электровакуумном произ-ве (для дегазации находящейся внутри стеклянного баллона металлич. арматуры и графитовых деталей радиоламп, ионных и др. приборов) и др. Возможность легкого регулирования режимов И. н. позволяет включать этот метод в автоматич. линии и непрерывные технологич. процессы.

Распределение вихревых токов в объеме нагреваемого объекта неравномерно: наибольшая плотность тока вследствие *поверхностного эффекта* образуется на поверхности. В полубесконечной проводящей среде с пост. свойствами, ограниченной плоской поверхностью, плотность вихревых токов изменяется по экспоненте $\delta_{mz} = \delta_{me} e^{-z/\Delta}$, где δ_{mz} — амплитуда плотности вихревых токов на расстоянии z от поверхности среды, δ_{me} — амплитуда плотности вихревых токов на поверхности ($z = 0$), e — основание натуральных логарифмов, Δ — глубина проникновения тока (расстояние от поверхности, на котором амплитуда плотности тока в $e = 2,718$ раза меньше, чем на поверхности). В хороших проводниках тока (металлы, графит), где можно пренебречь токами смещения, глубина проникновения $\Delta = \sqrt{2/\omega\mu\gamma}$ м, где $\omega = 2\pi f$; f — частота тока (гц); μ — магнитная проницаемость (гн/м), равная произведению проницаемости вакуума $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ гн/м на относит. магнитную проницаемость; γ — уд. электропроводность материала (1/ом·м).

Скорость протекания электромагнитной энергии через единицу поверхности тела (активная мощность) равна:

$$P_a = \left(\frac{H_{me}}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\gamma \Delta} \text{ вт/м}^2,$$

где H_{me} — амплитуда напряженности магнитного поля на поверхности нагреваемого тела (а/м). Реактивная мощность, обусловл. магнитным потоком, находящимся в объеме нагреваемого тела, равна активной мощности. Коэфф. мощности (внутренний) нагреваемого тела равен $\cos \varphi = 0,707$. В ферромагнитных средах магнитная проницаемость является ф-цией напряженности магнитного поля и определяется кривой намагничения. При И. н. ферромагнитных материалов напряженность магнитного поля по мере удаления от поверхности в глубь объекта уменьшается, что при-

водит к увеличению активной мощности на единицу нагреваемой поверхности и уменьшению реактивной.

Для углеродистых сталей ф-лы для активной и реактивной мощностей принимают вид:

$$P_a = 1,335 \left(\frac{H_{me}}{\sqrt{2}} \right)^2 \frac{1}{\gamma \Delta_e}; \quad (1)$$

$$P_r = 0,98 \left(\frac{H_{me}}{\sqrt{2}} \right)^2 \frac{1}{\gamma \Delta_e}. \quad (2)$$

Глубина проникновения Δ_e равна:

$$\Delta_e = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_e \gamma}},$$

где μ_e — магнитная проницаемость, определяемая с помощью кривой намагничивания стали по значению H_{me} . Зависимость $\mu_{отн} = \mu_e / \mu_0$ для углеродистых сталей при перем. токе от амплитуды напряженности поля дана на рис. 1.

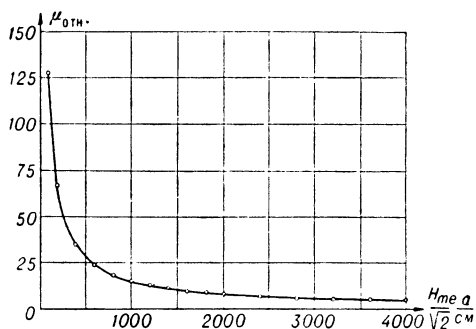


Рис. 1.

литуды напряженности поля дана на рис. 1. Коэфф. мощности (внутренний) для углеродистых сталей $\cos \varphi \approx 0,82$. В ферромагнитных средах, напр. в сталях, магнитная проницаемость зависит не только от напряженности магнитного поля, но и от темп-ры изделия. При нагреве до темп-р, превышающих темп-ру магнитного превращения (точка Кюри), ферромагнетик переходит в парамагнитное состояние. При этом относит. магнитная проницаемость уменьшается до единицы.

Уд. тепловая мощность, развиваемая вихревыми токами, равна $p = \delta^2 / \gamma$, где δ — действующее значение плотности вихревых токов. Выделение тепла приводит к росту темп-ры и к появлению на поверхности ферромагнитного тела слоя металла с темп-рой выше точки Кюри (парамагнитного слоя). При продолжении нагрева толщина этого слоя непрерывно возрастает. Активная мощность на единицу поверхности такой двухслойной среды равна:

$$P_a = \left(\frac{H_{me}}{\sqrt{2}} \right)^2 \frac{1}{\gamma_2 \Delta_2} \varphi, \quad (3)$$

реактивная мощность:

$$P_r = \left(\frac{H_{me}}{\sqrt{2}} \right)^2 \frac{1}{\gamma_2 \Delta_2} \psi, \quad (4)$$

где γ_2 — уд. электропроводность поверхностного слоя толщиной a , имеющего темп-ру выше точки Кюри; $\Delta_2 = \sqrt{2 / (\omega \mu_0 \gamma_2)}$ — глубина проникновения тока в поверхностный слой. Значения коэфф. φ и ψ приведены на графиках рис. 2 и 3, на к-рых для ферромагнитного слоя относит. магнитная проницаемость, определенная по данным рис. 1, уменьшена в два раза для учета действия темп-ры в интервале от

исходной до точки Кюри. Явление гистерезиса в ферромагнитных материалах мало влияет на протекание И. н. и им можно пренебречь.

В случае нагрева изделий сложной формы и с размерами сечения, близкими к Δ , все зависимости имеют более сложный характер. При И. н. темп-ра в толще изделия распределяется неравномерно, вследствие теплопередачи и неравномерного распределения тепловых мощностей. В предельном случае бесконечно больших частот поля выделение тепла при И. н. происходит в бесконечно тонком слое на поверхности нагреваемого объекта, и темп-ра является ф-цией переменной $u = z / 2 \sqrt{\lambda t / c}$, где z — расстояние от поверхности среды в глубине; t — время (сек.); λ — уд. теплопровод-

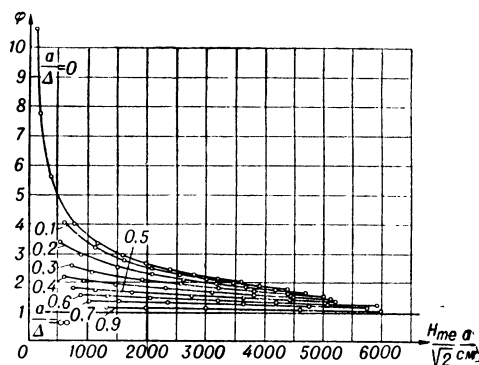


Рис. 2.

ность; c — уд. теплоемкость; u — безразмерная величина. Для углеродистых сталей $\lambda = 0,3 \text{ вт/см} \cdot ^\circ\text{C}$; $c = 5,6 \text{ вт} \cdot \text{сек/см}^3 \cdot ^\circ\text{C}$.

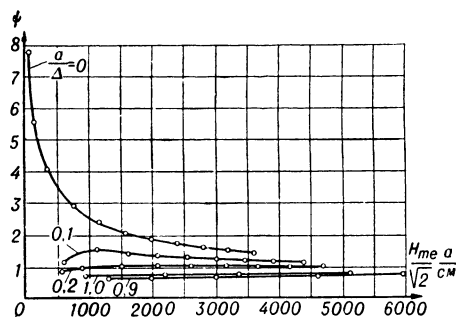


Рис. 3.

При соблюдении постоянства удельной мощности $P_a = \text{const}$ и неизм. значениях λ и c возрастание темп-ры поверхности среды ($z=0$) по отношению к начальной равно:

$$\vartheta_\infty^0(t) = P_a \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{t}{\lambda c}}, \quad \text{где } P_a \text{ — в } \text{вт/см}^2.$$

Превышение температуры в точке с координатой z за время t от начала нагрева $\vartheta_\infty^0 = \vartheta_\infty^0(t) \psi(u)$. Значения ф-ции $\psi(u)$ даны в табл. 1.

При появлении на поверхности нагреваемого объекта неферромагнитного слоя потребляемая в процессе И. н. мощность уменьшается, что приводит к замедлению нарастания темп-ры в периферийных участках. При

Таблица 1. Значения $\psi(u)$

$u = \frac{z}{2\sqrt{\frac{\lambda}{c}}t}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
$\psi(u)$	1,0	0,833	0,685	0,557	0,447	0,354	0,276	0,213	0,162	0,121	0,083	0,05	0,046

конечной частоте вихревых токов и постоянстве свойств нагреваемой среды распределение темп-р может быть представлено в таком виде: $\vartheta^0 = \vartheta_\infty^0 - (\vartheta_\infty^0 - \vartheta^0)$, где ϑ^0 — превышение темп-ры против начальной в точке с координатой z через время t от начала нагрева; ϑ_∞^0 — превышение температуры в той же точке и в тот же момент времени при бесконечно большой частоте токов (не зависящее от Δ); $(\vartheta_\infty^0 - \vartheta^0)$ — поправка, вызванная конечностью частоты вихревых токов и зависящая от Δ ; $(\vartheta_\infty^0 - \vartheta^0)$ — является ф-цией переменной u и переменной $\bar{v} = 2\sqrt{\lambda t/c}/\Delta$. Числовые значе-

ния отношений:

$$\vartheta_\infty^0/\vartheta_\infty^0(t); (\vartheta_\infty^0 - \vartheta^0)/\vartheta_\infty^0(t); \vartheta^0/\vartheta_\infty^0(t)$$

при различных значениях параметров u и \bar{v} даны в таблице 2.

При нагреве стали, наличии на поверхности парамагнитного слоя толщиной a и проникновении поля на глубины, большие, чем a , при отношении $a/\Delta_s < 0,7-0,8$ можно считать, что мощность \bar{P}_a , определенная по ф-ле (3), распределена равномерно по нек-рой толщине (глубине) b , т. е. $p = \frac{P_a}{b}$; причем $b = a + b_{eff}$;

$$b_{eff} = 0,488 \cdot \Delta_e; \Delta_e = \sqrt{2/\omega \mu_e \gamma},$$

Таблица 2. Значения отношений $\frac{\vartheta_\infty^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$; $\frac{\vartheta_\infty^0 - \vartheta^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$; $\frac{\vartheta^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$

u		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$v = \infty$ ($\Delta = 0$)	$\frac{\vartheta_\infty^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$	1,000	0,833	0,685	0,557	0,447	0,354	0,276
$v = 10$	$\frac{\vartheta_\infty^0 - \vartheta^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$	0,0836	0,0071	-0,00316				
	$\frac{\vartheta^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$	0,9164	0,826	0,686				
$v = 6$	$\frac{\vartheta_\infty^0 - \vartheta^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$	0,134	0,0309	0,0002	-0,0085			
	$\frac{\vartheta^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$	0,866	0,802	0,685	0,565			
$v = 4$	$\frac{\vartheta_\infty^0 - \vartheta^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$	0,1911	0,0684	0,0155		-0,0171		
	$\frac{\vartheta^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$	0,809	0,765	0,670		0,464		
$v = 3$	$\frac{\vartheta_\infty^0 - \vartheta^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$	0,2424	0,1097	0,0379		-0,0190		-0,030
	$\frac{\vartheta^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$	0,7576	0,723	0,647		0,466		0,306
$v = 2$	$\frac{\vartheta_\infty^0 - \vartheta^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$	0,330	0,193	0,0896		-0,0097		-0,0041
	$\frac{\vartheta^0}{\vartheta_\infty^0(t)}$	0,670	0,640	0,595		0,457		0,320

где μ_e — значение магнитной проницаемости, соответствующее амплитуде напряженности поля H_{mo} на границе слоев. Величина b считается постоянной за все время нагрева. Превышение темп-ры против исходной в точке с координатой z через время t от начала нагрева будет:

$$\vartheta^0 = \frac{P_a}{b} \cdot \frac{t}{c} \{ F(\bar{u} + u) + F(\bar{u} - u) \},$$

$$\text{где } \bar{u} = b/2 \sqrt{\lambda t/c}; \quad u = z/2 \sqrt{\lambda t/c};$$

на поверхности тела ($z=0, u=0$)

$$\vartheta^0(t) = \frac{P_a}{b} \cdot \frac{t}{c} \cdot 2F(\bar{u});$$

на внутр. поверхности нагреваемой зоны ($z=b$ и $\bar{u}=u$)

$$\vartheta_b^0 = \frac{P_a}{b} \cdot \frac{t}{c} F(2\bar{u});$$

значения величин $F(\bar{u}+u)+F(\bar{u}-u)$; $2F(\bar{u})$ и $F(2\bar{u})$ даны в табл. 3.

ном случае сопоставлять затраты на сооружение установки для И. н. и устройств, позволяющих выполнять ту же задачу др. способами (напр., нагрев подлежащих закалке участков газовым пламенем и др.). Уд. расход электроэнергии, напр., при выплавке стали при И. н. в печи емкостью в 1 т составляет около 600 $\text{kвт}\cdot\text{ч}/\text{т}$ и возрастает по мере уменьшения емкости печи. При сквозном И. н. до 1100—1150° заготовок из конструкц. стали для обработки давлением при рациональной конструкции индуктора уд. расход электроэнергии составляет ок. 0,5 $\text{kвт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ (500 $\text{kвт}\cdot\text{ч}/\text{т}$). При нагреве до 900—950° отдельных участков стальных деталей для поверхностной закалки уд. расход электроэнергии составляет около 0,35 $\text{kвт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ нагреваемого объема материала.

Лит.: Вологдин В. П., Поверхностная индукционная закалка, М., 1947; Лозинский М. Г., Поверхностная закалка и индукционный нагрев стали, М., 1949; Brown G. H. [a. o.], Theory and application of radio-frequency heating, N. Y., 1947; Лозинский М. Г., Промышленное применение индукционного нагрева, М., 1958. Н. П. Глуханов.

Таблица 3. Значения $F(\bar{u}+u)+F(\bar{u}-u)$; $2F(\bar{u})$ и $F(2\bar{u})$

u	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\bar{u}=0,1$	0,206	0,189									
0,2	0,378	0,362	0,315								
0,3	0,517	0,504	0,463	0,396							
0,4	0,631	0,619	0,585	0,526	0,444						
0,5	0,720	0,711	0,681	0,633	0,563	0,472					
0,6	0,791	0,783	0,760	0,718	0,661	0,584	0,487				
0,7	0,845	0,840	0,820	0,788	0,740	0,675	0,597	0,495			
0,8	0,888	0,883	0,868	0,841	0,802	0,752	0,684	0,599	0,498		
0,9	0,920	0,916	0,904	0,882	0,854	0,811	0,755	0,688	0,603	0,500	
1,0	0,945	0,941	0,931	0,916	0,891	0,856	0,814	0,759	0,689	0,603	0,500
$2F(\bar{u})$	0	0,206	0,378	0,517	0,631	0,720	0,791	0,845	0,888	0,920	0,945
$F(2\bar{u})$	0	0,189	0,315	0,396	0,444	0,472	0,487	0,495	0,498	0,500	0,500

При больших значениях \bar{u} следует учитывать неостоянство величины b в процессе нагрева, т. к. b меняется от $b_{\text{эфф}}$ при $t=0$ до $a+b_{\text{эфф}}$ при конечном значении времени.

Из-за взаимодействия вихревых токов с магнитным полем на поверхность тела воздействует давление, к-рое в случае полубесконечной среды с постоянными хар-ками равно

$$F = \left(\frac{\mu H_{me}}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2\mu},$$

где H_{me} — амплитуда напряженности магнитного поля на поверхности среды. Наличие этого давления играет весьма существенную роль в ряде технологич. процессов, проводимых при И. н. Существенную роль играют, кроме рассмотренных, еще ряд физич. явлений: эффект близости, кольцевой эффект и др.

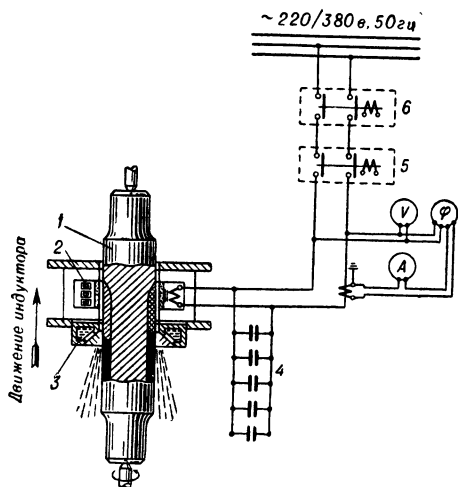
Целесообразность применения И. н. в металлургии определяется возможностью выплавки этим методом качественных сплавов заданного состава, без загрязнения их примесями, особенно углерода, вносимого, напр., при плавке в дуговых печах. Метод И. н. весьма эффективен при рафинировании ПП материалов и металлов путем зонной плавки. Многолетний опыт показал несомненную рентабельность И. н. при поверхностной закалке машиностроит. деталей в массовом произ-ве (автомобильном, тракторном, сельхозмашиностроении и др.). При организации индивидуального или мелкосерийного выпуска стальных или чугунных деталей, подлежащих поверхностной закалке, необходимо в каждом отдель-

ИНДУКЦИОННЫЙ НИЗКОЧАСТОТНЫЙ

НАГРЕВ, нагрев токами промышленной частоты (low frequency induction heating; chauffage basse fréquence par induction; Niederfrequenzinduktionsheizung, Niederfrequenz-Induktionserhitzung), — нагрев за счет теплового действия вихревых токов, возбуждаемых в металлическом изделии, помещенном в электромагнитное поле индуктора, по которому протекает переменный ток частотой 50 гц . При И. н. н. электрич. энергия превращается в тепловую непосредственно в самом обрабатываемом изделии. Преимущества И. н. н.: возможность нагрева изделий с малым градиентом темп-ры по их сечению, что позволяет значительно расширить область применения индукц. нагрева; простота электрооборудования. В установках И. н. н. основным элементом является индуктор, представляющий собой проводник той или иной формы (виток, катушка), по к-рому протекает перем. ток. Электромагнитное поле, создаваемое этим током, возбуждает в расположенных возле индуктора и непосредственно с ним не соприкасающихся участках изделия эдс и соответствующие им токи.

Конструктивно индуктор для нагрева цилиндрич. изделий часто выполняется в виде однофазного тр-ра, в к-ром вторичным витком и средним керном (сердечником) служит на-

греваемый участок изделия. Первичная обмотка выполняется из медной профилиров. трубки квадратного или прямоугольного сечения, охлаждаемой при работе проточной водой, что необходимо для отвода тепловых потерь из меди самой обмотки, а также теплового излучения от нагреваемого изделия. Витки обмотки покрываются снаружи изоляцией и располагаются концентрично по отношению к оси нагреваемого изделия. Обмотка после изготовления пропитывается лаком для улучшения изоляции и придания ей влагостойкости. В процессе эксплуатации провода обмотки индуктора подвергаются сильным электродинамич. воздействиям; поэтому как обмотка в целом, так отводы и выводы из нее должны быть хорошо закреплены. В индукторах НЧ применяются магнитопроводы, охватывающие по окружности внешнюю часть обмотки и замыкающие путь магнитного потока, проходящего через нагреваемую часть изделия. За счет этого значительно снижается требуемая намагничивающая мощность индуктора. Пакеты магнитопроводов набираются из пластин трансформаторной стали толщиной 0,35—0,5 мм, изолированных друг от друга тонким слоем лака или жидкого стекла. Для защиты обмотки от теплового излучения нагретого изделия в обмотку индуктора вставляется теплоизоляция. муфель. Индукторы такого типа обычно рассчитываются на непосредств. присоединение к электр. сети напряжением 380 в (см. рис.).



Принципиальная схема индукц. НЧ установки для поверхностной закалки валков холодной прокатки: 1 — валок холодной прокатки; 2 — индуктор; 3 — спрейерное устройство; 4 — конденсаторная батарея; 5 — контактор; 6 — автоматич. выключатель.

В установку И. н. н. в зависимости от ее назначения и условий работы могут входить, кроме индуктора, след. основные узлы: щит управления, понизит. тр-р, автотрансформатор, автоматич. стабилизатор напряжения, конденсаторная батарея (для повышения коэфф. мощности установки), механич. устройство, система охлаждения. Применение в индукционных НЧ установках понизит. тр-ра обусловливается трудностью создания индукторов разъемной конструкции с многovitковыми обмотками, а также соображениями безо-

пасности работы при эксплуатации установок в цехах с повышенной опасностью поражения электр. током. Конструкция механич. устройства определяется требованиями крепления индуктора и обрабатываемого изделия, их относит. перемещения и вращения изделия в процессе нагрева.

По потребляемой мощности для И. н. н. можно рекомендовать след. шкалу номин. мощностей установок: для однофазного тока — 100, 180, 320 и 560 *кв*а, для трехфазного тока — 560, 1000 и 1800 *кв*а. И. н. н. может быть широко использован в пром-сти при: термич. обработке металлов (поверхностная закалка крупных изделий, отпуск, нормализация, улучшение); обработке давлением (прессование, ковка, прокатка); сварке (подогрев зоны сварного соединения, сопутствующий нагрев) и др.

Лит.: Лагерквист С. А., Низковольтная аппаратура для индукционного нагрева токами промышленной частоты, в сб.: Передовой научно-техн. произв. опыт. Тема 3, № М57—19/1, М., 1957 (ИТЭИН); Александров В. В., Усовершенствование низкочастотных индукционных установок, в сб.: Промышленное применение индукционного нагрева стали, М., 1954 (ЦНИИТМАШ, кн. 67); Родиgin Н. М., Индукционный нагрев стальных изделий токами нормальной частоты, Свердлов. М., 1950; Новиков В. Н. и Лагерквист С. А., Поверхностная закалка валков холодной прокатки при индукционном нагреве токами промышленной частоты, в сб.: Индукционный нагрев и прочностные свойства стали при электротермообработке, М., 1953 (ЦНИИТМАШ, кн. 51). Ю. М. Бозатырев.

ИНДУКЦИОННЫЙ СКВОЗНОЙ НАГРЕВ

(through induction heating; chauffage de masse par induction; Induktive Durchwärmung, durchgehende Induktionserhitzung) — процесс электронагрева токами, индуктируемыми в металлич. изделии, при к-ром оно прогревается по всему своему сечению. Сквозной нагрев может быть общим или зональным, а также с различной величиной градиента темп-ры по сечению изделия в момент окончания нагрева. Для равномерного сквозного прогрева изделия желательно иметь практически одинаковую плотность тока по всему объему металла, что при индукционном нагреве в ряде случаев получить не удастся вследствие *поверхностного эффекта*. Степень неравномерности прогрева зависит от: частоты тока, электр. и магнитных свойств металла, его теплопроводности, размеров нагреваемого изделия и режима нагрева. Физич. свойства металла и размеры нагреваемого изделия при решении конкретной задачи обычно вполне определены. Поэтому степень неравномерности прогрева изделия зависит от выбора частоты тока и режима нагрева. Для И. с. н. желательно иметь такую частоту тока, при к-рой глубина проникновения вихревых токов соответствовала бы примерно половине толщины нагреваемого изделия. Для нагрева изделий относительно больших размеров следует применять ток НЧ. Однако уменьшение частоты при неизменном значении напряжения связано со снижением мощности, индуктивно передаваемой в обрабатываемое изделие. Эта мощность, отнесенная к единице объема изделия, равна:

$$P = 0,5 H^2 \mu f g_a (ka) 10^{-7} \text{ вт/см}^3,$$

где H — амплитудное значение напряженности магнитного поля у поверхности изделия (э); μ — коэфф. магнитной проницаемости; f — частота тока (гц); $g_a(ka)$ — ф-ция от ka (рис. 1), определяющая условия передачи

энергии нагреваемому изделию; a — радиус нагреваемого изделия (см), $k = \sqrt{\frac{8\pi^2\mu f 10^{-9}}{\rho}}$;

ρ — уд. сопротивление материала изделия (ом·см). При одной и той же частоте тока условия передачи энергии наиболее благоприятны при макс. значении функции g_d (ка). Большое значение имеет также выбор рациона. режима нагрева. Уменьшение мощности, потребляемой нагреват. устройством (индуктором), и увеличение продолжительности теплового воздействия снижают величину градиента темп-ры по сечению нагреваемого изделия.

И. с. н. может применяться в процессах пластич. деформирования, термической обработки и сварки металлов. Наибольшее пром. применение он получил для кузнечно-прессовой обработки различных металлов, в частности стали и алюминия. Электронагрев по

стойкость инструмента, требует меньших производств. площадей под нагреват. агрегаты, облегчает выполнение концевое и зонального нагрева заготовок и способствует повышению производительности труда за счет улучшения условий труда и более полной автоматизации процесса. Существ. интерес представляет также возможность повышения для ряда металлов при скоростном индукц. нагреве верхней границы температурного интервала их обработки давлением. Для И. с. н. применяются токи пром. (50 гц) частоты (рис. 2) и токи повыш. частоты (рис. 3).

Лит.: Лозинский М. Г., Промышленное применение индукционного нагрева, М., 1958; Александров В. В., Сквозной нагрев массивных стальных деталей индукционным методом, в сб.: Электротермическая обработка и электроискровое упрочнение деталей, М., 1958, (ЦНИИТМАШ, кн. 89); Богатырев Ю. М., Объемная электротермообработка стали, М., 1956; Богданов В. Н., Рыскин С. Е., Шаповалов А. Н., Индукционный нагрев в кузнечном производстве, М.—Л., 1956; Александров В. В., Богатырев Ю. М., Скоростной нагрев поковок токами высокой частоты, в сб.: Индукционный нагрев и электротермообработка, М., 1950 (ЦНИИТМАШ, кн. 39). Ю. М. Богатырев.

ИНЕРЦИОННОЕ ЗВЕНО (lag network, relaxation circuit; element inertial; trägheitbehaftetes Glied) — см. Анериодическое звено.

ИНЪЕКЦИЯ В ОБЕДНЕННЫЙ СЛОЙ [injection in depletion layer; injection dans couche de barrage; Injektion in die Sperrschicht (von Halbleitern)] — введение с помощью 3-го электрода электронов или дырок в обедненный слой p — n -перехода, к к-рому приложено обратное напряжение. Электродом (эмиттером) служит металлич. контакт или высоколегиров. область того же кристалла, в к-ром осуществляется И. в о. с. Металлич. контакты способны инжектировать носители обоих видов. При высоких потенциалах эмиттера они инжектируют только дырки, а при низких — только электроны. Эмиттеры, осуществленные в виде высоколегированной области кристалла, инжектируют носители заряда одного знака, являющиеся основными в теле эмиттера. При подаче на такой эмиттер потенциала, препятствующего инжекции, эмиттер запирается (инжекция прекращается). Механизм инжекции наиболее прост в случае высоколегиров. эмиттера, к-рый всегда окружен потенциальным барьером электростатич. происхождения. Носители диффундируют через барьер и, попадая в область сильных полей обедненного слоя, уносятся к электроду, где они являются основными. Изменения потенциала эмиттера повышают или понижают барьер, что ведет соответственно к уменьшению или к увеличению тока инжектируемых носителей. Ликвидировать этот барьер полностью нельзя, т. к. он при любых потенциалах эмиттера автоматически будет создаваться пространств. зарядом инжектируемых носителей. Механизм И. в о. с. из металла изучен недостаточно. И. в о. с. изучалась главным образом в связи с разработкой *снейсатора* — ПП прибора, аналога усилит. электронной лампы.

Лит.: Wesley G. M., Frank A. B., J. Appl. Phys., 1957, v. 28, № 4, p. 513—14; Stutz H., Pucel R. A., Lanza C., Proc. I. R. E., 1957, v. 45, № 11, p. 1475. А. Л. Захаров.

ИНЪЕКЦИЯ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА, и н ъ е к ц и я (injection of minority layer; injection des porteurs minoritaires de charge; Injektion von Minoritätsladungsträgern), — введение неосновных носителей

Рис. 2. Принципиальная схема установки для индукц. нагрева заготовок токами НЧ: 1 — контактор; 2 — конденсаторная батарея; 3 — автотрансформатор; 4 — электроизмерит. приборы; 5 — индуктор; 6 — заготовка.

сравнению с др. способами нагрева кузнечных заготовок дает значит. увеличение кпд, резко сокращает длительность цикла нагрева, снижает потери металла на образование окалины

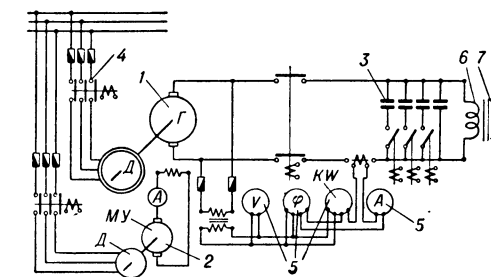


Рис. 3. Принципиальная схема установки для индукц. нагрева заготовок токами повышенной частоты: 1 — двигатель-генератор; 2 — машинный усилитель; 3 — конденсаторная батарея; 4 — контактор; 5 — электроизмерит. приборы; 6 — индуктор; 7 — заготовка.

и упрощает очистку нагретых заготовок от нее, дает возможность уменьшить припуски на последующую механ. обработку, повышает

заряда (ННЗ) сверх равновесной концентрации в ПП из металла или ПП другого типа проводимости через *запирающий слой*, при приложении к нему напряжения. Напр., при приложении прямого напряжения к p - n -переходу дырки из p -области переходят в n -область, а электроны — из n в p , т. е. имеет место инжекция дырок в электронный ПП, а электронов — в дырочный. Инжекция дырок и электронов из плоского металлич. контакта принципиально не отличается от И. н. н. з. из одного ПП в другой. Введение дырок из металла в электронный ПП возможно при большей работе выхода электронов из металла, нежели из ПП; при инжекции электронов из металла в дырочный ПП — наоборот. В случае точечного металлич. контакта инжекция, как правило, отсутствует. И. н. н. з. при этом создаются в ПП, т. к. в месте точечного контакта при приложении внешнего напряжения возникает сильное электрич. поле, способное создавать пары электрон — дырка. Эффект аналогичен И. н. н. з. из металла в ПП. Нейтрализация избыточного заряда неосновных носителей, инжектированных в ПП, происходит благодаря увеличению концентрации основных носителей. Длительность процесса нейтрализации очень мала и определяется временем диэлектрич. релаксации $T = \epsilon \cdot \epsilon_0 / \sigma$, где ϵ_0 — диэлектрич. проницаемость вакуума, ϵ — относит. диэлектрич. проницаемость ПП, σ — электропроводность ПП. Инжекцию дырок в ПП n -типа и электронов в ПП p -типа принято характеризовать коэфф. инжекции γ , к-рый равен отношению дырочного тока через барьер к полному току при инжекции дырок и отношению электронного тока через барьер к полному току в случае инжекции электронов. Для малого уровня инжекции $p \ll N_d$, где p — концентрация инжектиров. дырок, N_d — концентрация доноров в n -области. Коэфф. инжекции можно вычислить по ф-ле $\gamma = \frac{1}{1 + \frac{L_p \sigma_n}{L_n \sigma_p}}$;

σ_n и σ_p — соответственно проводимость электронного и дырочного ПП; L_p и L_n — соответственно длины диффузии дырок в электронном ПП и электронов в дырочном ПП. Для транзисторов при малом уровне инжекции $\gamma = 1 - \frac{W \sigma_n}{L_n \sigma_p}$, где W — ширина базовой области. При больших уровнях инжекции, вследствие увеличения концентрации основных носителей в ПП, в к-рый вводятся ННЗ, и увеличения переносимой ими доли тока через барьер, коэфф. инжекции падает, стремясь в пределе к $1/2$. И. н. н. з. является одним из основных процессов в *электронно-дырочных переходах* и в *контактах полупроводник — металл* (см. также *Контакт инжектирующий*) — основе ПП приборов.

Лит.: Webster W. M., «Proc. I. R. E.», 1954, в. 42, № 6, р. 914; Шокли В., Теория электронных полупроводников, пер. с англ., М., 1953.

А. Н. Федоров.

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ (Institute of automation and remote control; Institut d'automatique et télémechanique; Institut für Automatik und Fernwerktechnik) — см. *Научно-исследовательские учреждения*.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ, интегральное преобразование (integral transformation; transformation intégrale; fonction integrale; Integraltransformation), —

зависимость между ф-циями x и y вида $y = y(t) = \int_a^b K(t, \tau) x(\tau) d\tau$, где $K(t, \tau)$ — известная

ф-ция (ядро интегрального преобразования), t и τ — переменные, принимающие все значения в интервале a, b . Если ядро удовлетворяет условию $k(t, \tau) = 0$ при $\tau > t$, то ф-ла принимает

вид $y(t) = \int_a^t K(t, \tau) x(\tau) d\tau$, а преобразова-

ние наз. физически осуществимым. В теории автоматич. регулирования И. з. с ядром $K(t, \tau) = K_1(t - \tau)$ используется в качестве интегрального ур-ния связи между входным и выходным сигналами. Ф-ция K_1 , наз. *весовой ф-цией*, или *импульсной переходной функцией* системы. Л. С. Чураева.

ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОЦЕНОК МЕТОД (integral estimation method; methode d'évaluations intégrales; Methode der Integralkriterien) — аналитич. метод оценки качества и синтеза САР с помощью коэф. качественных показателей процесса регулирования. Интегральными оценками служат определенные интегралы по времени от нек-рой ф-ции координат системы, к-рые вычисляются без решения дифференциальных ур-ний. Применяются след интегральные оценки:

$$I_{00} = \int_0^\infty x dt, \quad I_0 = \int_0^\infty x^2 dt,$$

характеризующие площадь регулирования

$$I_n = \int_0^\infty [x^2 + \tau_1^2 \dot{x}^2 + \tau_2^2 \ddot{x}^2 + \dots + \tau_n^2 x^{(n)}{}^2] dt,$$

характеризующая, кроме площади регулирования, колебательность процесса;

$$I_{0m} = \int_0^\infty x^m dt, \quad I_{\alpha k} = \int_0^\infty x e^{-\alpha t} t^k dt,$$

характеризующие «взвешенную» площадь регулирования, где x — координата системы регулирования, τ_1, τ_2 и т. д. — постоянные, t — время. Интегральные оценки вида I_n наз. квадратичными, оценки вида I_{0m} и $I_{\alpha k}$ — линейными или (кроме I_{00}) моментными. Наибольшее распространение получили квадратичные интегральные оценки. Выбор постоянных τ в них производится на основании дополнит. требований к системе. И. о. м. для синтеза САР заключается в определении ее «оптимальных» параметров, для к-рых интегральная оценка дает минимум. Квадратичные оценки являются также энергетич. хар-ками системы. Линейные оценки характеризуют абс. величину площади регулирования (для монотонных процессов). Для немонотонных процессов применение линейных интегральных оценок заключается в приближ. решении соответствующего дифференциального ур-ния. Величина интегральной оценки типа I_{0m} служит хар-кой установившейся ошибки, т. к. равна (с точностью до знака) коэфф. ошибок. Для импульсных систем применяются неск. видоизмененные интегральные и аналогичные им суммарные оценки.

Интегральную оценку можно выражать в явном виде через коэфф. передаточной ф-ции

(дифференциальные ур-ния). Общий метод вычисления квадратичных оценок, предложенный Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси, заключается в следующем. Дифференц. ур-ние системы n -го порядка умножают последовательно на координату и ее производные до $(n-1)$ -ой включительно. Полученные n уравнений интегрируются почленно, и система линейных алгебраич. ур-ний разрешается относительно соответствующей интегральной оценки. Аналогично определяются интегральные оценки по системе дифференциальных уравнений 1-го порядка, которые в этом случае умножаются последовательно на все координаты системы.

Др. способ вычисления квадратичных интегральных оценок основан на соотношении

$$\int_0^{\infty} x^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} X(j\omega) X(-j\omega) d\omega,$$

где $X(j\omega)$ — преобразование Фурье для $x(t)$. Величину I_0 можно выразить через коэфф. изображения Фурье:

$$X(s) = \frac{b_0 + b_1 s + \dots + b_m s^m}{a_0 + a_1 s + \dots + a_n s^n} \cdot \frac{1}{s}, \text{ где } m \leq n,$$

$$I_0 = \frac{1}{2a_0^2 \Delta} (B_0 \Delta_0 + B_1 \Delta_1 + \dots + B_m \Delta_m - 2b_0 b_1 \Delta), \text{ где}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_0 & -a_2 & a_4 & -a_6 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & -a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ 0 & -a_0 & a_2 & -a_4 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-1} \end{vmatrix};$$

$\Delta_v (v=0, 1, \dots, m)$ — определитель, получающийся из Δ заменой $(v+1)$ -го столбца столбцом $a_1, a_0, 0, 0, \dots, 0$; $B_0 = b_0^2$; $B_1 = b_1^2 - 2b_0 b_2, \dots$; $B_k = b_k^2 - 2b_{k-1} b_{k+1} + \dots + 2(-1)^k b_0 b_{2k}, \dots$; $B_m = b_m^2$.

Линейные интегральные оценки можно вычислить на основании соотношения: $I_{ak} = (-1)^k \left[\frac{d^k}{ds^k} X(s) \right]$, где $X(s)$ — преобразование Лапласа для $x(t)$, или через коэфф. ошибок: $I_{ak} = (-1)^k C_k$.

Лит.: Красовский А. А., Интегральные оценки качества процесса регулирования, М., 1949; Фельдбаум А. А. Интегральные критерии качества регулирования «А и Т», 1948, т. 9, № 1; Теория следящих систем, под ред. Я. З. Цыпкина, 2 изд., М., 1953; Цыпкин Я. З., Теория импульсных систем, М., 1958. Р. С. Рутман.

ИНТЕГРАТОР ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ (hydraulic differential analyzer; analyseur différentiel hydraulique; hydraulische Integriranlage zum Lösen von Differentialgleichungen) — АВМ, основанная на математич. подобии гидравлич. и исследуемых явлений и предназначен. для решения дифференциальных ур-ний в частных производных типа ур-ний Фурье, Лапласа и Пуассона, описывающих одномерные, двухмерные и трехмерные процессы. Осн. применение И. г. — изучение неустановившихся процессов теплопередачи, фильтрации и диффузии. Исследуемые переменные воспроизводятся уровнями жидкости (воды) в открытых сверху сосудах, связанных между собой гидравлич. проводимостями — трубками сопротивлений. При открывании

кранов в трубках сопротивлений нач. уровни жидкости будут перераспределяться в соответствии с заданными условиями задачи. Изменение уровней во времени реализует конечноразностную аппроксимацию дифференциального ур-ния в частных производных. Задание нач. условий в системе обеспечивается установкой нач. уровней жидкостей в сосудах, задание граничных условий — путем поддержания уровней жидкости в крайних сосудах на требуемом уровне или путем изменения уровней жидкости в крайних сосудах по заданному закону в ф-ции времени. Отыскание значений искомой ф-ции в заданных точках одномерной, двухмерной или трехмерной среды сводится к измерению уровней жидкости в сосудах. Схемой И. г. предусматривается также подача жидкости через трубки сопротивлений в каждый из сосудов в процессе решения задачи, что используется для реализации истоков с различной проводимостью. Учет внутр. факторов (поглощение или выделение энергии в нек-рых точках исследуемой области) производится с помощью плавающих сосудов, уровень жидкости в к-рых зависит от взаимного положения плавающего и связанного с ним осн. сосудов.

Питание жидкостью гидравлич. системы И. г. идет от общего резервуара.

Конструктивно различные типы И. г. комплектуются из ряда унифициров. узлов в зависимости от мерности задачи и от числа элементарных объемов, на к-рые разбивается исследуемая область. Унифициров. узлами И. г. являются: 1) рабочая секция, представляющая систему из 10 открытых сверху осн. сосудов с различной рабочей площадью поперечного сечения, соединенных трубками с изменяемыми гидравлич. сопротивлениями; 2) узел установки граничных условий, содержащий 3 подвижных сосуда, с помощью каждого из к-рых в основную гидравлич. цепочку или сетку могут быть введены 3 заданные во времени граничные условия в виде напоров или потоков воды, переменных во времени; 3) установка с плавающими сосудами.

В условном обозначении марки И. г., напр. 3-ИГЛ-3-24-10, индексы означают: первая цифра — мерность процесса (одно-, двух- или трехмерные); буквы ИГЛ — интегратор гидравлич. конструкции В. С. Лукьянова; вторая цифра — число установок граничных условий; третья — количество рабочих секций; четвертая — число установок с плавающими сосудами.

ИНТЕГРАТОР ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ (pneumatic integrator; intégrateur pneumatique; pneumatischer Integrator) — пневматич. устройство, у к-рого скорость изменения выходной величины — давления $p_{\text{вых}}$ — пропорциональна отклонению входной величины — давления $p_{\text{вх}}$. Дифференциальное ур-ние И. п.:

$$T \frac{dp_{\text{вых}}}{dt} = p_{\text{вх}} \text{ или } p_{\text{вых}} = \frac{1}{T} \int_0^t p_{\text{вх}} dt, \text{ где } T — \text{по}$$

стоянная времени И. п. И. п. с параметрич. обратной связью (в двух вариантах: по давлению и по расходу) широко применяются в системах автоматич. регулирования, в пневматич. вычислит. машинах непрерывного действия (как осн. решающие блоки), в корреляторах, экстрем. регуляторах и др. Структурная схема И. п. (рис. 1) может быть представлена

в виде апериодич. звена 2 (дифференциальное уравнение которого $T \frac{dp_{\text{вых}}}{dt} + p_{\text{вых}} = p_1$), охваченного единичной положительн. обратной связью через сумматор 1, уравнение которого $p_1 = p_{\text{вх}} + p_{\text{вых}}$. Решая совместно эти уравнения, получим уравнение И. п.

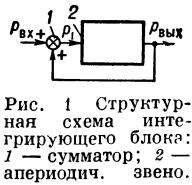


Рис. 1 Структурная схема интегрирующего блока: 1 — сумматор; 2 — апериодич. звено.

В схему И. п. с обратной связью по давлению (рис. 2) входят сумматор 1, пневмосопротивление (дрессель) 3, пневмочувствительность 4, образующие апериодич. звено, и детектирующий усилитель 5 с коэфф. усиления $K_1=1$.

Введение в схему усилителя обеспечивает заданные характеристики И. п. при подсоединении к его выходу различных линий и при наличии небольших утечек в последних. Полная герметизация необходима только для участка цепи от

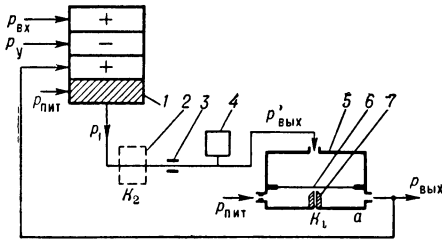


Рис. 2 Интегратор с обратной связью по давлению: 1 — сумматор; 2 — делитель давления; 3 — дрессель; 4 — пневмочувствительность; 5 — детектирующий усилитель; 6 — мембрана; 7 — сопло.

дресселя до детектирующего усилителя. В отрицат. камеру сумматора подается давление p_y , соответствующее условному нулю, что дает возможность получения положит. и отрицат. значений величин $p_{\text{вх}}$ и $p_{\text{вых}}$. Так, напр., при работе интегратора в стандартном диапазоне давлений $0-1 \text{ атм}$ — $p_y = 0,5 \text{ атм}$. Уравнение интегратора (рис. 2) $p_{\text{вых}} = \frac{1}{T} \int_0^t (p_{\text{вх}} - p_y) dt$. При

построении интегратора из аппаратуры, выпускаемой отечеств. пром-стью, в качестве сумматора может быть использован блок агрегативной унифицированной системы (АУС) типа БС-34А, имеющий две положит. и одну отрицат. входные камеры. Дрессель выполняется в виде капилляра, геометрич. размеры которого (обычно $d=0,1-0,2 \text{ мм}$) обеспечивают ламинарный режим движения воздуха. Детектирующий усилитель 5 на рис. 2 представляет собой следящую камеру: мембрана 6 находится в положении равновесия, когда $p'_{\text{вых}} = p_{\text{вых}}$.

Если $p'_{\text{вых}} \neq p_{\text{вых}}$, то мембрана соответственно прикрывает или открывает сопло 7 до выравнивания давлений. При подключениях длинных линий (10—100 м) или больших емкостей в следящей камере может быть установлен второй каскад усиления по мощности аналогично усилителям блоков АУС.

Схема И. п. с обратной связью по расходу (рис. 3) отличается тем, что к емкости 2 подсоединены два дресселя 1, к одному из которых подведено давление $p_{\text{вх}}$, а к другому — линия обратной связи после усилит. звена 3, имеющего коэфф. усиления K_2 . Уравнение И. п. —

$$p_{\text{вых}} = \frac{K_2}{T} \int_0^t p_{\text{вх}} dt, \text{ здесь } K_2 = \frac{R_{n2}}{R_{n1}} + 1, \text{ где } R_n -$$

сопротивление дресселя. При $R_{n1} = R_{n2}$, $K_2 = 2$. Уравнения интегратора получены в предположении, что $R_n = \text{const}$ в заданном диапазоне изменения давлений $p_{\text{вх}}$ и $p_{\text{вых}}$, т. е., что расход G через дрессель зависит только от перепада давлений/на нем: $G = \Delta p / R_n$. Однако из

$$\text{выражения } R_n = \frac{256 \mu l R \theta}{\pi d^4 (p_1^a + p_{\text{вых}}^a)} \text{ (где индекс}$$

a — абс. давление, μ — динамич. коэфф. вязкости, l — длина дресселя, R — газовая постоянная, θ — абс. темп-ра воздуха, d — диаметр канала дресселя) видно, что R_n зависит от абс. давлений до и после дресселя. Поэтому в диапазоне давлений $0-1 \text{ атм}$ при больших значениях Δp погрешность работы интегратора достигает 5—15%. Постоянная времени $T = R_n C_n$, где $C_n = V/R\theta$ — пневмочувствительность, V — геометрич. объем камеры интегратора. Решение уравнения интегратора этого типа при ступенчатом входном сигнале:

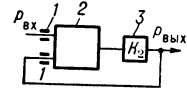


Рис. 3 Интегратор с обратной связью по расходу: 1 — дрессель; 2 — пневмочувствительность; 3 — усилитель.

$$p_{\text{вх}} = 0 \text{ при } t < 0, \\ p_{\text{вх}} = p_{\text{вх}0} \text{ при } t \geq 0$$

и нулевых начальных условиях $p_{\text{вых}} = 0$ при $t=0$ имеет вид $p_{\text{вых}} = p_{\text{вх}0} \cdot t/T$.

Амплитудно-фазовая характеристика интегратора

$$W(j\omega) = e^{-\frac{\pi}{2}j} / T\omega. \text{ Интегратор может быть легко}$$

построен на базе регулирующего блока пневматич. АУС типа 4РБ-32А. Изменения в блоке незначительны: вынимается пост. дрессель между следящей камерой и камерой положит. обратной связи, полностью перекрывается дрессель настройки диапазона дресселирования. Выходом интегратора служит давление, формирующееся в камере положит. обратной связи. Постоянная времени T настраивается с помощью дресселя времени изодрома блока. Принципиальная схема интегратора в этом случае соответствует рис. 2. Увеличение точности работы интегратора (рис. 2) может быть достигнуто за счет уменьшения диапазона изменения перепада давлений Δp на дресселе апериодич. звена, напр. до $0-100 \text{ мм вод. ст.}$ Конструкция элементов отличается использованием спец. тонких мембран. Постоянная времени T настраивается с помощью перем. дресселя в пределах от 5 сек. до 20 мин.

При использовании аппаратуры, работающей в диапазоне давлений $0-1 \text{ атм}$, увеличение точности интегратора может быть достигнуто, если перед дресселем включить делитель давления 2 (рис. 2) с коэфф. усиления K_2 , а вместо детектирующего усилителя установить усилитель с $K_1 = 1/K_2$. Уже при $K_1 = 10$ погрешность интегратора не превышает 1%.

Используемый в И. п. сумматор на мембранах имеет погрешность порядка 1—1,5%, края со временем увеличивается вследствие изменения эффективной площади мембран в процессе старения, зависимость эффективной площади от величины давления, подводимого в камеры сумматора, и др. Поэтому в более точных И. п. рекомендуется применять сумматор на сильфонах.

Возможно также построение И. п. повышенной точности с пневмогидравлич. аперийдич. звеном, в к-ром используется несжимаемое рабочее вещество (вода, масло), т. е. линейное гидравлич. сопротивление.

Лит.: Березовец Г. Т., Малый А. Л., Наджафов Э. М., Приборы пневматической агрегатной унифицированной системы и их использование для автоматизации производственных процессов, М., 1960; Ланин Н. Д., Пневматические вычислительные устройства непрерывного действия, в кн.: Динамические характеристики автоматических регуляторов и аппаратура для их исследования, в. 1, М., 1959; его же, Малогабаритная пневматическая вычислительная машина непрерывного действия и блок запаздывания, в кн.: Вопросы пневмо- и гидроавтоматики, М., 1960; Ferner V., Neue pneumatische bzw. hydraulische Elemente in der Meß- und Regelungstechnik, «Technik», 1954, Н. 6—7.

ИНТЕГРИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ (integrating network; réseau intégrateur, circuit intégrateur; integrierendes Netzwerk, Integriernetzwerk, Integrierschaltung) — электрич. 2-полюсник или 4-полюсник, сигнал на выходе к-рого пропорционален с нек-рой точностью интегралу сигнала, действующего на входе. Простейшая И. ц. — конденсатор или индуктивность. Для подобных 2-полюсников существуют ур-ния: для конденсатора

$$U_C = \frac{1}{C} \int_0^t I_C dt,$$

для индуктивности

$$I_L = \frac{1}{L} \int_0^t U_L dt,$$

где U_C и U_L — напряжения соответственно на емкости и индуктивности, а I_C и I_L — ток в них. Чаще применяются пассивные 4-полюсники с активным сопротивлением R . Связь между входным и выходным напряжениями для таких И. ц. выражается соотношением

$$U_{\text{вых}} + \frac{1}{T_0} \int_0^t U_{\text{вых}} dt = \frac{1}{T_0} \int_0^t U_{\text{вх}} dt,$$

где $T_0 = RC$ для И. ц., состоящей из емкости и сопротивления, и $T_0 = RL$ — из индуктивности и сопротивления. Дифференц. ур-ние И. ц. имеет вид:

$$T_0 \frac{dU_{\text{вых}}}{dt} + U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}.$$

Для более точного интегрирования постоянная времени T_0 должна быть значительно больше времени интегрирования. В этом случае можно считать, что

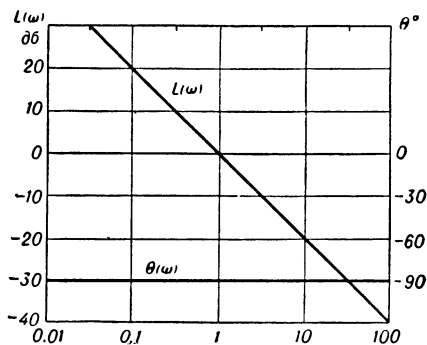
$$U_{\text{вых}} \approx \frac{1}{T_0} \int_0^t U_{\text{вх}} dt.$$

Этого добиваются при использовании решающего усилителя с емкостью в обратной связи (см. *Интегрирующее устройство*). Постоянная времени T_0 такой цепи: $T_0 = kRC$, где k — коэфф. усиления; R — сопротивление на входе; C — емкость обратной связи. И. ц. RC используются для интегрирования электрич. сигналов, для получения линейно изменяющихся напряжений и токов, в системах коррекции и во многих др. случаях. Передаточные ф-ции и частотные хар-ки И. ц. см. в ст. *Интегрирующее звено*. И. И. Пашинев.

ИНТЕГРИРУЮЩЕЕ ЗВЕНО (integration; intégration, circuit d'intégration; integrierendes Glied, Integrationsglied) — составная часть структурной схемы САР, имеющая передаточную ф-цию вида $kW(s) = k/s$. Скорость изменения выходной величины И. з. пропорциональна входной величине. Примерами И. з. служат: двигатель пост. тока, поршневой импульсный механизм, наполняемый водой резервуар и т. п.

Дифференц. ур-ние И. з. имеет вид $\frac{dx_2}{dt} = kx_1$, где k — передаточный коэфф., характеризующий отношение скорости изменения выходной величины x_2 к входной x_1 . Переходная ф-ция И. з. есть прямая линия, исходящая из начала координат $h(t) = kt$. Амплитудная фазовая

хар-ка И. з.: $W(j\omega) = \frac{k}{\omega} e^{-j\frac{\pi}{2}}$. Соответственно, модуль и аргумент этого выражения имеют вид $A(\omega) = k/\omega$, $\theta(\omega) = -\pi/2$. Эта хар-ка представляет прямую линию, совпадающую с отрицат. осью комплексной плоскости. При изменении ω от нуля до бесконечности конец вектора $W(j\omega)$ перемещается по отрицат. полуоси от $-\infty$ до нуля, с отставанием по фазе на 90° . Логарифмич. и фазовая частотные



Логарифмич. частотные хар-ки интегрирующего звена.

хар-ки (рис.) определяются соответственно выражениями $L(\omega) = -20 \lg \omega$, $\theta(\omega) = -\pi/2$.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954. В. И. Гуклов.

ИНТЕГРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, и н т е г р а т о р (integrator; dispositif intégrateur, intégrateur; integrierendes Gerät, integrierende Einrichtung, Integrieranlage), — вычис-

лит. устройство для определения $z = \int_{x_0}^x y dx$,

где z — выходная, а x и y — входные переменные — перемещение, угол поворота, давление, электрич. напряжение, скорость, число импульсов и др. И. у. используются как элементы в вычислит. устройствах и машинах непрерывного и дискретного действий. И. у. могут выполнять операции интегрирования по времени или по др. зависимой переменной. В первых переменная интегрирования может быть только линейной ф-цией времени. Использование такого И. у. для вычисления произвольного интеграла вида $z = \int_{t_0}^t y \frac{dx}{dt} dt$

допустимо в случае, если производная $\frac{dx}{dt}$ получается достаточно просто. В устройствах, интегрирующих по зависимой переменной, переменная интегрирования может изменяться во времени произвольным образом. Особенно таких И. у. является возможность умножения переменных по ф-ле интегрирования по частям:

$$yx = \int ydx + \int xdy.$$

По способам представления величин И. у. делятся на интеграторы аналоговые (АИУ) и цифровые (ЦИУ). АИУ служат для выполнения операций интегрирования в АВМ. По принципу действия они делятся на механич., электромеханич. и электронные. Механич., или фрикц., интеграторы (рис. 1) используют сцепление ролика 2 с диском 1. Радиальное положение R ролика 2 изменяется пропорционально интегрируемой переменной U , а угловое положение диска определяется значением переменной v , по к-рой производится интегрирование. Если радиус ролика 2 равен r , то угловое положение выходного вала $I =$

$$= c \frac{R}{r} \int_{v_0}^v U dv, \text{ где } c — \text{коэфф. пропорциональ-}$$

ности. Достоинство схемы фрикц. интегратора — возможность интегрирования также и по зависимым переменным и достаточно высокая точность. Осн. источники погрешностей: проскальзывание ролика по поверхности диска, неточности в механич. изготовлении, а также в установке нач. значений величин при интегрировании. Конструктивной разновидностью фрикц. интегратора является грибовидный фрикцион. Связи между механич. интеграторами или между механич. интеграторами и др. элементами АВМ осуществляются непосредственно либо с помощью *следящих систем*.

Электромеханич. системы интегрирования используют тахогенераторы для образования углового положения, пропорционального интегралу от входного напряжения. В про-

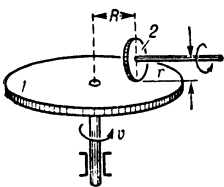


Рис. 1.

Рис. 1. Схема роликового фрикционного непрерывного интегрирующего устройства.

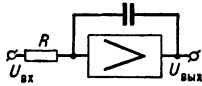


Рис. 2.

Рис. 2. Интегрирующее устройство с операц. усилителем.

стейшем случае усилитель следящей системы, сравнивая входное напряжение схемы с выходным напряжением тахогенератора, управляет работой двигателя, вращающего тахогенератор так, чтобы его скорость была пропорциональна входному напряжению. В этом случае схема производит интегрирование по времени. Если в схеме используются два тахогенератора, один из к-рых входит в состав вышеописанной следящей системы, а второй служит для образования напряжения, пропорционального скорости изменения второй переменной и поступающего на потенциометр задания

интегрируемой величины, то схема может интегрировать по зависимым переменным. Погрешность электромеханических систем интегрирования достигает 0,1—1% и определяется погрешностями тахогенераторов и чувствительностью усилителей следящих систем.

Основным элементом электронных схем интегрирования является конденсатор C , напряжение на к-ром U пропорционально интегралу по времени от тока i , протекающего

через конденсатор: $U = \frac{1}{C} \int_0^t idt$. Для образова-

ния тока, пропорционального входному напряжению $U_{вх}$, последовательно с конденсатором включается сопротивление R , так что выходное напряжение пассивной схемы инте-

грирования равно $U \approx \frac{1}{RC} \int_0^t U_{вх} dt$. При увели-

чении выходных напряжений падение напряжения на конденсаторе приводит к погрешности

интегрирования, равной $\Delta U = - \frac{1}{RC} \int_0^t U_{вх} dt$.

Усилитель при интегрировании может применяться для: 1) усиления выходного напряжения пассивной схемы (что требует применения усилителя с высокой стабильностью коэфф. усиления), 2) усиления выходного напряжения пассивной схемы при дополнении схемы интегрирования цепью положит. обратной связи, компенсирующей погрешность пассивной схемы, 3) осуществления операции сравнения токов при включении конденсатора в цепи обратной связи операц. усилителя (т. н. интегрирующий усилитель). Последняя схема (рис. 2) получила наибольшее распространение в связи с более широким частотным диапазоном и из-за наиболее высокой точности выполнения операции интегрирования. Операц. усилитель здесь играет роль нуля-органа, поддерживающего равенство тока, протекающего через конденсатор C , току во входном сопротивлении R интегрирующего усилителя, так что выходное напряжение усилителя будет

равно: $U_{вых} = - \frac{1}{RC} \int_0^t U_{вх} dt$. Погрешность ин-

тегрирующего усилителя 0,1%—0,5%. Осн. источниками ее являются: 1) статизм схемы, вызванный конечностью коэфф. усиления k операц. усилителя и наличием его входного сопротивления R_d . Погрешность в выходном напряжении из-за статизма схемы равна

$$\Delta_{ст} \% = \frac{1 + R/R_d}{2(k+1)RC} t \cdot 100;$$

2) дрейф нулевого уровня выходного напряжения, равный

$$U_{вых др} = \frac{1}{kRC} \int_0^t \Delta U_{вых} dt,$$

где $\Delta U_{вых}$ — выходное напряжение усилителя, не охват. обратной связью, не зависящее от входного напряжения; 3) ошибки в величинах

R и C , к-рые приводят к погрешностям в выходном напряжении:

$$\Delta U_{\text{вых}R} = -\frac{\Delta R}{R} \frac{1}{RC} \int_0^t U_{\text{вх}} dt,$$

$$\Delta U_{\text{вых}C} = -\frac{\Delta C}{C} \frac{1}{RC} \int_0^t U_{\text{вх}} dt,$$

где ΔR и ΔC — величины изменений сопротивления R и емкости C ; 4) утечка в конденсаторе C ; 5) наличие паразитной емкости $C_{\text{п}}$, параллельной входному сопротивлению интегрирующего усилителя, что приводит к дополнит. напряжению на его выходе $\Delta U_{\text{вых}C_{\text{п}}} = -\frac{C_{\text{п}}}{C} U_{\text{вх}}$; 6) наличие тока $i_{\text{вх}}$ во входном каскаде усилителя (ток сетки входной лампы, ток базы входного триода и т. п.), что приводит к погрешности

$$\Delta U_{\text{вх}} = \frac{1}{C} \int_0^t i_{\text{вх}} dt.$$

Сопротивление утечек R_G , параллельное цепи обратной связи усилителя, вызывает пост. разряд конденсатора через сопротивление R_G , так что погрешность в выходном напряжении

$$\Delta U_{RG} = -\frac{R}{R_G} \frac{1}{RC} \int_0^t U_{\text{вх}} dt; 7) \text{ наличие сопротив-$$

лений утечек R_j на входе усилителя, если к этим сопротивлениям приложено напряжение $U_{\text{вх}j}$, что ведет к погрешности

$$\Delta U_{\text{вых}R_j} = -\sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j C} \int_0^t U_{\text{вх}j} dt.$$

Осн. режимы АИУ — задание нач. условий, интегрирование, останов решения или фиксация результатов и возврат к исходному состоянию. Режимы интегрирования и остановка могут чередоваться. В большинстве АВМ переход от одного из них к другому осуществляется с помощью реле. В АВМ с периодизацией решения используются ключи электронные.

ЦИУ является осн. элементом цифровых дифференциальных анализаторов. Кроме того, они входят в состав нек-рых специализированных цифровых вычислит. устройств, напр. цифровых интерполяторов. Величины внутри ЦИУ представляются в виде комбинации нескольких физич. величин и состояний, способных принимать ряд определенных значений. Интегрирование производится суммированием последоват. значений подынтегральной ф-ции, соответствующих дискретным равноотстоящим значениям переменной интегрирования. Входная и выходная числовые информации ЦИУ имеют вид электрич. импульсов, к-рым приписывается определ. одинаковая «цена» («вес»). Одна из основных модификаций ЦИУ дана на рис. 3, а. Импульсы Δy , изображающие приращения подынтегральной ф-ции y , суммируются в счетчике C_4 с введенным в него нач. значением y_0 , образуя текущее значение величины x . При поступлении каждого импульса Δx , т. е. при переходе от данного дискретного значения x к следующему, число из C_4 передается через клапаны $И$ и складывается с числом, содержащимся в сумматоре $См$. Единицы переполнения сумматора выдаются из

ЦИУ в виде импульсов Δz . Т. о., текущее значение z с точностью до величины, содержащейся в сумматоре, пропорционально числу импульсов Δz , вышедших из ЦИУ с начала работы до текущего момента. Это число импульсов может быть подсчитано дополнит. счетчиком.

Др. модификация ЦИУ показана на рис. 3, б. Здесь величина y накапливается в двоичном счетчике C_{41} . В счетчике C_{42} накапливаются входные импульсы Δx . На выходе любой из клапанных схем $И$ появляется в определ. момент импульс, если выполняются два условия: 1) в разряде счетчика C_{41} , с к-рым соединен

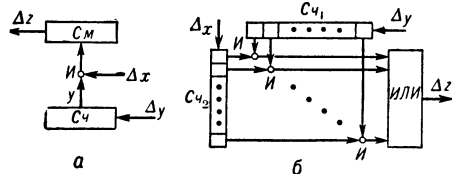


Рис. 3. Блок-схема цифрового интегрирующего устройства: а — со счетчиком и сумматором; б — по схеме двоичного умножителя.

данный клапан, стоит единица; 2) соединенный с данным клапаном разряд счетчика C_{42} в этот момент переходит из состояния 0 в состояние 1 (предполагается, что импульсы переноса из данного разряда в следующий разряд в счетчике C_{42} поступают при переходе данного разряда из 1 в 0). Выходы всех клапанов объединяются в собират. схеме ИЛИ. Одно из осн. преимуществ ЦИУ состоит в том, что при соответствующем выборе параметров его схемы можно обеспечить практически любую требуемую точность, в то время как точность АИУ ограничена.

Можно считать, что интегрирование выполняют различные устройства с движущимися или вращающимися частями (перемещение или угол поворота является интегралом по времени от линейной или угловой скорости), сосуды, в к-рых изменяется уровень жидкости (высота уровня есть интеграл от расхода по времени), и т. д. (см. *Интегратор гидравлический*, *Интегратор пневматический*). Однако в качестве вычислит. устройств для выполнения математич. операций интегрирования в наст. время в осн. используются устройства, описанные выше.

Лит.: Реймон Ф., Автоматика переработки информации, пер. с франц., М., 1961; Цифровые дифференциальные анализаторы, сб. переводов, под ред. Б. Я. Когана, М., 1959; Hofmann H., Aufbau und Wirkungsweise neuerzeitlicher Integrationsanlagen, «Elektrotechn. Z.», 1956, Bd 77, № 3.

В. А. Брук, И. М. Витенберг.

ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ [lead-lag circuit; réseau (circuit) intégrodifférentiel; Integration-Differentiations-Netzwerk] — пассивный четырехполюсник, обладающий в одном диапазоне частот свойствами дифференцирующей цепи, в другом — свойствами интегрирующей цепи. Дифференциальное уравнение И.-д. ц., представленной на рис. 1, а, имеет вид:

$$\tau_1 \tau_2 \frac{d^2 U_{\text{вх}}}{dt^2} + (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) \frac{d U_{\text{вх}}}{dt} + U_{\text{вх}} =$$

$$= \tau_1 \tau_2 \frac{d^2 U_{\text{вх}}}{dt^2} + (\tau_1 + \tau_2) \frac{d U_{\text{вх}}}{dt} + U_{\text{вх}},$$

где $\tau_1 = R_1 C_1$; $\tau_2 = R_2 C_2$; $\tau_3 = R_1 C_2$. Передаточная ф-ция И.-д. ц.:

$$W(p) = \frac{\tau_1 \tau_2 p^2 + (\tau_1 + \tau_2) p + 1}{\tau_1 \tau_2 p^2 + (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) p + 1} = \frac{(1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}{(1 + T_1 p)(1 + T_2 p)}$$

$$T_1 = \frac{2\tau_1 \tau_2}{(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) + \sqrt{(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)^2 + 4\tau_1 \tau_2}}$$

$$T_2 = \frac{2\tau_1 \tau_2}{(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) - \sqrt{(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3)^2 + 4\tau_1 \tau_2}}$$

По сравнению с идеальным интегро-дифференцирующим устройством, к-рое должно обладать передаточной ф-цией

$$S(p) = a_1 + a_2 p + \frac{a_3}{p} = \frac{a_1 p^2 + a_2 p + a_3}{p}$$

реальная цепь вносит искажения за счет наличия в знаменателе дополнительного члена ($\tau_1 \tau_2 p^2 + 1$). Для того чтобы И.-д. ц. по своим

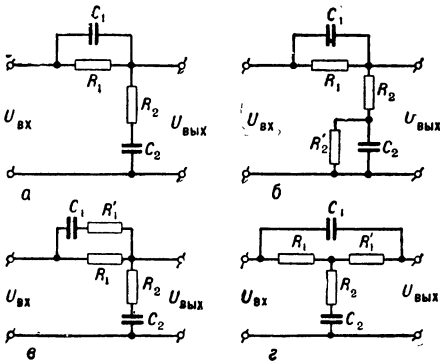


Рис. 1.

хар-кам лучше приближалась к идеальному устройству, необходимо выбирать параметры цепи так, чтобы величина τ_3 была максималь-

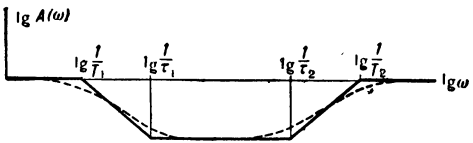


Рис. 2.

ной при заданных τ_1 и τ_2 . Логарифмич. частотная хар-ка И.-д. ц. (рис. 2) в области частот $\frac{1}{T_2} < \omega < \frac{1}{T_1}$ подобна частотной хар-ке дифференцирующей цепи, а в области $\frac{1}{T_2} < \omega < \frac{1}{T_1}$ — интегрирующей цепи. В области частот $\omega \ll \frac{1}{T_1}$ и $\omega \gg \frac{1}{T_2}$ И.-д. ц. не вносит ослабления сигнала. Разновидности И.-д. ц. (рис. 1, б, в, г) имеют частотные хар-ки, отличающиеся только предельными значениями $\lg[A(\omega)]$ при $\omega=0$ и $\omega=\infty$. И.-д. ц. применяются для введения воздействий по производной и интегралу ошибки в цепи коррекции и стабилизации.

И. И. Пашиев.

ИНТЕНСИВНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКА (з в у к а) (ultrasound intensity; intensité d'ultrason; Ultraschallintensität) — плотность потока ультразвуковой (звуковой) энергии, т. е. количество УЗ энергии, проходящее в 1 сек. через площадку в 1 см², располож. перпендикулярно

к направлению распространения ультразвука. И. у. является одной из основных величин, характеризующих УЗ волну; измеряется в практич. единицах (1 ат/см²) или в абс. (1 эрг/сек.см² = 10⁻⁷ вт/см²). Для случая плоской волны И. у. связана след. обр. с др. параметрами УЗ волны:

$$J = \frac{1}{2} p v = \frac{1}{2} \frac{p^2}{\rho_0 c} = \frac{1}{2} v^2 \rho_0 c = \frac{1}{2} a^2 \omega^2 \rho_0 c,$$

где J — И. у.; p , v и a — соответственно амплитудные значения звукового давления, колебательной скорости и смещения; ρ_0 — плотность среды, в к-рой распространяется волна; c — скорость звука в этой среде; $\omega = 2\pi f$ — т. н. круговая частота, f — частота УЗ колебаний; произведение $\rho_0 c$, играющее существ. роль в процессах распространения УЗ, наз. волновым сопротивлением среды. И. у. не поддается непосредств. измерению; ее можно измерять лишь косвенно.

Лит.: Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959; Бера не к Л., Акустические измерения, пер. с англ., М., 1952. Л. Д. Розенберг.

ИНТЕРПОЛЯТОР (interpolator; appareil d'interpolation; Interpolator) — вычислит. устройство для определения координат точки, непрерывно движущейся по аналитич. кривой с заданными параметрами. И. есть управляющее устройство — его выходные сигналы непосредственно или с помощью промежуточных носителей (напр., магнитной ленты) поступают на привод рабочего органа управляемого объекта (металлорежущий станок, станок для резки металла пламенем и др.). В результате рабочий орган движется в пространстве или на плоскости по требуемой кривой. Способ задания параметров кривой зависит от типа И. и от применяемого в нем способа решения ур-ния кривой. Число координат, по к-рым И. производит управление, может быть равно двум, трем и т. д. Напр., 4-координатный И. может управлять перемещением фрезы в 3 направлениях, а 4-й координатой может быть поворот заготовки.

Различают И. непрерывного действия (ИН) и цифровые (ИЦ). Простейшими являются линейные ИН для отработки прямолинейных отрезков: потенциометры, автотрансформаторы с равномерно расположенными отпайками и др. Один потенциометр в схеме линейного ИН управляет движением рабочего органа по одной оси координат. Напряжение, подаваемое на потенциометр, пропорционально проекции отрабатываемого прямолинейного отрезка на данную ось координат, а напряжение, снимаемое с перемещающегося движка потенциометра, является выходной величиной

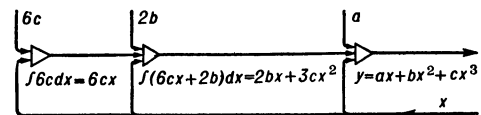


Рис. 1. Блок-схема двухкоординатного интерполатора непрерывного действия: 6с, 2б, а — исходные данные (параметры кривой); x — входная величина; y — выходная величина.

и пропорционально координате текущей точки (относительно начала отрезка), т. е. величине требуемого перемещения рабочего органа.

На рис. 1 показан ИН, отрабатывающий параболы 3-й степени и построенный на 3

разыскиваются, то распределение памяти может быть произвольным. Команды действий можно помещать на любое свободное место ЗУ. Полученные результаты также ставятся на любое свободное место. В методе компиляции аргументы не разыскиваются, а сразу выбираются управляющими операторами, обеспечивающими циклич. применение счетных операторов к новым аргументам. Нахождение и реализация этих циклов при расширении заданного исходного алгоритма решения задачи (см. *Автоматизация программирования*) и являются наиболее трудной проблемой, возникающей при создании компилирующих систем. В И. м. эти трудности отсутствуют.

Осн. недостаток И. м. — значит. увеличение времени решения задачи на машине. Поиск действия, для к-рого имеются аргументы, занимает много времени. Поэтому главное в разработке интерпретирующих систем — достижимая экономия времени. Интерпретирующая система должна быть в какой-то мере «обучающейся», т. е. система поиска должна быть дополнена алгоритмом, позволяющим при повторном поиске аргумента выбирать наиболее короткий путь, исходя из опыта предыдущих поисков.

Др. способом сокращения времени работы интерпретирующей системы является отказ от полной интерпретации. Широкое применение получили системы с частичной интерпретацией. В этом случае при обращении к интерпретирующей системе указывается действие, к-рое необходимо выполнить, а также местоположение аргументов и результата (т. е. указываются номера ячеек, в к-рых находятся аргументы, и номера ячеек, в к-рые должен быть послан результат). Интерпретирующая система должна найти свободное место в ЗУ, на к-ром можно выполнить указанное действие, и выполнить его. Состав информации, сообщаемой системе с частичной интерпретацией, фактически аналогичен составу информации обычной машинной команды (кода). Поэтому информация для системы с частичной интерпретацией иногда наз. «псевдокодом».

Наиболее часто встречающийся тип системы с частичной интерпретацией состоит из интерпретирующей программы и библиотеки СП. Каждая СП решает нек-рую задачу (вычисление элементарной ф-ции, решение системы линейных ур-ний, интегрирование системы обыкновенных дифференц. ур-ний и т. п.). Интерпретирующая программа помещается в оперативном ЗУ машины, а библиотека СП — во внешнем ЗУ (на магнитном барабане или на магнитной ленте). В оперативном ЗУ машины выделяется также место («рабочее поле»), на к-рое можно вызвать необходимую СП. Обращение к интерпретирующей программе имеет след. вид. В ячейках $\alpha, \dots, \alpha+K$ располагаются: команда передачи управления интерпретирующей программе; команды, обеспечивающие передачу управления в ячейку $\alpha+\omega$ после окончания работы СП. В ячейках от $\alpha+K+1$ до $\alpha+\omega-1$ помещаются информац. строки, указывающие номер СП, номера ячеек, в к-рых хранятся аргументы, и номера ячеек, в к-рые должен быть послан результат.

Получив управление, интерпретирующая программа выясняет, имеется ли на «рабочем

поле» СП с нужным номером. Если нужная СП имеется, то интерпретирующая программа передает ей управление, после чего СП выбирает информацию из ячеек $\alpha+K+1, \dots, \alpha+\omega-1$ и выполняет необходимую операцию. Если нужной СП на «рабочем поле» нет, то интерпретирующая программа вызывает СП на «рабочее поле» из внешней памяти и настраивает ее для работы на выбранном месте (см. *Конкретизация стандартной подпрограммы*), после чего передает ей управление. Может оказаться, что на «рабочем поле» нет места, чтобы разместить вызванную СП. В этом случае интерпретирующая программа должна стереть нек-рые ранее вызывавшиеся СП и поместить на их место вновь вызываемую. Для сокращения времени работы интерпретирующей программы, как правило, принимают нек-рые меры. Напр., при стирании СП на «рабочем поле» желательно в первую очередь стирать те СП, обращение к к-рым происходит редко. Эти СП должны быть либо указаны программистом, либо интерпретирующая программа сама должна выделять их на основании исследования частоты обращений. По отношению к часто вызываемым СП можно применить т. н. «глухую коммутацию». Это означает, что интерпретирующая программа при обращении к ней изменяет команды обращения $\alpha, \dots, \alpha+K$ т. о., что в следующий раз команды будут передавать управление не интерпретирующей программе, а непосредственно СП. При этом, конечно, нужно принять меры к тому, чтобы глухо закомутированная СП не стиралась или чтобы стирание не приводило к ошибке. СП, обращение к к-рым происходит часто, должны быть указаны программистом или интерпретирующая программа должна их делить сама. Использование описанных и аналогичных им приемов позволяет добиться того, что время работы систем с частичной интерпретацией оказывается вполне приемлемым.

С. С. Камынин.

ИНФОРМАЦИИ ЕДИНИЦА (information unit, bit; unité d'information; Nachrichteneinheit, Nachrichtenelement) — единица измерения количества информации, равная количеству информации, содержащемуся в нек-ром стандартном сообщении. Чаще всего за И. е. принимается *информации количество*, содержащееся в указании значения случайной величины, принимающей с равной вероятностью два различных значения (напр., 0 и 1). Эта И. е. наз. двоичной единицей [в англ. лит-ре двоичная И. е. носит наименование bit (бит) — сокращение от binary digit (двоичная цифра)]. Информация будет измеряться в двоичных единицах, если в выражении для количества информации

$$I(\eta, \xi) = \sum_i \sum_j P_{\eta\xi}(x_i, y_j) \log \frac{P_{\eta\xi}(x_i, y_j)}{P_{\xi}(x_i) P_{\eta}(y_j)}$$

логарифм брать по основанию 2. Действительно, тогда количество информации, даваемое результатом опыта с двумя равновероятными исходами и равное его энтропии H , равно 1:

$$I = H = - \left(\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} \right) = 1.$$

Измерение информации в двоичных единицах особенно удобно для технич. приложений, т. к. в системах, хранящих и перерабаты-

вающих информацию, проще всего оперировать с величинами, выраженными в двоичной системе счисления, а одна двоичная единица есть как раз количество информации, необходимое для указания одной двоичной цифры. Этот же принцип используется в нервной системе человека и животных (два состояния нервной клетки — возбуждение и торможение, принцип «все или ничего», релейная система передачи нервного импульса). С др. стороны, одна двоичная единица есть количество информации, необходимое для задания одного значения булевой ф-ции, что удобно для математико-логич. анализа вопросов переработки информации. В теоретич. исследованиях при вычислении количества информации часто берут не двоичный, а натур. логарифм. Это приводит к натуральной И. е.: 1 двоичная единица = $\ln 2$ натур. единицы $\approx 0,693$ натур. единицы (сокращенно — нит).

В статистич. физике энтропия $S = k \ln W$, где $\ln W$ — ср. логарифм вероятности состояния системы. Она отличается от энтропии в теории информации множителем $k = 1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/град — постоянной Больцмана. Отсюда 1 двоичная единица = $k \ln 2$ эрг/град = $9,56 \cdot 10^{-17}$ эрг/град. Укажем для примера, что книга в 200 стр. имеет около 10^6 двоичных И. е. Информация, содержащаяся в организме человека на молекулярном уровне (т. е. необходимая для воссоздания человека из отдельных молекул), равна $\approx 3 \cdot 10^{25}$ двоичных ед.

Лит. см. при ст. Информации теория.

Л. Б. Левитин.

ИНФОРМАЦИИ КОЛИЧЕСТВО (information quantity; quantité d'information; Nachrichtenmenge) — мера уменьшения неопределенности некоторой ситуации; основная величина в информации теории. Примером неопределенной ситуации является опыт с несколькими возможными исходами. Неопределенность ситуации заключается в том, что до проведения опыта мы не знаем в точности, какой исход будет иметь место. Информация, относящаяся к данному опыту, уменьшает его неопределенность. Если все исходы равновероятны, то неопределенность ситуации зависит только от числа исходов, причем неопределенность тем больше, чем больше число исходов. Амер. инженер Р. Хартли предложил (1928) в качестве меры неопределенности ситуации с N равновероятными исходами величину $H = \log N$. Эта величина возрастает с ростом N и обладает свойством аддитивности: неопределенность сложной ситуации, состоящей из неск. независимых опытов, равна сумме неопределенности каждого опыта. Действительно, если производятся два независимых опыта с N_1 и N_2 равновероятными исходами соответственно, то неопределенности опытов равны $H_1 = \log N_1$ и $H_2 = \log N_2$.

Сложный опыт имеет $N = N_1 N_2$ равновероятных исходов. Тогда $H = \log N = H_1 + H_2$.

В формуле Хартли выбор основания логарифмов означает выбор единиц, в к-рых измеряется неопределенность. Когда исходы неравновероятны, то неопределенность зависит не только от числа исходов, но и от их вероятностей. В простейшем случае бинарной ситуации (т. е. ситуации, когда ожидается появление одного из двух возможных событий)

неопределенность при равновероятных событиях (исходах) больше, чем когда, напр., вероятность одного события 0,001, а другого 0,999.

К. Шеннон предложил (1948) в качестве меры неопределенности опыта ξ с N исходами x_1, \dots, x_N энтропию — H

$$H = \sum_{i=1}^N P_{\xi}(x_i) \log \frac{1}{P_{\xi}(x_i)}, \quad (1)$$

где $P_{\xi}(x_i)$, $i=1, 2, \dots, N$ — вероятность исхода x_i . Совокупность различных исходов опыта с их вероятностями может рассматриваться как множество значений случайной величины с дискретным распределением $P_{\xi}(x_i)$, $i=1, 2, \dots, N$. Поэтому вместо энтропии опыта ξ говорят об энтропии случайной величины ξ или об энтропии дискретного распределения $P_{\xi}(x_i)$. Энтропия является естеств. обобщением меры Хартли. В случае равновероятных исходов $P_{\xi}(x_i) = 1/N$ ф-ла Шеннона дает $H = \log N$. Энтропия удовлетворяет принципу аддитивности: энтропия сложной ситуации, состоящей из неск. независимых опытов, равна сумме энтропий каждого опыта. Пусть с данным опытом ξ с N исходами x_1, \dots, x_N и вероятностями $P_{\xi}(x_i)$ исхода x_i связан др. опыт η с M исходами (y_1, \dots, y_M) и вероятностями $P_{\eta}(y_j)$ исхода y_j . Тогда вероятности исходов первого опыта зависят от исхода второго, т. е. являются условными вероятностями. Ср. неопределенность опыта ξ при знании исхода η будет измеряться условной энтропией

$$H_{\eta}(\xi) = - \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N P_{\eta}(y_j) P_j(x_i) \log P_j(x_i), \quad (2)$$

где $P_j(x_i)$ — условная вероятность исхода x_i опыта ξ при условии, что $\eta = y_j$. Всегда $H_{\eta}(\xi) \leq H(\xi)$, т. е. неопределенность данного опыта ξ может лишь уменьшиться при знании результатов к-л. др. опыта η . Уменьшение неопределенности обусловлено информацией, содержащейся в η относительно ξ . Величина $I(\eta, \xi) = H(\xi) - H_{\eta}(\xi)$ наз. И. к., содержащимся в случайной величине η относительно случайной величины ξ . Подставляя (1) и (2) и учитывая, что $P_{\eta}(y_j) P_j(x_i) = P_{\xi\eta}(x_i, y_j)$, получим

$$I(\eta, \xi) = \sum_i \sum_j P_{\xi\eta}(x_i, y_j) \log \frac{P_{\xi\eta}(x_i, y_j)}{P_{\xi}(x_i) P_{\eta}(y_j)}, \quad (3)$$

где $P_{\xi\eta}(x_i, y_j)$ — совместная вероятность исхода x_i опыта ξ и y_j опыта η . Это выражение имеет аналогичный вид и в случае непрерывных случайных величин

$$I = \iint P_{\xi\eta}(x, y) \log \frac{P_{\xi\eta}(x, y)}{P_{\xi}(x) P_{\eta}(y)} dx dy, \quad (4)$$

[где $P_{\xi\eta}(x, y)$ — совместная плотность распределения вероятностей случайных величин ξ и η ; $P_{\xi}(x)$ — плотность распределения вероятностей случайной величины ξ ; $P_{\eta}(y)$ — плотность распределения вероятностей случайной величины η], хотя к случаю непрерывных случайных величин, т. е. ситуации с непрерывным множеством исходов, понятие энтропии непосредственно не приложимо.

По ф-лам (3) и (4) И. к. определяется с точностью до постоянного множителя, зависящего от выбора основания логарифмов, т. е. от выбора единицы измерения И. к.

(см. *Информации единица*). Если основание логарифмов равно 2, то И. к. дается в двоичных единицах (битах).

Величина И. к. имеет след. свойства: 1) если ξ и η — независимые случайные величины (независимые опыты), то $I(\xi, \eta) = 0$. Действительно, если отсутствует зависимость между опытами ξ и η , то знание исходов η не дает дополнит. сведений об опыте ξ . Формально этот результат сразу следует из (3), так как в этом случае $P_{\xi\eta}(x_i, y_j) = P_{\xi}(x_i)P_{\eta}(y_j)$ (по определению независимых случайных величин); 2) если η и ξ зависимы, то $I(\xi, \eta) > 0$, то есть И. к. — величина неотрицательная; 3) $I(\xi, \eta) = I(\eta, \xi)$, т. е. И. к., содержащееся в ξ относительно η , равно И. к., содержащемуся в η относительно ξ . Это видно из симметричности ф-лы (3); 4) если $H_{\eta}(\xi) = 0$, то $I(\eta, \xi) = H(\xi)$. Равенство $H_{\eta}(\xi) = 0$ означает, что неопределенность ξ при знании η равна нулю (т. е. величина η однозначно определяет величину ξ). В этом случае И. к., содержащееся в η относительно ξ , равно всей первонач. неопределенности величины ξ , т. е. ее энтропии (это свойство имеет место только для дискретных случайных величин).

Величина $I(\xi, \eta)$ применяется для измерения И. к., передаваемой по каналу связи. Если на входе канала сигнал есть случайная величина ξ , а на выходе — η , то И. к., передаваемое по каналу, есть $I(\xi, \eta)$. Чем меньше помехи в канале, тем меньше неопределенность в знании входного сигнала после получения выходного и тем больше $I(\xi, \eta)$. В дискретном канале, когда помехи отсутствуют, $I(\xi, \eta) = H(\xi)$, и мы получаем по каналу всю информацию, содержащуюся во входном сигнале. Если помехи настолько сильны, что распределение выходного сигнала не зависит от входного, то $I(\xi, \eta) = 0$, т. е. никакая информация не передается.

Лит. см. при ст. *Информации теория*.

Д. С. Лебедев.

ИНФОРМАЦИИ ОБРАБОТКА (information processing, information retrieval; traitement de l'information, compulsion d'informations; Datenverarbeitung, Informationserschliessung) — преобразование поступающей информации к виду, удобному для хранения и дальнейшего ее использования. Целью И. о. может служить, напр., существенное сокращение объема имеющейся информации путем извлечения наиболее важной ее части (напр., реферирование научных публикаций). Запись полученного экстракта на перфокартах, кроме удобства хранения, позволяет автоматизировать (напр., с помощью ЦВМ) выборку необходимой информации из хранилищ, извлечение полезных данных из большого объема информации, появляющейся в процессе научных изысканий, наблюдений, экспериментов, технич. испытаний и т. д. Информация может быть представлена как в виде совокупности регулярных (напр., периодически изменяющихся во времени) сигналов, так и в виде случайных сигналов, напр. случайных помех, присутствующих в полезной информации. В соответствии с этим различают регулярной информации обработку (РИО) и случайной информации обработку (СИО).

Под РИО понимаются такие виды обработки, при к-рых не применяются спец. статистич. методы. Она осуществляется, как правило, спец. вычислит. устройствами (ВУ), к-рые в за-

висимости от областей применения можно подразделить на три типа. Общим для них является то, что выходная информация поступает непосредственно к человеку. ВУ первого типа (счетно-аналитич. машины, а также ЦВМ, механизмирующие учетно-вычислит. операции) обрабатывают информацию, поступающую от человека. Этот тип охватывает и замкнутые схемы, в к-рых входная информация используется тем же человеком, от к-рого поступила информация на вход ВУ. Так, тренажеры для подготовки летного состава, а также др. модели реальных объектов управления, служащие для тренировки, позволяют обучаемому по показаниям приборов судить о правильности своих действий и совершенствовать их.

ВУ второго типа обрабатывают информацию, поступающую от объекта с целью управления им. Это — ВУ для рационализации диспетчерской службы на транспорте, в авиации, на производстве и т. д., средства автоматизации пром. объектов в тех случаях, когда требуется частое вмешательство человека. И. о. здесь либо завершается отбором тех сведений, на к-рых оператору необходимо сосредоточить внимание, либо доводится до степени рекомендаций о действиях, которые оператор самостоятельно должен предпринять в сложившейся ситуации. Так, ВУ для автоматич. измерения темп-ры отходящих газов доменной печи измеряет темп-ру по окружности двух сечений колошника, определяет модуль отклонения темп-ры в каждой точке сечения от ср. темп-ры по сечению и разность темп-р в соответствующих точках обоих поясов от ср. значения разности. При превышении указанных величин над нек-рыми заданными ВУ сигнализирует оператору, в каком именно месте это произошло.

ВУ третьего типа охватывают устройства для обработки информации о периодич. или носящих эпизодич. характер процессах, хранимой, напр., в блоках памяти. И. о. в этом случае заключается в извлечении из нее наиболее ценных, с точки зрения человека-исследователя, сведений для дальнейшего использования. Подобные ВУ широко применяются при обработке данных, полученных при исследовании самолетов в аэродинамич. трубах, при испытании управляемых снарядов, ракет и т. д., при статистич. И. о., поступающей в виде графиков. Так, при изучении распространения электромагнитных волн необходимо обрабатывать сотни метров графиков интенсивности поля в ф-ции времени. В одном из аппаратов, служащих для этой цели, на ленте, помимо графика кривой интенсивности, имеется координатная сетка. Обработка заключается в отделении электрич. сигналов, получаемых от координатных линий, от сигналов графика и в направлении полезного сигнала в канал, соответствующий положению точки графика относительно координатных линий.

ВУ, предназначенные для РИО, можно классифицировать и по др. признакам. По степени переработки информации их разделяют на: 1) представляющие входную информацию в виде, удобном для использования оператором; 2) извлекающие наиболее ценные сведения из общего потока входной информации; 3) доводящие переработку входной информации до уровня дачи рекомендаций

о наиболее целесообразных в данных условиях действиях оператора (машины-«советчики») и др.

Под СИО понимается определение различных статистич. хар-к случайных сигналов, изучение способов их преобразования системами и выделение полезной информации из сигналов, смешанных со случайными помехами.

Для этих целей в лабораторных условиях применяются различные виды аппаратуры, в т. ч. генераторы случайных сигналов (ГСС), выдающие нек-рую, обычно стационарную случайную ф-цию времени. Практически спектр частот большинства применяемых ГСС ограничивается звуковыми ($\omega < 20$ гц) или звуковыми ($\omega < 20$ кгц) частотами, соответствующими спектру частот обычных производств. помех, в условиях к-рых, как правило, работает автоматич. аппаратура.

Источниками случайных сигналов в ГСС служат: 1) заранее записанные шумы; 2) усиленные флуктуации анодного тока диода, работающего в режиме насыщения, или тиратрона с подогревным катодом; 3) случайно изменяющаяся проводимость массы стальных шариков, помещаемых во вращающийся барабан. Для получения случайной ф-ции с заданной спектральной плотностью или с заданным распределением амплитуд на выход ГСС ставится фильтр с определ. комплексным коэфф. передачи или нелинейный преобразователь с известным оператором. Исследование ф-ций распределения случайных процессов осуществляется анализаторами ф-ций распределения (АФР) и анализаторами плотностей распределения (АПР). Ф-ция распределения $F(x)$ стационарной случайной величины ϵ есть вероятность того, что значение ϵ будет меньше фиксированной величины x , т. е. $F(x) = P(\epsilon < x)$. Типичная блок-схема АФР состоит соответственно из блока образования уровня x , блока сравнения мгновенного значения ϵ с заданным x , блока усреднения и регистратора, вычерчивающего график $F(x)$.

АПР вероятностей получили преимуществ. развитие, так как графики кривых плотности распределения обладают несколько большей наглядностью сравнительно с графиками кривых ф-ций распределения. Плотность распределения $W(x) = \frac{dF(x)}{dx}$ или в случае стационарного случайного процесса приближенно $W(x) \Delta x = \frac{1}{T} \sum \Delta t_n$, где Δx — небольшая часть диапазона x ; T — общее время наблюдения; $\sum \Delta t_n$ — общее время, в течение к-рого стационарная случайная ф-ция $\epsilon(t)$ пребывает между двумя фиксиров. уровнями x и $x + \Delta x$. Типичная блок-схема АПР содержит блок образования уровня x , блок образования интервала Δx , блок определения Δt_n , сумматор и регистратор.

Конструктивные особенности АФР и АПР в осн. определяются полосой частот исследуемого сигнала. Так, в АПР, рассчитанных на входные сигналы с широким спектром частот (до Мгц), осн. элементами являются специально сконструированные ЭЛТ. Анализаторы, работающие с сигналами звуковых или звуковых частот, строятся на обычных электронных лампах, ПП элементах и реле (или *ключах электронных*). Существуют анализаторы непрерывного и дискретного действия.

Широко распространены ВУ для определения ср. значений: среднего по времени, среднего по множеству, среднеквадратичного, среднего от произведения. Определение среднего по множеству применяется, напр., при необходимости устранить ошибку в показаниях измерит. приборов. При этом иногда нек-рое множество показаний прибора суммируется и затем сумма делится на число измерений. В одном из вариантов ВУ (рис. 1)

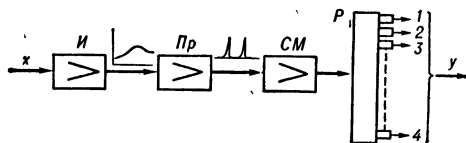


Рис. 1. Блок-схема устройства для усреднения показаний измерит. приборов: x — измеряемая величина; $И$ — измеряющий прибор; $Пр$ — преобразователь непрерывной величины в цифровую форму; $СМ$ — накапливающий сумматор; P — регистр; y — выходная величина.

показания прибора преобразуются в цифровую форму и накапливаются в регистре сумматора. После того как число суммиров. показаний достигнет заданного, полученная сумма делится на это число путем отбрасывания неск. младших разрядов. Напр., при десятичной системе счисления и ста показаний прибора, к-рые необходимо усреднить, отбрасываются два младших разряда.

Весьма важными статистич. оценками стационарных случайных процессов являются средние от произведений $x(t) \cdot x(t + \tau)$ или $x(t) \cdot y(t + \tau)$, т. е. корреляц. ф-ции $R_x(\tau)$ и $R_{xy}(\tau)$, и тесно связанные с ними спектр. плотности $S_x(\omega)$ и $S_{xy}(\omega)$. Определение корреляц. ф-ций производится с помощью *коррелометров* (см. также *Корреляция*).

Для определения спектр. плотности $S_x(\omega)$ применяются более сложные приборы (рис. 2).

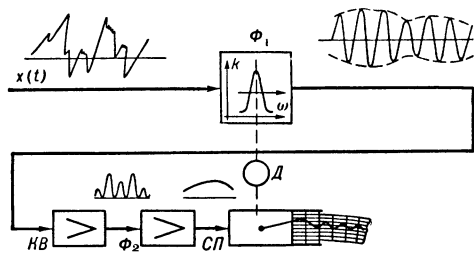


Рис. 2. Блок-схема вычислит. устройства для определения спектр. плотности стационарного случайного процесса.

Сигнал $x(t)$, спектр. плотность к-рого необходимо определить, пропускается через полосовой фильтр Φ_1 с узкой полосой пропускания, к-рая может перемещаться по всему диапазону частот прибора. Колебания узкой полосы частотного спектра с выхода Φ_1 пропускаются через квадратор $КВ$ и усредняются в фильтре Φ_2 . Результирующая кривая записывается на самописце $СП$, лента к-рого перемещается синхронно с перестройкой Φ_1 двигателем $Д$. ВУ, определяющие взаимную спектр. плотность $S_{xy}(\omega)$, конструктивно более сложны, что связано с трудностями при определении комплексной составляющей ф-ции $S_{xy}(\omega)$.

Одним из применений корреляц. ф-ций является определение переходной ф-ции объекта (рис. 3). На магнитную ленту (или вращающийся барабан B) записываются автокорреляц. ф-ции входа объекта $R_0(t)$ и взаимнокорреляц. ф-ция между входом и выходом

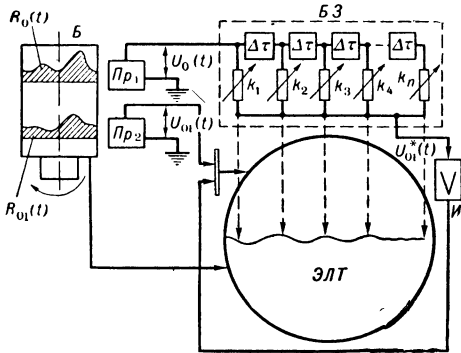


Рис. 3. Блок-схема вычислит. устройства для определения переходной ф-ции объекта; $ПР_1$, $ПР_2$ — преобразователи ф-ций $R_0(t)$ и $R_{01}(t)$ в пропорциональные напряжения $U_0(t)$ и $U_{01}(t)$; $И$ — инвертор.

объекта $R_{01}(t)$. Принцип действия ВУ основан на таком подборе передаточной ф-ции вспомогат. блока запаздывания ($БЗ$, состоит из n звеньев с временем запаздывания $\Delta\tau$), чтобы она оказалась достаточно близкой к передаточной ф-ции объекта. Это достигается след. образом: напряжение $U_0(t)$, пропорциональное $R_0(t)$, подается на вход $БЗ$. Коэфф. усиления звеньев $БЗ$ (k_i) подбираются так, чтобы разность между выходным напряжением $БЗ$ $U_{01}^*(t)$ и напряжением $U_{01}(t)$, пропорциональным $R_{01}(t)$, сделалась равной нулю. Контроль осуществляется по разностной кривой на экране ЭЛТ. Подбор передаточной ф-ции $БЗ$ облегчается тем, что рукоятки k оказывают влияние только на соответствующие участки кривой (пунктирные линии со стрелками). В данном приборе не учитываются нелинейные зависимости в объекте. Однако разработаны методы определения хар-к объектов, пригодные для нек-рого класса нелинейных систем.

Важной проблемой И.о. является оптим. отделение сигнала от шума, к-рое требуется в радиолокации, в технике дальней связи и т. п. Существуют различные методы оптим. отделения сигнала от шума (см. Прием сигнала на фоне помех).

И. о. может осуществляться как аналоговыми устройствами, так и цифровыми. При И. о. аналоговыми (непрерывными) устройствами входная информация представляется в виде нек-рой непрерывной во времени величины; при этом значению входной (представляемой) информации в любой момент времени соответствует значение выходной (представляющей) величины. К непрерывным устройствам для И. о. относят широкий класс устройств, в т. ч. различные измерит. приборы (амперметры, вольтметры, манометры и др.), дающие входную информацию (ток, напряжение, давление и т. п.) в виде показаний стрелки (указателя), и регистрирующие устройства, непрерывно записывающие входную информацию (напр., на

бумажной ленте). В более сложных случаях в результате И. о. на выходе непрерывного устройства появляется либо нек-рый экстракт, извлеченный из общего объема входной информации, в форме, удобной для дальнейшего использования (напр., обработка случайных сигналов с целью получения кривых распределения этих сигналов, см. Анализаторы функций распределения), либо, напр., управляющие воздействия, подаваемые непосредственно на исполнитель. механизмы. И. о. непрерывными устройствами широко применяется при построении различного рода автоматич. регуляторов (напр., следящих систем), когда информация о состоянии объекта регулирования непрерывным образом преобразуется в управляющие воздействия, напр., на ликвидацию рассогласования между текущим значением регулируемого параметра и нек-рой заданной величиной этого параметра. И. о. непрерывными устройствами имеет место также в нек-рых типах самонастраивающихся систем, напр. корреляц. оптимизаторах. Здесь входной информацией являются случайные колебания входных и выходных параметров объекта, а И. о. заключается в непрерывном определении взаимнокорреляц. ф-ций этих колебаний, используемых далее для выработки управляющих воздействий. Важное место занимает И. о. непрерывными устройствами при моделировании реальных объектов и систем на электронных (или к.-л. др.) моделях, в обучающих автоматах и т. д. Как правило, в качестве элементарных звеньев при построении непрерывных устройств для И. о. (так же, как и для др. целей) применяются: усиительное, дифференцирующее, колебательное и суммирующее звенья, звено запаздывания, нелинейные преобразователи с одним и неск. входами, звено запоминания.

Информационно-вычислительные устройства подразделяются на: а) устройства, обрабатывающие текущие значения переменных (напр., подсчет мощности, отдаваемой двигателем внутр. сгорания в виде произведения текущих значений момента нагрузки и скорости вала); б) устройства, дающие информацию с учетом значений переменных в прошлом и с учетом «истории» движения системы. В простейшем случае — это запоминание в той или иной форме значений переменных. Примеры более сложных случаев — вычислит. устройство, обрабатывающее входящую информацию с целью вычисления корреляц. ф-ций, устройство для статистич. обработки входной информации и т. д.; в) устройства, дающие информацию в виде прогнозов на будущее, информацию предсказывающего типа на основании изучения истории движения системы в прошлом и состояния ее в данный момент (напр., блоки прогноза в оптим. системах, аппараты для вычисления вероятной будущей траектории самолета по его движению в прошлом, устройства для прогноза погоды); г) устройства, доводящие обработку информации до степени выработки управляющих воздействий или рекомендаций человеку-оператору о необходимых управляющих действиях (напр., штабные машины на командных пунктах воинских соединений, нек-рые виды аппаратуры управления доменной печью и др.).

Лит.: Якобсон Б. М., Применение теории информации к оценке эффективности систем центра-

лизированного контроля, «П», 1960, № 9; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; Влэдуч Г. Э. [и др.], Научная и техническая информация, как одна из задач кибернетики, «УФН», 1959, т. 69, вып. 1; Pask G., Automatic teaching techniques, «Brit. Commun. and Electronics», 1957, v. 4, № 4, p. 210—11; Вайнштейн Л. А., Зубаков В. Д., Выделение сигналов на фоне случайных помех, М., 1960; Леонов Ю. П., Липатов Л. Н., Статистические методы определения динамических характеристик промышленных объектов при наличии шумов, «АиТ», 1960, т. 21, № 2. И. Н. Бочаров.

ИНФОРМАЦИИ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ (о п е р а т о р у) (information representation; représentation de l'information; Informationsrepräsentierung, Informationsdarstellung, Datendarstellung) — преобразование сигналов в форму, удобную для восприятия человеком. И. п. используется в устройствах связи, вычислит. машинах, системах управления технологич. процессами. В последнем случае И. п. является необходимым условием процесса контроля (см. *Контроль автоматический*). И. п. осуществляется визуальными, акустич., реже механическими (осозательными) сигналами и символами. Визуальные символы делятся на 4 группы: геометрич. (длина отрезка прямой или кривой линии, расстояние между двумя точками и др.); знаковые (цифры, буквы и простейшие геометрич. фигуры), записываемые в цифровой, словарной, телеграфной (точки, тире) форме; шкальные, получающиеся сочетанием геометрич. и знаковых; физич., представляющие нек-рые физич. состояния вещества-носителя (цвет, яркость). Акустические сигналы: сирена, звонок, голос (чаще записанный и воспроизводимый в нужные моменты) — обычно служат вспомогат. сигналами, сообщающими о каких-либо событиях, однако могут самостоятельно передавать различную информацию. Осозательные сигналы возникают за счет различия в форме, размере, месте расположения различных органов управления: кнопок, рычагов и др., а также за счет наличия или отсутствия вибраций.

Все средства И. п. подразделяются на сигнализирующие (сигнализаторы), указывающие (индикаторы) и регистрирующие (регистраторы). Сигнализаторы предназначены для информации о наличии тех или иных событий. Большинство сигнализаторов имеет 2 рабочих состояния (возбужденное и невозбужденное). Индикаторы предназначены для представления значений контролируемых параметров. К ним относятся стрелочные или с отклонением луча света измерительные приборы и электроннолучевые трубки. Приборами дискретного И. п. являются цифровые индикаторные лампы, декатроны (в счетных схемах), электролюминесцентные цифровые (буквенные) табло и др. Роль индикатора может выполнять группа элементарных сигнализаторов. В этом случае каждый сигнализатор представляет определ. ступень шкалы измерений. Эти группы называют ступенчатыми индикаторами. К таким ступенчатым индикаторам относятся вибрац. частотомеры, указатели уровня, составленные из серии сигнальных ламп, и др. Регистраторы предназначены для записи (документации) контролируемых параметров, времени, наименования событий и др. данных. Простейшие регистраторы получают добавление к указывающим стрелочным приборам отметчиков (перьев и др.) и ленто-протяжных механизмов (тахографы, баро-

графы, термографы, регистрирующие манометры, вольтметры, амперметры). Существует много специальных регистраторов.

На практике чаще приходится пользоваться не отдельными приборами И. п., а более или менее значительными группами их. Иногда отд. сигнализаторы объединяются в комплекс (щит, табло, панель, пульт), расположенный в пределах сигнальной поверхности (очень редко объема), дающий связанные изображения состояний элементов и участков производств. систем и оформляемый в большинстве случаев в виде мнемонич. схем, а иногда — в табличной форме (отд. сигнализаторы размещают в геометрически простейшем порядке — графах, клетках панели — и снабжают цифрами или надписями). Стремление к повышению технико-экономич. эффективности пром. установок, их производительности, тесная связь и зависимость между различными частями технологич. процесса приводят к концентрации огромного количества средств И. п. и органов управления в руках одного человека. Так, на совр. мощной тепловой электростанции требуется неск. сот указывающих тепло- и электроизмерит. приборов, десятки самописцев (в том числе многоточечных), более тысячи сигнальных ламп и др. средств И. п. Этим выдвигаются спец. требования в отношении габаритов, формы и типа каждого прибора, а также взаимного расположения всех средств И. п., компоновки щитов, пультов, совершенствования и разработки новых методов И. п., учета психофизиологич. особенностей оператора и др. Человек, как оператор, осуществляющий управление объектом, обладает определенными возможностями и ограничениями по восприятию, переработке информации и осуществлению воздействий. При проектировании устройств автоконтроля, и в частности средств И. п., необходимо стремиться к облегчению труда оператора. Методы и средства облегчения труда оператора изучаются *психологией инженерной*.

Нек-рые положения, рекомендуемые этой наукой для И. п., состоят в следующем: визуальные индикаторы должны размещаться в средней части панели. Наиболее важные из них должны занимать наиболее выгодные положения на уровне глаз. Приборы, за которыми ведется наблюдение только при выполнении нек-рых операций, могут группироваться дальше от середины панели. Наилучшим размещением является размещение по горизонтали, так как движение глаз в этом направлении более эффективно, чем по вертикали. Периферич. зрение для каждого глаза равно 140—160° по горизонтали, 50° — по вертикали выше горизонтальной оси и 80° — ниже ее. Средний интервал времени, необходимый для фокусировки глаз на новую точку, составляет 167 мсек. Одновременно человек может воспринимать около 8 объектов. В условиях низкой освещенности или при восприятии периферией глаза треугольники и прямоугольники различаются лучше, чем круги и многоугольники; прямые линии — лучше, чем кривые. Лампы красного цвета могут правильно опознаваться с большего расстояния, чем другие (затем идут зеленые, янтарно-желтые, синие). В зависимости от угла периферичности по-разному различаются различные цвета:

	По вер- тикали	По го- ризонтал
зеленый под углом . . .	40°	60°
красный » » . . .	45°	60°
синий » » . . .	80°	100°
желтый » » . . .	95°	120°
белый » » . . .	130°	180°

Кажущаяся яркость света, излучаемого сигнальной лампой, должна быть примерно в два раза выше яркости света в окружающем помещении (от 0,1 люкса до 1 люкса). Цифры и отметки визуальных индикаторов должны наноситься черным цветом на белом фоне, имеющем матовую поверхность, для дневных условий и красным цветом на черном фоне — для ночных условий. При использовании красных отметок на черном фоне уровень освещенности должен иметь величину 0,09—0,18 люкса. При наличии однотипных стрелочных приборов нулевые отметки следует располагать в одинаковых местах шкал. Существенно важным при проектировании комплексных средств И. п. является использование методов привлечения внимания оператора к аварийным сигналам. К ним относятся: включение мигающего света соответствующих сигнализаторов; освещение только той части мнемосхемы, к-рая соответствует аварийному агрегату, подсветка шкал только тех измерит. приборов, к к-рым должно быть привлечено внимание оператора. Оптимальная частота мигания сигнальных элементов равна 8—9 гц. При достижении уровня звука 120 дб вызывается неприятное ощущение; при 130 дб появляется нервное возбуждение; при 140 дб начинаются болевые ощущения.

Лит.: Темников Ф. Е., Автоматические регистрирующие приборы, 2 изд., М., 1960; Шенброт И. М., Централизованный контроль технологических процессов, М.—Л., 1961; Надежность наземного радиоэлектронного оборудования, пер. с англ., М., 1957. А. И. Галактионов.

ИНФОРМАЦИИ СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ [information transmission rate (speed); vitesse de transmission de l'information; Informationsübertragungsgeschwindigkeit] — среднее количество информации в единицу времени. Пусть сигналы на входе канала связи $\xi(t)$ и на выходе канала связи $\eta(t)$ являются стационарными случайными процессами. Взяв соответствующие отрезки этих сигналов длительностью T , получим две случайные величины:

$$\xi_T = \begin{cases} \xi(t) & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{вне } T \end{cases} \quad \eta_T = \begin{cases} \eta(t) & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{вне } T. \end{cases}$$

Найдем количество информации $I(\xi_T, \eta_T)$ [по ф-лам, полученным обобщением на многомерный случай ф-л (3) и (4), ст. Информации количества]. И.с.п. определим следующим выражением:

$$R = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} I(\xi_T, \eta_T).$$

Если I измерять в двоичных единицах, а T — в сек., то R измеряется в двоичных единицах/сек.

Случайные процессы с дискретным временем (случайные последовательности) состоят из элементов — случайных величин $\xi(t)$ и $\eta(t)$, определенных в дискретные мо-

менты времени, к-рые разделены периодом τ : $t = k\tau$, $k = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots$ Для таких процессов

$$R = \frac{1}{\tau} \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{k} I(\xi^{(k)}, \eta^{(k)}) = \frac{1}{\tau} \overline{I(\xi, \eta)},$$

где $\xi^{(k)}$, $\eta^{(k)}$ — из k элементов последовательности (k -мерные случайные векторы), $\overline{I(\xi, \eta)}$ — среднее количество информации, приходящееся на один элемент.

В случае, когда совместное распределение процессов $\xi(t)$ и $\eta(t)$ нормально, И.с.п. выражается через спектральные плотности для процессов с непрерывным временем

$$R = -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \log \left(1 - \frac{|S_{\eta\xi}(f)|^2}{S_{\xi\xi}(f) \cdot S_{\eta\eta}(f)} \right) df$$

и для процессов с дискретным временем

$$R = -\frac{1}{2} \int_{-F_b}^{F_b} \log \left(1 - \frac{|S_{\eta\xi}(f)|^2}{S_{\xi\xi}(f) \cdot S_{\eta\eta}(f)} \right) df,$$

где f — частота; $S_{\xi\xi}(f)$, $S_{\eta\eta}(f)$ — спектр. плотности процессов $\xi(t)$ и $\eta(t)$ соответственно; $S_{\eta\xi}(f)$ — взаимная спектральная плотность процессов $\xi(t)$ и $\eta(t)$; $F_b = \frac{1}{2\tau}$ — граничная частота. Если f измеряется в герцах, а основание логарифмов равно двум, то получим R в двоичных единицах/сек.

Лит. см. при ст. Информации теория.

ИНФОРМАЦИИ ТЕОРИЯ (information theory; theorie d'information; Informations-theorie, Nachrichtentheorie) — раздел науки, посвященный проблемам сбора, передачи, хранения, преобразования и вычисления информации. И. т. начала бурно развиваться со 2-й пол. 1940-х гг. в связи с потребностями радиосвязи, телефонии, радиолокации, а также в связи с проблемами построения управляющих и математич. машин. И. т. своей гл. задачей имеет создание эффективных методов передачи информации, наиболее полно и целесообразно использующих линии связи. Одной из задач И. т. является придание единой количеств. меры качественно разнородной информации, с которой приходится иметь дело на практике.

И. т. — в основном математич. дисциплина, использующая методы теории вероятности, математич. статистики, линейной алгебры, теории групп, теории графов, теории игр и др. разделов математики. И. т. находится еще в состоянии становления. Круг вопросов, к-рыми она занимается в настоящее время, очерчен недостаточно ясно. Одна из крайних точек зрения состоит в том, что И. т. рассматривает все те проблемы и задачи, в формулировку к-рых входит понятие информации. При этом в И. т. включаются, наряду с задачами, возникающими из потребностей техники связи, также и такие вопросы, как, напр., математич. лингвистика, определение информации, получаемой от физич. эксперимента, обучение, генетика, бионика и т. н. Другая, также крайняя точка зрения, состоит в том, что И. т. включает в себя круг проблем, группирующихся вокруг идей, высказанных в 1948 амер. ученым К. Шенноном. Эти идеи составляют фундамент теории оптим. кодирования и декодирования информации. В связи с отсутствием единого

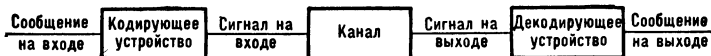
мнения на предмет И. т. ее взаимосвязь с др. науками в настоящее время определена также недостаточно четко. По-видимому, наиболее общепринятым в этом отношении является взгляд на И. т. как на часть *кибернетики*. В настоящей статье к И. т. будут отнесены гл. обр. вопросы, связанные с проблемой оптим. передачи сообщений, а также теории обнаружения сигнала, оптимальной фильтрации, предсказания и интерполяции; прохождения сигналов и шумов через радиотехнические устройства.

Передача сообщений, кодирование и декодирование. Исходным объектом в задачах передачи сообщений является множество возможных сообщений. Ими могут быть: различные музык. программы, тексты, телеметрич. данные, изображения неподвижных и движущихся объектов и т. п. Передача того или иного фиксиров. сообщения является случайным событием. Поэтому для описания свойств множества сообщений в И. т. пользуются статистич. методами. Передаваемое сообщение рассматривается как случайная величина ξ с заданными вероятностями $P_{\xi}(x)$ ее исходов x (см. *Ансамбль сообщений*). При передаче сообщений могут возникать различные ошибки и искажения, так что принятое на приемном конце сообщение $\bar{\xi}$ (сообщение на выходе) может быть отличным от посланного. Обычно выдвигаются требования к точности воспроизведения сообщения на приемном пункте. Таким требованием может быть безошибочная передача сообщений или передача с ошибками, не выходящими из нек-рых предел. границ. В общем случае требования к точности передачи состоят в том, чтобы совместное распределение вероятностей $P_{\xi\bar{\xi}}(x, y)$ посылаемых и принимаемых сообщений удовлетворяло нек-рым условиям V . Для передачи сообщений используется канал связи. Канал характеризуется множеством сигналов, к-рые могут быть по нему посланы (сигналы на входе), множеством сигналов, к-рые могут быть приняты (сигналы на выходе), вероятностями, с к-рыми сигналы на входе переходят в сигналы на выходе и ограничениями W на распределение вероятностей $P_{\eta}(u)$, с которыми могут появляться сигналы на выходе.

Способ передачи данного множества сообщений по данному каналу состоит в задании правила *кодирования*, согласно к-рому каждому сообщению на входе сопоставляется сигнал на входе канала, и *декодирования*, согласно к-рому каждому сигналу на выходе канала сопоставляется сообщение на выходе. На практике кодирование и декодирование обычно задаются взаимно-однозначными соответствиями. Примером такого соответствия может служить широко известный в телеграфии код Морзе.

В более общем классе способов передачи при кодировании разрешается применять жребий, т. е. сопоставлять сообщению x не фиксированный, а случайный сигнал, выбираемый в соответствии с заданным распределением вероятности $P_{\xi/\eta}(u, x)$. Аналогично этому декодирование задается распределением вероятности $P_{\bar{\xi}/\eta}(y, v)$ выбора сообщения на вы-

ходе $\bar{\xi}$ после принятия сигнала v . Описанная общая схема передачи информации изображена на рис. Ряд проблем И. т. связан с исследованием процессов и закономерностей, имеющих место в ситуациях, описываемых этой общей схемой.



Принципиальная схема передачи информации.

Осн. задача, к-рая возникает при передаче информации, заключается в следующем. Заданы ансамбль сообщений ξ на входе, сообщение на выходе $\bar{\xi}$, характеристики канала связи и требования к точности передачи V . Требуется установить, существуют ли такие методы кодирования и декодирования, к-рые дали бы возможность осуществить передачу сообщения ξ по заданному каналу с точностью V . В случае, если такие методы существуют, требуется описать их, а также указать среди них методы, к-рые являются наилучшими с точки зрения нек-рого заданного критерия. Для решения этой задачи в И. т. вводится понятие *информации количества* и с его помощью определяются понятия *пропускная способность канала* и *скорость создания сообщения*.

Если ξ и $\bar{\xi}$ — две n -мерные случайные величины, а $I(\xi, \bar{\xi})$ — количество информации, содержащейся в одной из них относительно другой, то скоростью передачи информации наз. число $\bar{I}(\xi, \bar{\xi}) = \frac{1}{n} I(\xi, \bar{\xi})$. В том случае,

когда ξ и $\bar{\xi}$ представляют собой случайные процессы или последовательности, величина $\bar{I}(\xi, \bar{\xi})$ относится обычно к единице времени. Пропускной способностью канала наз. число C , равное наибольшему значению скорости передачи информации, имеющему место при вариации по всем допустимым распределениям вероятности сигнала на входе канала. Скоростью создания сообщения наз. число H , равное наименьшему значению скорости передачи информации между входным и выходным сообщениями, имеющему место при вариации по всем допустимым совместным распределениям вероятностей этих сообщений. В И. т. доказывается, что для существования методов кодирования и декодирования, дающих возможность осуществить передачу сообщений по каналу, необходимо, чтобы

$$H < C, \quad (1)$$

т. е. чтобы пропускная способность канала превышала скорость создания сообщения. Это утверждение составляет содержание т. н. теоремы Шеннона. Она доказана для весьма широкого класса каналов и источников сообщений.

В простейших случаях (конечные источники и дискретные каналы без памяти) осн. идея построения кодирования, полностью использующего возможности канала, состоит в том, чтобы кодировать лишь высоковероятные последовательности сообщений (см. *Источники сообщений*), причем так, чтобы этим последовательностям соответствовали различные сигналы. Условие (1) фактически является условием того, что число высоко-

вероятных последовательностей, вырабатываемых источником сообщений, меньше, чем число существующих в канале различных сигналов.

Наиболее важными совр. направлениями исследований являются: вычисление пропускной способности каналов; вычисление скорости создания сообщения для различных источников сообщений; построение и исследование методов кодирования и декодирования; проведение строгого математич. обоснования осн. теорем и результатов теории. Хорошо изучены простейшие каналы связи — бинарный симметрич. и несимметрич. каналы, бинарный стирающий канал, m -арные симметричные и стирающие каналы, гауссовские каналы, каналы с медленными случайными изменениями параметров. Еще далека от завершения теория каналов более сложной структуры: каналов, обладающих конечной или бесконечной памятью, каналов со случайно меняющимися состояниями, каналов с обратной связью, нестационарных каналов и др.

Наиболее важной хар-кой источников сообщений является скорость создания сообщения и *избыточность* сообщения. Скорость создания сообщения вычислена пока лишь для немногих простейших источников, напр. для источника, сообщения k -рого образуют множество гауссовских случайных стационарных процессов с нулевым ср. значением, со среднеквадратичным отклонением Q и с равномерной спектральной плотностью в полосе частот шириной F . Для такого источника скорость создания сообщения выражается ϕ -лой

$$H = F \log \frac{Q}{\epsilon},$$

где ϵ — допустимое среднеквадратичное отклонение сообщения на выходе линии связи от сообщения на входе. При измерении избыточности сообщений обычно используются лишь данные обработки небольшого числа рядов стоящих элементов сообщения. Эксперимент. результаты показывают, напр., что избыточность музыкальных сообщений составляет несколько десятков процентов; избыточность устной речи — ок. 50%; избыточность телевиз. изображения — до 93%.

В И. т. уделяется большое внимание построению и исследованию различных методов кодирования и декодирования сообщений. Важнейшими задачами здесь являются: построение корректирующих кодов для различных каналов связи и вычисление хар-к этих кодов; определение вероятности ошибки, связанной с данной системой кодирования и декодирования; создание удобных алгоритмов кодирования и декодирования при заданном коде; изучение возможностей технич. осуществления различных методов кодирования и декодирования.

С помощью алгебраич. теории групп, геометрии и теории чисел получен целый ряд классов корректирующих кодов, позволяющих обнаруживать и исправлять ошибки, возникающие при передаче по каналу. Осн. идея построения таких кодов состоит в том, что между элементами, составляющими кодовую комбинацию, вводится зависимость, дающая возможность, в случае искажения одних элементов, выразить их через др. неискаженные элементы.

Пример бинарного кода, исправляющего одиночные ошибки. Код состоит из 16 комбинаций, составленных из 7 символов x_1, x_2, \dots, x_7 , принимающих два значения 0 и 1. Комбинации составлены так, что последовательность символов x_3, x_5, x_6 и x_7 , к-рые наз. информационными, образует все возможные числа от 0 до 15, записанные в двоичной системе. Остальные три символа, наз. проверочными, выбираются так, чтобы удовлетворить равенствам:

$$\begin{aligned} \alpha &= x_4 + x_5 + x_6 + x_7 = 0, \\ \beta &= x_2 + x_3 + x_5 + x_7 = 0, \\ \gamma &= x_1 + x_3 + x_5 + x_7 = 0 \end{aligned}$$

(суммирование в равенствах ведется по модулю 2). В случае, если какой-либо один символ в комбинации исказился (был принят 0 вместо 1 или 1 вместо 0), его индекс будет равен (в двоичной системе) числу $\alpha\beta\gamma$, вычисленному по искаженной комбинации. Случай, когда в принятой комбинации число $\alpha\beta\gamma = 000$, означает отсутствие искажений.

Для кодирования непрерывных сообщений используются функций. преобразователи, сопоставляющие одной непрерывной ϕ -ции другую. Простейшими преобразователями являются линейные фильтры с пост. параметрами. Линейная фильтрация может быть использована для кодирования и декодирования сообщений. При этом в И. т. доказывалось, что если сообщение является случайным стационарным процессом со спектр. плотностью $f(\omega)$, а аддитивный шум в канале имеет спектр. плотность $n(\omega)$, то наименьшая среднеквадратич. ошибка σ^2 , имеющая место при передаче, выражается ϕ -лой

$$\sigma^2 = A \int_s V \overline{f(\omega)n(\omega)} d\omega + \int_s f(\omega) d\omega,$$

где s — область интегрирования, определяемая неравенством $f(\omega) > A^2 n(\omega)$; \bar{s} — область, где выполняется обратное неравенство $f(\omega) < A^2 n(\omega)$, а A — постоянная, определяемая из условия

$$\int_s V \overline{f(\omega)n(\omega)} d\omega = A^2 \left(P + \int_s n(\omega) d\omega \right),$$

где P — фиксированная ср. мощность сигнала на входе канала. В случае, когда спектр. плотности $f(\omega)$ и $n(\omega)$ являются постоянными в нек-рой полосе частот и равны нулю вне этой полосы, оптимальные линейное кодирование и декодирование являются наилучшими среди всевозможных методов.

Теория обнаружения сигнала. Потребности радиолокации и радиосвязи привели к созданию теории обнаружения сигнала, к-рая является составной частью И. т. Одной из задач, стоящих перед радиолокацией, является обнаружение объектов с помощью отраженных от них сигналов. На практике на принимаемые отраж. сигналы накладывается шум. Из-за этого нельзя с полной определенностью решить, является ли принятый сигнал отраженным от объекта или его возникновение обусловлено случайным всплеском шума. Задача теории обнаружения состоит в указании правила, дающего возможность с наибольшей достоверностью выделять отраженный от объекта сигнал или отдельные параметры отраженного сигнала

из его смеси с шумом. Для решения этой задачи теория обнаружения использует аппарат математич. статистики. Простейшей задачей теории обнаружения является задача выбора между двумя исключающими друг друга гипотезами H_0 и H_1 . Гипотеза H_0 состоит в том, что принимаемый сигнал y обусловлен наличием шума n : $y=n$. Гипотеза H_1 состоит в том, что принимаемый сигнал y является суммой отраж. сигнала s и шума n

$$y = s + n.$$

Пусть $L_{ik}(i, k=0, 1)$ — убытки, имеющие место тогда, когда правильной является гипотеза H_i , а решение принято, что верна H_k . Если заданы плотности распределения $p_0(y)$ и $p_1(y)$ значений сигнала y при условии, что имеют место гипотезы H_0 и H_1 соответственно, и априорные вероятности q_0 гипотезы H_0 и q_1 гипотезы H_1 , то наилучшее правило выбора между двумя гипотезами, минимизирующими средние убытки, состоит в следующем: выбирается гипотеза H_0 , если

$$\frac{P_0(y)}{P_1(y)} > \frac{q_1(L_{10} - L_{11})}{q_0(L_{01} - L_{00})},$$

и гипотеза H_1 , если имеет место обратное неравенство.

В радиолокации и радиосвязи часто возникают более сложные ситуации, напр. такие, когда число конкурирующих гипотез больше двух или бесконечно. Имеют место такие ситуации, когда являются неизвестными априорные вероятности гипотез (небайесовская ситуация), или такие, когда нужно различать многомерные гипотезы. Общее хорошо разработанное решение этих задач основано (как и в описанной задаче выбора между двумя гипотезами) на применении используемого в математич. статистике метода максимума правдоподобия.

Оптимальная фильтрация, предсказание и интерполяция. Одно из центр. мест в И. т. занимают приложения теории случайных процессов (см. *Вероятностный процесс*) для решения задач оптим. фильтрации, предсказания и интерполяции.

Задача фильтрации заключается в следующем. Задан случайный процесс $\xi(t)$ и имеется зависящий от него случайный процесс $\eta(t)$. Требуется найти хар-ки такого прибора, отклик к-рого на сигнал $\xi(t)$ был бы по возможности более похожим на процесс $\eta(t)$. Задача предсказания состоит в описании прибора, который на основании поступающих на его вход значений ф-ции $\xi(t)$ при $t \leq 0$ выдавал бы на своем выходе значения, как можно менее отличные от величины $\xi(t)$ при $t > 0$. В задаче интерполяции на вход прибора поступают значения $\xi(t_i)$ случайного процесса $\xi(t)$. Требуется построить такой прибор, чтобы процесс на его выходе как можно меньше отличался от $\xi(t)$ для всех t , в т. ч. и для $t \neq t_i$. В настоящее время окончат. решения задач фильтрации, предсказания и интерполяции получены в случае, когда хар-ки приборов выбираются из класса линейных, а процессы являются стационарными и стационарно связанными.

Вопросы прохождения случайных сигналов и шумов через радиотехнич. устройства. Значение этих вопросов обусловлено тем,

что радиотехнич. практика часто сталкивается с процессами, имеющими случайный характер (шумы, замирания, помехи, а в ряде случаев и полезные сигналы). Этот раздел И. т. в значит. мере является применением теории случайных процессов к радиотехнике. Типичные задачи, входящие в него, состоят в описании и вычислении различных вероятностных хар-к случайных процессов, к-рые были подвергнуты преобразованию в радиотехнич. устройстве (фильтре, ограничителе, модуляторе, детекторе, умножителе и т. п.).

Наиболее простой задачей здесь является вычисление спектр. плотности и корреляц. функции на выходе линейных фильтров с пост. параметрами. Так, напр., если $a(\omega)$ — спектральная плотность процесса на входе фильтра, а $b(\omega)$ — спектральная хар-ка фильтра, то спектр. плотность процесса на выходе $c(\omega)$ выражается формулой $c(\omega) = |b(\omega)|^2 a(\omega)$. Задачи, связанные с вычислением функции распределения процесса на выходе линейного фильтра, являются более сложными. В настоящее время создано несколько приближ. методов их решения (отыскание моментов распределения, вычисление характеристик. функции на выходе с помощью решения нек-рого интегр. ур-ния и др.).

В ряде случаев при отыскании статистич. хар-к случайных процессов на выходе линейной или нелинейной системы удобно ввести понятие огибающей $R(t)$ и фазы $\Phi(t)$ случайного стационарного процесса $\xi(t)$ так, чтобы

$$\xi(t) = R(t) \cos \Phi(t). \quad (2)$$

Для того чтобы представление (2) было однозначным, полагают, что $R(t) = \sqrt{\xi^2(t) + \eta^2(t)}$

$$\text{и } \Phi(t) = \arctg \frac{\eta(t)}{\xi(t)}, \text{ где } \eta(t) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\xi(\tau)}{\tau - t} d\tau.$$

С помощью представления (2) решение задач упрощается в том случае, когда процесс $\xi(t)$ является узкополосным.

Лит.: Шэннон К., Статистическая теория передачи электрических сигналов, в сб.: Теория передачи электрических сигналов при наличии помех, М., 1953; Райс С., Теория флуктуационных шумов, там же; Колмогоров А. Н., Теория передачи информации, М., 1956; Хинчин А. Я., Об основных теоремах теории информации, «УМН», 1956, т. 11, в. 1; Яглом А. М., Введение в теорию стационарных случайных функций, там же, 1952, т. 7, в. 5; Добрушин Р. Л., Общая формулировка основной теоремы Шеннона в теории информации, там же, 1959, т. 14, в. 6; Wiener N., Extrapolation, interpolation and smoothing of stationary time series, N. Y., 1949; Винер Н., Кибернетика, пер. с англ., М., 1958; Котельников В. А., Теория потенциальной помехоустойчивости, М.—Л., 1956; Бунимович В. И., Флуктуационные процессы в радиоприемных устройствах, М., 1951; Пинскер М. С., Информация и информационная устойчивость случайных величин и процессов, М., 1960; Миддлтон Д., Введение в статистическую теорию связи, пер. с англ., т. 1, М., 1961; Давенпорт В. Б., Рут В. Л., Введение в теорию случайных сигналов и шумов, пер. с англ., М., 1960; Левин Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960; Файнштейн А., Основы теории информации, пер. с англ., М., 1960; Fano R. M., Transmission of information, N. Y., 1961; Peterson W. W., Error-correcting codes, N. Y., 1961; Голдман С., Теория информации, пер. с англ., М., 1957; Харкевич А. А., Очерки общей теории связи, М., 1955; Яглом А. М., Яглом И. М., Вероятность и информация, 2 изд., М., 1960; Полтаев И. А., Сигнал. О некоторых понятиях кибернетики, М., 1958; Бриллюэн Л., Наука и теория информации, пер. с англ., М., 1960. Б. С. Цыбаков.

ИНФОРМАЦИОННАЯ МАШИНА (data processor, data processing computer; ordinateur pour traitement d'information; Informations-

erschließungsmaschine) — электронная цифровая машина, предназнач. для автоматизации процессов хранения, поиска и логич. обработки больших объемов информации. И. м. обладают весьма емкими внутренними и внешними ЗУ. АУ выполняют в основном логич. операции (ок. 90%) и небольшое число арифметич. операций (ок. 10%). Применяются: 1) для справочно-библиографич. службы, к-рая позволяет наиболее быстро и полно использовать результаты научных исследований, накопленных во всех библиотеках и архивах мира (св. 50 млн. книг, 6 млн. патентов, 30 млн. отчетов и оригин. журн. статей); 2) для машинной обработки статистич. информации о развитии нар. х-ва, координации работы всех отраслей пром-сти; для изучения развития отд. районов и их хозяйств. связей; 3) для обработки медицинских наблюдений с целью уточнения и обобщения симптомов болезней и методов лечения; 4) для обработки наблюдений за явлениями природы (метеорологич., сейсмич., космич.) и т. д.

Информация внутри И. м. выражается в двоичной форме. Буквенно-цифровую группу символов, имеющую нек-рое значение, принято наз. словом, а ряд слов, связанных по смыслу, — сообщением. Числа обычно выражаются в двоично-десятичной системе счисления с фиксиров. запятой. Слова условно делятся на признаки и числа. Признаками являются обозначения и хар-ки объектов, дескрипторы, семантич. множители, единицы измерения и т. п. Сообщения имеют часто переменную длину (от 200 — до 2000 двоичных знаков). Между словами устанавливаются разделит. признаки. Для непосредств. считывания печатной информации с документов и перевода в двоичную форму используются читающие автоматы, которые позволяют считывать запись на магнитных чернилах до 500 документов в мин. при 30 знаках в каждом, а с помощью фотоэлектронных оптических автоматов — 120 знаков в сек. Для ввода данных в И. м. используются также фотоэлектрическое считывание с перфокарт и перфолент (до 1000 знаков в сек.) и считывание с магнитных лент и дисков.

Вывод результатов из И. м. может производиться с помощью «знаковых» ЭЛТ (*характеристонов*), совмещенных с ксерографич. печатающим устройством, что позволяет получать скорость до 10 тыс. знаков в сек. (около 5 000 строк в мин. при 120 знаках в строке). Во многих И. м. вывод данных производится на перфокарты, перфоленты, магнитные ленты и на электромеханич. быстродействующие устройства типа «Телетайп». В каждой И. м. обычно имеется несколько независимо действующих комплектов устройств ввода-вывода (известно до 16) и каналов связи для них. В качестве внешних накопителей больших объемов информации (внешняя память) используются в осн. магнитные ленты. Плотность записи — до 20 знаков на мм, а число дорожек на ленте — до 36. Емкость магнитных лент в нек-рых И. м. доведена до млрд. слов (в машине «Дейтамастик» — США). Скорость считывания — в среднем ок. 10 тыс. импульсов в сек. Группы блоков магнитных лент по 4—5 штук часто объединяются одной управляющей и усилит. системой. Время обращения к заданной зоне магнитной ленты составляет обычно около 20 сек.

Внутренней памятью И. м. служат долговременные ЗУ с односторонней выборкой (только для считывания) информации и оперативные ЗУ, позволяющие быстро и записывать и считывать информацию. Первые предназначены только для воспроизведения постоянной накопленной информации, хранящейся в неизменном виде в течение многих лет. Сейчас в эксплуатации находятся опытные образцы такой памяти емкостью в блоке до 30 млн. знаков. Оперативные ЗУ в И. м. — магнитные (ферритовые) блоки емкостью до 32 768 слов по 38—42 знака со временем обращения порядка 10 мксек. В нек-рых машинах общая емкость параллельно действующих блоков доводится до 100 тыс. слов. Как видно, соотношение между скоростью выборки информации в оперативной памяти и в магнитных лентах больше 1 млн. Это обстоятельство вызывает необходимость построения сложной системы решающих устройств, часть к-рых используется для работы с относительно медленными внешними накопителями, а др. часть — с быстродействующей памятью. Отдельно строятся электронные логич. устройства для сортировки и выборки по заданным признакам информации, поступающей из внешних накопителей. Одни из них (устройства запроса) выбирают материалы для отсылки их в оперативную память, а другие (сортировальные устройства) предварительно сортируют внешние сообщения или слова согласно программе.

Адресные системы ЗУ И. м. делятся на номерные, словарные и ассоциативные. Номерная адресная система позволяет за один такт выбрать и воспроизвести информацию из одной ячейки ЗУ при подаче кода адреса, представляющего собой номер ячейки ЗУ в двоичной форме. Код адреса, следовательно, не может превышать число ячеек ЗУ. Словарная адресная система дает возможность за n тактов выбрать информацию о слове, заданном нек-рой определ. последовательностью $(n+1)$ букв (или символов). Адресом в этом случае служат коды $(n+1)$ буквы, подаваемые последовательно один за другим в эту словарную адресную систему, к-рая только при окончании передачи кода всего слова выдает информацию, хранящуюся в ячейке ЗУ. Код адреса слова может во много раз превышать общее число ячеек ЗУ.

Ассоциативная адресная система за два-три такта воспроизводит из ЗУ информацию, характеризуемую заданным сочетанием (ассоциацией) признаков (без переборки и предварит. сортировки информации по признакам). На рис. 1 дана принцип. схема этой специфичной для И. м. адресной системы. Она представляет собой два ряда горизонтальных (x) и вертикальных (z) шин с элементами запоминания C в узлах пересечения сетки. Каждый ряд шин может служить как для считывания, так и для записи сигналов запоминающими элементами C . Последовательность операций показана стрелками с номерами тактов. В 1-м такте производится поиск одной из шин z_k , в к-рой на элементах C имеется заданная комбинация признаков, установленная на входных ключах K , генерирующих импульсы. Выборка основана на том, что запись двоичных знаков кода признаков элементами C (вдоль шин z) производится прямым кодом, а на входных

ключах K искомые признаки задаются обратным кодом. Так, напр., если вдоль шины z_2 записан код 01 10 10 01 01, а ищется код —10—10—01 01, то при помощи ключей K

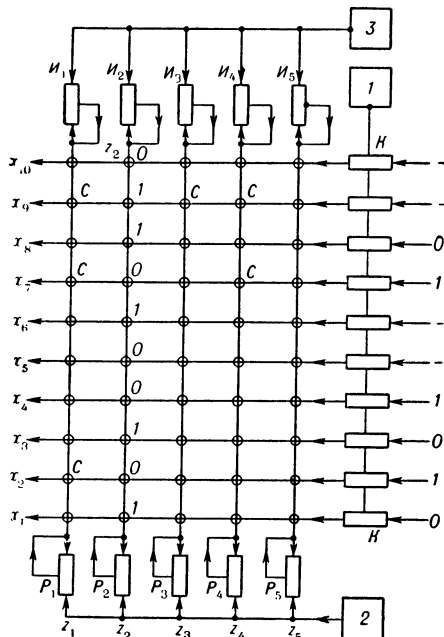


Рис. 1. Схема ассоциативной одномерной памяти информационной машины.

будут воспроизведены вдоль шин x сигналы обратного кода — 01—10 10. Благодаря этому на шине z_2 сигнала не будет. На остальных же шинах z_2 , если вдоль них записан другой код, будут сигналы, означающие отсутствие тождества искомого и записанного кода. Ключ P_2 (разноименности), установленный на выходе шины z_2 , воспринимает сигнал из шины z_2 и при помощи источника импульсов 2 вдоль той же шины z_2 передает сигнал на ключ I_2 вспомогат. номерной адресной системы. Общим источником импульсов 3 этой системы через выход ключа I_2 производится считывание всей информации с шины z_2 параллельно со всех элементов C , расположенных вдоль этой шины, а именно кода 01 10 10 01 01. Действие происходит по тактам следующим путем:

1. Источник 1 → ключи K → шина z_2 → ключ P_2 . 2. Источник 2 → ключ P_2 → шина z_2 → ключ I_2 . 3. Источник 3 → ключ I_2 → шина z_2 → выходные шины x . Как видно, в ассоциативной адресной системе одновременно ключами K возбуждается большое число входных шин x , в отличие от номерной системы, где при выборке информации возбуждается только одна шина

z с элементами запоминания одной ячейки ЗУ. Реакцией этой системы при одном и только одном полном совпадении признаков будет только один номер ячейки с искомой информацией или отрицат. ответ — отсутствие хотя бы одного номера ячейки с искомой информацией. Если же ответ содержит несколько номеров ячеек, т. е. произошло совпадение признаков на нескольких шинах z , то необходимо по отдельной программе уточнить номера ячеек.

Объемы отдельных видов памяти и их соотношение зависит от рода решаемых задач. Блок-схема И. м. приведена на рис. 2. Она характерна применением нек-рого числа одновременно действующих решающих устройств, управляемых одним общим коммутационным (координирующим) устройством. Нек-рые из них («сортировки») производят предварит. сортировку сообщений по заданной комбинации признаков, используя для этого небольшое число (около десяти) команд программы управления, другие (устройства запроса) непосредственно выбирают информацию по признакам запроса. Быстродействующие логич. и арифметич. устройства совм. с оперативной и долговременной быстродействующей памятью выполняют по заданной программе переработку информации, частично поступающей и из внешних накопителей через сортировки.

В И. м. обычно применяется одноадресная система команд. Каждая команда состоит из кода операции и одного адреса — места хранения нужной для этой операции информации. Характерно применение групповых операций, когда одна заданная операция последовательно и многократно выполняется с большой группой сообщений. Часто применя-

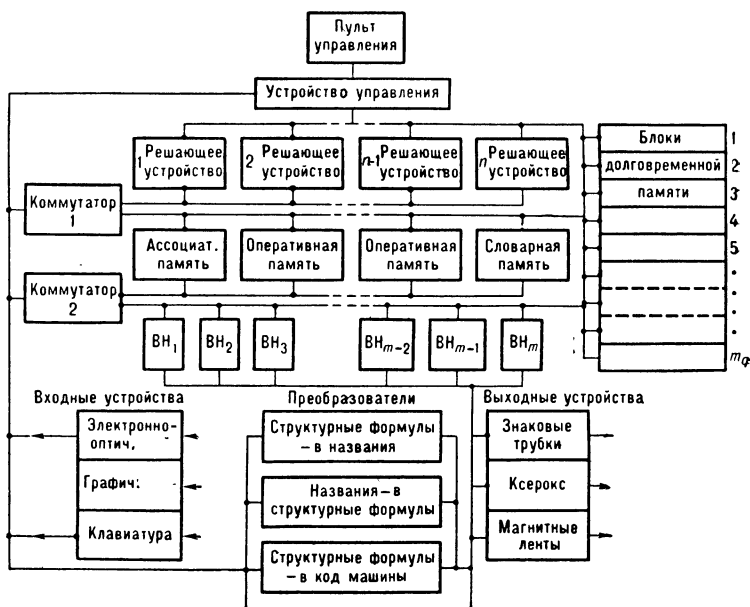


Рис. 2. Блок-схема информационной машины применительно к обработке и поиску химич. информации.

ются групповые передачи информации из одних ячеек памяти в другие. Используются операции условных и безусловных переходов.

В И. м. имеются библиотеки программ автоматич. решения типовых задач. Некоторые программы хранятся и могут быстро воспроизводиться из долговременной памяти. На рис. 2 дана схема И. м. для обработки и поиска химич. информации. В долговрем. ЗУ И. м. объемом в миллиарды двоичных знаков должны храниться сведения о сотнях тысяч химич. соединений и млн. химич. реакций. Запись одной структурной химич. ф-лы представляет собой единицу информации — слово. Слова состояются из букв — символов отдельных атомов, связей между ними и др. знаков. Сообщениями являются при этом записи ур-ний химич. реакций, состоящих из слов — структурных ф-л соединений, участвующих в реакциях, и сведений о технич. средствах их осуществления и т. п. Вводные устройства включают автоматы для преобразования вводимой в И. м. химич. информации на машинный язык. На выходе И. м. должен выполняться обратный перевод на обычный для химиков язык структурных ф-л и спец. терминов. Решающее устройство должно решать следующие задачи: 1) поиск химич. структурных ф-л, в к-рых или имеются, или отсутствуют заданные фрагменты структуры. Как известно, существуют фрагменты, состоящие из 15—20 атомов, являющиеся носителями различных свойств, и фрагменты по 3—4 атома, наз. химич. функциями; 2) поиск возможных синтетич. цепочек химич. реакций. Эта задача сводится к поиску путей синтеза определ. заданного соединения, исходя из нек-рого допустимого набора исходных продуктов с использованием накопленных в машинной памяти процессов химич. превращений. Информационный поиск выполняется с помощью ряда логич. операций сравнения и опознавания, классификаций и аналогий.

В некоторых случаях И. м. строится как система совместно работающих электронных машин с узкой специализацией каждой, причем предусматривается автоматич. обмен результатами групповых операций и обмен программами. Это направление представляет собой начальную стадию создания *информационных систем*. Известна, напр., система 3 машин, из которых одна — весьма быстрая, другая — служит для подготовки программ, а третья — для выборки из внешних накопителей, сортировки и др. предварительных информац. поисков. Общее управление используется для координации и передачи информации с целью обеспечения наибольшей производительности системы.

Развитие И. м. идет по линии создания все более емкой и быстросействующей внутренней машинной памяти и совершенствования логич. решающих устройств с целью коренного изменения всех форм умств. труда, что приведет к резкому повышению его производительности при использовании в памяти И. м. всех накопленных запасов знаний в данной области. Потенциальные возможности И. м. позволяют рассчитывать на то, что практика публикации научных работ и др. видов информации в будущем коренным образом изменится. Машинная переработка потоков буквенно-цифровых сообщений и фильтрация их по значимости, хранение наиболее ценных из них и возможность быстрого их воспроизведения и передачи по любым каналам связи

на дальние расстояния приведут к революционным изменениям умств. труда.

Лит.: Батраков В. А. и Богатырев В. И., Электронные цифровые машины для решения информационно-логических задач, М.—Л., 1961; Кибernetику на службе коммунизму. Сборник статей, под ред. А. И. Берга, т. 1, М.—Л., 1961; Гутенмахер Л. И., Электронные информационно-логические машины, М., 1960.

Л. И. Гутенмахер.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА (information system; système d'information; Informationssystem) — совокупность вычислительных, запоминающих и др. устройств, объединенных общим управлением, к к-рой по мере надобности приключаются абоненты, поставляющие информацию в машины, и абоненты, пользующиеся обработанной машинами информацией. Решение проблемы создания единой информац. службы в гос. масштабе связано с построением в различных городах большого числа информационно-логич. машин, специализиров. по областям науки и техники (химии, физике, с. х-ву, металлургии, автоматике и т. п.) и связанных линиями передачи в общую И. с.

Разработка и создание единой И. с. является одной из задач, вытекающих из программы построения коммунизма, принятой на XXII съезде КПСС. В этой программе отмечена необходимость развития *информационных машин*, к-рые постепенно впитают в свои ЗУ содержание книг, журналов, патентов и др. информац. материалов, представляющих научную ценность.

Необходимость взаимосвязи и общения между специалистами различных областей науки требует быстрого развития единого *информационного языка*, к-рый должен быть рассчитан на различные уровни квалификации абонентов, по крайней мере на следующие уровни: спец. справочников, энциклопедий и популярного изложения. Такое разделение информации по квалификации. уровням позволит использовать ее узкими специалистами из самых далеких областей науки и людьми из смежных и близких разделов науки. Решение задачи обмена потоками информации между машинами и абонентами тесно связано с автоматизацией телефонной и телеграфной связи в масштабе всей страны. Уже сейчас имеются автоматич. электронные устройства, накапливающие цифровую информацию и передающие ее от абонентов с большой скоростью по телефонным и телеграфным линиям. Связь абонентов с И. с. производится при наличии таких устройств с помощью АТС. Связь же между информац. машинами в общей системе может быть организована на основе радиорелейной или обычной радиосвязи (приемно-передающие радиостанции).

Осн. узлами собственно И. с. являются решающие коммутац. устройства для приема и выдачи информации по большому числу каналов, причем по каждому каналу сигналы перемещаются последовательно в двоичной форме. Связывающие информац. машину и отдельные каналы связи буферные ЗУ могут быть построены по принципу последовательно-параллельного перемещения информации. Последовательно, такт за тактом, информация воспринимается извне на одни запоминающие элементы, располож. по линиям, и считывается в линии связи с др. запоминающих элементов, аналогично тому, как это происходит в регистрах. В промее-

жутках между тактами последовательного действия коммутатора информация из машины может быть параллельно записана на любой из рядов запоминающих элементов или считана параллельно из заданного ряда элементов. Т. о. осуществляется связь между одной машиной параллельного действия и многими линиями с последовательным перемещением информации.

И. с. специализиров. типа разрабатываются и используются в торговле и снабжении, в пром-сти, в военном деле, на транспорте, в метеорологии и др. Так, для предсказания погоды только в СССР имеются более 3000 метеостанций, каждая из к-рых ежедневно проводит 8 наблюдений по 15 признакам. Общее количество поступающих метеоинформаций по стране составляет несколько десятков тыс. в день. Для выработки правильного прогноза нужно связать в единую И. с. центральные метеостанции всех стран мира и одновременно учесть накопленные в них сведения за десятки лет объемом примерно в 10^{11} двоичных знаков. Снабженческие И. с. строятся на основе оптовых торговых баз с отдельными машинами в каждой, связанных между собой и пунктами сбыта (магазинами) и производства. Имеется система, соединяющая различные пункты каналами связи протяженностью более 50 тыс. км.

Финансовые И. с. связывают в единое целое банки, их филиалы, сберкассы и машинно-счетные станции. В качестве входных устройств все больше внедряютсячитающие машины, автоматически считывающие цифры и буквы непосредственно с чековых документов, число к-рых в год доходит до сотен млн. Центральное статистич. управление представляет собой И. с., состоящую из широкой сети машинно-счетных станций, получающих информацию от десятков тыс. предприятий, строек и перерабатывающих ее для решения задач планирования нар. х-ва с учетом накопленных в машинах данных за предшествующие годы. Машинная цифровая информация, к-рая передается во всех таких И. с. страны, постепенно превысит по объему потоки словесной информации (по телефону и телеграфу).

Л. И. Гутенмахер.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОИСК (information search; recherche de documentation informationnel, recherche documentaire; Informationsuchbetrieb, Faktographische Suche) — процесс поиска информации (сведений) по признакам, заданным в запросе, или поиск сведений, отвечающих на определ. вопрос. И. п. имеет целью выявление ссылок на документы (статьи, книги, рефераты, отчеты и т. д.), содержащие требуемые сведения, с последующей выдачей самих документов или их копий (документалистич. поиск), или выдачу фактич. справок, представляющих собой ответы на заданные вопросы (фактографич. поиск). И. п. производится ручным или машинным способом. Для И. п. используются различные (чаще всего символич.) способы однозначного более или менее сжатого описания осн. содержания документов или сведений, так наз. информационно-поисковые языки (ИПЯ). Индексы документов (или элементов информации), являющиеся переводом сведений на ИПЯ, организуются определ. образом и кодируются на носителе физич. природы,

соответствующей ручному или машинному характеру И. п. Для ручного И. п. (напр., в библиотеках) чаще всего используются ИПЯ классификац. типа, представляющие собой различные системы классификации иерархич. типа, которые дают лишь самую сжатую хар-ку содержания книг и документов. Особенно широко развита десятичная система классификаций, при к-рой частные разделы включаются во все более общие. При этом единицами обозначения являются цифры от 0 до 9. Первая цифра указывает самое крупное деление областей знания на десять подразделов, остальные цифры — подразделы и дальнейшее их дробление. Индексы десятичной классификации проставляются на книгах и др. печатных материалах и указывают на отнесение их к той или иной предметной области. Существует универсальная десятичная система. Гос. библиотека СССР им. В. И. Ленина построила аналогичную классификацию, в к-рой в качестве первых знаков использованы 26 букв латинского алфавита. Так, С означает физико-математические науки; С6 — астрономию; С65 — солнце и солнечную систему; С655 — малые тела солнечной системы; С65.53 — метеоры и болиды; С65.536 — метеорные потоки и т. д. Подобным образом построены и др. классификац. системы, в частности патентная. Библиотечная и патентная системы классификации тесно связаны с классификацией в науке и технике. Однако в связи с созданием новых и развитием старых разделов науки и техники трудно создать устойчивую классификацию и ее все время приходится пополнять и изменять.

Для механизации и автоматизации И. п. в большинстве случаев используются ИПЯ дескрипторного типа, в к-рых каждый элемент информации характеризуется определ. совокупностью ключевых понятий — дескрипторов (числом от нескольких сот до нескольких тыс. на каждую область знания). Запросы информации формулируются также в виде определ. совокупностей дескрипторов. В результате И. п. должны быть найдены документы, индексы к-рых содержат все дескрипторы вопроса. Дескрипторы могут кодироваться на т. н. картах с краевой перфорацией, имеющих по краям один или несколько рядов отверстий. В ср. части карт помещается копия (напр., фотоснимок) документа. Дескрипторы, характеризующие документ, кодируются путем вырезания лунок, соединяющих соответствующие отверстия с внешним полем карты. Поиск нужного документа производится с помощью спиц, пропускаемых через отверстия, соответствующие дескрипторам вопроса. При этом нужные карточки механически отделяются от остальной массы (1000—5000 карт). Кодировка по дескрипторной системе часто осуществляется в виде пробивок, наносимых на обычных перфокартах (с внутр. перфорацией), к-рые затем сортируются для И. п. на электромеханич. сортировальных устройствах, пропускающих 400—700 карт в мин. С помощью фотоэлектрич. сортировальных устройств удается производить со скоростью 1800 карт в мин. поиск информации, размещенной на фильмокартах (картах из пленки), разновидностью к-рых являются миникарды. На одной части миникарды записываются до 2700 дескрипторов в виде прозрачных или темных пятен,

а на остальной (примерно $\frac{2}{3}$) — микрокопии документа. В качестве носителей информации, в частности дескрипторного индекса, используются также пластмассовые карточки, покрытые слоем из магнитного материала (магнакарды). На каждой из них размещается до 5000 двоичных знаков информации, воспринимаемых и анализируемых по заданной программе; скорость просмотра — до 5400 карт в мин.

При применении ЦВМ для И. п. для записи индексов и искомой информации часто используют также внешние ЗУ типа магнитных лент и дисков. В приведенных примерах употреблялся т. н. подочувствительный способ организации массива индексов документов, в соответствии с к-рым на каждой карте или в каждой зоне ЗУ вместе с номером документа записываются все дескрипторы, характеризующие его. Применяется также т. н. инвертированный — часто более эффективный — способ организации поисковых индексов. В этих случаях на каждый используемый в системе дескриптор отводится отдельная карта или зона ЗУ и на ней записываются номера всех документов, в состав индексов к-рых входит этот дескриптор. Поиск ведется путем сопоставления (т. н. координирования) номеров документов, соответствующих дескрипторам вопроса: номера, общие для всех заданных дескрипторов, представляют собой номера искомого документов. Этот способ применяется для ручного И. п. при помощи т. н. карт, просматриваемых на просвет (карт «peek-a-boo»), число которых должно равняться числу используемых дескрипторов. Каждому документу приписывается одно определ. положение отверстий на карточках. Для поиска по заданному набору дескрипторов соответствующие им карточки выбираются из массива, складываются вместе и просматриваются. Отверстия, к-рые просматриваются насквозь, указывают на номера документов с полным совпадением всех заданных дескрипторов. Такая система поиска пригодна для нескольких тыс. документов (до 10 000) и нескольких сот дескрипторов. При использовании магнитных лент или дисков определенные их зоны отведены для записи номеров документов по дескрипторам. Сравнение производится в решающем устройстве ЦВМ.

На базе применения ЦВМ развиваются более сложные системы для И. п., основанные на использовании специальных искусств. символич. *информационных языков*, которые позволяют более полно и однозначно выражать содержание информации благодаря использованию элементов «грамматики» (аналитических и синтетич. отношений). Информац. язык разработан, напр., для металлургии [2]. Используя при построении информац. языков методы математич. логики и логич. семантики, создаются (в частности, для химии) информационно-логич. языки, пригодные не только для И. п., но и для логич. обработки информации, т. е. для производства нек-рых операций логич. вывода с целью составления обобщающих обзоров, анализа сведений для выработки правдоподобных гипотез и рекомендаций, для выявления закономерностей и т. д. Осуществление этих операций возможно при помощи *информационных машин*, имеющих в сравнении с универсальными ЦВМ

ряд особенностей. См. также *Научно-технической информации обработка*.

Лит.: 1) В л а д у ц Г. Э., О некоторых сторонах исследований по созданию информационно-поисковых систем, в кн.: Научно-техническая информация, [сб.], 1, М., 1961; 2) P e r r y J. W. and K e n t A., Tools for machine literature searching, N. Y., 1958; 3) R a n g a n a t h a n S. R., Elements of library classification, L., 1959; 4) V i c k e r y B. C., On retrieval system theory, L., 1961; 5) Г у т е н м а х е р Л. И., Электронные информационно-логические машины, М., 1960. Л. И. Гутенмахер.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЯЗЫК (information language; langue de l'information; Maschinensprache, Rechensprache) — искусств. язык, создаваемый для записи научно-технич. сведений, помещаемых в ЗУ информац. машины или системы (напр., Data processing system). Ни один из естеств. языков, по видимому, не может быть применен в качестве информационного. Этому препятствуют их недостаточно четкая структура (большое число грамматич. исключений, неясных случаев и т. п.) и их неоднозначность (напр., явление омонимии и синонимии, многозначности слов). Логич. связи во фразах реальных языков также выражены недостаточно отчетливо, что делает неудобным выведение логич. следствий из посылок, заданных в форме фраз естеств. языка.

И. я. должен быть приспособлен для использования его в машине. Производя различные действия над текстами, помещенными в ЗУ, машина не может обращаться к их интуитивно известному смыслу, но должна ограничиваться лишь анализом их формальной структуры. Поэтому И. я. должен быть однозначным (каждое его выражение должно допускать лишь одно истолкование), удобным для отождествления различным образом записанных фактов и для производства логич. выводов.

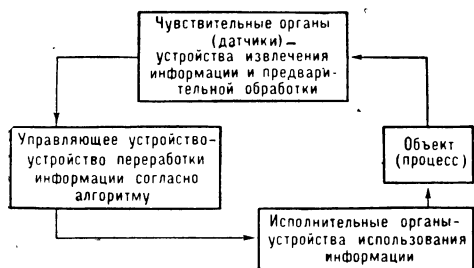
При создании И. я. прежде всего необходимо выбрать способ записи информации. В математич. логике и формальной семантике разработаны нек-рые такие способы. Задание языка сводится к следующему: фиксируется нек-рый *алфавит* (набор исходных символов). Далее, при помощи правил образования строятся допустимые комбинации исходных символов. Эти комбинации могут играть в языке, напр., роль научных терминов, предложений и т. д. Затем задаются правила преобразования, позволяющие из одних выражений получать др. и, в частности, формализовать вывод логич. следствий по законам формальной логики. Наконец, задаются правила интерпретирования, согласно к-рым выражения языка приписывается определ. смысл. Правила должны быть заданы так, чтобы их могла реализовать машина. Это значит, что каждому допустимому набору этих правил можно сопоставить последовательность машинных операций (программу), реализующую эти правила. Т. о., эти правила должны определять алгоритм переработки информации.

Такое четкое построение языка позволяет избавиться от неудобств реальных языков. Способность машины выводить из посылок логические следствия дает возможность вводить в ЗУ машины не все известные научные факты (что было бы невозможно), а лишь основные, из которых остальные машина может получить по правилам преобразования.

Первым шагом в формировании И. я. служит создание языков для отдельных конкретных наук или даже для их разделов (напр., для химии углеводородов). Разработка И. я. и информац. машин ставит как чисто технич. проблемы (напр., конструирование ЗУ, способных хранить огромный запас информации при большой скорости ее извлечения), так и вопросы, связанные с прикладной математикой (создание методов оптим. поиска), математич. логикой и лингвистикой. Использование информац. машин приведет к необходимости автоматизации перевода с реальных языков на И. я. Рациональное размещение информации в ЗУ машины также является серьезной проблемой. Большие трудности возникают при выделении базисных положений науки, к-рые должны быть записаны в машину, и правил преобразования, позволяющих из осн. положений получать все остальные. См. также *Алгол*.

Лит.: Успенский В. А., К проблеме построения машинного языка для информационной машины, в сб.: Проблемы кибернетики, вып. 2, М., 1959; Кузнецов А. В., [и др.], Об информационном языке для геометрии и алгоритме перевода с русского языка на информационный, в сб.: Машинный перевод и прикладная лингвистика, вып. 5, М., 1961; Иванов В. В., Шаумян С. К., Лингвистические проблемы кибернетики и структурная лингвистика, в сб.: Кибернетику на службу коммунизму, т. 1, М.—Л., 1961. В. А. Козмидиadi.

ИНФОРМАЦИЯ в сис-теме управ-ления (information; information; Information). Управляемый объект (процесс) характеризуется рядом параметров (давление, температура, скорость, качество выходного продукта и т. п.), значения к-рых заранее неизвестны и непостоянны во времени. Информация об этих параметрах собирается с помощью датчиков и передается непосредственно или после нек-рой обработки (см. *Информации обработка*) в управляющее устройство (рис.), к-рое на основе выбранных критериев и алгоритмов вырабатывает команды,



Блок-схема системы автоматического управления с обратной связью.

воздействующие на объект управления через исполнит. органы. Между блоками, указанными на рис., а также внутри каждого из блоков происходит процесс передачи информации, для чего применяется кодирование. Таким образом, в системе управления могут происходить процессы сбора, передачи, обработки и хранения информации (хранение можно рассматривать как передачу информации во времени). Функции одного или нескольких звеньев системы управления могут выполняться человеком. При этом возникает задача представления информации в форме, удобной для восприятия ее человеком (см. *Информации представление*).

Для многих систем управления характерен замкнутый контур циркуляции информации. Однако системы могут и не иметь оперативного, охватывающего данный объект, замкнутого контура. Напр., при испытании неуправляемых ракет управление их движением производится согласно заложенной в них программе. Во время испытаний с них передается информация, используемая при испытании последующих и разработке новых модификаций ракет. Аналогично этому во многих производственных процессах информация о различных звеньях процесса, о сырье и выходном продукте часто используется для коррекции работы в последующих циклах.

И. характеризуется обычными показателями теории информации (количество информации, скорость передачи и т. д.) (см. *Информации теория*). С точки зрения управляемого процесса весьма важна также семантика информации. Ценность отдельных сообщений может быть различной для каждого управляемого процесса. Количество информации, циркулирующее в системе управления, зависит от сложности объекта и от необходимой точности управления (см. *Информации количество*). Чем большее количество информации перерабатывается системой, тем больше возможностей у системы в смысле управления, однако тем сложнее ее аппаратура.

В системах управления с многими рассредоточенными объектами большое значение имеет надежность передачи информации. Недостаточная надежность, а также высокая стоимость каналов связи приводят часто к необходимости иметь как центральное, так и местные управляющие устройства, т. е. иметь рассредоточенное управляющее устройство. В таких системах возникает проблема выбора оптимальной степени рассредоточенности управляющего устройства и оптимального распределения функций управления между несколькими управляющими устройствами. В простейших системах управления многими объектами функции регулирования, т. е. поддержание параметров на определенном уровне, возлагаются на местные устройства управления. Они же собирают информацию об аварийных режимах и используют ее для аварийных переключений. Информация, поступающая на центральный управляющий пункт, используется для управления уставками регуляторов, включений и выключений объектов в нормальном режиме и т. п.

И. может быть дискретной или непрерывной, передаваться непрерывно во времени или в дискретные моменты времени. Особенность непрерывных сообщений большинства промышленных систем управления — узкий спектр частот, начинающийся от нуля. Дискретный характер И. связан либо с дискретностью отдельных параметров процесса (напр., двигатель может быть включен или выключен), либо с необходимостью иметь грубое представление о том или ином параметре, напр. «температура в пределах нормы» и «за пределами нормы». Дискретизация непрерывных сообщений по амплитуде и во времени есть один из способов устранения избыточности (избыточность обычно рассматривается с точки зрения выработки управляющих воздействий, т. е. алгоритма управления). Устранение избыточности как способ обработки информации применяется для упрощения про-

цесса передачи информации и процесса ее переработки в управляющем устройстве. Обработка информации может осуществляться в устройствах ее получения (датчиках) или спец. устройствах для ее обработки, к-рые могут помещаться до канала передачи информации или же являться частью устройства для выработки управляющих воздействий. Четкой границы между обработкой и переработкой информации нет, т. к. устранение избыточности в пределе означает выработку ответа на вопрос, «произошло ли некоторое событие», что может входить в алгоритм управления. Если такой ответ получен, то управляющему устройству останется только выработать соответствующую этому событию команду и передать ее на исполнит. органы. Для переработки информации и выработки команд может быть использована вычислит. или логич. машина. Наиболее широко применяются машины дискретного действия.

Обработка информации и выработка команд обычно производятся по заранее разработанным алгоритмам. Разрабатываются системы, в к-рых оптимальный алгоритм переработки информации вырабатывается самой системой по мере накопления опыта работы (см. *Самобучающаяся система*). При этом в процессе обучения необходимы большая информационная память и циркуляция, как правило, увеличенного количества информации.

Лит. см. при ст. Информации теория.

Р. Р. Васильев, Г. А. Шастова.

ИНФОРМАЦИЯ МАШИННАЯ — разговорный термин, применяемый для обозначения информации, получателем которой является машина; термин применяется для отличия этого рода информации от той, к-рой обмениваются между собой люди. См. *Информация*.

ИНФРАКРАСНАЯ ТЕХНИКА (infra-red engineering; technique infrarouge; Infrarottechnik) — отрасль науки и техники, охватывающая разработку и изготовление инфракрасных (ИК) излучателей, приемников излучения, спец. оптики, светофильтров и применение этих элементов в промышленности, научных исследованиях и военном деле.

ИК излучение представляет собой электромагнитные колебания, длины волн к-рых лежат между видимым спектром и волнами, применяемыми в современной радиотехнике. В качестве коротковолнового предела ИК спектра условно принята длина волны 0,75 мк, в качестве длинноволнового предела — 1000 мк; наиболее полно исследован и используется в технике диапазон от 0,75 мк до 15 мк. Широкое применение ИК лучей этого диапазона обусловлено след. их основными свойствами: ИК излучение невидимо; ИК лучи легко генерируются; ИК излучение воспринимается разнообразными индикаторами; при прохождении сквозь толщу атмосферы ИК лучи в целом ослабляются в меньшей мере, чем видимый свет. ИК лучи так же, как видимые лучи, распространяются прямолинейно со скоростью света и подчиняются законам оптики (преломляются, отражаются, поляризуются и т. п.). ИК излучение имеет место в газах, парах, жидких и твердых телах и обусловлено либо изменением энергетич. состояния электронов атомов вещества, либо изменением вращательных и колебательных движений молекул. Эти процессы вызываются, в частности, нагреванием тел.

Связь между абсолютной темп-рой тела T и энергией E_s , излученной с единичной площади его внешней поверхности, устанавливается законом Стефана — Больцмана:

$$E_s = \epsilon \sigma T^4 \text{ вт/см}^2,$$

где постоянная $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12} \text{ вт/см}^2 \cdot \text{град}^4$, ϵ — коэфф. излучения, равный 1 для абсолютно черного тела, для всех других тел $\epsilon < 1$. Ф-ла показывает, что увеличение темп-ры тела приводит к очень резкому возрастанию излучения и, наоборот, слабо нагретые тела излучают весьма малое количество энергии.

Закон Голицына — Вина определяет длину волны $\Lambda_{\text{макс}}$, соответствующую наиболее интенсивному излучению при данной темп-ре: $\Lambda_{\text{макс}} = 2900/T$ мк. Этот закон называют также «законом смещения» в связи с тем, что увеличение или уменьшение темп-ры тела приводит к смещению $\Lambda_{\text{макс}}$ (рис. 1). Из этого закона

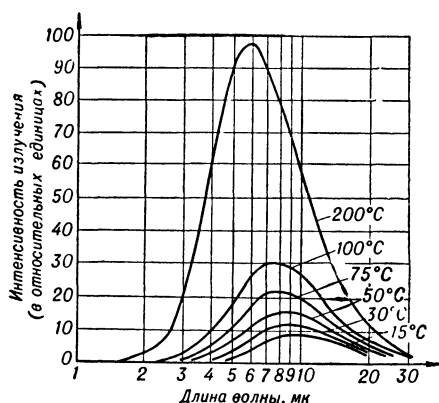


Рис. 1. Кривые распределения энергии излучения тела при разных температурах.

следует, что максимум излучения наиболее распространенных на Земле низкотемпературных объектов находится в длинноволновой части спектра. Так, напр., максимум излучения тела при комнатной темп-ре ($T = 291^\circ \text{К}$) приходится на длину волны $\Lambda_{\text{макс}} = 10$ мк. Т. о., для уверенного обнаружения ИК излучения слабо нагретых тел необходимо иметь ИК приемники, способные воспринимать излучение в диапазоне длин волн 10—100 мк. Ф-ла Планка описывает закономерность распределения энергии $E_{s,\Lambda}$ в спектре излучения тела при каждой заданной темп-ре:

$$E_{s,\Lambda} = \epsilon C_1 / \Lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\Lambda T}} - 1) \text{ вт/см}^2 \cdot \text{мк},$$

где постоянные $C_1 = 3,74 \cdot 10^4 \frac{\text{вт} \cdot \text{мк}^5}{\text{см}^2}$, $C_2 = 1,44 \cdot 10^4 \text{ мк} \cdot \text{град}$.

Источники ИК излучения. Все тела при температуре выше абс. нуля (-273°C) являются источниками ИК излучения и могут быть разделены на 2 класса: 1) серые тела, спектр излучения к-рых (рис. 2) при меньшей интенсивности подобен спектру абсолютно черного тела (напр., сажа, стекло, мрамор, вода); 2) селективные излучатели (газы, окислы металлов и др.), излучающие энергию в определенных узких участках или полосах спектра; спектр излучения таких тел характеризуется кривой с явно выраженными максимумами и минимумами. Источники ИК излучения весь-

ма разнообразны. Это: 1) температурные источники, генерирующие ИК излучение в результате нагревания тел (активные — электрич. лампы накаливания, силовые излучатели, пассивные — корабли, самолеты, спутники, крупные пром. предприятия); 2) газоразрядные источники, генерирующие ИК

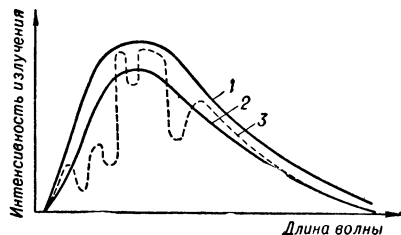


Рис. 2. Кривые спектрального распределения энергии черного (1), серого (2) и селективного (3) излучения.

излучение вследствие люминесценции, возникающей при прохождении электрич. тока через газ или пары металла (циркониевые дуговые лампы, дизельные и криптоно-ксеноновые газосветные лампы сверхвысокого давления, ртутные газосветные лампы низкого давления); 3) источники смешанного характера (электрич. дуговые лампы, ртутные газосветные лампы высокого давления); 4) природные излучатели (солнце, море, толща атмосферы).

Приемники ИК излучения. Важнейшей частью аппаратуры, предназначенной для использования ИК излучения, является приемник (индикатор) излучения — устройство, воспринимающее лучистую энергию и превращающее ее в другие виды энергии (чаще всего электрическую, а также тепловую, световую и др.). Свойства и качества приемников лучистой энергии оцениваются рядом хар-к, важнейшие из к-рых: спектральная и интегральная чувствительность, порог чувствительности и инерция приемника. Величина спектральной чувствительности приемника Φ_λ равна отношению его количественной реакции P_λ (напр., величины фототока в фотосопротивлении) к мощности падающего на приемник потока лучистой энергии Φ_λ с определенной длиной волны λ : $\Phi_\lambda = P_\lambda / \Phi_\lambda$. Величина интегральной чувствительности приемника Φ равна отношению его количественной реакции P к полной мощности падающего на приемник потока Φ лучистой энергии: $\Phi = P / \Phi$. Порогом чувствительности приемника наз. миним. уровень мощности потока лучистой энергии, создающего в приемнике сигнал, равный по величине уровню его собственных шумов. Инерция приемника — запаздывание его реакции на воздействие излучения — характеризуется постоянной времени, равной временному интервалу, в течение к-рого реакция приемника достигает определенного значения.

Существуют 2 типа приемников ИК излучения: 1) термич. (болометры, термисторы, термоэлементы, пневматич. индикаторы и др.); 2) квантовые (эмиссионные и вентильные фотоэлементы, фотоумножители, электрооптич. индикаторы, фотосопротивления и др.). В приемниках 1-го типа энергия ИК излучения поглощается и превращается в тепло.

Полученное изменение темп-ры может быть измерено (напр., величиной термоэдс, возникающей в термоэлементе). Термич. индикаторы обладают тем преимуществом, что их чувствительность не зависит от длины волны поглощенного излучения. Эти индикаторы могут работать практически при любой температуре окружающей среды и поэтому не нуждаются в охлаждении, что облегчает их применение. Недостаток термич. индикаторов — большая инерция. Для получения малой инерционности (порядка 10^{-3} сек.) необходимо применять материалы с малым коэфф. теплоемкости и уменьшать до минимальных пределов размеры приемника (практически до размеров поверхности $0,1 \times 0,1$ мм² и долей мм по толщине), что приводит к хрупкости приборов. Термич. индикаторы применяются в основном при физических исследованиях в качестве точных термометров, в спектрометрах, при измерении ИК излучения низкотемпературных объектов.

Квантовые приемники основаны на др. физич. процессе: поглощение кванта ИК энергии вызывает возбуждение электрона атома вещества, что меняет физич. свойства материи (напр., в фотосопротивлении изменяется проводимость полупроводникового фоточувствительного слоя, при этом происходит изменение фототока в цепи фотосопротивления). Возбуждение электрона происходит весьма быстро, поэтому постоянная времени квантовых индикаторов в основном невелика (у нек-рых из них порядка 10^{-6} сек.). Наибольшее применение в современной аппаратуре находят фотосопротивления (ИК детекторы). Они стабильны в работе, долговечны и не боятся чрезмерных облучений. Разработанные в последнее время фотосопротивления, состоящие из германия в смеси с золотом и из германия в смеси с цинком, имеют длинноволновый предел спектральной чувствительности соответственно 10 мк и 40 мк.

Для повышения чувствительности фотосопротивлений и расширения длинноволновой границы их спектральной чувствительности (что позволяет принимать ИК излучение от низкотемпературных объектов) необходимо применять глубокое (до $t^\circ = -250^\circ\text{C}$) охлаждение детекторов. Системы охлаждения можно разделить на 4 группы: 1) устройства, основанные на охлаждении газа при его адиабатич. расширении; 2) криостаты (сосуды Дьюара, имеющие в стенках «окна», прозрачные для ИК лучей); 3) устройства с непосредственной передачей сжиженного газа к приемнику; 4) термоэлектрич. системы, основанные на эффекте охлаждения места контакта (спая) двух разнородных полупроводников при пропускании через них в определенном направлении электрич. тока. Термоэлектрич. системы наиболее перспективны ввиду их высокой надежности, малых размеров и веса и небольшой потребляемой мощности. Часто на практике регистрируемая индикатором лучистая энергия настолько мала, что непосредств. использование полученного электрич. сигнала затруднительно или невозможно. Поэтому приходится применять большое усиление термоэлектрич. фототоков, достигающее в нек-рых случаях сотен тысяч и даже сотен миллионов раз. Для усиления используются либо *усилители постоянного тока*, либо *усилители низкой частоты*. Применение усилителей пост. тока ограничено

тем, что при больших коэфф. усиления они работают нестабильно. При использовании усилителей низкой частоты термопары и фотопары предварительно тем или иным способом преобразуются в перем. ток, а затем усиливаются.

Прохождение ИК излучения сквозь оптические материалы (фильтры) и атмосферу. Фильтры в И. т. применяются для следующих целей: а) выделения нужного участка спектра ИК излучения источника или нужного участка спектральной характеристики приемника (напр., для повышения точности измерений при научных исследованиях за счет исключения паразитных лучей и мешающих спектральных полюсов); б) разделения суммарного потока излучения на отдельные участки по спектру при ИК спектроскопии; в) ослабления при фотографировании в ИК лучах определенных участков спектра для исключения эффектов, вносимых избирательным рассеянием или поглощением окружающей среды. По назначению фильтры могут быть разделены на 3 группы: 1) спектральные фильтры, выделяющие сравнительно узкую полосу частот излучения; 2) компенсационные фильтры, изменяющие спектр лучистого потока, приводя его к требуемому виду; 3) нейтральные фильтры, ослабляющие энергию лучистого потока, не изменяя его спектрального состава. Поглощение присуще всем веществам, поэтому существуют твердые, жидкие и газовые фильтры. Напр., очень сильно поглощает ИК излучение вода, края при толщине слоя всего в 1 см становится практически совершенно непроницаемой для ИК лучей (рис. 3). Ослабление ИК излучения

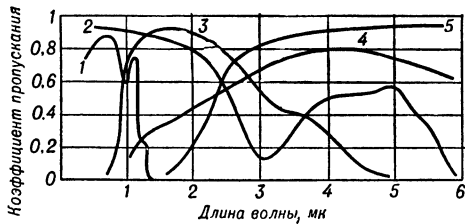


Рис. 3. Спектральные коэфф. пропускания: 1 — воды (слой 1 см); 2 — целлулоида (слой 0,14 см); 3 — стекла с окисью марганца; 4 — окиси марганца, нанесенной в виде порошка на стекло; 5 — порошка селеновой черни.

(поглощение и гл. обр. рассеяние), хотя и не столь сильное, как видимого света, происходит в атмосфере за счет наличия в ее нижних слоях водяных паров, капелек воды или кристалликов льда, частиц дыма, пыли и др. В очень чистой атмосфере (напр., в высокогорных условиях) рассеяние ИК лучей практически отсутствует. Кривые спектрального пропускания атмосферы характеризуются наличием полюсов пропускания — т. н. «окон прозрачности» (напр., для одного из состояний атмосферы, рис. 4). Наибольшему пропусканию соответствуют «окна» 1—1,1 мкм; 1,2—1,3 мкм; 1,6—1,75 мкм; 2,1—2,4 мкм (пропускание до 80%);

3,4—4,2 мкм (пропускание 90%) и 8,5—12 мкм (пропускание около 70%). ИК излучение с длинами волн, соответствующими промежуткам между «окнами», не проходит вовсе сквозь толщу воздуха. Знание «окон прозрачности» атмосферы очень важно для выбора источников и приемников излучений, а также при определении дальности действия аппаратуры, работающей с использованием ИК излучения.

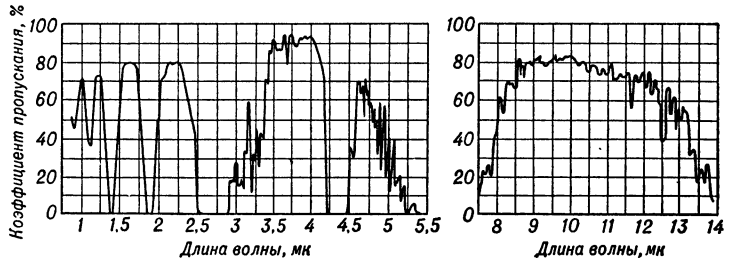


Рис. 4. Полосы пропускания инфракрасных лучей в атмосфере при дистанции 1850 м и приведенной толщине водяных паров 17 мм.

Области применения ИК техники. Все научные и технические применения ИК излучения можно разделить на 2 большие области: сбор информации о нагретых телах; энергетическое воздействие на вещество (нагрев). В 1-м случае важны чувствительность аппаратуры и другие свойства ее, необходимые для сбора информации. Во 2-м случае важны КПД, экономическая эффективность, энергопотребление по сравнению с другими методами нагрева. С каждым годом все большее и большее распространение получает использование ИК излучения для научных целей в медицине, биологии, астрономии, химии и др. Самое разнообразное применение — от сушки различных изделий до решения проблемы видения в темноте — ИК излучение находит в технике. Начиная со 2-й мировой войны ИК лучи стали широко использоваться в военном деле.

Применение ИК излучения для научных целей. 1) ИК спектроскопия. Метод ИК спектроскопии основан на том, что каждое вещество обладает определенным ИК спектром пропускания с характерными полюсами поглощения. ИК спектроскопия стала быстрым и точным орудием количественного и качественного анализа в органической и физической химии, астрофизике, атомной физике, медицине и др. Этот способ исследований выходит за пределы научных лабораторий и используется для контроля продукции синтетической химии, нефтяной и фармацевтической промышленности и др. 2) ИК фотография (фотография в ИК лучах). Одно из преимуществ ИК фотографии перед обычной фотографией — возможность фотографирования более удаленных предметов вследствие меньшего ослабления ИК лучей в условиях дымки или тумана. Др. особенность ИК фотографии — возможность обнаружения на снимке деталей, не видимых глазом на обычных фотографиях (благодаря тому, что различные тела и вещества имеют резко отличающиеся коэфф. отражения и пропускания ИК лучей). ИК фотография позволяет также получать снимки объектов в условиях полной темноты. ИК фотография особенно широко применяется в астрономии, позволяя получать изображе-

ния звезд, выделяющиеся на фоне туманностей, фотографировать звезды и планеты в ясную погоду при полнолунии, изучать ИК спектры различных звезд и планет. Применение ИК фотографии в медицине дает возможность диагностировать многие заболевания кровеносной системы. Широкое применение ИК фотография получила также в криминалистике, биологии и др.

3) ИК техника в astronautике. К основным применениям ИК техники в области astronautики относятся: а) Контроль траектории телеуправляемых межпланетных кораблей и искусственных спутников Земли с помощью ИК устройства, расположенного на Земле. Данные наблюдений за первыми спутниками Земли посредством ИК устройств говорят об интенсивном ИК излучении спутников, к-рое первоначально объяснялось отражением ИК излучения Солнца и нагревом оболочки спутников солнечными лучами. Однако спутники излучали и ночью, причем значительно позднее того времени, когда их оболочка должна была бы остыть. Интенсивность этого излучения была выше, чем можно было ожидать от всех вместе взятых причин (нагрев поверхности солнечными лучами, тепловое излучение размещенной в спутнике работающей аппаратуры и др.), и соответствовала эффективной температуре корпуса 300°C. Это явление объясняют рекомбинацией электронов и ионов на поверхности спутников. Повышенная интенсивность ИК излучения облегчает задачу обнаружения и автосопровождения искусств. спутников и создает предпосылки для осуществления контроля телеуправляемых межпланетных кораблей. б) Контроль траектории и автоматич. управление космич. кораблем путем наблюдения с него ИК излучения Земли, Солнца и др. планет. Системы ориентации космич. кораблей, использующие ИК излучение планет, обладающую рядом положительных качеств: пассивный принцип действия (отсутствие собственного излучения, высокая помехозащищенность), относительная простота (возможность использования для дополнения инерциальных систем наведения). в) Наблюдение за земным шаром с помощью спутников, оборудованных ИК аппаратурой, для метеорологич. предсказаний, к-рые могут быть сделаны, поскольку характер ИК излучения Земли, принятого спутником, определяется состоянием атмосферы. Результаты наблюдений после соответствующей обработки на борту спутника передаются на Землю.

Применение ИК излучения в народном хозяйстве. 1) Сушка посредством ИК лучей состоит в облучении обрабатываемого вещества ИК лучами, выбранными по длине волны такими, чтобы они поглощались внутри вещества. В результате лучистая энергия передается веществу с высоким коэфф. полезного действия. Излучения при этом играют активную роль, возбуждая колебания молекул вещества и превращаясь внутри вещества в тепловую энергию, что обеспечивает весьма эффективную сушку. Сушка в ИК лучах широко применяется в промышленности (рис. 5) и сельском хозяйстве. Так, напр., применение ИК лучей в автомобильной пром-сти для сушки лаков и запекания эмалей сокращает производств. цикл более чем в 5 раз по сравнению с сушкой теплым воздухом. 2) Солнечные термоэлементы.

Для преобразования ИК излучения Солнца в электрич. энергию используются термоэлементы (термопары), в к-рых солнечное излучение нагревает один из спаев двух разнородных веществ; спай охлаждается конвекцией

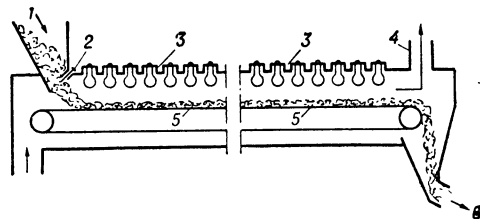


Рис. 5. Схема сушилки с плоским транспортером: 1 — материал, подлежащий сушке; 2 — разравниватель; 3 — лампы; 4 — вытяжная труба; 5 — лента транспортера; 6 — высушенный продукт.

воздуха или воды. Включение неск. термопар в солнечную батарею позволяет значительно увеличить напряжение, даваемое такой установкой. Солнечные термоэлементы представляют большой интерес для обеспечения электрич. энергией кораблей-спутников и межпланетных кораблей. 3) Измерение и регулирование темп-ры. Термич. индикаторы ИК излучения позволяют непрерывно дистанционно измерять темп-ры различных труднодоступных объектов (подшипников, валов, жидкостей в закрытых системах и др.). Современные высокочувствит. термоиндикаторы широко применяются для точного определения темп-ры слабо нагретых тел. В тех случаях, когда требуется измерить темп-ру сильно нагретых тел, что не может быть сделано обычным контактным способом, пользуются косвенным методом определения — посредством *пирометров радиационных*, измеряющих энергию ИК излучения, испускаемого этими телами. Устройства, регистрирующие темп-ру, могут применяться в установках автоматич. регулирования теплового режима (в нагреват. печах и др.). 4) Автоматизация производств. процессов с помощью ИК лучей. Фотоэлектрич. автоматы, основанные на применении фотоэлементов, чувствительных к ИК излучению, широко применяются для автоматизации ряда процессов в пром-сти. При контроле нагретых тел используется воздействие ИК излучений на ИК индикаторы. Электрич. сигнал, полученный с индикатора, управляет той или иной схемой автоматич. устройства, выполняющей необходимую операцию. Так, напр., нагретый слиток металла может автоматич. открыть дверь печи. Возможно также автоматич. считать нагретые предметы, проходящие в печи, и др. ИК фотоавтоматы применяются при производстве изделий в условиях полной темноты, в охранных установках, дающих сигнал тревоги, как только в каком-либо устройстве возникает неисправность, или отключающих орудие производства (рис. 6). 5) Связь на ИК лучах. Промодулировав лучистый поток источника ИК излучения и поместив на его пути приемник этого излучения, можно обеспечить связь на расстоянии (передать речь, различного рода сигналы и др.). При ограниченной дальности действия такая система связи обладает положительными свойствами: скрытность передачи информации и невозможность создания умышленной помехи. Линии связи на ИК лучах требуют более вы-

сокого расхода мощности электропитания, чем радиоустройства, для обеспечения одной и той же дальности действия. Причина этого в том, что современные приемники ИК излучения имеют меньшую чувствительность, чем

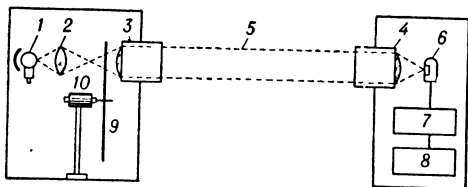


Рис. 6. Схема сигнального защитного устройства с модулированным потоком инфракрасных лучей: 1 — источник ИК излучения; 2, 3, 4 — объективы; 5 — модулированный поток ИК лучей; 6 — индикатор ИК излучения (фотоэлемент); 7 — усилитель; 8 — сигнальное и отключающее реле; 9 — модулирующий (прерывающий диск); 10 — двигатель, вращающий диск.

радиоприемники; ослабление ИК лучей в атмосфере сильнее, чем ослабление радиоволн. Тем не менее при благоприятных метеословиях дальность действия в пределах прямой видимости может быть обеспечена с источником ИК излучения мощностью в несколько сот ватт. На рис. 7 изображен малогабаритный оптич. телефон, легко переносимый и обслуживаемый одним человеком.

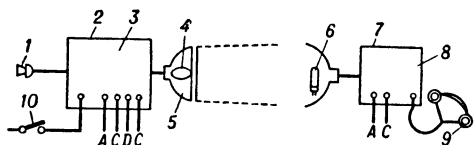


Рис. 7. Принципиальная схема оптического телефона: 1 — микрофон; 2 — передатчик; 3 — усилитель звуковой частоты; 4 — источник излучения; 5 — инфракрасный фильтр; 6 — фотоэлемент; 7 — приемник; 8 — усилитель низкой частоты; 9 — телефон; 10 — ключ; AC — токи усиления; DC — токи модуляции.

Военные применения ИК излучения. Наиболее важными военными применениями ИК техники являются: 1) тепловизионная — обнаружение удаленных объектов по их тепловому излучению; 2) автоматич. наведение управляемых снарядов на пассивные источники ИК излучения (самолеты, корабли, заводы и др.); 3) использование приборов ночного видения, основанных на применении *электроннооптических преобразователей*; 4) связь на ИК лучах; 5) охранная оптич. блокировка на ИК лучах; 6) ИК фотография в разведывательных целях.

Лит.: Марголин И. А., Румянцев Н. П., Основы инфракрасной техники, 2 изд., М., 1957; Деконт Ж., Инфракрасное излучение, пер. с франц., М., 1958; Смит Р., Джонс Ф., Чесмер Р., Обнаружение и измерение инфракрасного излучения, пер. с англ., М., 1959; Дерибер М., Практические применения инфракрасных лучей, пер. с франц., М.—Л., 1959; Брамсон М. А., Каликеев А. Е., Инфракрасная техника капиталистических стран, М., 1960; Левитин И. Б., Техника инфракрасных излучений, М.—Л., 1959; «Прогр. I.R.E.», 1959, v. 47, № 9.

Ю. Н. Смирнов, А. Н. Трифонов.

ИОНИЗАЦИЯ газа (gas ionization; ionisation de gaz; Gasionisierung, Gasionisation)— образование ионов и электронов из нейтральных атомов и молекул. Состояние атома газа определяется энергетич. уровнями валентных электронов, входящих в состав периферийных

оболочек атома. Самая низкая энергия соответствует наиболее устойчивому нормальному состоянию атома, в к-ром он может находиться неограниченно долгое время. При сообщении атому добавочной энергии один из его валентных электронов может перейти на более высокий энергетич. уровень — уровень возбуждения. В возбужд. атоме валентный электрон остается на верхнем энергетич. уровне непродолжит. время (порядка 10^{-8} сек.) и затем переходит на др., более низкий или возвращается на норм. уровень. При таком обратном переходе атом излучает полученную им ранее энергию в виде кванта света определ. частоты. Излучение при прямом переходе атома из состояния возбуждения к норм. состоянию наз. резонансным. Исключение составляют т. н. метастабильные уровни возбуждения, переход с к-рых возможен только при очередном соударении с частицами газа или стенками. При превышении макс. возможного уровня возбуждения электрон полностью освобождается от внутр. связей с атомом, вследствие чего атом превращается в положит. ион. Т. о. наступает И. газа.

Физич. процессы и виды И. газа весьма разнообразны. К ним относятся: И. электронным ударом, И. положит. ионами, фотоионизация, термическая И. и нек-рые др. Наиболее часто встречающаяся в *ионных приборах* И. газа или паров вызывается соударениями электрона с нейтр. атомом или молекулой.

При небольших скоростях электрон, сталкиваясь с атомом, передает ему весьма малую часть своей кинетич. энергии. При этом скорость первичного электрона и направление его движения меняются, а внутр. состояние атома остается неизменным. Такие столкновения наз. упругими. При увеличении скорости движения электрон при соударении с атомом передает ему большее количество своей энергии, вследствие чего в атоме могут произойти изменения внутр. состояния. Это — неупругие столкновения первого рода. К ним относятся процессы возбуждения атома и И. Энергия, необходимая для возбуждения и И., определяется потенциалом возбуждения и потенциалом И. газа $W_{\text{возб}} = e U_{\text{возб}}$; $W_{\text{ион}} = e U_{\text{ион}}$.

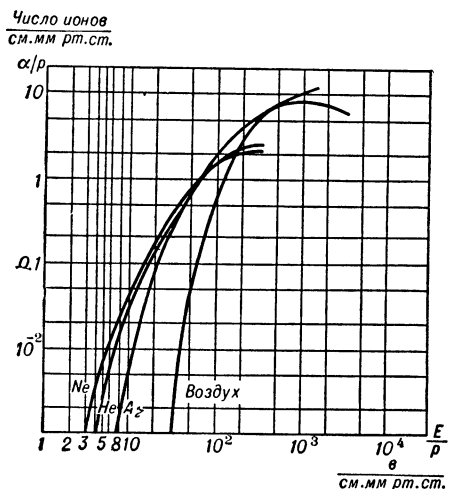
В таблице даны миним. значения потенциалов возбуждения резонансных уровней и потенциалов И. для нек-рых газов.

Газ	$U_{\text{возб}}$ (е)	$U_{\text{ион}}$ (е)	Газ	$U_{\text{возб}}$ (е)	$U_{\text{ион}}$ (е)
H ₂	11,1	15,4	Kr	9,98	14,0
He	20,86	24,5	Xe	8,39	12,1
Ne	16,62	21,5	Hg	4,86	10,4
Ar	11,56	15,7	O ₂	6	12,5
			CO ₂	10	14,1
N ₂	6,1	15,8	NO ₂		11

За время нахождения атома в возбужденном состоянии может произойти новое неупругое соударение возбужд. атома с электроном. И. путем нескольких последоват. соударений атома с электроном наз. ступенчатой. Ее возникновение облегчается наличием в газе метастабильных атомов из-за их относительно большого срока жизни (до 0,1 сек. и более). Потенциал И. заметно снижается, если в осн. газе содержится примесь др. газа, у к-рого потенциал И. меньше потенциала метастабиль-

ного возбуждения атомов осн. газа. В этом случае И. атомов примеси производится метастабильными атомами осн. газа [3].

Число ионов, образуемых одним электроном на 1 см пути вследствие неупругих столкновений с нейтр. частицами газа, наз. объемным коэфф. И. газа электронами (первый коэфф. Таунсенда) и обозначается α . Его величина зависит от напряженности поля E в данной точке, давления p и рода газа. Связь между α и E выражается функциональной зависимостью: $\frac{\alpha}{p} = f\left(\frac{E}{p}\right)$. На рис. приведена зависимость $\frac{\alpha}{p}$ от $\frac{E}{p}$ для воздуха и ряда инертных газов. Когда E одинакова по всей



Зависимость коэфф. ионизации электронами α/p от приведенного поля E/p для различных газов.

длины разрядного промежутка, α является пост. величиной. Нарастание электронной лавины в однородном поле определяется ф-лой: $n = n_0 e^{\alpha x}$, где n — поток электронов на расстоянии x от катода, n_0 — число электронов, испускаемых катодом. В неоднородном поле для разных расстояний от катода α неодинакова, а закон нарастания лавины определяется:

$$n = n_0 e^{\int_0^x \alpha dx}$$

При определ. условиях И. газа вызывается квантами излучения (фотонами). В зависимости от энергии кванта фотоионизация бывает прямой или ступенчатой. Прямая фотоионизация возможна только в том случае, если энергия поглощенного кванта $h\nu$ равна или превышает энергию И. газа eU_i , т. е. $eU_i \leq h\nu = h \frac{c}{\lambda}$, где h — пост. Планка, ν — частота излучения, c — скорость света, λ — длина волны излучения, при к-рой возможна прямая фотоионизация; λ определяется из ф-лы $\lambda_0 \leq \frac{12350}{U_i}$.

Газы могут быть ионизированы квантами ультрафиолетового излучения, рентгеновскими лучами, γ -лучами и космич. лучами, попадающими в атмосферу Земли из космич. пространства.

В нек-рые типы ионных приборов (ионные разрядники, стабилитроны тлеющего разряда)

для уменьшения статистич. запаздывания специально вводятся радиоактивные изотопы, искусственно создающие начальную И. газа. При использовании радиоактивных веществ, излучающих α - и β -лучи, И. газа идет путем неупругих столкновений первого рода, а при γ -излучении — фотоионизацией квантами излучения.

Лит.: 1) Грановский В. Л., Электрический ток в газе, т. 1, М.—Л., 1952; 2) Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 2, М.—Л., 1955; 3) Пеннинг Ф. М., Электрические разряды в газах, пер. с англ., М., 1960; 4) Энгель А., Ионизованные газы, пер. с англ., М., 1959; 5) Westberg B., Time lag in breakdown of gas discharges, «Ericsson Techn.», 1955, v. 11, № 2. В. Л. Кузьмин.

ИОНИЗАЦИЯ УДАРНАЯ в полупроводниках (cumulative ionization, collision ionization, impact ionization in semiconductors; ionisation par impact ou par choc dans semiconducteurs; Stoßionisation in Halbleitern) — перевод электрона из валентной зоны в зону проводимости в результате удара, полученного от электрона или дырки, разогнанных сильным электрич. полем. При этом возникают новый электрон проводимости и новая дырка — генерируется электронно-дырочная пара. Если ионизирующей частицей является электрон, то он, теряя часть энергии на ионизацию, приближается к дну зоны проводимости. Если же ионизует дырка, то она приближается кверху валентной зоны. Носитель, энергия которого равна ширине запрещенной зоны, еще не способен производить ионизацию, т. к. при этом был бы нарушен закон сохранения квазимпульса. На акт ионизации идет в среднем энергия, значительно большая ширины запрещенной зоны (в Ge это превышение составляет примерно 1,5 раза). Характер ионизации не зависит от чистоты ПП материала, а зависит лишь от темп-ры: чем она выше, тем меньше ионизация, ибо усиливается рассеяние и при тех же полях носители разгоняются до меньших энергий. Заметим, что энергия, отдаваемая газом носителем на ударную ионизацию, много меньше энергии, отдаваемой им за то же время решетке, т. е. кпд процесса И. у. довольно мал. Он растет с увеличением напряженности поля. Поля, при к-рых происходит заметная ударная ионизация в Ge и Si, порядка десятков и сотен в/см (в Si выше, чем в Ge). Т. к. И. у. в ПП аналогична И. у. при газовом разряде, то для феноменол. описания ее вводят коэфф. ионизации (коэфф. Таунсенда) электронов и дырок. Коэфф. ионизации данного вида носителей в данной точке ПП и в данный момент времени наз. отношение вероятности генерации электронно-дырочной пары носителями данного вида в бесконечно малой окрестности данной точки в течение бесконечно малого промежутка времени к числу этих носителей и к пути их дрейфа за этот промежуток времени. Коэфф. ионизации имеет смысл числа пар, генерируемых в среднем каждым носителем на единице длины его дрейфового пути.

Установлено, что отношение коэфф. ионизации дырок и электронов есть величина, не зависящая от поля. В Ge дырки ионизуют примерно в два раза сильнее электронов, а в Si — в 4,5 слабее.

И. у. — явление, весьма распространенное в ПП приборах. Ею зачастую обуславливаются пробой диодов и триодов, а также утечки. В качестве полезного явления она используется в опорных диодах, четырехслойных диодах

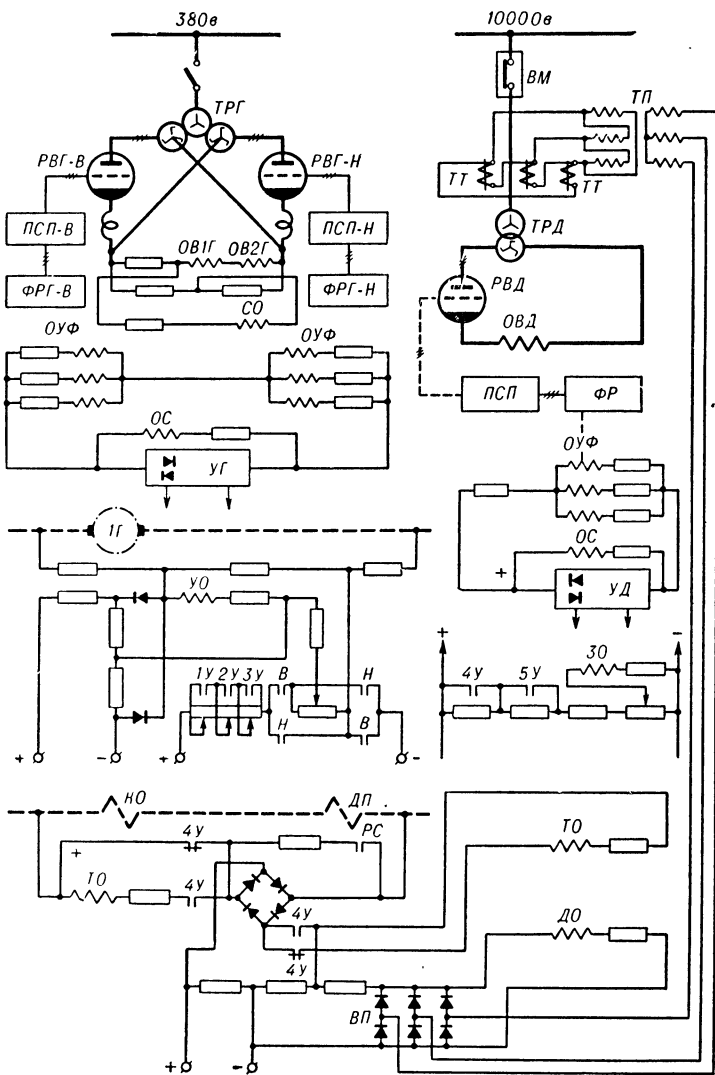
дах Шокли и нек-рых др. приборах. Термин «ударная ионизация», или «низкотемп-ный пробой», применяется и к другому явлению: к ионизации примесей (доноров и акцепторов) за счет энергии носителей, приобретенной в электр. поле. При достаточно низкой темп-ре в Ge и Si почти все атомы донорной примеси удерживают свои электроны, а атомы акцепторной примеси, наоборот, почти все лишены 4-го электрона — примесная проводимость «вымерзает», ПП превращается в изолятор. Однако если в нем создать достаточно сильное поле, то оно будет разгонять носители (к-рые в малом количестве все же имеются) до энергий, при к-рых они способны вызвать ионизацию примесей (перевести электрон с донорного уровня в зону проводимости или из валентной зоны на акцепторный уровень). Вследствие этого число носителей начинает возрастать, возрастает и проводимость ПП. Этот тип ударной ионизации имеет ряд особенностей, весьма отличающих его от предыдущего: 1) возрастание проводимости ограничено весьма небольшой величиной — проводимостью, которая достигается при полностью пониживанной примеси (порядка проводимости этого же ПП при комнатной темп-ре); 2) явление заметно лишь при очень низких темп-рах; 3) оно самым непосредственным образом зависит от легирования ПП; 4) поля, при к-рых оно протекает, на два порядка ниже тех полей, при к-рых возникает обычная ударная ионизация (ибо энергия, необходимая для ионизации примеси, много ниже энергии, идущей на генерацию электронно-дырочной пары); 5) генерируются одни только основные носители; лавинный процесс направлен лишь в сторону дрейфа этих носителей.

Лит.: Ч у е н к о в В. А., в сб.: Физика твердого тела, т. 2, М.—Л., 1959, с. 200—414; В у л Б. М. и Ш о т о в А. П., там же, т. 1, М.—Л., 1959, с. 150; Ш о т о в А. П., ЖЭТФ, 1958, т. 28, вып. 3, с. 437; А б а у л и н а-З а в а р и ц к а я Э. И., ЖЭТФ, 1959, т. 36, вып. 5, с. 1342; Ч у е н к о в В. А., «ФТТ», 1960, т. 2, вып. 5, с. 799. А. Л. Захаров.

ИОННОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ В СИСТЕМЕ ГЕНЕРАТОР-ДВИГАТЕЛЬ ion excitation

of motor-generator system (set); excitation de groupe convertisseur par redresseur à thyatron; Steuerdynamo-Ionenregung]. Питание обмоток возбуждения генераторов и двигателей от управляемых ионных преобразователей обеспечивает малую инерционность системы управления и более высокую надежность по сравнению с системами возбуждения от вра-

яющихся машин. В качестве примера на рис. приведена принципиальная схема ионного возбуждения генераторов и двигателя реверсивного прокатного стана [1]. Управление скоростью вращения двигателя в пределах ниже основной скорости осуществляется изме-



нением напряжения генераторов посредством двух треханодных ртутных преобразователей *РВГ-В* и *РВГ-Н* (типа *РМ-200*), соединенных по трехфазной перекрестной схеме, от к-рых получают питание соединенные последовательно обмотки возбуждения генераторов *ОВ1Г* и *ОВ2Г*. Для управления каждым из преобразователей служит свой статич. фазорегулятор *ФРГ-В* или *ФРГ-Н*, воздействующий на систему сеточного управления *ПСП-В* или *ПСП-Н*. Соединенные последовательно группы обмоток управления *ОУФ* фазорегуляторов *ФРГ-В* и *ФРГ-Н* включены в выходную диагональ нагрузки суммирующего магнитного усилителя *УГ* т. о., что если намагничивающая сила управления дросселей одного фазорегулятора, напр. *ФРГ-В*, совпадает со своей намагничивающей силой смещения и ртутный вентиль *РВГ-В* работает в выпрямительном режиме, соответствующем вращению

двигателя «вперед», то намагничивающая сила управления дросселей другого фазорегулятора *ФРГ-Н* противоположна намагничивающей силе смещения и ртутный вентиль *РВГ-Н* подготавливается к инверторному режиму.

Усилитель генератора имеет обмотки управления: управляющую *УО*, токовую *ТО*, стабилизирующую *СО* или обмотку контроля ускорения и обмотку отрицательной жесткой обратной связи *ОС* по напряжению усилителя. Управляющие обмотка определяет полярность и величину напряжения генератора, а также создает форсировку его возбуждения. Она включена в схему сравнения напряжения генератора *ИГ* с задающим напряжением, полярность и величина которого определяются включением контактов реверсивных контакторов *В*, *Н* и контакторов ускорения *1У*—*3У*. Стабилизирующая обмотка *СО*, включенная по мостовой дифференцирующей схеме, служит для контроля ускорения двигателя и для устранения колебаний. Назначением токовой обмотки *ТО* является ограничение тока двигателя до основной скорости при разгоне во время прокатки, а также ограничение тормозного тока при торможении со скорости, выше основной. Обмотка *ОС* отрицательной жесткой обратной связи по напряжению усилителя уменьшает пост. времени последнего. Обмотка возбуждения *ОВД* двигателя получает питание от ртутного преобразователя *РВД* (типа *РМВ-250*). Управление возбуждением двигателя происходит при помощи мостового суммирующего магнитного усилителя *УД* двигателя. Усилитель питает обмотки управления фазорегулятора *ФР* двигателя, чем осуществляется изменение напряжения ртутного вентиля *РВД*, а следовательно, и тока возбуждения двигателя. Усилитель *УД* имеет в основном обмотки управления: задающую *ЗО*, дифференциальную *ДО* (обмотку отрицательной обратной связи по току возбуждения двигателя), токовую обмотку и обмотку отрицательной жесткой обратной связи по напряжению усилителя *ОС*. Задающая обмотка задает величину тока возбуждения двигателя, определяемую включением контактов контакторов ускорения *4У*, *5У*. Дифференциальная обмотка получает напряжение, пропорциональное току возбуждения через выпрямительный мостик *ВП* и промежуточный трансформатор *ТП* от вторичной обмотки трансформатора тока *ТТ*, включенного в цепь первичной обмотки трансформатора ртутного вентиля. Токовая обмотка служит для ограничения тока двигателя как при разгоне выше основной скорости во время прокатки, так и при прокатке с установившейся скоростью при ослабленном токе возбуждения двигателя. Она включена на разность двух напряжений: суммарного падения напряжения в компенсационных обмотках *КО* и обмотках дополнительных полюсов *ДП* прокатного двигателя и напряжения сравнения. Пуск двигателя осуществляется повышением напряжения генераторов при неизменном потоке двигателя. Когда же это напряжение возрастет до 85% номинального, происходит дальнейшее повышение скорости двигателя путем ослабления его потока. Торможение двигателя осуществляется одновременным усилением потока двигателя и снижением напряжения генераторов.

В системе ионного возбуждения генератора можно определить максимальный ток $i_{n \text{ макс}}$

двигателя при пуске по ф-ле

$$i_{n \text{ макс}} = \left[\frac{\mu (E_{\text{вф}} - \Delta U_0)}{r_{\text{взг}}^0} - i_c \right] \times \left(\frac{r_{\text{взг}}^0 T_{\text{м}}}{T_{\text{вгп}}} \right)^{\frac{T_{\text{вгп}}}{T_{\text{вгп}} - r_{\text{взг}}^0 T_{\text{м}}}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{вф}}$ — форсировочная эдс возбудителя, отнесенная к напряжению $I_{\text{вн}} R_{\text{вг}}$ на обмотках возбуждения генераторов при номинальном токе возбуждения $I_{\text{вн}}$; $R_{\text{вг}}$ — сопротивление обмоток возбуждения генераторов; ΔU_0 — относительное падение напряжения в дуге ртутного вентиля; $Q_{\text{взг}}$ — полное сопротивление цепи возбуждения генераторов, отнесенное к сопротивлению $R_{\text{вг}}$; q — относительное сопротивление главной цепи якорей генераторов и двигателя; i_c — статич. ток двигателя; $T_{\text{м}}$ — электромеханич. пост. времени пуска; $T_{\text{вгп}} = T_{\text{вг}}(1 + E_{\text{во}} B_0 \eta_{\text{ст}})$ — приведенная электромагнитная пост. времени возбуждения генератора с учетом действия стабилизации; $T_{\text{вг}}$ — пост. времени обмотки возбуждения генератора; $E_{\text{во}}$ — максимальная выпрямленная эдс ртутного вентиля, отнесенная к $I_{\text{вн}} R_{\text{вг}}$; B_0 — крутизна сквозной хар-ки $\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{во}}} = f(F_y)$; F_y — намагничивающая сила магнитного усилителя; $\eta_{\text{ст}}$ — интенсивность действия стабилизирующей обмотки, если намагничивающая сила усилителя, создаваемая действием стабилизации $F_{\text{ст}} = \eta_{\text{ст}} T_{\text{вг}} \frac{di_{\text{в}}}{dt}$; $i_{\text{в}}$ — относительный ток возбуждения генератора; t — время; μ — коэфф., учитывающий насыщение генератора. По ф-ле (1) можно также, задаваясь макс. пусковым током, найти необходимое значение эдс $E_{\text{вф}}$. Расчет сопротивлений в цепи управляющей обмотки, исходя из найденного значения $E_{\text{вф}}$, изложен в [2].

Макс. ток двигателя при разгоне его ослаблением потока определяется по формуле

$$i_{\text{макс}} = \frac{1 + 2\delta \mu_c \mu_{\text{фп}} - \sqrt{1 + 3\delta \mu_c \mu_{\text{фп}}}}{\delta \mu_c^2} \left(\sqrt{1 + 3\delta \mu_c \mu_{\text{фп}}} - 1 \right) + \frac{3\mu_{\text{ст}}}{\mu_c} \left(\sqrt{1 + 3\delta \mu_c \mu_{\text{фп}}} - 3 \right), \quad (2)$$

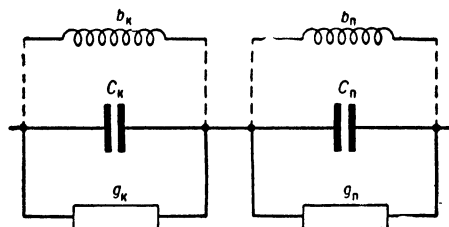
где $\delta = \frac{T_{\text{вн}}}{T_{\text{м}}}$; $T_{\text{вн}} = \frac{m T_{\text{овн}}}{r_{\text{вз}} + E_{\text{во}} B_0 \eta_{\text{ов}}}$ — эквивалентная пост. времени цепи возбуждения двигателя с учетом действия обратной связи по току возбуждения; $Q_{\text{вз}}$ — полное сопротивление цепи возбуждения, отнесенное к сопротивлению $R_{\text{в}}$ его обмотки возбуждения; $T_{\text{овн}}$ — средняя электромагнитная пост. времени обмотки возбуждения, отнесенная к номинальному потоку; $E_{\text{во}}$ — максимальная выпрямленная эдс ртутного вентиля, отнесенная к напряжению $I_{\text{вн}} R_{\text{в}}$ на обмотке возбуждения двигателя при номинальном токе его возбуждения $I_{\text{вн}}$; $E_{\text{в}}$ — выпрямленная эдс, отнесенная к $I_{\text{вн}} R_{\text{в}}$; μ_c — момент нагрузки, отнесенный к номинальному моменту двигателя; $\varphi = m i_{\text{в}} + b$ — относительный поток двигателя; $\varphi_{\text{п}}$ — предельный форсировочный поток двигателя, имеющий место в случае, если форсировка ослабления потока не снимается; μ — коэфф., учитывающий насыщение двигателя. При ослаблении потока вхолостую

$$i_{\text{макс}} = \frac{T_{\text{м}}}{6,75 T_{\text{вн}} (\mu_{\text{фп}})^2}. \quad (3)$$

В нек-рых случаях, когда от реверсивного электропривода не требуется повышенного быстродействия, может применяться система с питанием якоря электродвигателя от управляемого ртутного выпрямителя и реверсированием тока в обмотке возбуждения при помощи двух ртутных преобразовательных агрегатов, соединенных по перекрестной схеме. Реверс тока возбуждения двигателя осуществляется при нулевой скорости двигателя [1]. Управление величиной тока возбуждения при ионном возбуждении может также осуществляться путем периодич. кратковременного полного открывания ртутного преобразователя; при этом скважность импульсов определяет среднее значение установившегося тока в цепи обмотки возбуждения. Такой способ управления носит название импульсного ионного возбуждения [3].

Лит.: 1) Слежановский О. В., Электропривод реверсивных станков горячей прокатки, М., 1961; 2) Куницыкий Н. П., Ионное возбуждение генераторов и двигателей реверсивных прокатных станков, М.—Л., 1962; 3) Морозов Д. П., Чиликин М. Г., Лысенков Н. Г., Импульсное управление и регулирование возбуждения электрических машин при помощи ионных преобразователей, в кн.: Электропривод и автоматизация промышленных установок, М.—Л., 1960. Н. П. Куницыкий.

ИОННЫЙ КОНДЕНСАТОР (ionic capacitor; condensateur ionique; Glimmentladungs-Abstimmergerät, Glimmentladungskondensator) — газоразрядный прибор тлеющего разряда, предназначен. для быстрой перестройки по заданному закону настраиваемых контуров радиотехнич. устройств. Возможность использования приборов тлеющего разряда в качестве И. к. основывается на том, что их сопротивление перем. току комплексное и носит емкостный характер на частотах выше одного Мгц. Эквивалентная схема И. к. (рис.) строится с учетом того, что разрядный



Эквивалентная схема ионного конденсатора: g_k — активная и b_k — реактивная составляющие проводимости катодного слоя; C_k — емкость, соответствующая току смещения в катодном слое; g_n — активная и b_n — реактивная составляющие проводимости для области плазмы; C_n — емкость, соответствующая току смещения для области плазмы.

промежуток делится на катодную область и область плазмы (область положит. столба). Реактивными составляющими проводимости катодного слоя (появляются в результате нек-рой инерции заряж. частиц) и области плазмы пренебрегают, т. к. величины их значительно меньше соответствующих активных составляющих. Роль конденсатора в приборе играет в осн. катодная область разряда. Емкость ее — C_k определяется толщиной катодного слоя и площадью катода, покрытого свечением:

$$C_k = \frac{I}{4\pi j d_0 p},$$

где j — норм. плотность тока при давлении 1 мм рт. ст., d_0 — протяженность катодной области при давлении 1 мм рт. ст., I — пост. составляющая тока и p — давление наполняющего газа. Емкость области плазмы обычно не учитывается, т. к. она мала и практически равна емкости негорящего прибора. Стабильность емкости И. к. от включения к включению не хуже 0,5 мкмкф, а ее разброс от прибора к прибору не превышает 10% от ср. значения.

Осн. электр. хар-ки И. к.: напряжение зажигания, наибольший рабочий ток, макс. диапазон изменения емкости, ее стабильность и миним. значение шунтирующего сопротивления. Недостаток — сравнительно высокая активная проводимость, величина к-рой прямо пропорциональна пост. составляющей тока, квадрату частоты и обратно пропорциональна давлению наполняющего газа. И. к. обычно подключается параллельно резонансному контуру через блокировочный конденсатор. Изменяя величину силы тока, протекающего через прибор, меняют его емкость, а следовательно, и частоту резонансного контура, в к-рый включен прибор.

Конструкция прибора двухэлектродная (катод — анод); электроды — из молибдена, обеспечивающего наибольшую стабильность электр. параметров приборов тлеющего разряда. Наполнителем служат инертные газы. Наиболее широкий диапазон изменения емкости И. к. получается для смеси газов Ne и 0,5% Kr. Давление газа в приборе — десятки мм рт. ст.

Применение И. к. целесообразно на частотах от единиц до десятков Мгц, т. к. на более высоких частотах значительно возрастает активная проводимость и его применение затруднено.

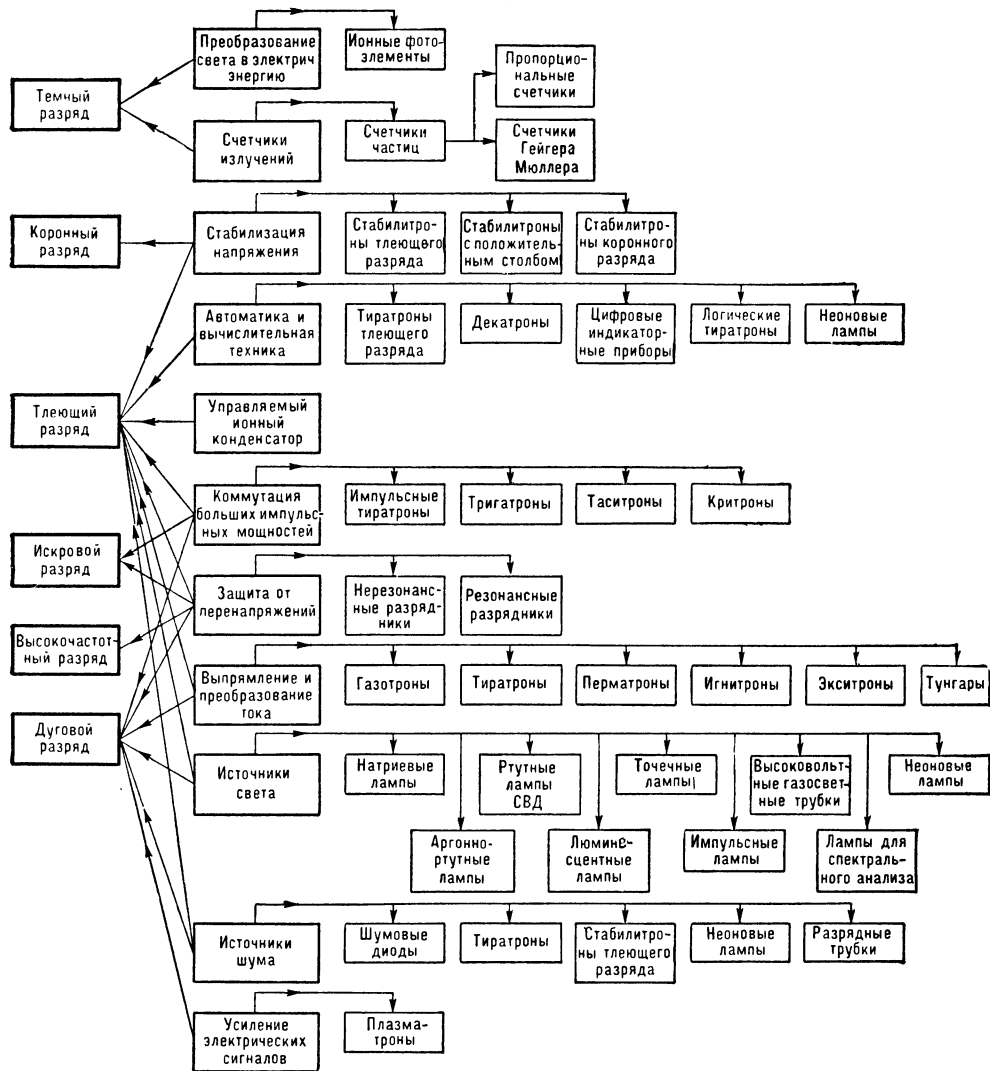
Лит.: Van der Ziel A., Ghenette E.R., Noise and impedance measurements in voltage regulator tubes, «Physica», 1957, dl 23, № 10.

Б. А. Бураков.

ИОННЫЙ ПРИБОР, газоразрядный прибор (ionic device; tube à gaz; Ionenröhre, Ionenventile), — прибор, основанный на применении электрического разряда в газе или парах металлов. И. п. следует отличать от таких газонаполн. приборов, как бареторы, криптоновые осветит. лампы и т. п., в к-рых используются свойства нейтрального газа, а не электр. газовый разряд. Применение И. п. чрезвычайно многообразно (рис.). Такие И. п., как разрядники, счетчики частиц, масс-спектрометры и т. п., благодаря специфич. свойствам газового разряда с успехом могут работать там, где неприменимы электронные приборы. С др. стороны, с помощью И. п. возможно получать большие мощности при высоком кпд, высокие рабочие напряжения при сравнительно небольших размерах приборов в вентильных, преобразоват. и импульсных устройствах, одновременное выполнение ф-ций коммутации и индикации в схемах автоматич. и вычислит. устройств, обеспечение одним прибором группы логич. операций и др. Для стабилитронов тлеющего разряда (СТР) характерна высокая температурная стабильность параметров, для стабилизаторов коронного разряда (СКР) — стабилизация значит. напряжений. Все указанное определяет во многих случаях целесообразность использования, а нередко и невозможность замены И. п. электронными лампами и ПП приборами. Долго-

вечность мощных высоковольтных И. п. ограничена (в ср. 300—500 ч) и определяется, как правило, поглощением газа и разрушением электродов. В менее мощных приборах тлеющего разряда (стабилитронах, тиратронах тлеющего разряда — ТТР) эти процессы происходят медленнее, поэтому фактич. долговечность

роне *дугового разряда* — за счет введения в него дополнит. управляющего электрода (сетки) стало возможным электрически управлять моментом зажигания разряда. Это позволяет с его помощью осуществлять не только выпрямление, но и преобразование тока. Сов. газотроны и выпрямит. тиратроны рассчитаны



Классификационная схема основных применений ионных приборов.

таких приборов достигает неск. тысяч часов. Недостатками И. п. являются относительно низкие предельные частоты (макс. частота обычно превосходит неск. десятков кГц), обусловленные процессами *деионизации* газа, а также инерционность и нестабильность зажигания, зависящая в ряде случаев от условий освещения (см. *Ионизация*).

Одним из наиболее значит. применений газового разряда являются ионные вентили для выпрямления и преобразования тока. В приборах этого подкласса используется *дуговой разряд* в инертных газах, водороде и парах ртути. Простейший вентильный И. п. — *газотрон* — представляет собой двухэлектродный неуправляемый прибор с накаливаемым катодом. В более сложном приборе — *тират-*

на запираемое прямое и обратное напряжения до 30 кВ и выпрямл. токи до 85 А. На напряжения 100—200 кВ изготавливаются секциониров. приборы с ртутным наполнением. Серьезным недостатком ртутных и в меньшей степени наполненных инертным газом И. п. является сильная зависимость их хар-к от окружающей темп-ры.

Для получения очень больших выпрямл. токов создаются приборы с ртутным катодом: *ртутные вентили* с дугой возбуждения (экситроны) и с синхронной системой зажигания (игнитроны). Ртутные вентили позволяют получать выпрямл. токи до неск. тысяч А при напряжениях 3—5 кВ. В низковольтных выпрямителях, предназначенных обычно для зарядки аккумуляторов, до сих пор находят

применение такой тип газотрона, как тунгар. Малая величина падения напряжения на нем достигается либо путем наполнения газом с возможно более низким потенциалом ионизации, либо повышением давления газа до *песк. мм рт. ст.*, либо, наконец, уменьшением работы выхода катода. Созданы приборы дугового разряда с управлением магнитным полем (напр., перматрон), а также приборы с дополнительными электродами, облегчающими зажигание (лифтоотрон) или гашение (стенотрон) дуги. Однако эти приборы не нашли распространения из-за ряда конструктивных и технологических трудностей.

Коммутация больших импульсных мощностей осуществляется спец. импульсными И. п. В тригатроне — трехэлектродном высоковольтном импульсном разряднике с холодным катодом, разряд происходит в атмосфере газа (смесь Ag с O или H) с повыш. давлением ($2-6\text{ ат}$). Совр. тригатроны рассчитаны на напряжения от 3 до 17 *кв* и ток в импульсе от 20 до 200 *а*. Из-за низкой стабильности зажигания тригатроны сейчас вытесняются импульсными водородными тиратронами, обладающими широким диапазоном анодных напряжений, высокой стабильностью зажигания, хорошими частотными свойствами и большим сроком службы, благодаря применению спец. генератора водорода для пополнения газа в приборе. Импульсная мощность современных импульсных водородных тиратронов — от единиц *квт* до сотен *Мвт*. Нек-рые искажения формы импульсов и недостаточно высокая в ряде случаев частота посылок в тиратронных схемах с искусств. линиями привели в последние годы к разработке импульсных тиратронов с сегочным гашением дуги — таситронов.

В СТР для целей стабилизации напряжения используется слабая зависимость норм. катодного падения потенциала тлеющего разряда от тока. Выпускаемые сейчас СТР позволяют стабилизировать напряжения от 75 до 150 *в* при токах стабилизации до 40 *ма*. Для стабилизации более высоких напряжений применяется последоват. включение неск. однотипных стабилитронов. Для этой же цели используются стабилитроны с положит. столбом и СКР. В стабилитронах с положит. столбом повышение стабилизируемого напряжения идет за счет падения напряжения в столбе тлеющего разряда. В этом случае падение напряжения на стабилитроне пропорционально его длине. В СКР применяются стабилизирующие свойства коронного разряда, имеющие место при определенном выборе газа и геометрии электродов. СКР изготавливаются на напряжения от 400 *в* до 30 *кв* с пределами стабилизации по току от неск. *мка* до 1,5 *ма*.

Широко применяется газовый разряд в газоразрядных источниках света, к-рые, в отличие от ламп накаливания, имеют высокий кпд и позволяют получать различные спектр. составы излучений, в т. ч. и спектр, близкий к рассеянному дневному свету. Это дает возможность использовать их как для общего освещения, так и для спец. целей.

Быстрое развитие кибернетики явилось толчком для широкого использования в вычислит. технике, автоматике и телемеханике И. п. тлеющего разряда. В простейших случаях это неоновые индикаторные лампы, в более сложных — многоэлектродные приборы — ТТР. Наиболее часто ТТР используются как

триггерные элементы и световые индикаторы в вычислит. и автоматич. устройствах. В отдельных типах тиратронов с холодным катодом имеет место не тлеющий, а дуговой разряд, позволяющий кратковременно получать очень большие токи (до 8000 *а*). За рубежом такие приборы получили название *критронов* (*krigatron*). В автоматике и вычислит. технике применяются более совершенные типы И. п. — *декатроны* и *тиратроны логические*, являющиеся многоэлектродными приборами тлеющего разряда и выполняющие ф-ции целой группы тиратронов в сложных логич. операциях. Декатроны, предназнач., кроме индикации, для переключения электр. сигналов в многоканальных электр. цепях, наз. коммутаторными. Последующее развитие этой группы приборов привело к появлению цифровых индикаторных ламп, в к-рых электроды выполнены в форме цифр, что дает гораздо большее удобство считывания результатов.

Для защиты от перенапряжений телеграфных и телефонных линий, а также радиолокац. приемников широко применяются *ионные разрядники*. При перенапряжении на разряднике в нем возникает разряд, вызывающий шунтирование требуемой цепи. Существуют два типа разрядников: нерезонансные и резонансные (разрядники СВЧ). Первые используются на относительно низких частотах и делятся в свою очередь на проходные и защитные. В СССР этот тип разрядников изготавливается на напряжения до 30 *кв* и токи до 500 *а*. Резонансные разрядники предназначаются для защиты от перенапряжений входных цепей радиолокац. приемников, работающих на СВЧ.

Колебания плазмы газового разряда в широком спектре частот вплоть до СВЧ нашли применение в шумовых И. п. Генерация шума может осуществляться как обычными тиратронами, СТР, неоновыми лампами и другими И. п., так и спец. диодами, обладающими повышенным интегральным эффективным напряжением шумов и стабильностью спектра.

Для диапазона СВЧ разрабатываются новые виды И. п. — т. н. плазменные усилители и генераторы, причем первые позволяют получать гораздо большее усиление, чем дают лампы бегущей волны.

Газовый разряд применяется в таких своеобразных И. п., как плазматрон и управляемый ионный конденсатор. Плазматрон является газоразрядной усилит. лампой, в к-рой наличие ионного разряда позволило существенно повысить крутизну хар-ки. Модуляция анодного тока в плазматроне осуществляется с помощью управляющего электрода спец. конструкции. В ионном конденсаторе используется свойство норм. тлеющего разряда изменять свое реактивное сопротивление при изменении разрядного тока.

Для регистрации быстрых частиц широко применяются газоразрядные счетчики частиц (см. *Радиоактивных изотопов применение*). В зависимости от назначения и вида разряда они подразделяются на пропорциональные газоразрядные счетчики частиц и счетчики Гейгера — Мюллера. Ионные (газонаполненные) фотозлементы с внешним фотоэф-ктом, образующимся вследствие наличия в них стационарного несамостоят. темного разряда, осуществляют более эффективное преобразование световой энергии в электр., чем электрон-

ные (вакуумные) фотоэлементы. За счет разряда в них обеспечивается т. н. газовое усиление тока, к-рое в наиболее благоприятных случаях вызывает увеличение тока фотоэлемента в 5—8 раз.

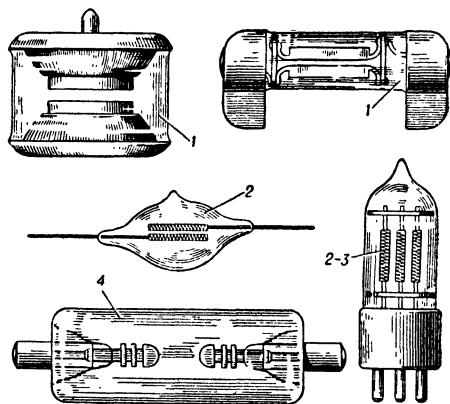
Специфич. применения нашли явления газового разряда в таких областях техники, как ядерная физика, физико-химич. анализ, дефектоскопия металлов, вакуумная технология и т. п. К числу осн. И. п. совр. ядерной физики относятся ускорители заряж. частиц, используемые гл. обр. для изучения внутриатомных явлений, а также для выявления дефектов в металлах, для стерилизации пищевых продуктов и глубоинной терапии злокачеств. опухолей. В зависимости от траектории заряженных частиц ускорители подразделяются на линейные и циклические (циклотроны, синхрофазотроны и т. д.). Для анализа состава сталей, для контрольных измерений в газовой и нефтяной пром-сти, для различных исследований в физике, химии, биологии используются специальные И. п. — масс-спектрометры. В вакуумной технологии для получения и контроля высокого вакуума также применяются приборы, основанные на явлении газового разряда: ионизац. насосы для получения сверхвысокого вакуума (менее 10^{-8} мм рт. ст.), ионизац. манометры, рассчитанные на измерение давлений от 10^{-3} до 10^{-8} мм рт. ст., и гелиевые течеискатели. Наконец, тлеющий газовый разряд используется в вакуумной пром-сти для очистки поверхностей электродов электровacuумных приборов путем ионной бомбардировки.

Лит.: Капцов Н. А., Электрические явления в газах и вакууме, 2 изд., М.—Л., 1950; Энгель А. и Штенбек М., Физика и техника электрического разряда в газах, пер. с нем., т. 2, М.—Л., 1936; Пеннг Ф., Электрические разряды в газах, пер. с англ., М., 1960; Мик Д. Ж., Крэгс Д. Ж., Электрический пробой в газах, пер. с англ., М., 1960; Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 2, М.—Л., 1955; Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Маршак И. С., Импульсные лампы, «Р», 1958, № 1; Герлих П., Фотоэлементы, М.—Л., 1948; Тетерич Н. М., Генераторы шума, М.—Л., 1961; Них А., Tacitron nová užitečná elektronika, «Slaboproudý obzor», 1957, № 12; Гапонов В. И., Электроника, ч. 2, М., 1960; Брюхе и Регнагель, Электронные приборы, пер. с нем., М.—Л., 1949. О. П. Григорьев.

ИОННЫЙ РАЗРЯДНИК, нерезонансный [ionic discharger; éclateur (déchargeur) ionique; Ionenableiter], — двухэлектродный или трехэлектродный газоразрядный прибор для пропускания больших токов в момент, когда напряжение в цепи начинает превышать определенное значение. И. р. применяются для защиты от случайных перенапряжений электро- или радиотехнич. устройств: напр., источников питания, модуляторов радиолокац. станций, телефонных или телеграфных линий (защитные разрядники), для выключений передатчика радиолокац. станций во время работы приемника (проходные разрядники), для работы в качестве импульсных источников света, в схемах релаксац. генераторов и т. д.

В зависимости от назначения и условий работы в И. р. используют свойства *дугового разряда*, *искрового разряда* и, реже, *тлеющего разряда*. Наиболее широко применяется дуговой разряд, характеризующийся низким падением напряжения в разрядном промежутке и большими токами. В низковольтных разрядниках (~до 500 в) при приложении напряжения выше напряжения пробоя или равного

ему возникает сначала тлеющий разряд, к-рый быстро переходит при дальнейшем повышении напряжения в дуговой. В высоковольтных разрядниках сначала возникает искровой разряд, к-рый также переходит в дуговой при условии достаточно мощного источника тока или большой разряжающейся емкости.



Конструктивное выполнение ионных разрядников: 1 — с плоскими электродами; 2 — с электродами в виде биспирали; 3 — трехэлектродный разрядник; 4 — с электродами сложной конфигурации (наконечники — литые чашечки).

Осн. параметры И. р.: напряжение пробоя (90—20 000 в); допустимый ток разряда (от сотых долей до 1000 а) или энергия разряда; сопротивление изоляции; допустимое время разряда или длительность импульса; допустимое число пробоев (до 10^7) или время работы. Параметры, определяющие общую работоспособность прибора: время запаздывания зажигания и время установления электрич. прочности прибора. Время запаздывания зажигания зависит от освещенности прибора, скорости нарастания напряжения и величины напряжения на его электродах. Для уменьшения времени запаздывания зажигания и повышения его стабильности в И. р. иногда вводят радиоактивные изотопы или осуществляется непрерывная подсветка прибора. Время восстановления электрич. прочности разрядника, т. е. время восстановления его свойств (см. *Деионизация*), зависит от тока, конфигурации электродов, рода и давления газа и определяет частоту его срабатывания. Гл. требование, предъявляемое к большинству И. р., — стабильность напряжения пробоя, как при однократном повторном включении, так и после длительного пребывания в нерабочем состоянии.

На рис. изображены нек-рые осн. конструкции И. р. Разрядники — обычно двухэлектродные, реже трехэлектродные приборы, выполняются в стеклянном или в металлокерамич. оформлении. В большинстве случаев в И. р. используются активиров. электроды: оксидированный или торированный вольфрам, никель, покрытый калием или барием, сплавы вольфрама, никеля и окиси бария (ВНБ-3) или молибдена и вольфрама. Применяются также чистые металлы: вольфрам, нержавеющая сталь, молибден, алюминий. В качестве наполнения в И. р. служат чистые инертные газы или их смеси, водород, воздух, кис-

лород в смеси с водяными парами или углекислым газом. Давление газа в И. р. составляет от неск. десятков до неск. тыс. мм рт. ст.

Лит.: Капцов Н. А., Электрические явления в газах и вакууме, 2 изд., М.—Л., 1950; Вла- сов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960. Б. А. Бураков.

ИСКАЖЕНИЕ ИМПУЛЬСА (pulse distortion; distortion d'impulsion; Impulsverzerrung) — изменение формы импульсного сигнала при прохождении его через электр. цепь. И. и. могут приводить к ложным срабатываниям в схемах автоматики, к неправильному определению координат цели в радиолокации, к искажениям телевизионного изображения и т. п. И. и. могут быть 2 видов: линейные и нелинейные. Несмотря на одинаковое проявление (искажение формы импульсного сигнала), происхождение и способы уменьшения И. и. совершенно различны для каждого вида искажений. Линейные искажения обусловлены наличием в электр. цепях реактивных элементов L, C , зависят от скорости изменения сигнала и не связаны непосредственно с его величиной. Нелинейные искажения обусловлены наличием в электр. цепях элементов с нелинейными хар-ками. Их источниками являются электровакуумные и ПП приборы, а причиной — неправильные режимы работы.

Линейные И. и. подразделяются на частотные и фазовые. Если бы каждая из бесконечного числа гармонич. составляющих, образующих, напр., прямоугольный импульс, передавалась электр. цепью одинаково, т. е. амплитудные и фазовые соотношения между гармонич. составляющими не нарушались (что имеет место в электр. цепях, коэфф. передачи к-рых не зависит от частоты, а фазовый сдвиг либо отсутствует, либо изменяется пропорционально частоте), то не было бы и искажений формы передаваемого сигнала. Частотный спектр выходного сигнала в этом случае был бы подобен спектру входного сигнала. Реальные устройства нарушают соотношения между гармонич. составляющими, что и приводит к линейным искажениям формы импульсных сигналов (см. *Искажения амплитудные частотные и Искажения фазовые*). Так, для последовательности прямоугольных импульсов с периодом повторения T и длительностью каждого импульса $\tau = \frac{1}{8} T$ ограничение ширины полосы пропускания схемы, предназначенной для передачи этой последовательности, приведет к искажению формы передаваемого сигнала (см. *Спектр частот*). Если через полосу пропускания пройдут только первые четыре гармоники спектра, то результирующая кривая будет иметь вид, изображенный на рис. 1, а. Графики (рис. 1) приведены для трех значений полосы пропускания или, что то же самое, граничной частоты f_b , т. е. частоты, выше к-рой коэфф. передачи цепи равен нулю. На рис. 1, б представлена результирующая кривая при суммировании первых семи гармонич. составляющих. При суммировании пятнадцати первых гармоник (рис. 1, в) результирующая кривая в значительно большей степени приближается к форме передаваемой последовательности импульсов (в спектре данной последовательности импульсов амплитуды восьмой и шестнадцатой гармоник равны нулю).

Существующие наряду с частотными фазовые искажения также могут приводить к

существенным искажениям формы передаваемого сигнала. На рис. 2, а изображен прямоугольный импульс длительностью в 1 мксек, после прохождения через электр. цепь с граничной частотой, равной 3 Мгц, при отсутствии фазовых искажений. Для иллюстрации влияния фазовых искажений на рис. 2, б

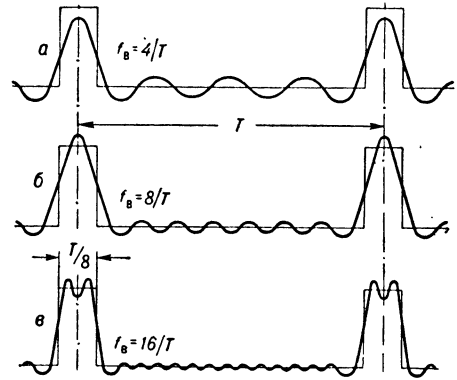


Рис. 1.

приведен тот же импульс, пропущенный через электр. цепь, обладающую той же частотной хар-кой, но вносящей фазовые искажения. В данном примере рассмотрен теоретич. случай, когда фазовый сдвиг гармонич. составляющих не изменяется с частотой, но и не равен нулю (фазочастотные хар-ки приведены в верхней части рис. 2). Для суждения

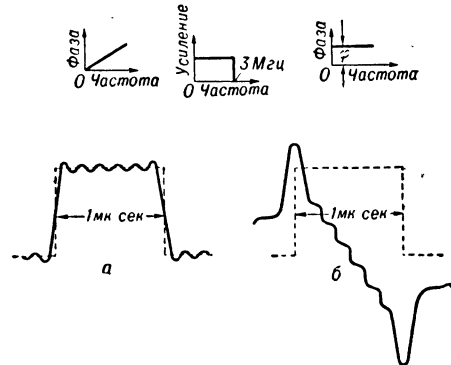


Рис. 2.

об искажениях формы передаваемого электр. цепью импульсного сигнала необходимо знать как частотную, так и фазовую хар-ки электр. цепи. Линейные искажения приводят к уменьшению крутизны фронтов «крутых» участков, запаздыванию выходного сигнала, а также к искажению «пологих» участков — к спад вершины импульса.

Искажение формы импульсных сигналов может происходить также благодаря нелинейности амплитудной хар-ки усилит. тракта (см. *Нелинейные искажения*). При правильно выбранном режиме лампового каскада (кривые а на рис. 3) происходит усиление импульсов без искажения их формы. При работе в области чрезмерно малых или больших напряжений смещения (кривые б и в на рис. 3) наблюдаются искажения формы сигнала. Иногда нелинейность амплитудной хар-ки

используют преднамеренно для ограничения амплитуды импульсных сигналов. В импульсной технике, в т. ч. усилительной, широко распространены след. понятия и определения величин, характеризующих И. и.: время нарастания (установления), время спада, время запаздывания и величина спада (рис. 4, а). Временем нарастания называют интервал времени t_n , в течение к-рого напряжение на выходе нарастает от 10 до 90% от установившегося значения при подаче на вход усилителя

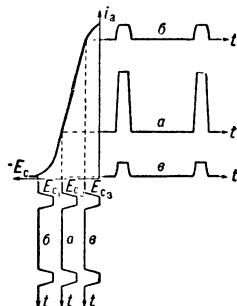


Рис. 3.

импульсного напряжения прямоугольной формы. Время нарастания напряжения на выходе устройства тем больше, чем больше число каскадов усиления и чем больше время нарастания в отдельных каскадах. Временем спада напряжения t_c называют интервал времени, в течение к-рого напряжение на выходе усилителя спадает от 90 до 10% от максимального значения при снятии входного напряжения. Время спада также определяется числом каскадов усиления и временем спада напряжения в отдельных каскадах. Обычно (в усилителях) величины времени нарастания и спада напряжений равны друг другу. Поэтому очень часто рассматривается только процесс нарастания напряжения. Время нарастания для однокаскадного усилителя может быть оценено величиной $t_n = \frac{0,35}{f_B}$, где f_B — граничная частота. Уменьшение времени нарастания в каскадах импульсного усилителя может быть достигнуто уменьшением сопротивления анодной нагрузки и шунтирующей его емкости, а также применением схем коррекции (см. Амплитудно-частотная коррекция). Величина спада δ определяется отношением его глубины ΔU_c к макс. значению напряжения сигнала $\delta = \frac{\Delta U_c}{U_c} 100\%$ и измеряется в %.

Величина спада растет с увеличением длительности импульсного сигнала. Обычно считается допустимым спад выходного напряжения $\delta = 10\%$. Относит. величина спада импульса с длительностью τ может быть определена как $\delta = f_n \cdot 2\pi\tau$, где f_n — граничная частота, ниже к-рой коэфф. передачи цепи равен нулю. Спад напряжения вызывает обратный выброс напряжения. Спад и выброс — явления в большинстве случаев нежелательные и могут быть уменьшены соответствующим построением схемы усилителя или с помощью схем коррекции. Временем запаздывания называют интервал времени t_z (рис. 4) между передними фронтами входного и выходного импульсов, измеряемый на уровне 0,5 от макс. значения напряжений $U_{\text{вых}}$ и $U_{\text{вх}}$. Время запаздывания неразрывно связано с временем нарастания.

Все перечисленные виды линейных И. и. взаимосвязаны между собой и определяются в конечном счете шириной полосы пропускания и формой амплитудной частотной (а следовательно, и фазовой) хар-ки цепи. Чем круче фронты передаваемого импульса, чем короче

сам импульс, тем большая требуется ширина полосы пропускания для неискаженной его передачи. Ограничение полосы пропускания со стороны высоких частот ведет к увеличению времени нарастания (завалу переднего

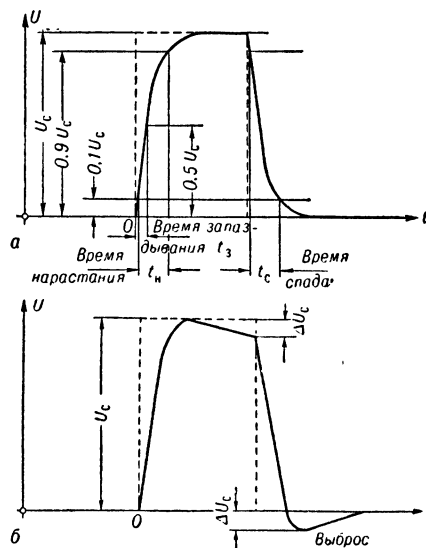


Рис. 4.

фронта импульса), времени спада и времени запаздывания. Ограничение полосы пропускания со стороны низких частот приводит к увеличению спада (завалу плоской части импульса) и появлению выбросов.

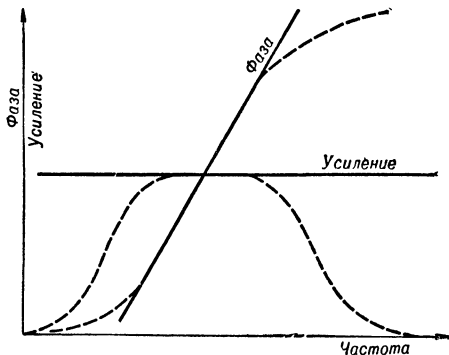
Лит.: Эрглис К. Э. и Степаненко И. П., Электронные усилители, М., 1961; Степанов Д. В., Импульсные усилители, М.—Л., 1954; Крейцер В. Л., Видеоусилители, М., 1952; Лурье О. Б., Усилители видеочастоты, М., 1955. Ю. Н. Смирнов.

ИСКАЖЕНИЯ АМПЛИТУДНЫЕ ЧАСТОТНЫЕ (frequency distortions; distorsions de fréquence; Frequenzverzerrung) — искажения формы сигнала, вызванные неравномерным воспроизведением амплитуд его отдельных гармонических составляющих при его прохождении через динамическую систему (напр., электрич. цепь). И. а. ч. часто называют линейными. Они возникают из-за наличия в цепях сосредоточенных и распределенных реактивностей, общее сопротивление к-рых зависит от частоты, благодаря чему коэфф. передачи таких цепей изменяется с частотой как по модулю, так и по фазе. Для правильного воспроизведения формы сложного колебания необходимо, чтобы амплитуды отдельных гармонич. составляющих его спектра передавались электрич. цепью одинаково, т. е. чтобы сохранялись неизменными соотношения между амплитудами всех составляющих. Частотные свойства цепи характеризуются формой ее частотной хар-ки — зависимостью коэфф. передачи от частоты. При нарушении соотношений между амплитудами отдельных составляющих передаваемого спектра частот, что имеет место в цепях, обладающих неравномерной частотной хар-кой, появляются И. а. ч.

В общем случае частотный спектр выходного сигнала определяется соотношением: $F_{\text{вых}}(\omega) = F_{\text{вх}}(\omega) \cdot k(\omega)$; здесь $F_{\text{вых}}(\omega)$ — спектр выходного сигнала, $F_{\text{вх}}(\omega)$ — спектр входного сигнала, $k(\omega)$ — частотная хар-ка электрич.

цепи. Частотных искажений нет, если $k(\omega) = \text{const}$, для $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$, где ω_1, ω_2 — граничные частоты спектра передаваемого сигнала. И. а. ч. имеют место, когда $k(\omega) \neq \text{const}$.

Но форма сигнала определяется не только И. а. ч. Искажения формы сигнала возникают по двум причинам: во-первых, из-за частотных искажений и, во-вторых, если отдельные гармонич. составляющие спектра сдвигаются электрич. цепью по фазе непропорционально частоте, т. е. из-за *искажений фазовых*. И. а. ч. неотделимы от искажений фазовых, т. к. причина их возникновения общая — наличие реактивных элементов в схеме. Поэтому невозможно изменить частотную хар-ку, не изменяя фазовой. При этом при улучшении частотных свойств устройства улучшаются и фазовые. Чтобы не происходило линейных искажений формы сигнала, коэфф. передачи цепи не должен зависеть от частоты, а фазовый сдвиг должен либо отсутствовать, либо быть пропорциональным частоте; тогда спектр передаваемого сигнала на выходе цепи будет подобен спектру входного сигнала. В подавляющем большинстве случаев необходимо обеспечить передачу сигналов без заметных И. а. ч. При проектировании различного рода электрич. цепей стремятся к тому, чтобы в заданных пределах приблизить реальные хар-ки к идеальным. Примерный вид частотных и фазовых хар-к идеального (сплошные линии) и реального (штриховые линии) резонансных усилителей приведен на рис. Наличие И. а. ч. приводит в радиовещании к искажению звука, в телевидении — к ухудшению четкости изображения, в импульсной радиолокации — к понижению точности в определении координат



цели и т. п. (см. *Искажение импульса*). Существуют способы уменьшения И. а. ч. путем коррекции частотных хар-к электрич. цепей (см. *Амплитудно-частотная коррекция*). Степень частотных искажений, определяемая на практике из частотной хар-ки, обычно оценивается неравномерностью частотной хар-ки, представляющей собой отношение наибольшего выходного напряжения к наименьшему в определенном диапазоне частот. Чаще всего задается неравномерность в 3 дБ. В радиовещании частотная неравномерность оговаривается в полосе до 10—12 кГц, в телевидении и импульсной радиолокации — до неск. МГц.

Ю. Н. Смирнов.

ИСКАЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫЕ (non-linear distortions; distorsions nonlinéaires; nicht-lineare Verzerrung, Amplitudenverzerrung, Klirrverzerrung) — см. *Нелинейные искажения*.

ИСКАЖЕНИЯ ПЕРЕКРЕСТНЫЕ (cross distortions; diaphonie, perturbation de diaphonie; gegenseitige Modulationsverzerrung) — см. *Помехи перекрестные*.

ИСКАЖЕНИЯ УСТРАНЕНИЕ (distortion elimination; correction de distorsion; Entzerrung) — устранение амплитудных, частотных, фазовых и др. искажений, возникающих при прохождении сигналов через объект или САР. Амплитудные искажения устраняются рациональным выбором режима работы и ограничением входных ф-ций по амплитуде. Частотные искажения — введением в схему корректир. цепей. Фазовые искажения обычно уменьшаются при устранении частотных искажений. В нек-рых случаях для устранения фазовых искажений в схему вводится дополнит. корректировка цепи. Искажения также устраняются введением отрицат. обратных связей.

В. Н. Шадрин.

ИСКАЖЕНИЯ ФАЗОВЫЕ (phase distortions; distortion de phase; Phasenverzerrung, Phasenverwerfung, Laufzeitverzerrung) — искажения формы сигнала, вызванные неодинаковым сдвигом во времени отдельных гармонич. составляющих сигнала при его прохождении через динамич. систему (напр., электрич. цепь). И. ф. относятся к линейным искажениям. Причина возникновения И. ф. — наличие в цепях реактивных элементов (сосредоточ. или распредел.) (см. *Искажения амплитудные частотные*). Не всякий фазовый сдвиг, вносимый цепью, создает искажения формы сигнала: если сдвиг фазы пропорционален частоте, то такая цепь не изменит формы передаваемого сигнала, а лишь сдвинет его по времени, т. к. относительное расположение гармоник во времени не нарушится. Для этого должно соблюдаться условие: $\varphi_n = n\varphi_1$ (где φ_n — сдвиг по фазе n -й гармоники; φ_1 — фазовый сдвиг первой гармоники; n — номер гармоники). Это условие выполняется, когда фазо-частотная хар-ка линейна, т. е. если $\varphi = a \cdot \omega$ (здесь a — коэфф. пропорциональности, ω — частота); отсюда

$$\varphi_1 = a \cdot \omega_1; \varphi_n = a \cdot \omega_n = a n \omega_1 = n \varphi_1.$$

Т. о., чтобы в заданном диапазоне частот не было фазовых искажений, не обязательно равенство фазового сдвига нулю, а необходима лишь линейная зависимость его от частоты. И. ф. в электрич. цепях не менее, а иногда и более существенны, чем искажения частотные. В радиовещании И. ф. практически не влияют на восприятие звука, т. к. ухо человека не реагирует на фазовые искажения. На экране (телевизора, осциллоскопа и др.) И. ф. могут наблюдаться в виде искажений формы сигналов. В автоматич. устройствах И. ф. могут приводить к ложным срабатываниям (см. *Искажение импульса*).

Ю. Н. Смирнов.

ИСКАТЕЛЬ ШАГОВЫЙ (step by step selector; chercheur pas-a-pas; Schrittschaltwähler, Schrittwähler) — электромагнитный многопозиц. и многорядный переключатель. По характеру движения контактных органов И. ш. делится на однокоординатные, имеющие один приводной механизм (поворотные или вращательные), и двухкоординатные с двумя приводными механизмами — один для подъема ротора, другой — для поворота его до нужного контакта (подъемовращательные). И. ш. состоят из 3 осн. частей: ротора, являющегося набором контактных щеток или кон-

тактных кулачков и контактных дисков; статора, составленного из контактных полей в виде набора секторов, несущих неподвижные контакты, и электромагнитного приводного механизма. Электромагнит вращения в И. ш. приводит в движение ротор через храповое колесо, насаженное на ось ротора, электромагнит подъема — через храповую рейку. В зависимости от конструкции перемещение ротора возможно только в прямом или в обратном и обратном направлениях. Перемещение ротора определяется числом импульсов, поданных в электромагнит.

Однокоординатные (вращательные) И. ш. (типа ШИ, рис. 1) выпускаются с различным числом рядов (контактных полей) и различным числом контактов в ряду, а также с приводом прямого или обратного действия. В И. ш. с приводом прямого действия (ШИ-11, ШИ-17) рабочее движение ротора происходит при притяжении якоря, в И. ш. с приводом обратного действия (ШИ-25) — при отпуске якоря под действием возвратных пружин. Искатель ШИ-50 имеет 25 контактов в ряду, но два соседних ряда последовательно

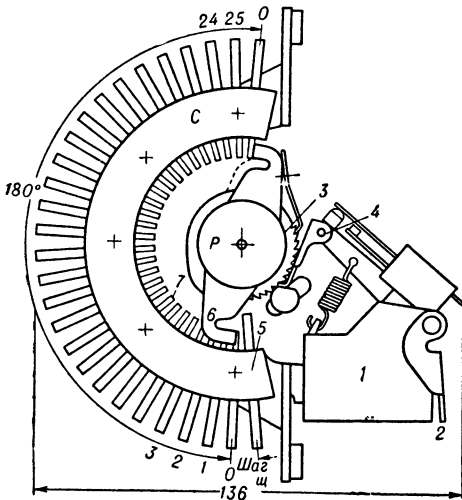


Рис. 1. Искатель типа ШИ (эскиз): 1 — катушка электромагнита; 2 — якорь; 3 — храповое колесо; 4 — собачка храпового колеса; 5 — контактная группа; 6 — щетка; 7 — контактная группа.

обходятся однолучевыми щетками, образуя т. о. 50 контактов. Возврат ротора И. ш. указанных выше типов в исходное положение возможен от импульсов, поданных в электромагнит извне или через специально для этой цели предусмотренный контакт на якоре. Существуют типы И. ш., у к-рых возврат ротора производится пружиной, заводимой в процессе поворота ротора при работе И. ш. Для воз-

врата ротора надо освободить собачку храпового колеса, что осуществляется подачей тока в спец. электромагнит, якорь к-рого связан с собачкой.

Двухкоординатные И. ш. имеют контактное поле, состоящее из неск. (обычно трех) секций, в каждой из к-рых, как правило, расположено 10 горизонт. рядов по 10 контактов в каждом. По числу рядов и контактов в рядах подъемно-вращат. искатели наз. декадно-шаговыми искателями (ДШИ, рис. 2). Привод ДШИ — обычно прямого действия. При его работе сначала действует механизм подъема, к-рый подни-

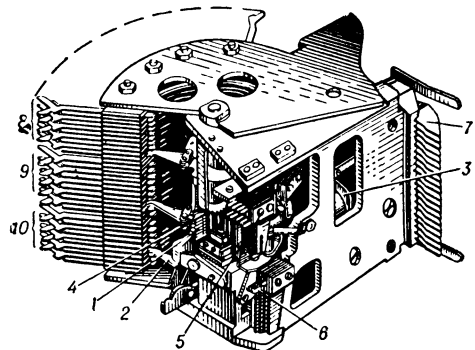


Рис. 2. Искатель типа ДШИ: 1 — храповик; 2 — рабочие щетки; 3 — катушка электромагнита; 4 — храповая рейка; 5 — контактная группа вращения; 6 — самоперекрывающийся контакт; 7 — контактная гребенка; 8—10 — секции контактов поля.

мает щетку до требуемого ряда, а затем механизм вращения поворачивает ее до нужного контакта в ряду. Возвращение ротора в исходное положение происходит в три этапа: 1) под действием электромагнита вращения щетки выходят за пределы контактного ряда, 2) под действием силы тяжести ротор опускается вниз и 3) под действием возвратной пружины ротор устанавливается в исходное положение. И. ш. типа ДШИ имеет шкалы, указывающие положение ротора.

Существуют типы двухкоординатных И. ш., у к-рых сначала осуществляется горизонт. поворот, а затем подъем до нужного ряда. Ряды неподвижных контактов в этом случае расположены в вертик. плоскости.

В табл. приведены осн. данные И. ш., выпускаемых пром-стью. Они рассчитаны на импульсную работу с частотой 10 срабатываний в сек. при импульсном коэфф $t_{имп}/t_{назв} = 0,15-0,3$. Время перемещения щеток с одного контакта на др. 0,01—0,05 сек. Нек-рые щетки устроены так, что при перемещении перекрывают контакты. Обычно контакты И. ш. выполняются из нейзильбера, а щетки — из нейзильбера или фос-

И с к а т е л и ш а г о в ы е

Тип	Число рабочих контактов в ряду	Число рядов	Число щеток		Число лучей в щетке	Напряжение (в)	Срок службы (число оборотов ротора $\times 10^4$)	Вес (г)
			с перекрытием	без перекрытия				
ШИ-11	11	4	—	4	3	24; 48; 60	15	260
ШИ-17	17	4	—	4	2	48; 60	22,5	290
ШИ-25/4	25	4	2	2	2	24; 48	20—30	710
ШИ-25/8	25	8	4	4	2	24; 48	20—30	840
ШИ-50/4	25	4	4	4	1	24; 48	20—30	840
ДШИ	10	30	—	3	—	60	50	1220

фористой бронзы. И. ш. типов ШИ-25/4 и ШИ-50/8 выпускаются также с палладированными контактами. Предельный ток, к-рый могут разрывать щетки при омич. нагрузке, равен 0,2 а; для искателей с палладированными контактами — 0,1 а. Норм. работа И. ш. гарантируется при темп-ре окружающей среды от $+15^\circ$ до $+35^\circ$ при относит. влажности $60 \pm 15\%$. В тех случаях, когда требуется повыш. надежность, рекомендуется использовать искатели с палладированными контактами.

И. Е. Декабрич.

ИСКРОВОЙ РАЗРЯД (spark discharge; *décharge gazeuse disruptive*; *Funkentladung*, *Funkenentladung*) — прерывистая форма самостоят. разряда в газах, возникающая при большой разнице потенциалов между электродами. И. р. при определ. условиях сопровождается переходом из одной формы разряда в др., более устойчивую при данных условиях (напр., переход коронного разряда в дуговой).

При возникновении И. р. потенциал зажигания разряда высок, однако после пробоя разрядного промежутка напряжение на промежутке падает. В канале искры развиваются высокая темп-ра (до $10\,000^\circ$), приводящая к термич. ионизации, и большие токи, достигающие до тысяч а. При достаточно мощном источнике тока или при большой емкости разряжающегося конденсатора И. р. переходит в дуговой. При мощности источника тока, недостаточной для возникновения и поддержания стационарного дугового разряда, И. р. является конечной стадией развития при переходе из несамостоятельного в самостоят. разряд. Особый вид И. р. представляет собой скользящий разряд, проходящий вдоль поверхности соприкосновения твердого диэлектрика и газа. Сравнительно быстрое разви-

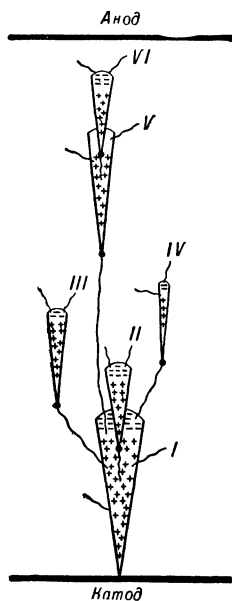


Рис. 1. Схема распространения отрицательного стримера: I — осн. лавина; II—VI — побочные лавины, образованные фотоэлектронами. Волнистыми линиями дан путь фотонов от места их излучения до места, где происходит фотоионизация атомов газа.

тие искрового пробоя (напр., при расстоянии между электродами в 1 см и норм. атм. давлении менее $1 \cdot 10^{-7}$ сек.) и наличие ряда типичных особенностей (прохождение тока через газ в виде ярко светящихся разветвленных зигзагообразных линий, несовпадение направления осн. искрового канала и отдельных его отрезков с направлением силовых линий электрич. поля в промежутке, обрыв искрового канала где-либо внутри искрового промежутка) не позволяют объяснить процесс развития искры теорией Таунсенда — Роговского (см. *Темный разряд*). Явления в И. р. хорошо объясняются теорией стримеров. Согласно этой теории, ионизов. канал развивается в разрядном промежутке благодаря фотоионизации газа

в объеме коротковолновым излучением головки осн. лавины. При этом происходит образование побочных лавин, к-рые сливаются затем с ней в один мощный стример. Распространение стримера может происходить как от катода к аноду, так и от анода к катоду. В первом случае он наз. отрицательным, а во втором — положитель. стримером.

Образование стримера может происходить при выполнении двух условий: 1) пробой наступает, когда поперечное электрич. поле возникшей лавины становится равным по порядку величины продольному полю разряда между электродами. При этом фотоэлектроны вместе с образующимися ими новыми побочными лавинами будут вливаться в канал осн. лавины. Напр., в воздухе при наступлении указанного условия пробивное напряжение составляет 32,2 кВ при давлении 760 мм рт. ст. и расстоянии между электродами в 1 см; 2) вместе со сливанием побочной и осн. лавин должна увеличиваться напряженность поля и образовываться такое количество фотонов, к-рое было бы достаточно для поддержания и распространения стримера.

Схемы, изображающие развитие искровых каналов, даны на рис. 1 и 2.

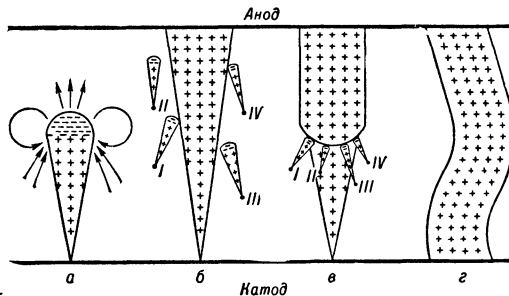


Рис. 2. Схема образования положит. стримера: а — начало развития осн. лавины (стрелками даны силовые линии результирующего электрич. поля лавины); б — осн. лавина достигла анода; I—IV — побочные лавины, образованные под действием фотонов; в — побочные лавины сливаются с основной, образуя стример; г — образование стримера завершено.

Условия перехода лавины в стример детально рассмотрены как для воздуха, так и для ряда активных газов. В инертных газах механизм разряда, по мнению ряда авторов [4, 5], описывается теорией Таунсенда — Роговского.

И. р. нашел применение в обширном классе приборов: *ионных разрядниках* с газовым или воздушным наполнением, используемых для защиты от перенапряжений различных электротехнич. или радиотехнич. устройств, а также для ряда спец. целей. Примером И. р. в природе служит молния. На явлениях эрозии электродов в И. р. основана *электроэрозионная обработка*.

Лит.: 1) Леб Л., Основные процессы электрических разрядов в газах, пер. с англ., М.—Л., 1950; 2) Капцов Н. А., Электрические явления в газах и вакууме, 2 изд., М.—Л., 1950; 3) Энгель А., Ионизованные газы, пер. с англ., М., 1959; 4) Пеннг Ф. М., Электрические разряды в газах, пер. с англ., М., 1960; 5) Мик Д. ж. и Крэгс Д. ж., Электрический пробой в газах, пер. с англ., М., 1960; 6) Абрамсон И. С. [и др.], О канале искрового разряда, «ЖЭТФ», 1947, т. 17, вып. 10.

Б. А. Бураков.

ИСКРОГАШЕНИЕ (arc suppression; étouffement d'étincelles; Funkenlöschung) — ниже-

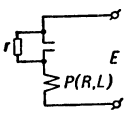
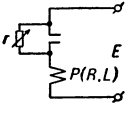
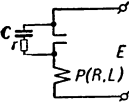
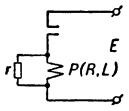
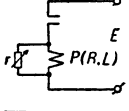
ние перенапряжений, возникающих на электрич. контактах и вызывающих искровые разряды, с целью увеличения срока службы контактов, коммутирующих цепи с индуктивными нагрузками. Величина перенапряжений на контактах определяется суммой напряжения источника питания и эдс, возникающей на индуктивности во время коммутации: $U_{\text{пер}} = L \frac{di}{dt}$.

И. осуществляется с помощью вспомогательных контуров, подключенных параллель-

че следует брать несколько меньшим. В табл. приведены наиболее часто используемые контуры И.

Сопротивление r в 3-й схеме необходимо для устранения чрезмерно больших токов разряда конденсатора при включении контактов. Схемы, содержащие сопротивления, рекомендуются использовать при токах в цепи, не превышающих миним. тока образования дуги, а схемы с емкостью — при больших токах.

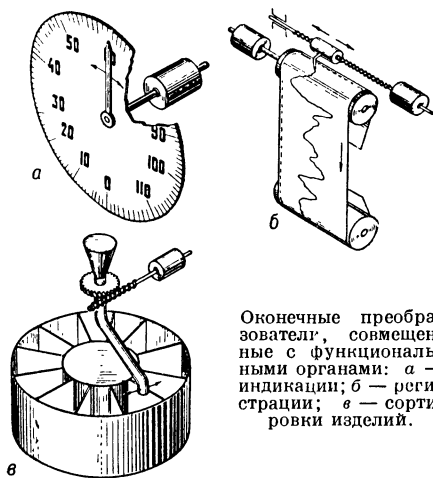
И. Е. Декабрун.

Схема искрогашения	Параметры, характеризующие схему искрогашения	Расчетные формулы параметров	Достоинства	Недостатки
	r	$\frac{U_{\text{зак}}}{E} R > r > \frac{E}{I_{\text{доп}}} - R$	Простота подбора, малые габариты	Непрерывный расход энергии
	$I_{\text{ном}}$ $U_{\text{ном}}$ α	$\frac{E}{R} > I_{\text{ном}} > I_{\text{доп}}$ $U_{\text{зак}} > U_{\text{ном}} > E$ $\alpha_{\text{макс}}$	Простота подбора, небольшой расход дополнительной энергии	Значит. габариты
	r c	$r = a \frac{U_{\text{зак}}}{E} R$ $a < 1$ $c = b \frac{L}{R^2}$ b зависит от E и скорости расхождения контактов	Энергия дополнительно не расходуется	Трудность подбора: небольшие неточности приводят к износу при включении
	r	$\left(\frac{U_{\text{зак}}}{E} - 1 \right) R > r > \frac{E}{I_0 - \frac{E}{R}}$	Простота подбора, малые габариты	Дополнит. расход энергии, замедление, увеличение тока через контакты
	$I_{\text{ном}}$ $U_{\text{ном}}$ α	$\frac{E}{R} > I_{\text{ном}} > I_{\text{доп}}$ $U_{\text{зак}} - E > U_{\text{ном}} > E$ $\alpha_{\text{макс}}$	Простота подбора, небольшой дополнительный расход энергии, небольшое замедление	Значит. габариты

по контакту или нагрузке. Контуры И. создают условия, не допускающие резких изменений тока в цепи с индуктивностью. Эффективность И. тем больше, чем больше может быть рассеяно энергии, запасенной в индуктивности, т. е. чем меньше сопротивление контура И. в момент коммутации. С др. стороны, контур И. будет тем экономичнее, чем меньше мощности будет тратиться в нем в стационарном режиме, т. е. чем больше его сопротивление. Кроме того, контур И. удлиняет переходный процесс цепи (напр., замедляет отпускание реле). Время замедления будет тем меньше, чем больше сопротивление контура. Поэтому при подборе параметров контура И. приходится искать компромиссное решение. Напряжение зажигания искры на контактах равно 270—300 в, но т. к. оно в сильной степени зависит от среды и ее состояния (темпер., влажности, атм. давления и наличия в ней примесей), макс. допустимое напряжение при рас-

ИСПОЛНИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ (automatic checking executive device; dispositif commandé de contrôle automatique; Selbstüberwachungs-Stellglied, Stellglied für automatische Kontrolle) — заключительная часть системы автоматич. контроля, служащая для сигнализации, индикации (показания), регистрации (записи), маркировки, паспортизации или, в случае т. н. *контроля активного*, для простейшего воздействия на рабочие машины — сортировки, отбраковки, подналадки, защиты людей или самих машин. И. у. а. к. разделяются либо по виду функций, либо по принципу действия и структуре. Во 2-м случае различаются аналоговые (непрерывные) и цифровые (дискретные) устройства, а также устройства, основанные на методах прямого, следящего и развертывающего преобразования. Напр., индикация значения измеренной величины может быть осуществлена положе-

нием стрелки относительно шкалы или появлением цифр в окнах прибора. Вместе с тем в обоих случаях показание может быть достигнуто прямым перемещением индикаторных элементов энергией измерит. цепи (прямое преобразование), перемещением или поразрядным набором этих элементов при помощи вспомогат. следящего устройства, к-рое одновременно изменяет эталонную уравновешивающую величину до сравнения ее с измеряемой (следящее преобразование), принудительным развертыванием эталонной уравновешивающей величины вместе с развертыванием всего диапазона отображающей шкалы или последовательности чисел, с импульсной фиксацией совпавшего значения (развертывающее преобразование). Те же методы пригодны для регистрации, сортировки изделий, нек-рых вычислений и др. (рис.). Любое из указанных



Оконечные преобразователи, совмещенные с функциональными органами: а — индикации; б — регистрации; в — сортировки изделий.

преобразований выполняется в окончательном преобразователе, к-рый придает измеряемой величине желательную форму представления (угол поворота, линейное перемещение, выбор цифрового канала). В многомерных (многокоординатных) исполнит. устройствах таких преобразователей может быть несколько. Кроме окончательных преобразователей, в И. у. а. к. входят те или иные функциональные органы, соответственно выполняемым функциям.

Лит.: Темников Ф. Е., Автоматические регистрирующие приборы, 2 изд., М., 1960; Добрынин Е. М., Приборы автоматического контроля размеров в машиностроении, М., 1960.

Ф. Е. Темников.

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ, с е р в о п р и в о д (servo motor, control motor; servo-moteur; Stellmotor), — исполнит. элемент с механич. выходом. И. м. классифицируются по: 1) назначению и типу управляемых ими элементов, 2) по виду осуществляемых ими перемещений, 3) по роду применяемой энергии. И. м. могут предназначаться для привода: а) элементов, регулирующих потоки энергии, жидкости, газа, сыпучих или перемещаемых твердых тел (реостатов, клапанов, задвижек и заслонок, направляющих аппаратов турбин и насосов, ж.-д. стрелок, шлагбаумов и т. п. устройств); б) элементов следящих систем (копировальных станков, манипуляторов, автокомпенсационных, регистрирующих и т. п. устройств); в) рулевых устройств транспортных объектов;

г) особых элементов систем управления (противовесов в грузоподъемных сооружениях, зажимных автоматич. устройств и т. п.).

И. м. может осуществлять: поступат. движение, поворот в пределах менее одного оборота (кривошипный И. м.), поворот на один оборот, поворот на много оборотов.

По роду применяемой энергии И. м. разделяются на: гидравлические (см. *Гидравлический исполнительный механизм*), пневматические (см. *Пневматический мембранный исполнительный механизм*, *Пневматический поршневой исполнительный механизм*), электрич. и комбинированные (электрогидравлич. и т. п.). В общем случае И. м. состоит из двигателя, передачи и элементов сигнализации, контроля, блокировки и выключения.

Пневматич. и гидравлич. двигатели И. м. [2, 8, 9] могут быть поршневые [2], мембранные [3] или силфонные и лопастные (с вращательным движением [6]).

Электрические И. м. [1, 4, 9] разделяются на соленоидные [1, 6] и электромоторные (см. *Исполнительный механизм электрический*).

Если двигатель в И. м. тихоходный (поршневой гидравлический и лопастной гидравлический), то передача с помощью штока или вала связывает двигатель и управляемый элемент. При необходимости трансформации прямолинейного движения во вращательное добавляется кривошипно-шатунный или зубчато-реечный механизм. В И. м. с быстроходными электро- и пневмодвигателями передача, кроме того, должна снижать скорость двигателя. Для этого применяются редукторы, у которых передаточное число i обычно находится в пределах 25—3000. Малые i необходимы для многооборотных управляемых устройств, большие — для кривошипных И. м. Применяемые цилиндрические, червячные и планетарные зубчатые редукторы получают по необходимости многозвенными, а потому сложными и громоздкими. Это понижает конкурентоспособность электрич. И. м. по сравнению с гидравлич. и пневматическими. Значит. преимуществами в отношении компактности, износостойчивости, технологичности обладают редукторы с периодическим переменным передаточным числом (т. н. рычажнозубчатые импульсные редукторы), специально предназначенные для применения в И. м. [1, 5].

К числу контрольных элементов И. м. относятся: а) механизм обратной связи, определяющий хар-ку регулятора либо обеспечивающий передачу сигнала на дистанц. указатель положения И. м.; б) концевые или путевые выключатели, к-рые останавливают И. м. в крайних, а иногда и в промежуточных (напр., трехпозиционный И. м.) положениях. Кроме того, концевые выключатели в нек-рых случаях выполняют сигнальные функции; в) измеритель вращающего момента на выходной оси И. м., обеспечивающий выключение двигателя или проскальзывание в спец. муфте после достижения моментом предельно-допустимой величины. Это необходимо для получения запорного или зажимного действия И. м. или предохранения его от аварий в случае попадания под управляемое устройство посторонних предметов; г) тормозное устройство при быстроходных двигателях для борьбы с инерцией в момент остановки; д) защелка

соотношения между пусковым моментом двигателя и моментом инерции привода. Обычно пусковой момент выбирается в 2—2,5 раза больше номинального. Важной характеристикой И. м. э. является время запаздывания — время от момента подачи сигнала до начала вращения выходного вала. Прежде применялись только электродвигательные И. м. э. с релейно-контактным управлением. В настоящее время начинают внедряться бесконтактные И. м. э., в которых применены магнитные усилители с предварительным усилением сигнала электронным или ПП усилителем. Использование бесконтактных И. м. э. повышает надежность систем регулирования, а также упрощает управление скоростью перемещения РО (ввод обратных связей). На рис. (см. вклейку) показан комплект бесконтактного И. м. э. БР-21. Трехфазный асинхронный двигатель управляется дросселями насыщения, смонтированными в виде отдельного блока дросселей насыщения БДН-21. Магнитные и электронный усилители также размещены в отдельном блоке БР-21.

В некоторых случаях передача крутящего момента от двигателя на рабочий вал производится через электромагнитные муфты. Входной вал муфты вращается с пост. скоростью приводным двигателем. Направление и скорость вращения выходного вала муфты, т. е. направление и скорость вращения И. м. э., может регулироваться изменением тока возбуждения муфты. Такие И. м. э. пока широкого применения не нашли.

И. м. э. с электромагнитным (соленоидным) приводом используются для поступат. перемещения подвижной части регулирующего вентиля или клапана при двухпозиц. системах

ложения защелкой после прекращения управляющего тока в обмотке гл. электромагнита. Закрытие вентиля происходит под действием возвратной пружины, освобождаемой при подаче питания на электромагнит защелки. В момент закрытия концевой выключатель обесточивает электромагнит защелки. На рис. 2 показан фланцевый вентиль с электромагнитным приводом и защелкой, применяемый на трубопроводах для воды и газообразных сред. На случай отсутствия электроэнергии вентиль снабжен ручкой управления.

Недостатком электромагнитных И. м. э. является резкое выполнение рабочего действия. Вследствие этого могут возникать гидравлич. удары в трубопроводах.

Лит.: А вен О. И., Доманицкий С. М., Бесконтактные исполнительные устройства промышленной автоматики, М.—Л., 1960; Шегал Г. Л., Электрические исполнительные механизмы, М.—Л., 1961; Перов В. Н., Исполнительные устройства регулирования тепловыми установками, М.—Л., 1952. С. М. Доманицкий.

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН (executive organ, controlling device; dispositif de commande; Kontaktanordnung) — часть элемента (реле, датчика и т. п.), осуществляющая выходное воздействие последнего. В электромагнитных реле И. о. являются контакты. В качестве И. о. используются также потенциометры, конденсаторы перем. емкости, дроссели с перем. зазором, угольные столбики и т. п. В последнем случае И. о. хотя и являются самостоят. конструктивными узлами (соответственно потенциометрическими, емкостными, индуктивными датчиками и т. п.), но должны рассматриваться как И. о. данного элемента, если он оформлен в виде единого конструктивного агрегата. В качестве И. о. для воздействия на гидравлич. и пневматич. устройства используются золотники, струйные трубки и др. С выбора И. о. должен начинаться расчет механизма, т. к. наряду с возвратной пружиной и действием силы тяжести И. о. определяет вид механич. противодействующей хар-ки и требуемый вид тяговой хар-ки. Произвольное нарушение регулировки И. о. может существенно изменить параметры механизма и даже вывести его из строя.

С. П. Колосов.
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ, исполнительное устройство (final control element, actuator, motor stage; moteur de commande, organe moteur; Stellmotor, Motorstufe), — функция. элемент системы автоматич. управления, осуществляющий воздействие на объект управления путем изменения потока энергии или потока материалов, поступающих на объект. И. э. в основном бывают двух типов: с механич. выходом (сервомотор, серводвигатель или сервопривод), когда И. э. производит механич. перемещение регулирующего органа, и с электрическим выходом, когда воздействие, непосредственно прикладываемое к объекту регулирования, имеет электрическую природу. Напр., в регуляторе напряжения генератора пост. тока регулирующим воздействием является напряжение возбуждения, получаемое от к.-л. усилителя. В зависимости от характера объекта и вида вспомогат. энергии, применяемой в системе автоматич. управления, роль И. э. выполняют самые различные конструктивные элементы — электронные, электромагнитные, магнитные или ПП усилители, реле, пневматич. или гидравлич. сервомоторы и др. Динамич.

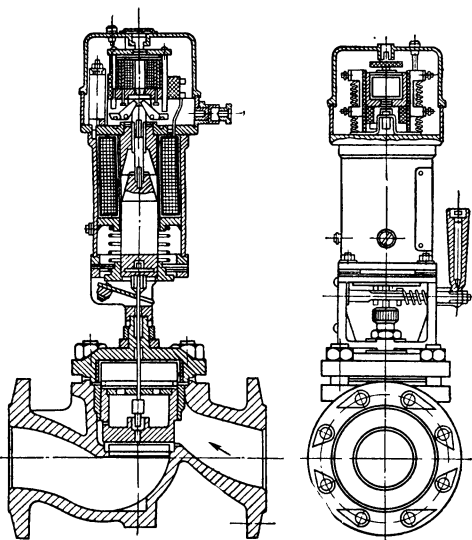


Рис. 2. Фланцевый вентиль с электромагнитным приводом и электромагнитной защелкой.

регулирования. Подвижная часть РО может при этом находиться только в двух положениях, соответствующих крайним положениям сердечника электромагнита. Соленоидные системы И. м. э. выпускаются без защелок (катушки обтекаются током в течение всего времени включения) и с защелками. В этом случае вентиль удерживается в открытом по-

хар-ки И. э. с механич. выходом отличаются значительно большей инерционностью, чем с электр. выходом. Часто И. э. 2-го типа служит приводом И. э. 1-го типа.

Сервоэлектродвигатели, применяемые в качестве И. э. с механич. выходом, отличаются спец. исполнением, обеспечивающим пониженную инерционность (удлиненный ротор малого диаметра, полый ротор — двигатели серии АДП и др.). Значительно меньшую инерционность при той же мощности имеют гидравлич. и пневматич. серводвигатели.

Требования к И. э. определяются хар-ками объекта регулирования и требуемым качеством процесса регулирования. Осн. требованиями, позволяющими выбрать тип И. э. и предварительно оценить его свойства, являются: быстротействие — величина, обратная времени перехода из одного установившегося состояния в др. при подаче на вход ступенчатой ф-ции; точность — величина, обратная ошибке установления системы в новое состояние равновесия. Кроме того, для оценки и выбора И. э. необходимо знать: рабочую и макс. мощность и работу на выходе И. э.; кпд; макс. момент либо усилие (для механич. И. э.) или ток, либо напряжение (для электр. И. э.); номинальную нагрузку; вес; вес источников питания.

С. П. Колосов, М. П. Сахаров.

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ РЕЛЕЙНОГО УСТРОЙСТВА (relay system final control element; organe commandé de dispositif à relais; Kontaktanordnung) — функциональный элемент релейного устройства, непосредственно воздействующий на управляемый объект и не воздействующий на др. элементы релейного устройства. На И. э. р. у. воздействия поступают от *воспринимающих элементов релейного устройства* или от *промежуточных элементов релейного устройства*, или от тех и других. Если на И. э. р. у. поступают воздействия не от функциональных элементов (воспринимающих и промежуточных), а извне, то такой исполнитель. элемент является также и воспринимающим. Примерами И. э. р. у. могут служить: электромагнитные реле, различного рода электромагнитные искатели и переключатели, соленоиды и т. д. Воздействия на управляемый объект могут быть: электр., магнитные, механич., гидравлич., пневматич. и т. п. В качестве исполнитель. элементов могут использоваться *релейные элементы с фиксацией воздействия*. И. э. р. у. могут быть двухпозиционными (напр., реле, триггеры) и многопозиционными (напр., шаговые и декадно-шаговые искатели). Если И. э. р. у. отсутствует, то на управляемый объект воздействуют непосредственно исполнитель. органы воспринимающих и промежуточных элементов, образующие исполнит. цепи релейного устройства.

В. Г. Лазарев.

ИСПЫТАНИЯ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ [remote control system testing; essais (épreuves) des systèmes télémechaniques; Erprobung (Prüfung) von Fernwirkssystemen] — определение технич. и эксплуатац. показателей работоспособности системы и соответствия показателей с требованиями технич. условий. И. т. с. подразделяются на типовые, контрольные и эксплуатационные. Первые проводятся заводом-изготовителем при выпуске опытного образца или партии, при изменении конструкции или схемы, а также периодически

не реже одного раза в год; вторым подвергается каждая система после сборки и цеховой наладки при ее выпуске ОТК завода; третьи проводятся наладочным или эксплуатирующим персоналом перед вводом систем в эксплуатацию, после наладки, ремонта или плановых ревизий аппаратуры.

Типовые испытания наиболее полно характеризуют работоспособность системы, так как при этом проверяются все его параметры по технич. условиям. Эксплуатац. испытания обеспечивают проверку системы в реальных условиях совместно с первичными датчиками, коммутационно-квитирующими элементами, каналом связи и исполнит. органами. Их объем определяется конкретными условиями использования телемеханич. аппаратуры и ее технич. особенностями.

Программа и методика проведения испытаний определяются функциональным назначением системы и принципом ее действия. Как правило, испытания систем ТУ—ТС включают в себя функциональную проверку (передача сигналов состояния и команд управления) их работы как при номинальных условиях (напряжение и частота питания, температура, состояние и протяженность канала связи и т. п.), так и при отклонении их от номинала. Специфич. особенностью проверки телемеханич. аппаратуры являются испытания защитных узлов. Испытания телеизмерит. аппаратуры сводятся к определению основной и дополнит. погрешностей телепередачи или телеизмерения. В тех случаях, когда включению аппаратуры в работу предшествует настройка или регулировка режимов, в объем И. т. с. включается проверка параметров, определяемых указанной регулировкой (изменения уровня сигнала, помехоустойчивость и т. п.).

Итоги И. т. с. характеризуются численными оценками по параметрам, определяющим работоспособность систем ТУ—ТС (число правильно или ложно принятых команд и сообщений; временные, амплитудные и частотные хар-ки сигналов; граничные условия осуществления функциональных операций, включая защитные свойства). Основная и дополнит. погрешности систем телеизмерения определяются на оцифрованных значениях шкалы вторичного прибора при аналоговом или при всех значениях при дискретном воспроизведении. Результаты типовых испытаний оформляются протоколом заводской лаборатории. Итоги контрольных испытаний заносятся в паспорт системы контролером ОТК. Оба типа испытаний проводятся на спец. стендах завода-изготовителя. Эксплуатац. испытания, включающие в себя не только проверку телемеханич. системы, но и всего оборудования, с к-рым она взаимодействует, фиксируются спец. протоколом, являющимся основанием для ввода аппаратуры в опытную или пост. эксплуатацию. Протокол типовых испытаний, определяющий соответствие испытываемой системы технич. требованиям на разработку или условиям на изготовление, является основанием для решения соответствующей комиссии по организации пром. производства.

Лит.: Сборник информационных материалов Мосэнерго, в. 19, М.—Л., 1958; К а м и н с к и й Е. А. и К о м и с с а р о в В. К., Телеуправление и телесигнализация в энергосистемах, М.—Л., 1955; «Тр. ВНИИ ж.-д. трансп.», 1960, в. 205, 1961, в. 209.

А. А. Левин

ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ [electronic apparatus testing; essais (épreuves) des dispositifs électroniques; Prüfungen elektronischer Apparatur] — оценка всех параметров и качеств аппаратуры для определения ее соответствия технич. заданию. В процессе И. э. а. проверяют все технич. хар-ки аппаратуры, заложенные в нее при разработке и изготовлении, и выявляют, как она будет работать при различных условиях ее эксплуатации. При разработке аппаратуры различают заводские и государственные испытания. Заводские И. э. а. проводит ее разработчик. Эти испытания ставят себе целью проверить работу аппаратуры и определить ее слабые места. Государственные испытания являются завершающими при разработке. На этих испытаниях проверяется выполнение технич. задания на разработку аппаратуры и определяется возможность допуска аппаратуры в эксплуатацию. По условиям проведения различают общие и спец. испытания. Общие испытания проводятся, как правило, в норм. условиях и оценивают выходные параметры электронной аппаратуры. Спец. испытания проводятся для оценки работы аппаратуры в особых условиях (напр., испытание при повышенной темп-ре или влажности и др.).

В практике заводского И. э. а. различают контрольные и типовые испытания. Контрольные испытания проводятся в нормальных условиях и им, как правило, подвергается каждый образец выпускаемой аппаратуры. При типовых испытаниях проверяется работа аппаратуры при предельно-неблагоприятных условиях эксплуатации (жара, холод, вибрации и др.). Типовым испытаниям подвергается определ. часть (до 5%) выпускаемой заводом аппаратуры. По охвату всей выпускаемой аппаратуры различают стопроцентные и выборочные испытания. При стопроцентных испытаниях проверяется каждый образец выпускаемой аппаратуры. При выборочных испытаниях проверяется определенная доля от партии образцов и по этим результатам делается вывод о качестве всей партии.

Наиболее сложными и трудоемкими являются специальные испытания, проводимые для оценки работы электронной аппаратуры в особо сложных условиях. Большое значение имеет для аппаратуры пром. электроники испытание на работу при повыш. темп-ре. Эти испытания, проводимые в спец. камерах, дают возможность оценить эффективность системы охлаждения электронной аппаратуры, обнаружить и устранить местные перегревы. Действие высокой температуры приводит к разнообразным повреждениям в электровакуумных приборах (ухудшение вакуума, ускоренный износ катода и др.) и порче изоляц. материалов. При высокой темп-ре увеличиваются утечки и облегчаются условия для возникновения пробоя. Нарушается герметичность конденсаторов, трансформаторов и др. элементов, появляется течь заливаемых и пропитанных компаундов. Колебания темп-ры часто сопровождаются значит. изменениями относит. влажности и приводят к отпотеванию аппаратуры. Создаются условия для поверхностных пробоев, ускоряется коррозия, могут происходить расстройки и другие нарушения режимов работы аппаратуры. В условиях высокогорной местности на электрон-

ную аппаратуру воздействует пониженное давление. При этом в аппаратуре ухудшается теплоотдача, облегчаются условия для пробоя и т. п. Эти испытания проводят в барокамерах. Аппаратура, находящаяся на открытом воздухе, подвергается влиянию солнечной радиации и ветра. Влияние этих факторов также проверяется при соответствующих испытаниях. В большинстве случаев аппаратура промышл. электроники работает в условиях запыленного воздуха. Пыль является одним из наиболее опасных факторов и наносит большой вред электронной аппаратуре. Наличие в аппаратуре электр. полей способствует собиранию пыли. Гигроскопичность пыли приводит к росту утечек и возникновению пробоев. Засорение пылью воздушных фильтров снижает эффективность вентиляции. Проведение испытаний на пылезащитность аппаратуры выявляет пути, по к-рым пыль попадает в электронную аппаратуру и дает возможность установить наиболее эффективную защиту.

Большая часть аппаратуры пром. электроники при эксплуатации подвержена действию вибраций и ударов. Источниками вибраций и ударов могут быть движущиеся части тех машин, где установлена электронная аппаратура. Так, напр., значит. вибрации создают все типы двигателей. Испытания механич. прочности электронной аппаратуры достаточно трудоемки. Прежде всего экспериментально, посредством датчиков и анализаторов частот определяют диапазон частот вибраций, а также перегрузки, возникающие в месте установки электронной аппаратуры. После этого проводят вибращ. испытания аппаратуры на вибростендах, дающих возможность установить нужную перегрузку в широком диапазоне частот. Разнообразные вибрации возникают при транспортировке аппаратуры, а также под действием ударов при движении блоков, захлопывании люков, срабатывании мощных контакторов и др. Существуют ударные стенды, а также стенды транспортной тряски, имитирующие перегрузки, которым подвержена аппаратура при перевозках. При испытаниях на вибрации и удары проверяется прочность конструкции, выявляются местные резонансы отд. деталей аппаратуры, возникающие на определ. частотах.

Анализ режимов нек-рых действующих образцов электронной аппаратуры показывает, что при проектировании не всегда в достаточной степени учитывается действие переходных процессов. Поэтому аппаратура должна испытываться на многократное включение. При этом проверяется отсутствие недопустимых толчков тока, искрения, повреждений ламп и механич. повреждений. Аппаратура пром. электроники предназначена, как правило, для длит. непрерывной работы; опытные образцы аппаратуры обычно испытываются на износ. Во время этих испытаний проверяется отсутствие выгорания контактов, ухудшения работы ламп и др., а также проверяется влияние на износ аппаратуры различных окружающих условий. Все рассмотренные виды испытаний предусматривают проверку работы схемы и конструкции электронной аппаратуры. Кроме того, многие виды аппаратуры промышленной электроники испытываются на удобство обслуживания — оцениваются такие показатели, как возможность

смены отд. узлов, удобство проведения профилактических работ, доступность органов регулировки, удобство обзора шкал приборов и др. Общей и главной задачей И. э. а. является повышение надежности электронной аппаратуры, что является ключевой проблемой производства средств автоматизации.

Е. Ю. Намиот.

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА, тест-программа [programmed checking (амер.), programme testing (англ.); essai programme, test programme; programmiertes Prüfen, Prüfprogramm], — программа, предназначенная для проверки правильности работы ЭВМ или отдельных ее устройств. Всякая неисправность в машине может проявиться в нарушении правильности выполнения логич. ф-ции хотя бы одного из элементов (схем совпадения, триггеров и т. д.), т. е. в виде так называемой логич. ошибки. Число возможных ошибок в работе элемента совпадает с числом возможных комбинаций его входных сигналов.

Всякая физич. неисправность в данном элементе может проявиться как в виде ошибки в его работе, так и в виде ошибки в к.-л. другом элементе за счет связи элементов, возникающей при определ. режимах работы. Режим работы схемы диктуется комбинацией входных сигналов и их параметрами (форма и частота импульсов, уровни напряжения и т. д.). Существуют т. н. тяжелые режимы, в к-рых сильнее проявляются неисправности схемы.

В И. п. обычно имеются две части: контролирующая подпрограмма (КП) для установления наличия неисправности в машине (устройстве) и диагностич. подпрограмма (ДП) для определения места неисправности.

Существует ряд хар-к КП. 1) Логич. полнота охвата контролируемой схемы (L), определяющая вероятность того, что если в к.-л. элементе схемы имеется ошибка, то соответствующая ей комбинация входных сигналов проверяется КП хотя бы при одном из возможных режимов работы схемы. Выражается соотношением: $L = m/n$, где n — число всех возможных логич. ошибок во всех элементах контролируемой схемы; m — число проверяемых ошибок. Для полного логич. контроля схемы ($L=1$) необходимо, чтобы каждый ее элемент был проверен хотя бы по одному разу при всех возможных комбинациях сигналов на его входах. Отдельные сложные элементы в целях сокращения числа возможных комбинаций входных сигналов разбиваются на простые. Напр., элемент, реализующий ф-цию $y = x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge \dots \wedge x_k$, разбивается на $k-1$ элементов $y_1 = x_1 \wedge x_2$; $y_2 = y_1 \wedge x_3$; \dots $y_{k-2} = y_{k-2} \wedge x_k$.

2) Глубина контроля R — характеризует степень использования в КП тяжелых режимов, могущих вызвать те ошибки, для определения к-рых она предназначена. Выражается отношением $R = S/M$, где M — число всех физич. неисправностей, могущих вызвать любую ошибку из числа проверяемых в КП, S — число тех неисправностей, наличие к-рых этой подпрограммой устанавливается. $R=1$ означает, что КП обнаруживает наличие всех физич. неисправностей, к-рые вызывают ошибки, проверяемые в подпрограмме согласно выбранному для нее значению L .

3) Эффективность контроля E , представляющая собой вероятность обнаружения лю-

бой возможной неисправности в машине (устройстве), выражается соотношением: $E = S/N$, где N — число всех возможных неисправностей контролируемой схемы, S — число тех неисправностей, наличие к-рых определяется КП.

Для эффективного контроля схемы, кроме проверки ее логики, следует проверить также возможные тяжелые режимы. Нижеследующие критерии КП характеризуют их организацию и структуру.

4) Кнд подпрограммы K — отношение времени выполнения ее осн. команд t к времени выполнения всех ее команд T : $K = t/T$. Основными паз. команды, правильность выполнения к-рых проверяется, а вспомогательными — все остальные. В нек-рых случаях $K=0,5$ и даже выше.

5) Надежность КП определяет вероятность того, что неисправность, имеющаяся в машине, не повлияет на выполнение вспомогат. команд программы и на работу тех цепей, к-рые функционируют при выполнении осн. команд, но не принадлежат к контролируемой схеме. Если A — число неисправностей, не влияющих на работу вспомогат. команд подпрограммы и указанных цепей, участвующих в выполнении осн. команд, то величина надежности выражается отношением: $H = A/N$. Надежность H всегда меньше единицы.

С помощью подобных критериев оцениваются и диагностич. подпрограммы. Кнд и логич. полнота охвата могут быть подсчитаны при составлении программы, а остальные критерии можно получить статистич. путем в процессе эксплуатации И. п. на машине. Внося изменения в программы и определяя указанные критерии, можно постепенно улучшать качество И. п.

Глубина контроля и надежность И. п. тесно связаны с системой профилактич. контроля проверяемой схемы. Для повышения скорости выполнения И. п., особенно для машин с малым и ср. быстродействием, управление профилактич. режимами следует синхронизовать с выполнением И. п.; лучше всего переклещивать участки профилактического контроля производить автоматически по специальным командам.

И. п., предназначенная для контроля отдельных устройств, имеют ряд особенностей. Для контроля АУ применяют неск. И. п. (обычно две). Проверка осуществляется путем выполнения арифметич. операций, результаты к-рых сравниваются с эталонами. В простых КП (частичная проверка) такое сравнение проводится для результата каждой операции, в более сложных (полная проверка) — для группы операций. Последнее повышает кнд КП и ее надежность.

Логич. схема КП для частичной проверки

АУ имеет вид:
$$\left[\begin{array}{l} A_1 (PЯ)_1 A_2 (PЯ)_2 A_3 (PЯ)_3 \dots \\ \dots A_n (PЯ)_n \end{array} \right]_1$$
 Здесь A_i — арифметич. опе-

ратор, в к-ром выполняется проверяемая операция; $(PЯ)_i$ — оператор контроля, выполняющий сравнение результата и эталона и осуществляющий останов в случае их несовпадения. $1 \leq i \leq n$. Эта подпрограмма для случая трехадресной машины представлена на табл. 1.

Таблица 1

Номер команд	Операция	1-й адрес	2-й адрес	3-й адрес	Пояснение
A	θ_i	a'_i	a''_i	a_i	A_i
K+1	$\text{Cp}^{\text{ост}}$	a_i	$a_i^{\text{эт}}$	—	$(P\bar{Y})_i$
K+2	θ_{i+1}	a'_{i+1}	a''_{i+1}	a_{i+1}	A_{i+1}
K+3	$\text{Cp}^{\text{ост}}$	a_{i+1}	$a_{i+1}^{\text{эт}}$	—	$(P\bar{Y})_{i+1}$
...

θ_i, θ_{i+1} — обозначения проверяемых арифметич. операций; $a'_i, a''_i, a_i^{\text{эт}}$ — адреса ячеек, в к-рых хранятся соответственно 1-е число и 2-е число, принимающие участие в операции θ_i , и эталонное значение результата. В ячейку a_i записывается результат операции θ_i ; $\text{Cp}^{\text{ост}}$ — команда, выполняющая операцию поразрядного сложения по модулю 2 и останов машины, когда результат отличен от нуля. Подобные КП обычно используются в начале наладки машины. Клд $K \approx 0,33$ для одноадресной и 0,5 — для трехадресной машин, если операции θ_i и $\text{Cp}^{\text{ост}}$ выполняются за одно и то же время.

Логич. схема И. п. для полной проверки

$$A\bar{Y} \text{ имеет вид: } \left[A_1 P_1 \right]_2 \left[A_2 P_2 \right]_1 \dots \left[A_n P_n \right]_2 \left[\Phi \bar{Y} \right]_2.$$

Здесь A_i — арифметич. оператор, выполняющий операции, подлежащие контролю; P_i — проверка правильности результатов, полученных в A_i и переход к 1, если они неверны; $1 \leq i \leq n$; Φ — диагностич. подпрограмма; \bar{Y} — останов с выводом информации о месте неисправности. Участок КП в системе команд одноадресной машины представлен в табл. 2. Остальные участки КП подобны приведенному. Клд этого участка $K = \frac{v}{v+3} = 1$ при $v \gg 3$ при условии, что все операции выполняются за одно и то же время. ДП, используя оператор A_i , определяет миним. группу операций, при к-рых проявляется неисправность. «Нижняя граница» этой группы находится путем поочередного отбрасывания последних операций оператора A_i и сравнения получающихся результатов с эталонами, «верхняя граница» — путем отбрасывания нач. операций A_i ; соответствующие исходные данные заносятся в сумматор, и выполняется оставшаяся часть оператора A_i с последующим сравнением результата с эталоном.

Для контроля оперативного ЗУ (ОЗУ) применяется неск. И. п., служащих для проверки записи, хранения и чтения кодов. Простейшие проверки ОЗУ обычно производятся с помощью спец. схем. Обычно контролируемые подпрограммы определяют сразу же и место неисправности ОЗУ без спец. диагностич. подпрограмм.

При контроле центрального УУ проверяют основные его узлы (регистр команд, счетчик

Таблица 2

Номер команды	Операция	Адрес	Пояснения
K	ПС	a_0^i	Посылка в сумматор Проверяемые операции
K+1	θ_1	a_1^i	
K+2	θ_2	a_2^i	
K+3	θ_3	a_3^i	
...	Сравнение с эталоном
K+v	θ_v	a_v^i	
K+v+1	Ср	$a_v^{\text{эт}}$	
K+v+2	УП	K+r	
K+v+3	ПС	a_0^{i+1}	Переход к началу диагностич. подпрограммы при несовпадении

команд, регистры переадресации, дешифратор кода операции и др.).

В таблице 3 дан пример программы для контроля приема на регистр команд 1-го и 2-го адресов.

Таблица 3

Номер команды	Операция	1-й адрес	2-й адрес	3-й адрес	Пояснения
K	$\text{Cp}^{\text{ост}}$	a_0	a_0	—	Значение третьего адреса несущественно для выполнения программы
K+1	$\text{Cp}^{\text{ост}}$	a_1	a_1	—	
K+2	$\text{Cp}^{\text{ост}}$	a_2	a_2	—	
K+3	$\text{Cp}^{\text{ост}}$	a_3	a_3	—	
...	Безусловный переход к команде с номером K
K+l	$\text{Cp}^{\text{ост}}$	a_l	a_l	—	
K+l+1	БП	O	K	—	

В таблице 4 дан пример программы для контроля регистра команд одноадресной машины на правильность приема кода команды и переадресации его по содержанию регистра переадресации.

В табл. 4 адреса должны быть выбраны так, чтобы

$$(a_0) = (a_1 + n); \quad (a_2 + n) = (a_3); \\ (a_l + n) = (a_{l+1} + n),$$

где (a_i) — содержимое ячейки a_i .

Для контроля приема 3-го адреса на регистр команд трехадресной машины и работы счетчика команд как в режиме последоват. выборки

Таблица 4

Номер команды	Операция	Признак переадресации	Адрес	Пояснения
K	ПС	0	a_0	Если признак переадресации равен 1, то к адресу прибавляется n — содержимое регистра переадресации
K+1	$\text{Cp}^{\text{ост}}$	1	a_1	
K+2	ПС	1	a_2	
K+3	$\text{Cp}^{\text{ост}}$	0	a_3	
...	Безусловный переход
K+l	ПС	1	a_l	
K+l+1	$\text{Cp}^{\text{ост}}$	1	a_{l+1}	
K+l+2	БП	0	K	

Т а б л и ц а 5

Номер команды	Операция	1-й адрес	2-й адрес	3-й адрес	Пояснения
K	БП	a	K+l	K	Операция безусловного перехода приводит к передаче управления к команде с номером, указанным во 2-м адресе, и перенос содержимого ячейки с номером, указанным в 1-м адресе, в ячейку с номером, указанным в 3-м адресе
K+l	БП	a	K+l+l	K+l	
K+2	БП	a	K+l+2	K+2	
K+3	БП	a	K+l+3	K+3	
K+l	БП	a	K+n	K+l	
K+l+l	БП	a	K+n+l	K+l+l	
K+l+2	БП	a	K+n+2	K+l+2	
K+l+3	БП	a	K+n+3	K+l+3	
K+n	БП	a	K+l	K+n	
K+n+l	БП	a	K+2	K+n+l	
K+n+2	БП	a	K+3	K+n+2	
K+n+3	БП	a	K+4	K+n+3	

команд, так и в режиме передачи управления, дополнительно необходима ДП. Для обеспечения тяжелого режима работы контролируемых узлов целесообразно выполнять последовательности осн. команд с последующей проверкой неисправностей сразу по результатам всей последовательности.

В табл. 5 приведен пример контролирующей подпрограммы, служащей для проверки правильности выполнения команды передачи управления на трехадресной машине. В ячейке a записана команда останова. Т. о., после правильного выполнения приведенной последовательности во всех ячейках, занимаемых ею, оказывается команда останова. При неверном выполнении передачи управления не все команды безусловного перехода (БП) заменяются командой останова. В этом случае работает ДП, к-рая просматривает содержимое ячеек в порядке выполнения команд БП и устанавливает место неисправности.

Контроль работы внешних ЗУ (магнитные барабаны и ленты) с помощью И. п. производится обычно лишь при наладке машины и при проведении профилактич. работ в процессе эксплуатации. В процессе решения задач неисправности внешних ЗУ определяются обычно с помощью спец. приемов и схем. И. п. служат для настройки устройства и проверяют его с помощью тяжелых комбинаций кодов, записываемых на внешние ЗУ и считываемых с них, а также контролируют правильность обращений к зонам магнитной ленты или ячейкам барабанов по заданным адресам. В качестве программ комплексной проверки машин могут использоваться программы ряда задач, при решении к-рых на машине встречались затруднения, либо, если контролируется специализированная машина, — программа того алгоритма, для выполнения к-рого эта машина предназначена.

Г. А. Мионов.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ СИСТЕМА (programmed checking system; système de programmes d'essais; Prüfprogrammssystem) — совокупность испытат. программ, предназначен. для контроля ЭВМ. Различают И. п. с. наладочные и применяемые в процессе эксплуатации. И. п. с. состоит из двух подсистем: контролирующих подпрограмм (КП) и диагностич. подпрограмм (ДП). КП объединяются в подсистему по принципу расширяющихся областей: а) ранее проверенные группы элементов машины используются для целей контроля; б) ранее проверенные группы элементов или части этих групп вновь контролируются с большей эффективностью; в) контро-

лируются новые группы элементов.

ДП объединяются в подсистему по принципу сужения областей. Каждая последующая ДП отыскивает неисправности в части группы элементов, проанализированных при выполнении предыдущих подпрограмм. Уменьшение группы идет исключением проверенных исправных элементов.

Важным является также выбор такой последовательности работы программ, входящих в систему, чтобы условная надежность их выполнения была

близка к единице. Под условной надежностью понимается вероятность того, что неисправность, имеющаяся в машине, не повлияет на выполнение вспомогат. команд программы и на работу тех цепей, к-рые функционируют при выполнении основных команд, но не принадлежат к контролируемой схеме. При этом необходимо, чтобы были выполнены все программы, предшествующие данной, а неисправности, ими обнаруженные, устранены.

Для повышения условной надежности испытат. программ применяют следующий порядок их включения: 1) программа частичной проверки оперативного ЗУ; 2) программа частичной проверки АУ; 3) программа полной проверки УУ; 4) программа полной проверки АУ; 5) программа полной проверки оперативного ЗУ; 6) программа полной проверки внешних ЗУ; 7) программа комплексной проверки машины. Последовательность проверки в применении к определенной машине может отличаться от приведенной по количеству программ, предназнач. для контроля того или иного устройства, однако очередность проверки устройств в осн. соблюдается.

Г. А. Мионов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ (operations research; recherche operationnelle; Operationsuntersuchung, Untersuchung von Operationen) — область науки, изучающая вопросы выбора решений по организации и управлению целенаправл. процессами (о п е р а ц и я м и). Главная задача И. о. — разработка научных методов анализа операций, объективного сравнения различных решений, в частности их количеств. хар-ки и выбора наилучших решений. Многие разделы И. о. находятся в стадии интенсивного развития, поэтому И. о. как самостоят. наука окончательно еще не оформилась.

Сложность и взаимосвязанность технич. и экономич. проблем совр. общества приводит к тому, что принятие какого-либо решения в той или иной операции неизбежно затрагивает десятки (а то и сотни) факторов. Вместе с тем и сами решения (технические, экономические, военные) носят все более сложный и многогранный характер. Все это сделало необходимым создание спец. научно обоснов. методов, облегчающих принятие решений. Такие методы — научные и практически — начали появляться довольно давно. Однако лишь недавно возникла наука, посвященная этим вопросам и включившая в себя опыт в отношении принятия решений, накопленный в различных областях.

Термин «И. о.» возник в годы 2-й мировой войны, когда при воен. штабах (в частности, США) начали создаваться и.и. группы, в задачи к-рых входил анализ эффективности различных видов вооружения и оценка военно-тактич. решений. Достижения в работе этих групп способствовали широкому развитию И. о. в послевоен. время и распространению методов И. о. в пром-сти, с. х-ве и др. В исследовании каждой конкретной операции можно выделить 3 осн. фазы:

а) П о с т а н о в к а з а д а ч и. Сюда входит осознание операции и ее целей, анализ факторов, относящихся к данной задаче, соизмерение разного рода затрат и результатов. Последнее является наиболее важным, поскольку, как правило, каждая операция характеризуется большим числом взаимосвяз. показателей, по которым одновременно хотелось бы достичь наилучших результатов, что не всегда возможно. Однако среди этих показателей обычно можно выделить такие, по к-рым требуется лишь достижение некоего необходимого уровня, а др. показатели объединить в *целевую функцию*, характеризующую качество решения и дающую критерий оптимальности решения.

б) И с с л е д о в а н и е з а д а ч и. Сюда относятся: подробное изучение операции; сбор необходимых данных (численных и др.); формирование предположений о процессе и конструирование на их основе математич. модели, изучение модели; практич. и теоретич. проверка сделанных гипотез с помощью выводов, получ. при анализе модели; уточнение модели и разработка методов исследования уточненной модели.

в) Ф а к т и ч е с к о е п р и м е н е н и е п о л у ч е н н ы х р е з у л ь т а т о в. Эти три фазы И. о. можно проследить, напр., при выборе правильного способа регулирования уличного перекрестка, когда следует учесть действительность регулирующего прибора, его стоимость, простоту и надежность, возможность варьировать регулирование при изменении условий (параметров перекрестка), способность автоматически учитывать ситуацию на перекрестке. Для этого вырабатывают критерий, характеризующий качество регулирования (напр., среднее время ожидания машины перед перекрестком), изучают реальные данные о перекрестке, о закономерностях поступления на него автомобилей, строят и проверяют математич. модель перекрестка, на основании к-рой выбирают оптимальные (с точки зрения данного критерия) параметры регулирующего устройства (впоследствии могут строиться и изучаться более точные модели перекрестка, совместное функционирование системы перекрестков и т. д.). Если при проверке установлено, что модель достаточно удовлетворительно описывает действительность, то построенное на ее базе регулирующее устройство можно применять на перекрестках исследованного типа.

Изучение математич. моделей И. о. привело к развитию широкого круга математич. методов, среди к-рых можно выделить следующие: 1) Спец. вопросы теории вероятностей. Сюда относится, в частности, теория процессов массового обслуживания (см. *Массового обслуживания теория*). Методы этой теории используются в телефонии, при исследовании надежности и орга-

низации ремонта оборудования и др. Вопросами оптим. проведения статистич. экспериментов, в частности оптим. статистич. контролем, занимается *статистических решений теория*. 2) Совр. методы решения экстремальных задач. В И. о. часто приходят к необходимости решения задач на экстремум, к к-рым не применимы обычные классич. методы. Для решения ряда спец. классов таких задач созданы новые методы, успешно реализуемые на ЭВМ (см. *Линейное программирование, Динамическое программирование, Нелинейное программирование*). 3) Методы исследования конфликтивных ситуаций. Ряд задач требует рассмотрения моделей, в к-рых решения принимаются двумя группами с диаметрально противоположными интересами (см. *Игр теория*). 4) Математич. моделирование операций, аналитич. исследование к-рых встречается с теми или иными трудностями, получило широкое применение (см. *Моделирование*). В значит. степени это связано с наличием быстродействующих ЭВМ, на которых можно сравнительно просто моделировать процессы самой различной природы. В связи с этим широкое распространение получил метод моделирования случайных явлений на ЭВМ — *Монте-Карло метод*. Для изучения процессов управления создаются также «живые» модели, в которые, кроме машин, входят опытные специалисты по управлению, применяющие свой опыт к решению искусственных модельных задач управления. 5) Теория обучения. Она занимается конструированием, исследованием и проверкой математических моделей, описывающих процесс обучения живого существа. К ней, в частности, относится задача об оптим. системе обучения, возникающая при конструировании самообучающихся автоматов. 6) Вопросы оптим. организации операций, возникающие при конструировании самообучающихся автоматов. Сюда входит выбор системы (пути) передачи необходимой информации, обеспечивающей оперативность связи, выбор системы подчинения, обеспечивающей четкое выполнение распоряжений и эффективность контроля, выбор показателей работы, по возможности немногочисленных, но позволяющих правильно оценивать ход операции. И. о., в известном смысле, является частью *кибернетики*.

Важное место в И. о. занимает изучение реальных процессов управления и навыков управляющего лица. Человек в результате массового опыта может научиться приходить к решениям, близким к оптимальным. Так, в конкретной задаче раскрой. раскроа металлов принятые в технологии карты раскроа давали 88% использования материала, опытные раскройщики — 92%, вычисленный математически (с помощью линейного программирования) оптим. раскрой — 97%. Изучение реальных операций помогает создавать новые методы нахождения решений для аналогичных операций и без построения математич. моделей. Методы И. о. могут найти широкое применение в нар. х-ве, в частности при автоматизации производств. процессов, планировании управления, регулирования, контроля, организации обслуживания.

Лит.: «Operations Research», Baltimore, 1952—; «Operational Research Quarterly», L., 1950 —; «Mana-

gement Science», Baltimore, 1954—; Мора Ф. М. и Кимбелл Д. Е., Методы исследования [военных] операций, пер. с англ., М., 1956; Churchman C. W., Aschoff R. L., Arnoff E. L., Introduction to operations research, N. Y.—L., 1957; Batchelor J. H., Operations research. An annot. bibliogr., 2 ed., St. Louis, 1959. Л. В. Канторович, И. В. Ромашовский.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ (ultrasonic field analysis; études des champs ultrasonores; Ultraschallfelduntersuchung) — определение пространственного распределения величины какого-либо параметра, характеризующего звуковое поле (звукового давления, смещения, изменения плотности среды, давления радиации и др.), и измерение абсолютной величины этого параметра. Качественные картины конфигурации ультразвукового поля могут быть получены методами визуализации звуковых полей. Количеств. И. у. п. производятся измерит. приемниками звука, перемещаемыми при помощи координатного устройства. Миниатюрный

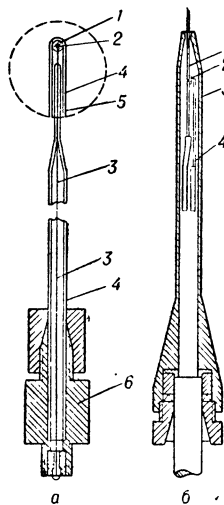


Рис. 1. Пьезоэлектрич. миниатюрные приемники для измерения звуковых давлений (чувствительностью неск. ммкв/бар): а — точечный зонд (размеры приемной головки увеличены; 1 — сферич. пьезоэлемент из титаната бария; 2 — шарик, оплавленный на конце платиновой проволоки 3, служащей внутренним электродом; 4 — стеклянная трубка; 5 — сербрядное покрытие; 6 — переходный шуп для измерений в режиме интенсивной кавитации (1 — проволоочный волновод, одна из двух жил кабеля РД; 2 — цилиндрич. пьезоэлемент из титаната бария, возбуждаемый радиальными колебаниями волновода, свободный конец к-рого помещается в исследуемое поле; 3 — корпус шупа; 4 — вторая жила кабеля для снятия напряжения с пьезоэлемента).

измерит. приемник с круговой характеристикой направленности (рис. 1,а) минимально искажает измеряемое поле. Для предохранения хрупкого пьезоэлемента от кавитации при измерениях давлений в полях высокой интенсивности приемный элемент помещается на проволоочном волноводе, проводящем ультразвуковые волны из облучаемой среды внутрь звукоизолирующего кожуха (рис. 1,б).

Относит. И. у. п., применяемые для ультразвукового контроля, для измерения поглощения ультразвука и др., не требуют никаких дополнительных операций. Для абсолютных И. у. п. измерит. приемники должны быть предварительно прокалиброваны либо методом взаимности, либо путем сравнения с эталонным приемником УЗ. Кроме того, существует ряд косвенных абсолютных методов, позволяющих определять интенсивность звукового поля (см. *Интенсивность ультразвука*). К их числу относятся: радиометрич., калориметрич., дилатометрич. и оптич. методы.

Радиометрический метод основан на измерении давления излучения P , к-рое оказывают ультразвуковые волны на границу раздела сред и к-рое, в случае полного отражения от границы при нормальном падении плоских волн, связано с интенсивностью

УЗ формулой $J = Pc/2$, где c — скорость звука. Давление излучения невелико (при $J = 1 \text{ вт/см}^2$ на границе вода — воздух $P = 0,14 \text{ г/см}^2$), поэтому для его измерения применяются высокочувствит. приемники в виде крутильных или рычажных весов, поплавков и др. Особое внимание уделяется устранению факторов, вносящих трудноуловимую систематич. ошибку: звукового ветра, гидродинамич. и тепловых потоков, отраженных волн (влияние последних должно быть устранено при любых способах И. у. п.).

Калориметрический метод абс. И. у. п. основан на определении мощности УЗ по количеству тепла ΔQ , выделившегося в калориметре при полном поглощении УЗ энергии. Если за время включения УЗ поля t темп-ра среды (обычно жидкости) увеличилась на $\Delta T^\circ\text{C}$, то, пренебрегая нагреванием калориметра и потерями тепла за время t , можно вычислить мощность УЗ N по формуле:

$$N = \frac{\Delta Q}{t} = \frac{V \rho C \Delta T}{t},$$

где ρ — плотность, C — теплоемкость, V — объем калориметрич. жидкости. Интенсивность УЗ определяется делением N на площадь сечения ультразвукового пучка или входного отверстия калориметра. Ошибка из-за потерь тепла понижается предварит. калибровкой приемника путем нагревания калориметрич. жидкости током известной мощности. Разновидностью этого метода является дилатометрический способ, основанный на измерении теплового расширения калориметрич. жидкости при поглощении энергии УЗ. Мерой интенсивности (мощности) служит скорость перемещения мениска жидкости в канале притертой стекл. трубки (рис. 2), к-рая снабжается шкалой,

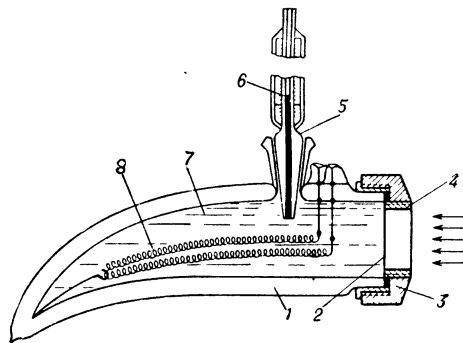


Рис. 2. Дилатометрич. прибор для абсолютных измерений интенсивности ультразвука: 1 — корпус прибора — стеклянный вакуумотеплоизолированный сосуд; 2 — ацетатная пленка (20—50 мк), поджатая металлич. колышком 3 и туго натянутая уплотняющим кольцом 4; 5 — притертая к сосуду сменная стеклянная капиллярная трубка со шкалой; 6 — уровень жидкости в капилляре; 7 — калориметрич. жидкость (трансформаторное или оливковое масло); 8 — нихромовая спираль для калибровки прибора электр. током.

градуированной по току известной мощности. Тепловое действие УЗ используется также для относит. измерений интенсивности УЗ с помощью термопар и термисторов, покрытых твердым звукопоглощающим материалом (пиритин, смолы и др.).

Оптический метод, основанный на наблюдении дифракции света на УЗ с помощью оптич. спектрографа (см. илл. к ст. *Измерение скорости ультразвука*) и используемый для измерений поглощения ультразвука, т. е. для относит. И. у. п., может служить и для абс. измерений амплитуды плоских ультразвуковых волн в прозрачных жидкостях. При малых интенсивностях УЗ серия абс. значений амплитуд определяется по исчезновению к.-л. линии дифракц. картины. При больших интенсивностях и малых расстояниях от источника УЗ оптич. дифракц. картина имеет два симметричных максимума яркости линий. Расстояние между этими максимумами определяет абс. значение амплитуды УЗ волны (т. е. интенсивности УЗ).

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956; Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961; Михайлов И. Г., Шутлов В. А., Новый калориметрический метод измерения абсолютной интенсивности ультразвука, «ИВУЗ. Приборостроение», 1959, т. 2, № 4, с. 130—136. В. А. Шутлов.

ИСТОЧНИК ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ [reference voltage unit, pedestal voltage unit; source de tension de référence (comparaison); Vergleichsspannungsquelle, Bezugsspannungsquelle, Referenzspannungsquelle] — источник, питающий делители напряжения, применяемые для задания пост. величин, и делители напряжения нелинейных блоков и блоков перемножения. Применяется также в качестве эталонного напряжения при измерении потенциалов в отд. точках схемы математич. моделирования и для стабилизир. выпрямителей схем питания. Опорные напряжения чаще всего бывают ± 100 в. Для образования этих напряжений используется обычная схема стабилизирующего выпрямителя, включающая регулируемую лампу и усилитель управления режимом лампы, сравнивающий выходное напряжение И. о. н. с эталонным напряжением. В качестве усилителя используется операц. усилитель пост. тока с малым дрейфом нулевого уровня выходного напряжения, в качестве эталонного напряжения — норм. элемент или кремниевые стабилитроны. Для увеличения стабильности выходного напряжения, достигающей единиц мВ, источник эталонного напряжения помещается в термостат. Описанные И. о. н. используются, напр., в АВМ типа МН-8 и МН-14.

И. М. Витенберг.

ИСТОЧНИК СООБЩЕНИЙ (information source, message source; source d'information, source de messages; Nachrichtenquelle, Informationsquelle) — ансамбль сообщений вместе с устройством, осуществляющим с нек-рой скоростью выбор сообщений из ансамбля. В общей схеме системы связи И. с. является исходным элементом, предшествующим кодирующему устройству. На выходе И. с. появляются сообщения, к-рые передаются по линии связи. В телефонии, напр., И. с. является человек, ведущий разговор; в фототелеграфии — ансамбль изображений и считывающее устройство.

Простейший И. с. вырабатывает последовательность случайных величин, принимающих конечное число значений x_1, x_2, \dots, x_m . Совокупность x_1, x_2, \dots, x_m наз. алфавитом И. с., а отд. значения x_i — буквами алфавита. И. с. наз. стационарным, если его ансамбль сообщений является стационарным, и эргодическим, если ансамбль сообщений

эргодический. Стационарность И. с. означает неизменность во времени вероятностного режима его работы, эргодичность — что среднее, взятое по ансамблю сообщений, совпадает с временным средним, взятым по любому сообщению из ансамбля. Важная характеристика И. с. — скорость, с к-рой он вырабатывает информацию. Пусть И. с. за время T производит нек-рую принадлежащую ансамблю сообщений последовательность, состоящую из n букв. Количество информации, к-рую она несет, равно ее энтропии H_n . Скорость создания сообщения И. с. определяется как

$$H = \frac{H_n}{T}.$$

В случае, когда сообщениями являются последовательности, состоящие из бесконечного числа значений, под скоростью создания сообщения подразумевается предел

$$H = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{H_n}{nT_1},$$

где T_1 — период времени между последоват. значениями, даваемыми И. с.

Важным для теории информации свойством И. с. является возможность разделения всех последовательностей достаточно большой длины n на 2 группы: 1) последовательности, суммарная вероятность к-рых может быть сделана меньше любого наперед заданного числа ϵ с помощью выбора достаточно большого n , 2) для любой из оставшихся последовательностей вероятность будет приближаться к величине e^{-nHT_1} вместе с ростом n . Из этого свойства вытекает, что при наилучшем кодировании следует передавать по каналу связи лишь последовательности, принадлежащие ко 2-й группе. Это, однако, встречает ряд технич. трудностей. В настоящее время существуют методы устранения избыточности сообщений, направленные на выбор лишь высоковероятных сообщений.

Для И. с., ансамбль сообщений к-рого составляет нек-рое множество ф-ций, принимающих непрерывное множество значений, определение скорости создания сообщений более сложно в силу того, что энтропия случайной величины, принимающей непрерывное множество значений, равна бесконечности. В этом случае вводится понятие ϵ -энтропии H_ϵ как наименьшего количества информации, необходимого для передачи непрерывного сообщения с заданной степенью точности. Скорость создания сообщения И. с. определяется как ϵ -энтропия H_ϵ источника сообщения, отнесенная к единице времени. Если, напр., И. с. вырабатывает последовательности независимых случайных величин с плотностью распределения $p(x)$, которая является достаточно гладкой ф-цией, то

$$H_\epsilon = \frac{1}{T_1} \left(\log \frac{1}{\epsilon} - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log p(x) dx - \log \sqrt{2\pi\epsilon} \right) + O(1).$$

Ф-ла справедлива в случае, когда критерием верности является условие

$$Mq^2(x, y) \leq \epsilon^2,$$

где $q^2(x, y)$ — стоимостная ф-ция, зависящая от значений сообщения, выработанного И. с.,

и сообщения, принятого на приемном конце, а $M_0^2(x, y)$ — ее математич. ожидание.

Лит. см. при ст. Ансамбль сообщений.

Б. С. Дыбаков.

ИСТОЧНИК УЛЬТРАЗВУКА (ultrasonic power source; source d'ultrasons; Ultraschallquelle, Ultraschallgeber) — материальная поверхность или объем, возбуждающие УЗ поле в прилегающем пространстве; И. у. может быть твердое тело, жидкость, газ или плазма. Кроме приборов и установок, специально предназначен. для получения УЗ колебаний (см. *Излучатель ультразвука*), УЗ колебания наряду со звуковыми колебаниями слышимой частоты могут порождаться разнообразными природными явлениями или возникать в качестве вторичных эффектов, сопровождающих нек-рые физич. явления; нек-рые виды животных также издают УЗ колебания. Так, И. у. являются ветер, морской прибой, перекачиваемая волной галька. УЗ компоненты содержатся в ударах грома, шуме водопада и т. д. Очень мощным И. у. является движущаяся со сверхзвуковой скоростью газовая струя реактивного двигателя. УЗ всегда содержится в спектре ударной волны и поэтому является неотъемлемой компонентой выстрелов и взрывов как в воздухе, так и в воде. Ударные волны, вызываемые захлопыванием кавитационных пузырьков (см. *Кавитация ультразвуковая*), тоже являются И. у. Механич. удары также возбуждают УЗ колебания; это используется, напр., для исследования ударов микрометеоров об оболочки спутников и космич. кораблей. И. у. в животном мире являются прежде всего те животные, к-рые используют УЗ колебания для ориентации в пространстве: летучие мыши, дельфины и др. Следует отметить также щелкающих рачков, щелчки к-рых представляют собой существенную помеху работе гидролокац. станций (см. *Гидролокатор*).

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956.

Л. Д. Розенберг.

ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ (supply unit, power source; source d'alimentation, source d'énergie électrique; elektrische Speisequelle) — разнообразные источники электрич. энергии, используемые в устройствах автоматики, связи и в др. приборах, требующих для своего функционирования электрич. энергии пост. или перем. тока (напряжения). Разделяются на первичные и вторичные. К первичным И. э. относятся источники тока, в к-рых электрич. энергия вырабатывается преобразованием из неэлектрич. видов энергии (напр., химической, механической, тепловой, солнечной и т. п.), ко вторичным — преобразователи одного вида электрич. энергии в другой, напр. энергии перем. тока в энергию пост. тока или обратно, энергии перем. тока низкого напряжения в энергию перем. тока высокого напряжения или обратно и т. д. Среди первичных И. э. наибольшее значение имеют электрохимич. источники тока — гальванич. элементы и аккумуляторы, применяемые как для питания переносной и передвижной аппаратуры, так и для нек-рых типов стационарных устройств в неэлектрифицированных районах (напр., для радиотрансляц. узлов) и как аварийные. Действие гальванич. элементов и аккумуляторов основано на окислительно-восстановит. процессах, происходящих при химич. реакциях, к-рые в элементах

являются необратимыми, а в аккумуляторах — обратимыми. Величина эдс электрохимич. элементов (гальванических или аккумуляторных) — 0,5—2,5 в. Для получения нужных напряжений они соединяются последовательно в батареи; параллельное соединение применяется для увеличения отбираемого тока при недостаточной емкости отдельных элементов. Широко распространены гальванич. элементы с угольно-цинковыми электродами и марганцевой деполяризацией. Менее распространены элементы с воздушной и воздушно-марганцевой деполяризацией. Нск-рые новые типы таких элементов допускают восстановление работоспособности путем смены цинка и электролита. Разработаны гальванич. элементы, в к-рых дефицитный цинк заменен железом. В малогабаритной аппаратуре используются окисно-ртутные герметичные элементы, эдс к-рых весьма постоянна и мало зависит от темп-ры. Аккумуляторы по составу электролита делятся на кислотные и щелочные. В кислотных аккумуляторах применяются Pb электроды. Этот тип аккумуляторов чаще всего используется в стационарной аппаратуре. Для переносной аппаратуры предпочитают щелочные аккумуляторы, обладающие повыш. механич. прочностью, относительно малым весом, простотой обслуживания и малым зарядным током. Широко применяются щелочные аккумуляторы с Fe—Ni и Cd—Ni электродами. Спец. герметизированные Cd—Ni аккумуляторы с пористыми пластинами из порошкообразного Ni имеют небольшие габариты, малое внутр. сопротивление, могут работать в любом положении, не требуют доливки электролита и обладают сроком службы в 5—10 раз большем, чем обычные щелочные аккумуляторы. Щелочные аккумуляторы с Ag—Zn электродами допускают кратковременный разряд большими токами. При этом вес и объем таких аккумуляторов в 4—6 раз меньше обычных кислотных и щелочных.

Первичными И. э. являются электромашинные генераторы пост. и перем. тока.

Практич. значение имеют термоэлектрич. генераторы небольшой мощности (5—10 вт), применяемые для питания передвижных радиостанций, приемных и радиотрансляционных устройств в неэлектрифицир. районах. В этих генераторах используется разность потенциалов, к-рая возникает в месте соприкосновения (спая) двух различных металлов, сплавов или ПП и зависит от материалов и разности темп-р горячего и холодного концов термопары (термоэлектрич. эффект). Т. к. эдс одной термопары мала (несколько десятков мв), то термопары соединяют последовательно в батарею. ПП термопары обеспечивают эдс и кпд большие, чем металлические. Разработаны термоэлектрич. генераторы, использующие для нагрева термопар тепловую энергию солнечных лучей, при этом осуществляется прямое преобразование солнечной энергии в электрическую. Существуют также фотогальванич. и фотоэлектрич. способы такого непосредств. преобразования. При фотогальванич. способе эдс возникает в результате химич. реакций, происходящих под действием солнечного света. Этот метод находится еще в стадии разработки. Фотоэлектрический способ преобразования использует внутренний фотоэффект у ПП фотоэлементов

с запирающим слоем (вентильных). Эти фотоэлементы под действием светового излучения вырабатывают эдс, достигающую при прямом солнечном свете нескольких десятых долей в. Наиболее совершенными являются кремниевые фотоэлементы, к-рые можно соединять последовательно и параллельно в виде солнечных батарей. Зависимость солнечной освещенности от времени года и суток заставляет использовать фотоэлектрич. преобразователи совм. с буферными аккумуляторами. Солнечными батареями можно питать маломощные радиоприемники, приборы автоматики, метеостанций, часовые механизмы. На третьем сов. спутнике Земли радиотехнич. и телеизмерит. аппаратура впервые питалась от кремниевых солнечных батарей, к-рые в сочетании с аккумуляторами в ближайшие годы явятся осн. источником электропитания искусств. спутников.

В последнее время работают над созданием И. э. с непосредств. преобразованием энергии радиоактивного распада в электрическую — атомными батареями, к-рые бывают 4 осн. типов. В первом (высоковольтном) один электрод заряжается относительно другого за счет излучения радиоактивного вещества, помещ. между электродами и соприкасающегося с одним из них. Применяя, напр., в качестве источника β -электронов радиоактивный препарат со $\text{Sr}^{90} - \text{Y}^{90}$ с периодом полураспада ок. 29 лет, можно построить И. э. на напряжение до 40 кВ и силу тока $10^{-9} - 10^{-8}$ а. В атомных батареях второго типа радиоактивное излучение используется для ионизации газа. Третий тип, в к-ром разность потенциалов возникает на $p-n$ -переходе под действием β -электронов (напр., при облучении кремниевых фотодиодов), пока еще не получил практич. применения из-за возникновения дефектов в кристаллич. решетке ПП при облучении его электронами с большими энергиями; это приводит к гибели таких источников. В батареях четвертого типа тепловая энергия распада расходуется на подогрев термопар. Атомные батареи обладают весьма большим сроком службы, высокой стабильностью напряжения, но чрезвычайно малой мощностью. Высоковольтные батареи можно использовать для питания электронно-оптич. преобразователей и др. приборов с малыми токами, а низковольтные — в качестве источников опорного напряжения. Атомные батареи должны иметь спец. защиту, предохраняющую персонал от вредного γ -излучения.

Перспективной является разработка т. н. топливных элементов, в к-рых окисление топлива (угля, нефти, газа) происходит не сжиганием, а электрохимич. способом (как в гальванич. элементе). Это дает возможность непосредственно превратить химич. энергию топлива в электрическую и значительно повысить кпд преобразования (до 60—70%). Нек-рые материалы (спец. воски, смолы и др.) обладают способностью, затвердевая в сильном электрич. поле, сохранять длит. время определенный электрич. заряд. Такие материалы — электреты — могут быть источниками эдс в цепях, где потребление практически отсутствует (конденсаторные микрофоны, сеточное смещение, фокусировка ЭЛТ и др.).

Среди вторичных И. э. значит. место занимают вращающиеся преобразователи: двигатели-генераторы и одноякорные преобразователи

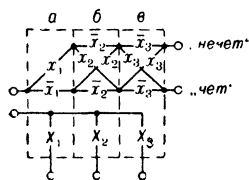
(имеющие одну якорную обмотку с выводами на коллектор и на кольца), преобразующие пост. ток в переменный или наоборот; умформеры (имеющие на якоре две-три обмотки, введенные на отдельные коллекторы), к-рые преобразуют низкое напряжение в одно или два высоких напряжения и применяются гл. обр. для питания передвижной радиоаппаратуры.

Исключительно широкое распространение в качестве вторичных И. э. получили *выпрямители*, преобразующие перем. напряжение в постоянное. Отсутствие у них вращающихся частей представляет значит. преимущества для эксплуатации. Управляемые ртутные вентили и тиратроны, а также управляемые ПП вентили используются в схемах *инверторов автономных*, преобразующих пост. ток в переменный. Для преобразования низкого пост. напряжения в более высокое при небольших мощностях применяются механич. *вибропреобразователи*. Эту же задачу выполняют более совершенные *полупроводниковые преобразователи постоянного тока*, имеющие высокий кпд и большой срок службы. Они находят применение в передвижных устройствах (автомобилях, танках, самолетах). К преобразователям энергии перем. тока следует отнести всевозможные тр-ры, к-рые обычно также входят в состав всех выпрямит. и преобразоват. устройств.

Лит.: Терентьев Б. П., Электропитание радиоустройств, М., 1948; Дасоян М. А., Химические источники тока, М.—Л., 1961; Даниель Бек В. С., Рогинская Н. С., Термоэлектрод-генераторы, М., 1961 (имеется библи.); Space power systems, ed. by N. W. Snyder, N. Y.—L., 1961; «РиЭ», 1960, т. 5, в. 8, с. 1197; «Атомная энергия», 1959, т. 6, в. 4, с. 470. К. Б. Мазель.

ИТЕРАТИВНАЯ СТРУКТУРА (iterative structure; structure iterative; Iterationsstruktur) — структура релейного устройства, состоящая из однотипных ячеек, взаимосвязанных упорядоч. образом. Каждая ячейка релейного устройства, имеющего И. с., есть релейное устройство, входные и выходные каналы к-рого разделяются на внутр. и внешние. Внешние входные и выходные каналы ячеек являются входами и выходами всего устройства в целом, а внутр. служат для взаимосвязей. Упорядоченность взаимосвязей означает следующее. Пусть ячейки пронумерованы числами 1, 2, 3, ..., i , ..., N . Тогда если i -й выход 1-й ячейки присоединен к j -му входу k -й ячейки, то i -й выход 2-й ячейки присоединен к j -му входу $k+1$ -й ячейки и т. д. Напр., если 5-я ячейка своим 3-м внутр. выходным каналом соединена со 2-м внутр. входом 7-й ячейки, то ко 2-му внутр. входу 6-й ячейки подведен 3-й внутр. выход 4-й ячейки. Такое же соотношение имеет место между входами предыдущих и выходами последующих ячеек. Те ячейки, к-рые полностью подчиняются общим правилам образования взаимосвязей, наз. типовыми. Число типовых ячеек может быть изменено без нарушения этих правил. Благодаря такому свойству И. с. нек-рые релейные устройства сохраняют свои основные хар-ки при любом числе переменных. Кроме типовых, бывают вырожденные ячейки, отличающиеся числом входных и выходных каналов и их разделением на внутр. и внешние. Вырожд. ячейки, как правило, располагаются по краям И. с. Для синтеза И. с. достаточно задать условия работы типовых и вырожд. ячеек и правила образования взаимосвязей.

Поэтому при синтезе И. с. условия работы ячеек и правила образования взаимосвязей выделяются из условий работы всего релейного устройства.



Итеративная релейная структура для контроля четности числа включенных реле X : c , $б$ — вырожденные ячейки; $б$ — типичная ячейка.

трическая структура (рис.).

Лит.: Caldwell S. H., Switching circuits and logical design, N. Y., 1958; McCluskey E. J., Iterative combinational switching networks-general design considerations, «IRE Trans. Electronic Comput.», 1958, v. EC7, № 4, p. 285—91. Ю. Л. Томфельд.

ИТЕРАЦИЯ, последовательные приближения (iteration; iteration), — метод решения ур-ний и систем ур-ний, основанный на том, что сначала некое преобразование производится над исходной величиной (нулевым приближением), затем такое же преобразование выполняется над получ. результатом (первым приближением) и т. д. Так, в ряде случаев решение ур-ний

$$x = f(x) \quad (1)$$

можно получить следующим процессом. Сначала (произвольно или по спец. правилу) выбирается значение x_0 , затем вычисляется величина $x_1 = f(x_0)$ и т. д. по правилу

$$x_{n+1} = f(x_n). \quad (2)$$

Итерац. процесс, определяемый ф-лой (2), наз. сходящимся, если $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = \bar{x}$ существует.

В этом случае [для непрерывной $f(x)$] \bar{x} есть корень ур-ния (1). При достаточно большом n величина x_n может служить приближ. значением корня \bar{x} . Соответствующий номер n определяется или предварительным анализом процесса или, чаще, анализом получаемой по-

следовательности x_0, x_1, \dots, x_n . Существует много методов приведения алгебраич. и трансцендентных ур-ний к виду (1) так, чтобы итерац. процесс был сходящимся. Чтобы итерац. процесс можно было бы построить для системы ур-ний, надо эту систему записать в виде

$$\begin{aligned} x' &= f_1(x', \dots, x^m), \\ &\vdots \\ x_m &= f_m(x', \dots, x^m). \end{aligned}$$

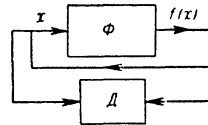
Тогда по n -му приближению (x'_n, \dots, x_n^m) можно построить $n+1$ -е $(x'_{n+1}, \dots, x_{n+1}^m)$. И. можно строить и при решении ур-ний, где неизвестными являются ф-ции. Так, интегр.

ур-ние $x(t) = f(t) + \int_0^t k(t, s) x(s) ds$ можно

решить методом И. по схеме

$$x_{n+1}(t) = f(t) + \int_0^t k(t, s) x_n(s) ds.$$

Важная особенность итерац. методов — их устойчивость к ошибкам. Зачастую ошибка в отдельных И. ведет лишь к замедлению сходимости процесса, а не портит вычисления целиком.



В математич. моделях итерац. методы можно реализовать с помощью к.-л. схемы с обратной связью (напр., приведенной на рис). Значение величины x поступает в блок Φ , вырабатывающий значение $f(x)$, к-рое опять поступает на вход блока Φ . Одновременно в дискриминаторе D сравниваются значения x и $f(x)$ для того, чтобы при их совпадении прервать процесс.

Лит.: Березин И. С., Жидков Н. П., Методы вычислений, т. 1, М., 1959; Кобринский Н. Е., Математические машины непрерывного действия, М., 1954. Ю. Шрейдер.

«ИФАК» (International Federation of Automatic Control; Fédération Internationale d'automatique; Internationale automatische Steuerung) — см. *Международная федерация по автоматическому управлению*.

Автоматизация производства и промышленная электроника
В 2-х т. Гл. ред. А. И. Берг и В. А. Трапезников. т. 1
М., «Советская энциклопедия», 1962. (Энциклопедия современной техники. Энциклопедии. Словари. Справочники). т. 1. А—И. 1962 524 с. с илл., 6 л. илл.

Сдано в набор 3 апреля 1962 г. Том подписан к печати 19 июля 1962 г.

Государственное научное издательство «Советская Энциклопедия». Москва. Ж-28. Покровский бульвар, д. 8.
Т-07395. 19/УП—1962 г. Формат 70×108 1/16. Объем 32,75 физич. п. л.; 44,87 усл. п. л. + вкл. 1,03 (6 вклеек глубокой печати), всего 45,90 усл. п. л., уч.-изд. л. 77,12+вкл. 1,47, всего 78,59 уч.-изд. л.
Тираж 50 000 экз. Цена тома 2 р. 70 к. Заказ № 2885.

Печать с матриц, изготовленных в Первой Образцовой типографии им. А. А. Жданова

Московская типография № 2 Мосгорсовнархоза, Москва, Проспект Мира, 105. Заказ 2078

