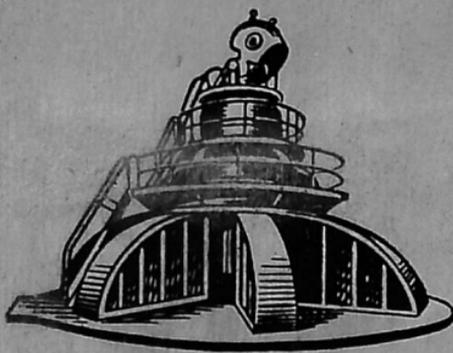


ОНЗ, ЧИТ./зале
НЕ ВЫДАЕТСЯ

С. Л. ВАЛЬДГАРД

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ



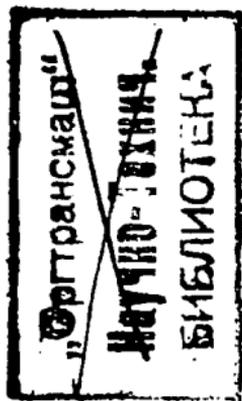
С. Л. ВАЛЬДГАРД

ОНЗ, ЧИТ./ЗДАТ

НЕ ВЫДАЕТСЯ

В-161

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1952 ЛЕНИНГРАД

В книге рассказано в популярной форме об электрическом токе и его важнейших применениях. Книга предназначена для таких читателей, которые никогда не изучали электротехники, поэтому в начале изложены также основные законы электричества.

В дальнейших главах говорится о производстве и передаче электроэнергии, о ее применении в промышленности, об электричестве в автоматике и о новых завоеваниях электротехники.

91
9646

Редактор *Н. Ф. Гревцев*

Технич. редактор *А. М. Фридкин*

Сдано в набор 27/II 1951 г.

Подписано к печати 20/II 1952 г.

Бумага 84×108¹/₃₂

2¹/₄ бумажн. листа, 7,38 п. л.

Уч.-изд. л. 7,8

T-00634

Тираж 25 000 экз.

Заказ № 1083

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
<i>Глава первая. Что надо знать каждому об электрическом токе</i>	11
Электрические заряды	11
Электрическое поле и электрические разряды	14
Электрический ток	15
Проводники и изоляторы	19
Электрические цепи и их схемы	23
Сила тока и напряжение	24
Сопротивление. Закон Ома	27
Постоянный и переменный ток	30
Магнитное поле тока	34
Электромагниты	36
<i>Глава вторая. Электроэнергетика</i>	38
Энергия в производстве	38
Электромагнитная индукция	41
Генераторы электрического тока	42
Электростанции	44
Передача электроэнергии на расстояние	46
Трансформаторы	47
Использование местных источников энергии	50
Энергетические системы	52
Аккумуляторы	56
Электричество — ведущее звено энергетики	58
Источники электроэнергии	61
Использование электроэнергии	63
<i>Глава третья. Электрификация современного производства</i>	66
Электродвигатели	66
Развитие промышленного электропривода	71
Многодвигательные машины	73
Электродвигатель на транспорте	77
Электрическое нагревание	79
Электрическая дуга Петрова	84
Индукционные печи и нагревание токами ВЧ	85
Производство алюминия	88
Электронагрев в сельском хозяйстве	89

<i>Глава четвертая. Электричество в автоматике</i>	90
Автоматика на железной дороге	91
Автоматическая защита. Реле.	94
Автоматическое регулирование нагрева	102
Разделение на операции	104
Схемы автоматике	105
Управление на расстоянии	109
<i>Глава пятая. Развитие физики и новые достижения электротехники</i>	112
Электромагнитные волны. Радиотехника	113
Ток в разреженных газах	116
Электронная лампа	117
Управляющая сетка	119
Радиотелефон (модуляция)	121
Выпрямители мощных токов	123
Тиратрон и его новые возможности	125
Электронная автоматика	128
Электрический „глаз“ (фотоэлемент)	129
Звуковое кино	133
Телевидение	134
Электронный луч	137
Радиолокация	138
Электронный микроскоп	142

ВВЕДЕНИЕ

Мы живем в век широкого применения электричества. С каждым годом все более завоевывает оно все области народного хозяйства: различные виды нашей социалистической промышленности, транспорт, сельское хозяйство. При этом электричество революционизирует современное производство, поднимая его на новый, более высокий уровень.

Человек, вооруженный научным знанием, покоряет природу, переделывает ее и заставляет служить своим целям. На протяжении столетий растет производительность человеческого труда, развиваются производительные силы общества — материальная основа общественного прогресса. В позапрошлом XVIII в. началось применение машин, заменивших ручной труд человека.

Последние два столетия были периодом все более широкой механизации труда. Но развитие промышленности и других областей производства требовало все новых средств вооружения труда и использования все новых явлений природы. В прошлом XIX в. началось применение электричества и были созданы различные области электрической техники: электрическое освещение, электродвигатели, нагревание электрическим током, способы получения и передачи электроэнергии и др.

В этом развитии электротехники передовую, ведущую роль сыграли наши русские ученые. Талантливые русские ученые и инженеры-электрики шли впереди мировой науки и техники. Наиболее важные, основные изобретения в области электротехники были сделаны в нашей стране. Еще в XVIII в. гениальный русский ученый М. В. Ломоносов своими замечательными исследованиями грозового электричества положил начало науки об электричестве в России. А на протяжении XIX в. наша Родина дала ми-

ру блестящую плеяду выдающихся электриков, создавших основы современной электротехники.

В 1802 г. петербургский физик В. В. Петров открыл электрическую дугу. Его открытие сыграло впоследствии громадную роль в развитии способов электрического нагревания и освещения. Русский изобретатель П. Н. Яблочков применил дугу Петрова на практике и создал первые в мире практически применявшиеся электрические приборы. А другой русский инженер А. Н. Лодыгин создал лампу накаливания — способ электрического освещения, применяемый ныне во всем мире.

В нашей стране было создано и электрическое нагревание. Русский ученый Э. Х. Ленц в 1844 г. изучил законы нагревания электрическим током, а русские изобретатели Н. Н. Бенардос (1875 г.) и Н. Г. Славянов применили для нагревания электрическую дугу Петрова и создали электросварку — одно из важнейших средств современной техники.

Россия является также родиной электрических двигателей. Первый в мире практически применимый электродвигатель был построен и применен в Петербурге Б. С. Якоби в 1838 г., а наиболее широко применяемый ныне во всем мире асинхронный двигатель переменного тока был создан в 1891 г. русским изобретателем М. О. Доливо-Добровольским.

Б. С. Якоби в России в 1837 г. была также изобретена гальванопластика — первое практическое применение химического действия электричества.

В России родилась электрическая связь. В 1832 г. П. Л. Шиллинг в Петербурге построил первую в мире линию электрического телеграфа, а в 1895 г. гениальный русский ученый А. П. Попов создал радио — это величайшее достижение современной техники.

В 1888 г. А. Г. Столетов в Москве открыл новое, очень важное явление: образование электрического тока от действия световых лучей. Это открытие русского физика легло в основу создания звукового кино, телевидения, сыграло громадную роль в развитии электрической автоматики и других отраслей техники.

Все более широкое применение электричества требовало создания способов производства и применения электроэнергии. В развитии электрических генераторов, работающих на электростанциях, первостепенную роль сы-

грали исследования русских ученых Э. Х. Ленца и А. Г. Столетова. В 1882 г. И. Ф. Усагин в Москве построил первый в мире трансформатор — аппарат, дающий возможность изменять напряжение тока и передавать электроэнергию на большие расстояния, а в 1891 г. М. О. Доливо-Добровольский впервые осуществил дальнюю высоковольтную передачу (на 175 км).

Таков далеко не полный перечень выдающихся заслуг русских электриков XIX в., и можно без всякого преувеличения сказать, что основы современной электротехники созданы в нашей стране.

К началу нашего XX в. электротехника выросла в могучую область техники — наиболее передовую и ведущую на данном уровне ее развития. В сравнении с прежними механическими средствами техники электрические средства оказались гораздо богаче и совершеннее. Электричество обладает многими преимуществами. Оно открывает гораздо большие возможности использования природных источников энергии. Электрический ток можно передавать на большие расстояния и удобно распределять и подводить по проводам в любое место, ко множеству потребляющих точек. Электрические устройства очень выгодны, экономичны, работают с малыми потерями. Электричество универсально в своих применениях — его можно использовать для самых разнообразных целей: для движения машин, нагревания, освещения, химического действия, для связи и т. д. Электротехника дает возможность осуществлять разнообразные очень сложные, быстро действующие автоматические устройства. Управление электрическими машинами и аппаратами чрезвычайно удобно и упрощает труд рабочих.

Все эти преимущества открыли электрической технике широкую дорогу во все области производства. Раскрылись возможности всесторонней электрификации производства, развития от механизации труда к электрификации как более высокой ступени технического вооружения человеческого труда и поднятия его производительности. Электричество вело к невиданному техническому прогрессу.

Но в капиталистическом обществе, основанном на эксплуатации человека человеком, развитие электротехники и электрификации упирается в непреодолимые преграды. Завоевания науки и техники поставлены там на служ-

бу эксплуататорам, применение достижений электротехники лишь усиливает классовый гнет и увеличивает нищету трудящихся масс. Противоречия, раздирающие капиталистическое производство, кризисы, конкуренция частных фирм делают невозможным свободное развитие передовой электрической техники. В. И. Ленин писал: «...пока остается капитализм и частная собственность на средства производства, электрификация целой страны и ряда стран, во-первых, не может быть быстрой и планомерной; во-вторых, не может быть произведена в пользу рабочих и крестьян. При капитализме электрификация неминуемо поведет к усилению гнета крупных банков и над рабочими и над крестьянами»¹.

Совершенно другое положение видим мы в нашей стране — стране строящегося нового коммунистического общества. Победа дела трудящихся в СССР открыла неограниченные возможности для развития передовой электрической техники. Она служит у нас благу народа. Электрификация нашей страны — это создание материальной основы коммунизма.

В. И. Ленин и И. В. Сталин оценили все громадное историческое значение электротехники и электрификации в деле построения нового, бесклассового общества. Ленин говорил, что «Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны»².

Говоря об электрификации страны, надо иметь в виду не просто применение электричества, как какую-то отдельную область техники. Речь идет о глубоком проникновении электричества во все области производства, причем электричество всюду революционизирует технику, поднимая ее на новый, более высокий уровень. Ленинско-Сталинская идея электрификации страны — это внедрение новой, передовой техники во все народное хозяйство — создание в целом технической базы коммунизма на основе широкого и всестороннего применения электричества.

Товарищ Сталин пишет: «... под электрификацией страны Ленин понимает не изолированное построение отдельных электростанций, а постепенный «перевод хозяйства страны, в том числе и земледелия, на новую техническую базу, на техническую базу современного крупного

¹ В. И. Ленин, Сочинения, т. XXVII, стр. 106.

² В. И. Ленин, Сочинения, т. XXVI, стр. -6.

производства», связанного так или иначе, прямо или косвенно, с делом электрификации»¹.

Под руководством В. И. Ленина был разработан исторический план ГОЭЛРО — Государственной комиссии по электрификации России, смело наметивший грандиозные работы по техническому перевооружению нашей Родины на основе ее электрификации.

А за годы великих сталинских пятилеток план этот не только давно уже выполнен, но и был многократно перевыполнен. По всей стране построено множество мощных электростанций, вливающих в народное хозяйство громадные потоки электроэнергии. Создана собственная электротехническая промышленность, производящая все необходимое электрооборудование высшего качества. Наши заводы, фабрики, шахты электрифицированы по последнему слову техники. Вслед за промышленностью электричество широко внедряется в социалистическое сельское хозяйство. Электрифицируется транспорт.

Передовая советская наука, продолжая славные традиции русских электриков прошлого столетия, ведет глубокую исследовательскую работу по изучению электрических явлений и новых способов их практического применения, обогащая нашу технику все новыми, передовыми средствами на основе новейших достижений научной мысли.

В последние годы советский народ начал осуществление величественного Сталинского плана преобразования природы. Частью этого плана являются великие стройки коммунизма, в которых сочетаются задачи орошения засушливых районов, улучшения речного судоходства и выработки громадных количеств электрической энергии. Среднегодовая выработка энергии новыми крупнейшими в мире станциями на Волге, Дону, Днепре и Главном Туркменском канале превысит в 11 раз всю выработку энергии в царской России в 1913 г. При утверждении проектов станций Советское правительство назначило очень короткие сроки их осуществления. Нигде в мире еще не строились станции такой мощности в такие короткие сроки, не сравнимые со сроками строительства крупных станций, например в США. Там подобные стройки

¹ И. В. Сталин, Вопросы ленинизма, изд. 9-е, стр. 262 (курсив И. В. Сталина).

растягиваются на десятилетия. Неопишем тот энтузиазм, с которым весь советский народ принимает участие в этом грандиозном строительстве.

* * *

В этой книге мы дадим сначала некоторые общие сведения об электричестве — для читателей, не получивших основных знаний по физике, а затем остановимся на важнейших вопросах электрификации в современной технике.

Здесь важно прежде всего выяснить значение электричества в энергетике: отношение электричества к другим видам энергии в технике; производство, передачу и распределение электроэнергии.

Далее встают вопросы электрификации самого современного производства: применение электродвигателей для приведения в действие машин, внедрение электрических методов в технологические процессы в различных отраслях промышленности и в сельском хозяйстве.

Особо целесообразно выделить вопросы электрической автоматики, имеющей особое значение в деле внедрения новейшей передовой техники, — электричество как средство управления и создания самодействующих и самоуправляющихся устройств в различных областях производства.

Наконец, следует остановиться на новых завоеваниях современной электротехники, на обогащении ее все новыми техническими средствами, основанными на достижениях науки (физики), изучающей электрические явления.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЧТО НАДО ЗНАТЬ КАЖДОМУ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТОКЕ

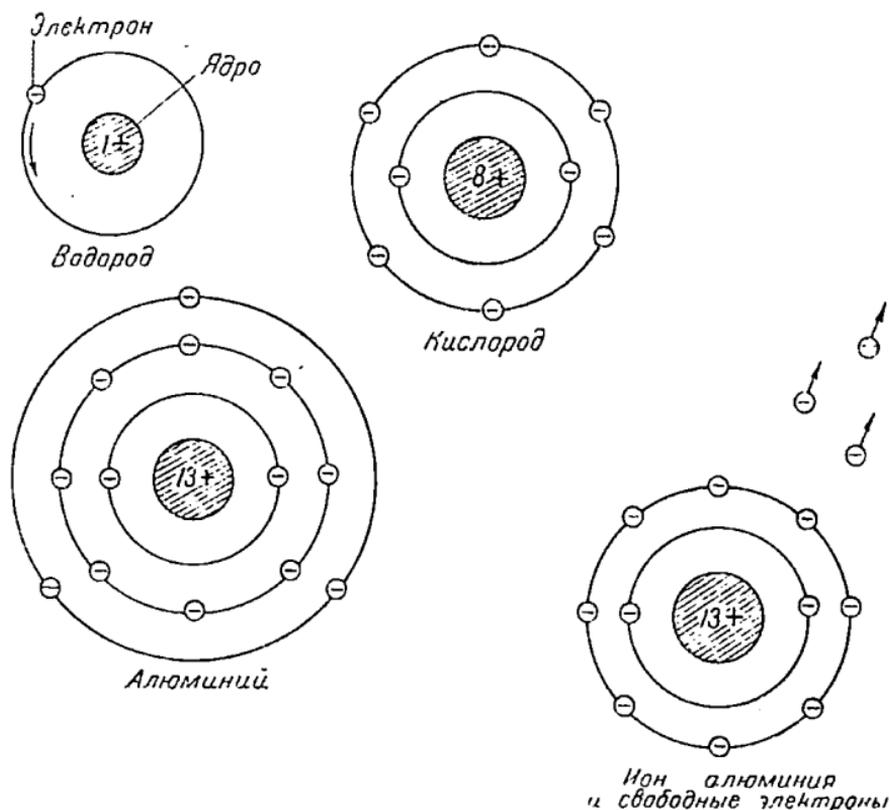
Электрические явления окружают нас всюду. Электрические лампы освещают наши дома и улицы, электродвигатели приводят в движение трамваи и заводские станки. Какие-то невидимые для глаза электрические явления происходят в тех металлических проводах, которые протянуты вдоль наших стен. В чем они состоят? Что такое электричество, электрический ток?

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЫ

Электрические явления широко распространены и в природе. Во время грозы в нависших темных грозовых тучах скопляются электрические заряды, и когда сверкают яркие молнии, происходят мощные разряды электричества. Заряженные электричеством слои воздуха находятся и в высоких слоях атмосферы, они влияют на распространение радиоволн и на радиопередачу. Электрические токи обнаружены также в земной коре. Мощные электрические процессы происходят и на далеком от нас солнце; наблюдаемые иногда солнечные пятна представляют собой гигантские вихри раскаленных газов, в которых движется множество электрически заряженных частиц и образуются гигантские вихревые электрические токи, т. е. движение громадного количества электрических зарядов.

О чем свидетельствует такая широкая распространенность электрических явлений в природе, чем она обусловлена? Установлено, что электрические заряды нахо-

дятся всюду, в каждом теле, в любом веществе. Материя состоит из мельчайших частиц — атомов. Атомы имеют сложное строение: в центре каждого атома находится его ядро, а вокруг него движутся электроны. Как ядра атомов, так и электроны заряжены электричеством. Следовательно, электрические заряды находятся всюду в мельчайших частицах материи, из которых состоит все, что нас окружает (фиг. 1).



Фиг. 1. Упрощенные схемы строения атомов.

Ядра атомов и электроны заряжены различным электричеством. Есть два рода электричества: положительное и отрицательное. Ядра атомов заряжены положительным электричеством, а электроны — отрицательным. Одинаковые (одноименные) электрические заряды отталкивают друг друга; различные же (разноименные) заряды друг друга притягивают. Поэтому между положительно заряженными ядрами атомов и отрицательно заряженными электронами действует сила притяжения.

Число положительных зарядов ядра и число обращающихся вокруг него электронов у разных веществ различно. Например, у водорода ядро атома имеет один заряд, и вокруг него обращается один электрон; ядро атома алюминия имеет 13 зарядов, и вокруг него обращается 13 электронов; у железа 26 зарядов ядра и 26 электронов. В атомах всех веществ число электронов, обращающихся вокруг ядра, равно числу положительных зарядов ядра. Число положительных и отрицательных зарядов в атомах одинаково.

Когда заряды положительного и отрицательного электричества находятся вместе в одинаковом количестве, они нейтрализуют друг друга — их электрическое действие перестает проявляться. Электрическое действие положительных и отрицательных зарядов проявляется тогда, когда они отделены друг от друга или когда количество одних из них больше, чем других.

Атом вещества, в котором число электронов равно числу положительных зарядов ядра, нейтрален в электрическом отношении — такой атом в целом не проявляет электрических свойств, хотя заряды в нем и имеются. Все тело, состоящее из множества таких атомов, также электрически нейтрально, поэтому большинство окружающих нас предметов обычно не проявляет электрических свойств, хотя электрические заряды имеются в каждом атоме. Если же часть электронов отделится от своих атомов, нейтральность нарушится. Отделившиеся электроны заряжены отрицательным электричеством, а остатки атомов — положительным, потому что в них теперь число положительных зарядов ядра больше, чем число оставшихся электронов. Атомы с избытком зарядов одного знака над зарядами другого называются ионами

Электризуется и все тело, если в нем оказывается избыток отрицательных или положительных зарядов. Так происходит во время грозы, когда в грозовых тучах в громадном количестве скопляется избыток зарядов одного знака над зарядами другого.

Электрическую природу грозы изучал великий русский ученый Михаил Васильевич Ломоносов. Для этого он производил смелые и опасные опыты: посредством шпилья, установленного на крыше, грозовое электричество отводилось по проволоке внутрь дома к приготовленным там приборам. Во время этих опытов друг Ломоносова

акад. Рихман был убит молнией — ради развития науки наши самоотверженные ученые готовы были рисковать жизнью. Ломоносов правильно объяснил, как в грозных тучах накапливаются электрические заряды; его взгляды в этой области намного опередили науку того времени. М. В. Ломоносов был основателем блестящей школы русских ученых, сыгравших выдающуюся роль в изучении и применении электричества.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ

Если какое-нибудь тело заряжено электричеством, то электрические свойства проявляются не только в самом этом теле, но и в окружающем его пространстве. Небольшой легкий шарик, заряженный тем или другим электричеством, отталкивается или притягивается уже на некотором расстоянии от заряженного тела. В пространстве, окружающем заряженное тело, действуют электрические силы — образуется электрическое силовое поле.

Большое значение в электрических явлениях имеет напряжение электрического поля. В различных точках поля действие электрических сил неодинаково, — чем ближе к заряженному телу, тем сильнее притягивает оно или отталкивает другие заряды. Напряжение существует между двумя точками электрического поля — между точкой, в которой действие сил больше, и точкой, в которой оно меньше. Если в электрическом поле оказываются заряды (заряженные частицы вещества), напряжение стремится привести их в движение и переместить их из точки с большим действием электрических сил в точку с меньшим действием этих сил.

Мы упоминали о неподвижных электрических зарядах, скопляющихся на заряженных, наэлектризованных телах. Но в природе и в технике большое значение имеет движение электрических зарядов. Оно происходит от действия электрических сил. Если к одному заряженному телу приблизить другое, заряженное противоположным знаком, между ними с треском проскакивает искра. Мельчайшие частицы вещества, заряженные электричеством, переходят при этом с одного тела на другое. Они движутся с большой скоростью, сталкиваются с частичками воздуха и нагревают его до свечения. Такая электрическая искра называется разрядом.

Молнии, сверкающие во время грозы, в основном являются подобными же электрическими разрядами, но громадной мощности. В пространстве между тучей и землей образуется электрическое поле с огромным напряжением. Воздух плохо проводит электричество и оказывает сопротивление разряду. Но напряжение столь велико, что оно преодолевает сопротивление воздуха, и тогда между тучей и землей происходит гигантский электрический разряд — молния длиной нередко в несколько километров. Приходит в движение огромное количество электрически заряженных частиц. Воздух на их пути накаляется до яркого свечения. Разряд молнии может производить большое разрушающее действие на предметы, которые окажутся на его пути. Мощность одной молнии нередко достигает миллионов киловатт, т. е. в несколько раз больше мощности крупной электростанции.

Но такого рода электрические разряды длятся лишь очень небольшое время. Продолжительность каждой молнии — малые доли секунды. Разряд восстанавливает электрическое равновесие, напряжение снижается, и движение заряженных частиц прекращается до следующего накопления заряда.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Для обычных практических целей электрическая энергия в виде таких коротких, непродолжительных разрядов непригодна. Для накала электрических ламп или для работы электродвигателей нужно длительное, непрерывное питание энергией — надо, чтобы движение заряженных частиц происходило непрерывно в течение долгого времени. Таким длительным движением заряженных частиц является электрический ток, который применяется в электротехнике.

Что необходимо для получения электрического тока? Надо, чтобы напряжение, вызывающее движение заряженных частиц, не прекращалось, а все время поддерживалось. Для этого служат специальные электрические машины — источники тока. Источники тока имеют два полюса, между которыми поддерживается напряжение. Кроме того, для образования электрического тока надо соединить оба полюса источника каким-нибудь проводником тока, например металлическим проводом. Тогда вдоль этого провода от действия напряжения, приложен-

ного к его концам, будет происходить непрерывное движение заряженных частиц, т. е. электрический ток. Если включить в цепь лампочку, она будет светиться. Напряжение, приложенное к концам провода, является той силой, которая приводит в движение частицы, заряженные электричеством. При постоянном токе, не меняющем своего направления, один из полюсов источника является положительным (плюсом), другой — отрицательным (минусом). Частицы, заряженные электричеством, отталкиваются от полюса одинакового с ними знака и притягиваются к другому полюсу, знак которого им противоположен; от этого заряженные частицы и движутся вдоль провода по направлению от одного полюса к другому, образуя ток. Отрицательно заряженные электроны движутся от отрицательного полюса к положительному.

Разные материалы в различной мере проводят ток — одни хуже, другие лучше. Вещества, хорошо проводящие ток, называются проводниками электричества. Хорошими проводниками являются металлы.

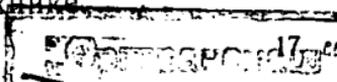
Чем объясняется это проводящее свойство металлов, что происходит в металле, когда по нему проходит ток? Металлы, как и все вещества, состоят из атомов, в которых вокруг положительно заряженных ядер движутся отрицательно заряженные электроны. Но особенность атомов металлов состоит в том, что их наиболее внешние электроны, дальше всего находящиеся от ядра, недостаточно прочно с ними связаны. Поэтому часть электронов отрывается от атомов и оказывается в свободном состоянии. Таким образом, в металле находятся, с одной стороны, атомы, лишенные некоторых электронов, — положительно заряженные ионы, а с другой стороны, большое количество свободных электронов. Более крупные частицы — ионы — образуют основу строения металла. Металлы состоят из маленьких кристалликов, а в кристаллах частицы расположены в виде правильной решетки. Положительные ионы металла и образуют узлы такой кристаллической решетки. Свободные же электроны, оторвавшись от атомов, движутся беспорядочно, во все стороны, сталкиваясь с ионами. В этом есть некоторое сходство с беспорядочным движением частиц в газах, поэтому движение свободных электронов в металле образно называется электронным газом.

Пока к металлическому проводнику не приложено напряжение и тока в нем нет, свободные электроны движутся беспорядочно. Но как только к концам проводника приложено напряжение, так картина сразу меняется. К беспорядочному движению электронов присоединяется новое, упорядоченное движение в определенном направлении, вдоль проводника. Правда, наряду с движением вдоль проводника электроны сохраняют и свое беспорядочное движение в металле. Но именно та часть их движения, которая направлена вдоль цепи от одного полюса к другому, и образует электрический ток.

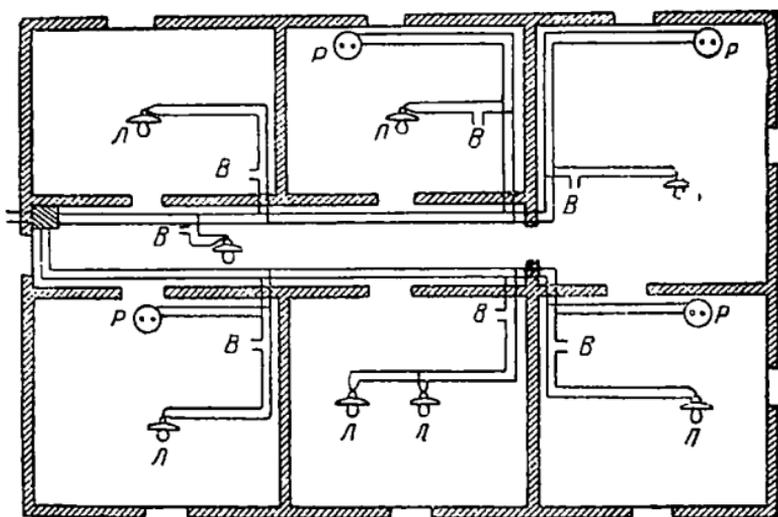
Но электрический ток проводят не только металлы. Проводят его и некоторые жидкости. Хорошим проводником является вода, если она содержит хоть небольшое количество растворенных солей или кислот. При ремонте электрических устройств очень опасно работать мокрыми руками, так как вода повышает проводимость кожи. Бывали случаи, что пожарных поражал ток, проходящий по струе воды. Но природа электрического тока в жидкостях иная, чем в металлических проводниках. В жидких растворах образуются более крупные частицы, заряженные электричеством, — ионы. Одни из них заряжены положительно, другие — отрицательно. Когда к жидкости приложено напряжение, например между двумя электродами, погруженными в банку с раствором, положительные ионы притягиваются к отрицательному полюсу и движутся к нему, а отрицательные ионы движутся к положительному полюсу. Заряженные более крупные частицы движутся друг другу навстречу в противоположном направлении.

В дальнейшем мы увидим, что есть и другие виды электрического тока, например в газах или в разреженном пространстве (вакууме). Носителями электрического тока в разных случаях являются различные заряженные частицы вещества. Движение их также бывает различным. Но электрический ток всегда является движением частиц материи, заряженных электричеством.

Особенно большое значение в современной электротехнике имеет ток в металлических проводниках. Из металла можно делать длинные и тонкие провода, по которым ток передается на большое расстояние и подводится в любое нужное место. Это позволяет организовать поток электроэнергии, что очень важно в технике.



Как мы уже видели, электрические токи существуют и в природе. Но электрический ток в том виде, в котором он применяется в технике, существенно от них отличается и во многих отношениях представляет собой нечто новое, созданное человеком. Человек вообще изменяет, переделывает природу, активно воздействует на нее, заставляя служить своим целям и нуждам. Изменяет он и природу электрических явлений.



Фиг. 2. Электрическая цепь освещения квартиры.
В — выключатели; *Л* — потолочные лампы; *Р* — штепсельные розетки.

Одна из важных особенностей электрического тока, применяемого в технике, состоит в его упорядоченном, организованном характере. Электрические разряды и токи в природе гораздо менее упорядочены. Разряды молнии пробивают себе путь в воздухе в тех местах, где он случайно оказывается более проводящим, поэтому молния имеет характерную для нее ломаную, зигзагообразную, нередко разветвленную форму. Токи в земле не сосредоточены в определенных руслах и растекаются в разные стороны, рассеивая свою энергию.

Совершенно другое мы видим в технике. Электроэнергия направляется по определенным каналам. Этими каналами являются металлические провода, по которым проходит ток. По проводам электроэнергия в виде тока передается с электростанций через десятки и сотни километров. У мест потребления сеть электрических проводов разветвляется на тысячи каналов, которые направляют

ток вдоль улиц, внутрь домов и заводских цехов, подводят его к каждому электродвигателю, к каждой лампочке, к миллионам потребляющих точек. На фиг. 2 приведен пример сложной цепи разветвляющихся проводов — подводящих каналов — в осветительной проводке жилой квартиры. При этом ток не растекается в стороны и энергия почти не теряется в пути. Эта канализация электроэнергии — создание сети направляющих и хорошо проводящих каналов-проводов — имеет большое значение в технике. Металлический провод сыграл большую роль в развитии электротехники.

ПРОВОДНИКИ И ИЗОЛЯТОРЫ

Провода должны возможно лучше проводить ток. Разные металлы отличаются различной проводимостью. Одним из лучших проводников является медь, которая и нашла наиболее широкое применение для изготовления проводов. Так как примеси ухудшают проводимость, то чистоту меди для некоторых электротехнических целей доводят до 99,93%. Серьезным конкурентом меди в изготовлении проводов явился алюминий. Его проводимость, правда, более чем в полтора раза хуже меди, поэтому при той же нагрузке для получения той же проводимости алюминиевый провод приходится делать в 1,7 раза большего сечения, чем медный. Но так как алюминий очень легкий, провод из него все же получается в два раза легче медного. Сопротивление стали значительно больше, поэтому стальные провода применяются лишь для слабых токов, главным образом в линиях связи.

Чем сильнее ток, тем лучше должна быть проводимость. Если провода недостаточно хорошо проводят, они нагреваются, что ведет к потере энергии и другим вредным последствиям. Проводимость находится в зависимости от материала и от толщины провода, — чем толще провод, тем лучше он проводит ток; чем сильнее ток, тем толще должны быть провода.

Но хорошая проводимость — это лишь одна сторона тех свойств, которыми должны обладать каналы для передачи и направления потока электроэнергии. Каналы эти должны быть также тщательно изолированы в электрическом отношении от всех окружающих предметов. Изоляция электрических линий и проводов необходима для

того, чтобы проходящий по ним ток не растекался в стороны, не уходил в землю, чтобы он был безопасен для людей и не нарушал работу соседних электрических устройств. Для этого все провода и электроприборы тщательно отделяются особыми материалами, не проводящими ток. Изоляция проводов была впервые применена русским ученым В. В. Петровым.

Есть целый ряд материалов, которые не проводят ток и могут служить более или менее хорошими изоляторами. Таковы фарфор, стекло, мрамор, резина, эбонит, шелк и др.

Свойство этих изоляторов, или диэлектриков, не проводить ток объясняется их строением. В отличие от металлов (проводников) в их атомах все электроны прочно связаны с ядрами и не отделяются от них. Поэтому в них нет свободных электронов, движение которых могло бы образовывать электрический ток.

Чем выше напряжение в сети, тем лучше должны быть изолирующие свойства материала, как говорят, его электрическая прочность. При небольшом напряжении изолятором может служить сухое дерево, при более высоком напряжении оно уже не годится. Особенно хорошая, надежная изоляция необходима на электростанциях и в линиях дальних электропередач, где напряжение особенно велико.

При большом напряжении, если электрическая прочность изолятора недостаточна, может произойти пробой этого изолятора. От действия напряжения в состоянии атомов изолятора происходят изменения. Их ядра несколько смещаются в одну сторону, а пути электронов, движущихся вокруг ядер, смещаются в другую. При чрезмерном напряжении в месте пробоя изолятора частицы его превращаются в заряженные ионы и движутся по направлению электрических сил, т. е. возникает ток. В этом месте происходит разрушение изолятора, и он теряет свои изолирующие свойства — в нем образуется канал, через который происходит утечка тока из сети.

Электрическая сеть проходит на поверхности земного шара, соприкасаясь здесь главным образом с воздухом, землей и водой, а также с искусственными сооружениями человека. Такова та среда, от которой она должна быть изолирована. Воздух в обычном состоянии сам является довольно хорошим изолятором. Поэтому провода воздуш-

ных линий делаются голыми, не покрытыми специальной изоляцией. Зато они должны быть хорошо изолированы в тех местах, где они закрепляются на опорных мачтах, так как через мачты ток может уходить в землю. Это особенно относится к линиям высокого напряжения. Их провода подвешиваются на больших фарфоровых изоляторах. Но утечка тока может происходить по загрязненной и смоченной дождем поверхности изолятора. Для предотвращения такой утечки изоляторы делаются колоколообразной формы, как бы в виде нескольких спускающихся вниз юбок. Это увеличивает их поверхность и удлиняет обходный путь тока. Кроме того, в складки на нижней стороне колокола не попадает дождевая вода, и в них труднее образуется проводящий слой грязи. Чтобы еще больше удлинить и затруднить обходный путь тока, применяют целые гирлянды из нескольких изоляторов, к которым подвешиваются провода, и чем выше напряжение в линии, тем больше должно быть изоляторов в гирлянде.

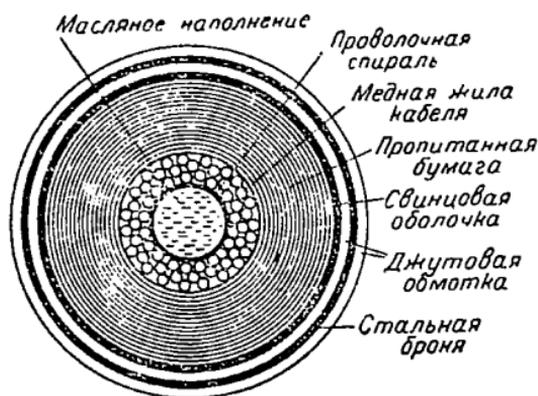
Земля, в особенности сырая, довольно хорошо проводит электричество. Поэтому вся электрическая сеть, в том числе и проходящая внутри домов, должна быть возможно лучше изолирована от всего, что может ее соединить с землей. А соединение с землей может произойти через стены и полы, через различные предметы, особенно металлические, например через водопроводные трубы, а также через тело человека, прикоснувшегося к неизолированному месту провода или прибора. Поэтому внутренняя проводка в домах тщательно изолируется.

Но особенно надежно изолируются кабели, которые прокладываются в земле, где утечка тока могла бы происходить особенно легко. Кабели имеют сложное строение (фиг. 3). Медная жила кабеля окружена многими слоями бумаги, пропитанной маслом и канифолью, бумага окружена свинцовой оболочкой без швов, защищающей ее от проникновения влаги, поверх нее кладут слой джута, пропитанного асфальтовой смолой, далее следует броня из стальной ленты или проволоки для защиты от механических повреждений; броня эта для защиты от ржавления снова покрывается слоем асфальтированного джута. В кабелях для более высоких напряжений медные проводящие проволоки навиваются на стальную спираль, внутри которой образуется полый канал. Канал

этот наполняется жидким маслом, которое оттуда, изнутри, пропитывает слои бумаги, создавая более высокую степень изоляции.

Устройство кабелей разнообразно в соответствии с различными условиями их работы. Кабельная техника достигла высокого совершенства и все более развивается — она дает возможность проводить подземные высоковольтные линии для напряжений до 100 000 в. Кабели могут проходить и под водой. Во время блокады Ленинграда советские рабочие и инженеры вблизи фронта проложили кабель по дну Ладожского озера и город-герой полу-

чал энергию с Волховской электростанции. Большое значение имеет кабельная проводка и в горном деле, в сырых подземных рудниках и коях, где электроэнергия должна быть подведена к местам выработок.



Фиг. 3. Электрический кабель.

Хорошая изоляция электрической сети важна и для безопасности людей. Тело человека

является достаточно хорошим проводником электричества. Поэтому при прикосновении к плохо изолированным проводам или приборам ток может пройти через человека. При этом ток может пройти или из сети через тело человека в землю, или из одного полюса (провода) через человека в другой. Все, что улучшает проводимость тела, что уменьшает его сопротивление, увеличивает возможность и опасность поражения током. Такой лучший проводящий путь через наше тело создают мокрые руки, мягкая, нежная кожа рук, загрязнение рук металлической стружкой, промоченные ноги, худые ботинки, гвозди в подошвах, каменный сырой пол, гвозди в половицах и т. п. Чтобы преградить путь тока через свое тело, электромонтеры надевают резиновые перчатки или галоши с толстой подошвой, становятся на резиновые коврики и пр.

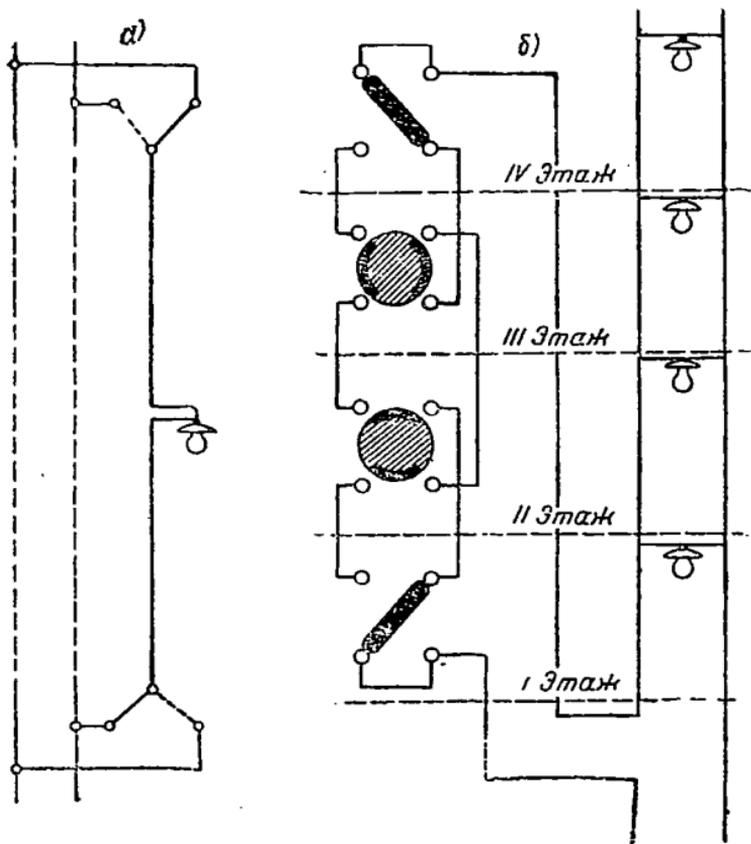
Итак, каналы (провода), по которым передаются, направляются и распределяются потоки электроэнергии,

должны, с одной стороны, возможно лучше проводить ток, а с другой стороны, должны быть хорошо изолированы от всего окружающего.

Путь, по которому проходит электрический ток, называется электрической цепью.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И ИХ СХЕМЫ

Металлические провода, направляющие электрический ток, дают возможность строить любые, нужные электрические цепи, подчас достигающие большой сложности.



Фиг. 4.

a — схема коридорного освещения; *b* — схема лестничного освещения.

Построение электрических цепей дает возможность решать самые разнообразные электротехнические задачи: от простой квартирной проводки до сложнейших автоматических устройств. Цепи различным образом разветвля-

ются, направляют ток, устанавливают связь между включенными в них приборами. Выключатели, переключатели, распределительные и иные устройства дают возможность управлять электрическими цепями, включать или выключать их в целом или по частям, пускать или останавливать включенные в них приборы и направлять энергию по нужным каналам.

В электротехнике применяются схемы, которые наглядно, зрительно выражают все сложные взаимоотношения между элементами цепей. Электрические схемы стали тем «языком электротехники», который прочно вошел в ее обиход, которым электрики подчас лучше выражают свои мысли, чем словами, и который играет большую роль в развитии этой передовой отрасли техники.

Рассмотрим для примера одно-два построения электрических цепей, взятых из повседневного обихода. Поставлена задача осветить длинный коридор так, чтобы лампу можно было зажигать и гасить из каждого конца коридора (независимо), при этом цепь надо построить с наименьшим расходом проводов. Подобная задача нередко встает при освещении корабельных помещений. Разберите сами приложенную схему с применением переключателей (фиг. 4, а).

А вот еще случай: надо осветить лестничную клетку четырехэтажного дома — лампы по всей лестнице должны независимо зажигаться и гаситься с каждого из четырех этажей (фиг. 4, б). В конечных пунктах (наверху и внизу) и на промежуточных этажах применены различные типы переключателей.

СИЛА ТОКА И НАПРЯЖЕНИЕ

Если мы хотим точнее изучить какую-либо область явлений, мы должны знать, что и как в ней измеряется. Какие величины измеряются в электрическом токе? Каждому, имеющему дело с электричеством, постоянно приходится слышать о напряжении, измеряемом в вольтах, и о силе тока, измеряемой в амперах (амперы сокращенно обозначаются *a*, вольты — *v*). Например, в московской городской осветительной сети напряжение 120 *v* (точнее 127 *v*), в загородной 220 *v*, на заводах, в силовой сети, питающей электродвигатели, напряжение бывает 380, 500 *v* и др. С другой стороны, для электрических прибо-

ров и аппаратов нужна различная сила тока, например для лампочек $1/2 - 1$ а, для электрических плиток 3 а, в заводских электродвигателях или печах сила тока значительно больше (десятки и сотни ампер).

Что же такое сила тока и напряжение? В чем различие и взаимоотношение между ними? Сила тока — это то количество электричества, которое протекает по проводнику в каждую секунду. По проводу или через прибор может протекать различное количество электрических зарядов. Через тонкий волосок лампочки для его накала протекает сравнительно меньшее количество зарядов. По проволоке плитки для образования тепла их протекает в несколько раз больше. В громадной электрической печи для плавки стали электрических зарядов протекает еще во много раз больше.

Это различное количество протекающего электричества можно сравнить с различным количеством воды, протекающей в реке или по трубам. Для более точного определения надо взять в каком-нибудь месте проводника его поперечное сечение (воображаемый разрез) и определить, какое количество электричества протекает через него за 1 сек. Это и называется силой тока или просто током, величиной тока. Сила тока — это количество электричества, протекающего через поперечное сечение проводника за 1 сек.

Что же такое напряжение? Мы уже знаем, что напряжение, приложенное к концам проводника, является причиной, вызывающей в нем электрический ток. Оно заставляет двигаться заряженные частицы вдоль проводника. Значение напряжения становится более понятным, если снова сравнить электрический ток с движением воды по трубе или в реке. Течение воды вызывается напором, который создается насосом или тем, что река течет из более высоких мест в более низкие. Без напора вода остановится и течения не будет. Напряжение в электрическом токе — это тоже своего рода напор, как бы электрический напор, который создается на электростанции или местным источником тока. Он вызывает движение заряженных частиц, т. е. ток, по всей подчас длинной и сложно разветвленной цепи. Без напряжения не будет и тока. Надо заметить, что само напряжение может быть и без тока, если полюсы источника не соединены — не замкнуты непрерывной цепью проводников.

Напряжение, или электрический напор, может быть большим или меньшим, небольшие батареи дают напряжение в несколько вольт; электростанции — сотни, тысячи вольт и больше.

Мощность реки, приводящей в действие водяной двигатель, зависит как от большего или меньшего напора в реке, так и от большего или меньшего количества протекающей в ней воды. Есть равнинные полноводные реки с небольшим напором и есть горные потоки с меньшим количеством воды, но с большим напором. Те и другие могут иметь одинаково большую мощность. Подобно этому и мощность электрического тока зависит как от силы тока, так и от напряжения. При одинаковом напряжении ток вдвое большей силы производит в два раза большее действие, например выделит больше тепла или накалит более мощную лампу. Но можно получить то же действие и от увеличения напряжения при меньшей силе тока. Мощность измеряется в ваттах (сокращенно *вт*). Лампочки мощностью 60 *вт* в городской сети с напряжением 120 *в* берут силу тока поллампера (0,5 *а*). В загородной сети при большем напряжении (220 *в*) лампа той же мощности берет меньшую силу тока (0,27 *а*). Мощность тока равна произведению его силы на напряжение: $0,5 \text{ а} \times 120 \text{ в} = 60 \text{ вт}$, $0,27 \text{ а} \times 220 \text{ в}$ тоже дают 60 *вт*.

Если проследить силу тока вдоль неразветвляющейся цепи, то окажется, что она во всех местах цепи одинакова. Если в цепь включена лампа или электродвигатель, сила тока до лампы или перед двигателем такая же, как и после них. Ведь сила тока — это количество протекающего электричества, а оно, разумеется, не расходуется и не уменьшается. Количество воды, протекающее в реке, до водяного двигателя и после него тоже одинаково. Расходуется энергия воды, но не она сама.

Напряжение вдоль цепи понижается, падает. Само понятие напряжения относится не к одной какой-нибудь точке цепи, а всегда к двум точкам — к разности или падению напряжения между двумя точками. Если мы говорим, что напряжение в нашей осветительной сети 120 *в*, это значит, что между двумя точками цепи, в которых она присоединяется к магистральным проводам, возникает падение напряжения 120 *в*. Это общее падение напряжения различно распределяется между разными участками цепи. Пусть цепь состоит из лампочки и двух про-

водов между ней и вводами. В проводе между одним вводом и лампой происходит некоторое незначительное падение напряжения, например 2 в. Большая часть падения напряжения (116 в) происходит в лампе, где ток производит полезный накал. Остальные 2 в приходятся на второй провод. Таким образом, общее падение напряжения складывается здесь из трех частей $2 + 116 + 2 = 120$ в.

Иногда применяют последовательное соединение электрических приборов, т. е. несколько приборов включается один за другим в одну и ту же линию. В трамваях, например, при общем падении напряжения 600 в последовательно одна за другой включают 5 ламп, рассчитанных на напряжение 120 в каждая. В первой из них напряжение цепи падает на 120 в, во второй — еще на 120 в и т. д., а в целом вдоль цепи падение напряжения распределяется между 5 лампами: $120 + 120 + 120 + 120 + 120 = 600$ в.

В электротехнике обычно применяется не последовательное, а параллельное соединение ламп, двигателей и других потребителей энергии. Цепь разветвляется на несколько параллельных ветвей, и в каждую из них включается по одной лампе или двигателю. Падение напряжения на всех параллельных ветвях одинаково. Если падение напряжения в сети 120 в, то сколько бы ни было ответвлений от главных проводов с включенными в них лампами, нагревательными приборами и т. п., в каждом из этих приборов падение напряжения будет тем же — 120 в.

Сила же тока в параллельно включенных приборах бывает различной. Ток расходится между параллельными ветвями и в различные ветви поступает неодинаковой силы. Если рядом параллельно включены небольшая лампа и мощный нагреватель, в ветвь с лампой направляется ток значительно меньшей силы, а в ветвь с нагревателем — значительно большей.

СОПРОТИВЛЕНИЕ. ЗАКОН ОМА

В явлениях электрического тока большое значение имеет еще одна величина — сопротивление проводников. Как провода, так и включенные в них лампы и другие приборы оказывают известное сопротивление прохождению через них тока. Ток не проходит через них беспрепятственно. Это сопротивление бывает большим или мень-

шим. Чем больше сопротивление проводников, тем меньшей силы проходит через них ток, и, наоборот, при меньшем сопротивлении сила тока бывает больше. Различные металлы и другие материалы оказывают различное сопротивление: сопротивление меди меньше, алюминия несколько больше, стали еще значительно больше. Чем больше длина проводника, например провода, тем больше его сопротивление. Чем толще провод, тем его сопротивление меньше, и наоборот. Сопротивление измеряется в особых единицах — омах.

Очень важно соотношение между силой тока, напряжением в сети и сопротивлением проводников. При одинаковом сопротивлении чем больше напряжение, тем больше и сила вызываемого им тока. Образно выражаясь: чем больше напряжение, тем большей силы ток «проталкивает» оно через данный проводник, преодолевая его сопротивление. Если же мы имеем сеть с определенным напряжением, в которую параллельно включены проводники различного сопротивления, то чем больше сопротивление проводника, тем меньше сила тока, который будет проходить через него от действия данного напряжения, и наоборот.

Это соотношение силы тока, напряжения и сопротивления выражается законом Ома, имеющим большое значение в электротехнике:

$$\text{сила тока} = \frac{\text{напряжение}}{\text{сопротивление}}.$$

Если, например, напряжение в сети 120 в, а сопротивление лампочки 600 ом, для определения силы тока, проходящего через эту лампочку, надо величину напряжения разделить на величину сопротивления

$$\frac{120 \text{ в}}{600 \text{ ом}} = 0,2 \text{ а.}$$

Если параллельно включены разные лампочки и другие приборы, то через каждый из них пойдет ток, сила которого будет зависеть от его сопротивления. Чем больше света должна дать лампа, тем более сильный ток должен проходить по ее волоску, а для этого сопротивление лампы должно быть меньшим. Если сопротивление лампы 240 ом, то через нее пойдет ток $\frac{120 \text{ в}}{240 \text{ ом}} = 0,5 \text{ а}$,

т. е. более сильный, чем через лампу с сопротивлением 600 *ом*, следовательно, лампа даст больше света. Через нагревательные приборы должен проходить еще более сильный ток, поэтому сопротивление их должно быть еще меньше, например 40 *ом*. Тогда сила тока в приборе $\frac{120 \text{ в}}{40 \text{ ом}} = 3 \text{ а}$. Электрические приборы предназначаются

для определенной силы тока при данном напряжении, а для этого они делаются с определенным сопротивлением. Сопротивлением приборов регулируется сила проходящего через них тока.

Бывает, что перегорит часть спирали у электрической плитки, ее укоротят и продолжают пользоваться. Такая укороченная спираль работает с перекалом и быстро опять перегорает. Спираль была рассчитана на определенную силу тока (3 *а*) и имела соответствующее сопротивление (40 *ом*). У укороченной спирали сопротивление стало меньше, скажем 30—35 *ом*. От этого через нее идет более сильный ток 3,5 — 4 *а*, на который она не рассчитана и от действия которого она быстро разрушается. При ремонте плитки надо восстанавливать нормальную длину и сопротивление спирали.

С точки зрения безопасности пользования электричеством важен вопрос, какая сила тока и какое напряжение опасны для человека.

Для человека опасен ток в сотые доли ампера, ток в 0,1 *а* уже смертелен. Опасно, если ток такой силы пройдет через наш организм. Но пройдет ли он? Это будет зависеть от двух условий: 1) от сопротивления человеческого организма и 2) от напряжения в сети, сможет ли оно «протолкнуть» ток опасной силы через тело при данном его сопротивлении. Сопротивление же человеческого организма изменяется в широких пределах — от сотен *ом* до десятков тысяч *ом*.

Вопрос и здесь решается расчетом по закону Ома. Если напряжение в сети 600 *в*, а сопротивление тела человека 20 000 *ом*, через него пройдет ток $\frac{600 \text{ в}}{20\,000 \text{ ом}} = 0,03 \text{ а}$.

Такой ток опасен, но не смертелен. Но может случиться, что сопротивление тела будет понижено, например всего 1 200 *ом*. Тогда даже при напряжении 120 *в* через чело-

века пройдет ток $\frac{120 \text{ в}}{1200 \text{ ом}} = 0,1 \text{ а}$. Такой ток уже является смертельным. Из этого видно, сколь неправильно пренебрежительно относиться к напряжению обычной сети и нарушать правила безопасности.

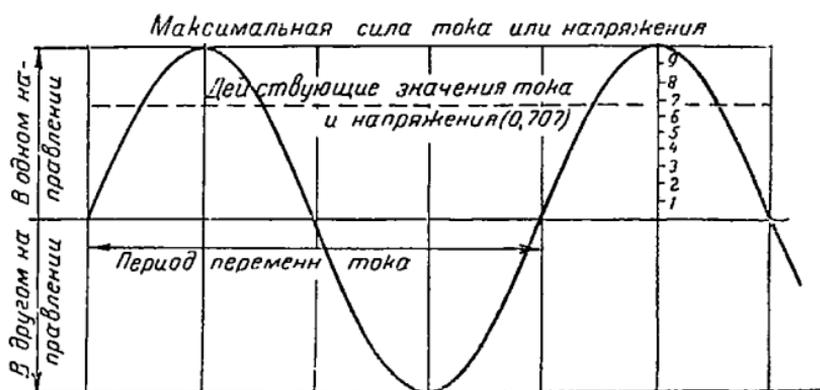
ПОСТОЯННЫЙ И ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

В электротехнике применяется постоянный и переменный ток. Постоянный ток все время имеет одно и то же направление. К концам проводника приложено постоянное напряжение, один из полюсов источника всегда является положительным (плюсом), а другой — отрицательным (минусом). Поэтому заряженные частицы все время движутся в одном и том же направлении. В металлических проводниках движение это, в сущности, происходит от отрицательного полюса к положительному, так как движутся в них отрицательно заряженные электроны. Но в электротехнике по традиции условно принято считать направление тока от положительного полюса к отрицательному.

В отличие от постоянного тока переменный ток все время изменяет свое направление. Эти изменения направления тока происходят очень часто: в переменном токе, который обычно у нас применяется, — 100 раз в секунду. Сто раз в секунду изменяется знак, или полярность, приложенного напряжения — каждый из двух полюсов поочередно становится то положительным, то отрицательным. А поэтому изменяется и направление тока, направление движения заряженных частиц в проводнике.

За ничтожную долю секунды напряжение и сила тока испытывают сложные изменения. Эти изменения изображаются в виде волнообразной кривой (синусоиды), в которой направление тока в одну сторону отложено вверх от горизонтальной оси, а направление в противоположную сторону — вниз от оси (фиг. 5). Напряжение, или сила тока, сначала плавно возрастает в одном направлении, достигает в нем наибольшей величины (максимума), а затем плавно уменьшается до нуля. После этого напряжение, или сила тока; снова начинает возрастать, но уже в противоположном направлении, достигает максимума и понижается. Затем направление снова изменяется, и повторяется такой же ряд изменений.

Время, за которое переменный ток испытывает полный цикл таких изменений и движется в том и в другом направлении, называется периодом переменного тока. В нашем обычном токе период длится одну пятидесятую долю секунды. Ток имеет 50 пер/сек (что соответствует 100 переменам его направления). Число периодов в секунду называется частотой переменного тока. Частота



Фиг. 5. Кривая изображает изменения переменного тока,

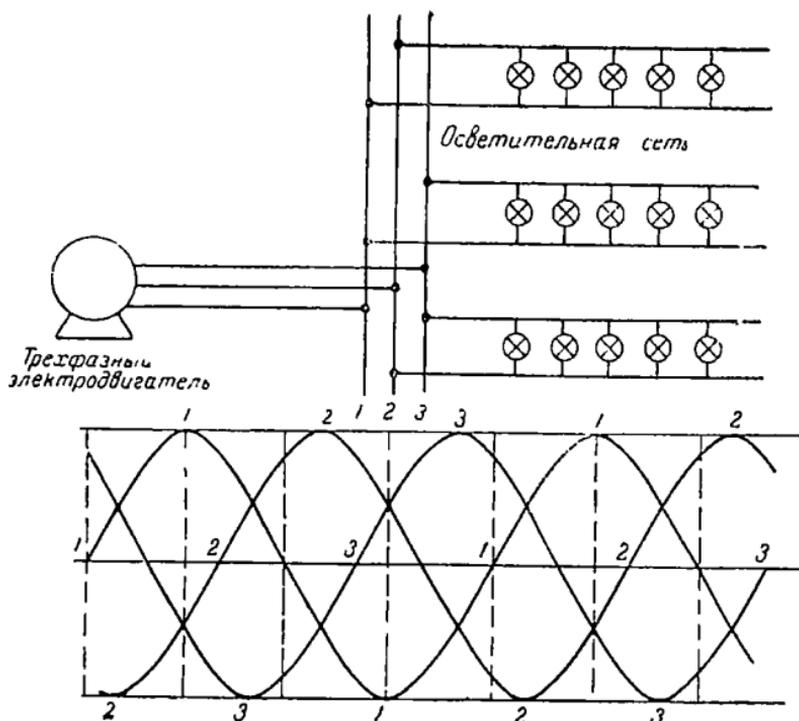
имеет большое значение и может быть весьма различной. Наряду с частотой 50 пер/сек нашей осветительной сети применяются и гораздо более высокие частоты — в тысячи, миллионы и даже миллиарды периодов в секунду. Переменные токи такой высокой частоты (сокращенно в. ч.) сначала стали применяться в радиотехнике, а затем и в других областях. Они приобретают все большее значение в технике, к чему мы еще вернемся ниже.

Если напряжение и сила переменного тока все время изменяются и в течение каждого периода то возрастают до максимальной величины, то уменьшаются до нуля, то что же надо считать силой тока и напряжением для переменного тока в целом? Принимают некоторую величину, равную напряжению или силе такого постоянного тока, который произвел бы такое же действие (такой же эффект), как и данный переменный ток, например такое же нагревание плитки или одинаковый накал лампы.

Эта величина напряжения или тока называется действующим значением напряжения и силы тока. Напряжение 120 или 220 в переменного тока нашей сети является именно таким действующим напряжением. Надо

учитывать, что в моменты максимальной величины действительное напряжение бывает значительно больше, например не 120 в, а около 170 в. Поэтому изоляция сети должна быть рассчитана на это максимальное напряжение, иначе она будет пробита.

Обычно применяется трехфазная система переменного тока, созданная выдающимся русским ученым и изобре-



Фиг. 6. Трехфазная система переменного тока.

тателем М. О. Доливо-Добровольским. В трех проводах проходят три переменных тока, у которых начала периодов, а также моменты наибольшего напряжения или сила тока не совпадают во времени, ток во втором проводе отстает от первого на одну треть периода, ток в третьем проводе отстает от второго еще на одну треть периода. Эти три переменных тока показаны на фиг. 6. Такая система из трех переменных токов имеет ряд преимуществ, она дает экономию проводов, на ней основано действие широко применяемых электродвигателей (см. ниже). Лампы включаются между двумя фазами. На фиг. 6 вид-

но, как должна равномерно распределяться нагрузка между фазами, например в трех этажах жилого дома.

В электротехнике очень важен вопрос о том, в каких случаях лучше применять постоянный или переменный ток. Одни электрические приборы или процессы нуждаются в постоянном токе, другие — в переменном. Постоянный ток, вообще говоря, — явление более простое, переменный ток значительно сложнее (в нем происходят сложные изменения напряжения, силы тока и др.). Поэтому с переменным током связаны явления, которые создают некоторые вредные осложнения и затруднения при его применении. Однако переменный ток имеет много и преимуществ по сравнению с постоянным током, которые выяснятся при дальнейшем изложении.

Поэтому в разных случаях используются преимущества того и другого вида тока. Постоянный ток применяется, например, в тех процессах, где он производит химическое действие. Ток выделяет вещества из растворов, причем определенные вещества выделяются на положительном или на отрицательном полюсе. Для такого химического действия необходим постоянный ток, так как процессы происходят здесь в определенных направлениях.

В большинстве же случаев применяется переменный ток. При этом все шире используются его более сложные и разнообразные физические свойства. Мы дальше увидим, что благодаря его свойствам было создано много важных электрических машин и аппаратов: трансформаторы, электродвигатели переменного тока и др. Переменный ток лежит и в основе радиотехники. В антенне передающей радиостанции переменный ток возбуждает радиоволны, с помощью которых ведется передача, а в антенне радиоприемника радиоволны снова возбуждают переменные токи. Передача звуков речи или музыки в радиотелефоне производится посредством сложного изменения колебаний переменного тока. При постоянном токе все это было бы невозможным.

Электродвигатели, имеющие особенно большое значение в производстве, работают как на постоянном, так и на переменном токе (разные типы двигателей). Двигатели переменного тока имеют одни преимущества, например простоту устройства, двигатели постоянного тока —

другие преимущества, например в отношении регулирования скорости. Они более применимы на транспорте и пр. Двигатели переменного тока широко применяются в промышленности. Переменный ток в настоящее время наиболее распространен.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТОКА

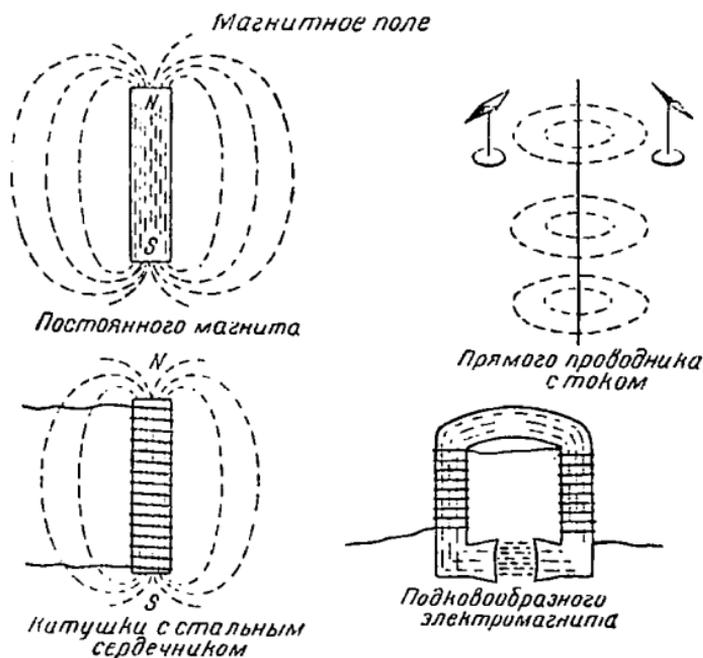
Мы видели выше, что электрический ток есть движущие электрически заряженных частиц материи — электронов или более крупных частиц — ионов. Но явление электрического тока не ограничивается движением этих частиц в проводниках. Пространство вокруг проводника с током также приобретает особые свойства. Если к проводу с постоянным током приблизить небольшую, легкую намагниченную стрелку, вращающуюся на острие, она уже на некотором расстоянии от провода повернется и установится в определенном положении. На нее действуют магнитные силы, так же как вблизи постоянного стального магнита. Значит, в пространстве вокруг проводника с током действуют магнитные силы — образуется магнитное силовое поле.

Мы видели выше, что вокруг тел, заряженных электричеством, образуется электрическое силовое поле — пространство на некотором расстоянии приобретает особые электрические свойства. Когда же заряды (заряженные частицы) движутся по проводнику, т. е. при электрическом токе, пространство вокруг проводника приобретает и другие свойства — в нем возникает магнитное действие.

Магнитные явления легче наблюдать с помощью постоянных магнитов. Каждому известна их способность притягивать железные предметы. Магниты всегда имеют два полюса: северный и южный. Если приблизить друг к другу два магнита различными полюсами — один северным, а другой южным, между ними действует сила притяжения. Если же сблизить магниты одинаковыми полюсами — оба северными или оба южными, — они, наоборот, отталкивают друг друга. Это можно наблюдать с помощью легкой подвижной стрелки. Силы притяжения или отталкивания действуют и на некотором расстоянии от магнитов, в окружающем их пространстве — магнитном силовом поле. Такие же силы магнитного притяже-

ния и отталкивания действуют и вокруг проводника с током.

Установлено, что магнитные и электрические явления неразрывно между собой связаны. То, что мы называем электрическим током, это не только движение заряженных частиц в проводнике, но и магнитное поле в пространстве (в среде), окружающем проводник.



Фиг. 7. Магнитное поле.

Движение заряженных частиц и магнитное поле — это, в сущности, две стороны одного и того же единого явления, которое мы называем электрическим током. При передаче электроэнергии она передается и в самом металлическом проводе и в окружающем его магнитном поле.

Силы в магнитном поле действуют в определенных направлениях. Магнитное поле изображается в виде ряда линий, идущих от одного полюса магнита к другому. Это линии, по направлению которых действуют магнитные силы, поэтому они называются магнитными силовыми линиями. Они позволяют проследить направление магнитных сил в различных местах поля. Форма магнитных силовых линий бывает различной. В прямом плоском магните с полюсами на противоположных концах силовые

линии выходят из одного полюса, расходятся во все стороны, загнбаются и направляются вдоль магнита, а у другого его конца снова загнбаются и в виде плотного пучка входят во второй полюс магнита. Там, где магнитные линии выходят, образуется северный полюс, а там, где они входят, образуется южный полюс (фиг. 7). Чем гуще, плотнее расположены силовые линии, тем сильнее соответствующее место магнитного поля. У полюсов магнита, где его поле наиболее сильно, линии расположены наиболее плотным пучком. В подковообразных магнитах, в которых полюсы сближены, магнитные силовые линии выходят из одного полюса, плотным пучком направляются к другому полюсу и входят в него. От этого у таких магнитов образуется более сильное магнитное поле.

ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

Если электрический ток проходит по прямому проводу, силовые линии его магнитного поля имеют форму колец, окружающих провод. Такое поле не сосредоточено в определенном месте и не может производить сильного действия. Но действие магнитного поля можно усилить. Для этого провод наматывается в виде катушки с большим числом витков. От этого магнитные поля отдельных витков складываются в одно общее, более сильное поле всей катушки. Магнитные силовые линии катушки выходят из нее на одном конце, расходятся, огибают катушку и сходятся на другом ее конце, внутри катушки они идут плотным пучком. На обоих концах катушки образуются магнитные полюсы (северный и южный), и здесь проявляется наиболее сильное магнитное действие. Оно становится еще значительно сильнее, если внутрь катушки вставить стальной стержень-сердечник. Сталь обладает исключительными магнитными свойствами, она хорошо сосредотачивает силовые линии. Поэтому стальной сердечник значительно усиливает магнитное поле катушки.

Исследование магнитных свойств стали было впервые произведено выдающимся русским физиком проф. Столетовым.

Катушка с током и со стальным сердечником образует электромагнит — один из важнейших и универсальных приборов электротехники. Открытие того, что электрический ток имеет магнитное поле, было сделано

в начале прошлого столетия. Это открытие имело перво-степенное значение в изучении электрических явлений и в их практическом применении. Первый электромагнит был изобретен в 1823 г. Впоследствии электромагниты и другие электромагнитные приборы получили широчайшее применение в электротехнике для самых разнообразных целей.

Например, на металлургических и других заводах работают мощные электромагнитные краны. Они поднимают в воздух тяжелые, многотонные стальные грузы, которые удерживаются одной лишь силой магнитного притяжения. В отличие от постоянных магнитов электромагниты притягивают лишь тогда, когда в их обмотке есть ток, создающий магнитное поле. Это дает возможность управлять ими. Машинист электромагнитного крана включает ток, кран в тот же миг притягивает груз и держит его с большой силой. Но как только ток будет выключен, магнитное поле немедленно прекратится, и кран отпустит груз. Электромагнитный кран притягивает стальные слитки, рельсы, стальной лом, но не притягивает медные, алюминиевые и другие предметы. Он может поднимать деревянные ящики, наполненные гвоздями, так как магнитные силы действуют через дерево.

Сила электромагнитов зависит от числа витков катушки и от силы проходящего по ним тока. Для получения большой подъемной силы крана катушка его электромагнита должна иметь большое число витков и в них должен проходить ток большой силы.

Но далеко не всегда от электромагнитов требуется большая сила. Во многих случаях этот прибор осуществляет очень тонкую работу. Электромагнит является, например, основной частью каждой телефонной трубки, где с его помощью передаются все оттенки человеческой речи или музыки. Передача звуков в телефоне производится посредством сложных изменений силы тока, идущего по линии. Ток этот поступает в катушку электромагнита, который притягивает или отпускает упругую пластинку — мембрану. А колебания этой пластинки в приложенной к уху трубке производят звуковые колебания воздуха. При малейших изменениях силы тока в телефонном проводе усиливается или ослабевает магнитное поле электромагнита, и он с соответствующей

силой притягивает мембрану, заставляя ее воспроизводить нужные звуки — речь.

Электромагниты бывают самого различного устройства. Магнитное поле в электромагнитных приборах бывает сложной и разнообразной формы. Оно направляется в виде потока магнитных силовых линий — магнитного потока, который в нужных частях прибора производит то или другое действие. Это достигается расположением катушек, формой стального сердечника и других частей. Есть, например, небольшой электромагнитный прибор, которым врачи извлекают из глаз попавшие в них стружки стали. Полюс электромагнита имеет длинный тонкий и изогнутый стальной наконечник, который удобно вводится под веко глаза и направляет туда поток магнитных силовых линий.

ГЛАВА ВТОРАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ЭНЕРГИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ

В техническом прогрессе нашей страны исключительное значение имеет его энергетическая база.

Все отрасли народного хозяйства нуждаются в громадном количестве энергии. Ни одна машина, ни один автомобиль, самолет или станок на заводе не могут работать без двигателей, дающих им энергию. Энергия нужна и для выплавки металлов, для нагревания, освещения и множества других производственных процессов.

Необходимую энергию мы получаем из окружающей природы. Мы используем различные природные источники ее: ископаемое топливо, энергию рек, ветра и другие. Одна из важнейших задач техники — использовать эти энергетические ресурсы природы.

Развитие производительных сил общества связано с ростом энерговооруженности человека и с использованием им все новых и новых природных источников энергии. Когда-то люди обходились энергией своих рук. Единственным двигателем, производившим работу, были собственные мускулы человека. Гигантские пирамиды в древнем Египте строили сотни тысяч рабов и строили их без помощи машин. На старинных весельных судах не-

счастливые подневольные гребцы, прикованные цепями к скамьям, из последних сил двигали тяжелые весла.

В процессе исторического развития потребовались новые источники энергии. Посредством простых деревянных колес стали использовать энергию воды. Вдоль рек были расположены водяные мельницы, водяные колеса, подававшие воду для орошения, а позже и большие производственные предприятия получали энергию движения от водяных колес. Появились и простейшие ветряные двигатели. Гребцов на судах сменили паруса. Но и этого стало недостаточно. В XVIII столетии развитие промышленности привело к применению большого количества текстильных и других машин, а они потребовали новых, лучших двигателей и более мощных источников энергии. Была создана паровая машина, которая быстро завоевала себе широкое применение. Были изобретены паровозы и пароходы, на заводах и фабриках работали громадные паровые машины.

В прошлом XIX в. господствовали тепловые двигатели. Но они становились недостаточными, производство нуждалось в новом, еще более мощном и лучшем виде энергии. Новой энергетической основой производства стало электричество. В середине прошлого столетия был изобретен телеграф, затем (в 70—80-х годах)—электрическое освещение, а к концу века стал широко применяться электродвигатель. В нашем XX столетии происходит все большая электрификация всех областей народного хозяйства. Электричество стало основным видом энергии, применяемым в производстве. Электродвигатели приводят в движение миллионы различных заводских станков и других машин, трамваи, электропоезда, сельскохозяйственные машины и др. Электричество нагревает большие заводские печи, приводит в действие химические и другие аппараты. Оно освещает дома и улицы.

Особенно большое значение приобрела электроэнергия в нашей стране, где она стала важнейшим техническим условием построения коммунистического общества. В реконструкции нашего народного хозяйства громадное значение имело создание новейшей энергетической базы—основы электрификации промышленности, транспорта и сельского хозяйства. Знаменательны следующие три цифры. В дореволюционное время (в 1913 г.) все электростанции царской России производили в год около

2 млрд. кВтч электроэнергии. В 1940 г. общая годовая производительность советских электростанций достигла 48 млрд. кВтч, т. е. возросла почти в 25 раз в сравнении с 1913 г. К концу послевоенной сталинской пятилетки годовое производство электроэнергии в СССР превысило наметки плана. По плану уровень 1940 г. по выработке энергии должен был быть превзойден на 70%, а фактическое превышение составило 87%. По производству электроэнергии Советский Союз оставил далеко позади все капиталистические страны Европы и вышел на второе место в мире.

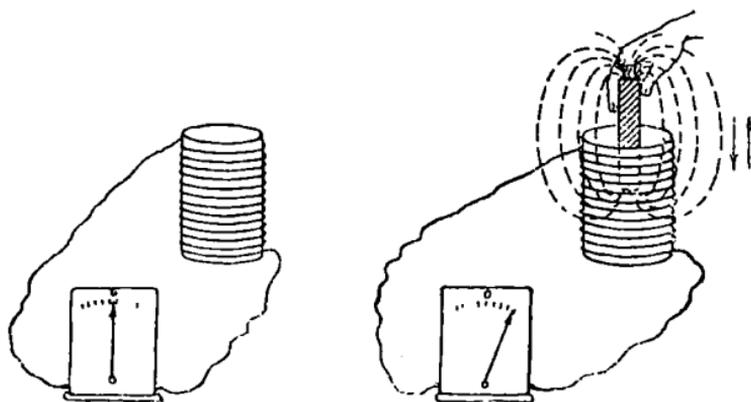
Применение электричества требовало создания способов производства электроэнергии. Человек не получает электричество в готовом виде из окружающей природы. Электричество в том виде, как оно встречается в природе, например во время грозы, пока что непригодно для практического использования. Надо было создать способы получения электрического тока за счет тех видов энергии, которыми человек мог пользоваться в окружающей природе.

Еще в начале прошлого столетия были найдены способы получения электрического тока посредством некоторых химических процессов. Были созданы приборы (впоследствии усовершенствованные), получившие название гальванических элементов. В них происходит химическое взаимодействие между определенными веществами, например между цинком и серной кислотой. Эти химические реакции производят электрическое действие — происходит разделение положительных и отрицательных зарядов и на полюсах элемента образуется напряжение. Если же замкнуть полюсы цепью проводников, в них возникает ток. Однако гальванические элементы для постоянного получения мощного тока громоздки, дороги и во многих отношениях еще несовершенны. В наше время они применяются лишь в некоторых случаях, когда нет возможности получить ток с электростанции и нужен небольшой местный источник тока, например в полевых телефонах, в карманных фонарях и т. п.

Для широкого применения электроэнергии в производстве нужны были гораздо более мощные и совершенные источники тока. Во второй половине прошлого столетия были созданы генераторы—электрические машины, производящие ток большой мощности и работающие ныне на каждой электростанции.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

В основе изобретения генераторов лежали открытия физики. После того как были открыты и стали изучаться свойства магнитного поля, было сделано еще одно важнейшее открытие. Производились следующие опыты. Брала катушку из проводов, концы которой были соединены так, что получалась замкнутая цепь, но ни к какому источнику тока катушка присоединена не была. В цепь катушки (фиг. 8) вводился лишь гальванометр —



Фиг. 8. Опыт, показывающий электромагнитную индукцию.

прибор, показывающий наличие или отсутствие тока. Внутри этой полой катушки вводили постоянный магнит или электромагнит и двигали его взад и вперед вдоль катушки. И несмотря на то, что в цепи катушки не было источника тока, в катушке возникал ток, что было видно по отклонению стрелки гальванометра. Это возникновение тока объясняется следующим: в пространстве вокруг магнита было магнитное поле. При движении магнита силовые линии его магнитного поля пересекали витки катушки. И именно от этого пересечения магнитными силовыми линиями в витках катушки возникал ток. Это явление называется электромагнитной индукцией. Индукция — это возбуждение тока при пересечении замкнутого проводника магнитными силовыми линиями. При этом не имеет значения, будет ли двигаться магнитное поле и пересекать неподвижный проводник или магнитное поле бу-

дет неподвижным и в нем будет двигаться проводник (катушка), пересекая его силовые линии. И в том и в другом случае будет происходить пересечение проводника силовыми линиями, а следовательно, и индукция — возбуждение тока.

Открытие этого нового физического явления создало большие возможности для его практического применения. Стало ясным, что это путь к созданию нового, более совершенного способа получения тока. Ток возбуждается при движении магнитного поля или проводника в поле. Значит, таким путем можно получать ток, создавая движение частей соответствующего устройства, получать электрическую энергию за счет энергии движения, т. е. превращать механическую энергию в электрическую. Но надо было создать такие условия и найти такие технические формы, чтобы индукция тока происходила непрерывно, чтобы можно было получать ток большой мощности и чтобы превращение механической энергии в электрическую совершалось экономично. В опытах с электромагнитной индукцией магнит двигали взад и вперед. Для непрерывного получения тока целесообразнее вращать магнит или проводник в магнитном поле так, чтобы пересечение силовыми линиями и индукция тока происходили непрерывно и неограниченное время, — вращение всегда выгоднее, когда надо получить непрерывное действие.

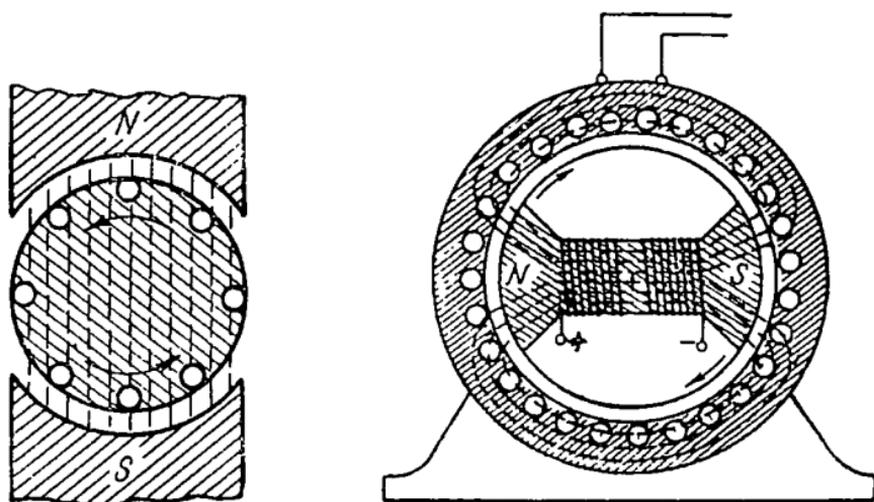
ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Трудом многих изобретателей и ученых были созданы генераторы электрического тока, основанные на открытии электромагнитной индукции. Генератор состоит из двух основных частей: неподвижной части — статора и вращающейся — ротора; ротор вращается внутри статора. В одних генераторах (меньшей мощности) в статоре находятся электромагниты, создающие магнитное поле; полюсы их направлены внутрь и обращены к ротору. В обмотки возбуждения этих электромагнитов подводится ток. Таким образом, внутри статора образуется сильное магнитное поле, в котором и вращается ротор генератора. На окружности ротора расположено большое число проводников в виде медных, изолированных проводов, заложенных в углублении на поверхности ротора, называемые

пазами. Обмотка ротора имеет отведенные концы, которые посредством специального устройства соединяются с внешней цепью (через скользящий контакт).

Ротор генератора надо вращать каким-нибудь двигателем, водяным или тепловым. Вращаясь в магнитном поле статора, проводники ротора пересекают его силовые линии. От этого пересечения в обмотке ротора происходит индукция тока.

Возбуждаемый в обмотках ротора ток должен все время отводиться во внешнюю цепь, питаемую генератором. Для этого концы обмотки ротора присоединены к медным кольцам, вращающимся на валу машины. По этим кольцам скользят неподвижные, слегка прижатые



Фиг. 9. Принцип действия генератора электрического тока.

Слева—возбуждение тока в роторе; справа—в статоре. :

к ним щетки, соединенные с внешней цепью. Ток переходит с вращающихся колец на неподвижные щетки. Это называется скользящим контактом. Однако таким способом можно передавать лишь ток небольшой мощности, при большой мощности щетки и кольца быстро разрушаются от действия искр.

Поэтому в мощных генераторах в роторе ставят электромагниты для создания магнитного поля (фиг. 9.). В статоре же находится неподвижная обмотка, в которой возбуждается ток. Суть действия генератора от этого не

меняется, магнитное поле ротора вращается, и его силовые линии пересекают обмотку (проводники) статора, в которых от этого происходит индукция — возбуждается ток. Преимущество такого устройства генератора в том, что получаемый ток большой мощности отводится во внешнюю цепь из неподвижной обмотки статора обычным способом, без скользящего контакта. Для возбуждения же электромагнитов в ротор подается ток значительно меньшей мощности.

Существуют генераторы как постоянного, так и переменного тока. На мощных электростанциях применяются генераторы, производящие переменный ток.

Советская электропромышленность выпускает для наших электростанций генераторы новейших типов лучшего качества и самой различной мощности — до гигантов в 100 тыс квт.

ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Генераторы являются основным звеном электростанций. Роторы их надо вращать, приводить в движение. Для этого на электростанции должны быть также первичные двигатели. Задача этих первичных двигателей — преобразовать энергию тех или иных природных источников в энергию вращательного движения, необходимую для работы генераторов. Существуют два основных типа электростанций: 1) водяные, или гидростанции, и 2) тепловые электростанции. Первые используют энергию рек, водопадов и вообще движения воды. Поэтому их генераторы приводятся в действие мощными водяными двигателями — турбинами. Основной частью водяной турбины является ротор — большое вращающееся стальное колесо специальной конструкции. В роторе находятся лопатки, на которые направляется сильная струя воды, приводящая их в движение и вращающая ротор, отдавая ему свою энергию. Турбина и генератор обычно вращаются на общем валу и представляют собой один целостный агрегат. Для сооружения гидростанции надо перегородить реку плотиной, поднять ее воду, чтобы создать большой напор, и подвести воду к турбинам. Нередко строятся и другие гидротехнические сооружения: подводящие воду каналы, водохранилища для регулирования воды и др.

Преобразование энергии в гидроэлектростанциях сравнительно просто; механическая энергия движения реки преобразуется в механическую энергию вращения турбины, а затем в генераторе механическая энергия превращается в электрическую.

В тепловой электростанции путь превращения энергии сложнее. Исходным источником энергии для тепловой станции является топливо, содержащее запасы скрытой (потенциальной) химической энергии. На тепловой электростанции в топках промадных котлов сгорает топливо, и его химическая энергия превращается в тепловую энергию, которая передается воде и образующемуся из нее пару. Горячий пар из котлов поступает в тепловые двигатели — мощные паровые турбины, в которых тепловая энергия превращается в механическую. Паровые турбины подобно водяным имеют вращающееся рабочее колесо (ротор) с лопатками. На эти лопатки направляются сильные струи пара, имеющие огромную скорость. Тепловая энергия пара превращается в энергию движения струи, а она передается лопаткам рабочего колеса. Паровая турбина вращает генератор, в котором механическая энергия превращается, наконец, в электрическую.

На больших электростанциях обычно устанавливается несколько генераторов, что дает возможность вводить или останавливать резервные мощности в зависимости от изменяющейся нагрузки станции. Токи в тысячи ампер поступают с генераторов на собирающие провода — толстые медные полосы, называемые шинами, с которых электроэнергия распределяется далее в линии передач. Современная мощная электростанция управляется из одного центрального пункта, где дежурный инженер, поворачивая рукоятки на пульте управления, пускает в ход или останавливает мощные генераторы, включает или выключает те или другие линии, питающие целые заводы, города и районы.

За годы сталинских пятилеток в нашей стране построено большое число мощных электростанций. В 1940 г. работало более 200 первоклассных районных станций. Строительство новых станций не ослабевало в годы войны, а в послевоенной пятилетке развернулось с новой силой. Наши электростанции оборудуются по последнему слову техники, на основе работ советских ученых.

ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАССТОЯНИЕ

Одно из ценных свойств электроэнергии состоит в возможности передавать ее на большие расстояния. В этом ее ценнейшее преимущество перед другими видами энергии. Так, механическую энергию с помощью трансмиссионных валов и ремней можно передавать не больше чем на 50—60 м. Тепло в виде горячего пара целесообразно (в смысле экономичности) передавать по хорошо изолированным трубам на какие-нибудь 3—4 км, горячую воду на 6—7 км. Электрический же ток по проводам передается на сотни километров.

Ф. Энгельс с самого начала оценил громадное значение и будущее передачи электроэнергии на большие расстояния. Он писал о ней: «..дело это еще только в зародыше — это открытие окончательно освобождает промышленность почти от всяких границ, налагаемых местными условиями...».

Развитие этого важнейшего завоевания техники было основано на трудах передовых русских ученых.

Еще в 1874 г. Ф. А. Пироцкий в Петербурге производил опыты передачи электроэнергии для силовых нужд. В 1880 г. он передавал ток по рельсам с целью питания первого в мире трамвайного вагона.

Дальность электропередачи все более увеличивалась. Но на пути этой борьбы за дальность стояли большие трудности. Основная из них была в том, что при увеличивающейся длине линий провода имели все большее сопротивление, стчего значительная часть передаваемой энергии бесплезно терялась в линии на нагревание проводов. И чем больше была передаваемая мощность и сила тока, тем значительнее были эти потери. При большой мощности и значительной длине линии передача оказывалась совершенно невыгодной.

Как можно было бороться с этими потерями энергии? Может быть для уменьшения сопротивления и нагревания следовало увеличить толщину (сечение) проводов? Но этот путь был невозможен, так как пришлось бы на большие расстояния прокладывать толстые брусья из дорогой меди (с поперечником в десятки сантиметров), что, разумеется, лишило бы смысла все дело. Выход из затруднения был найден в совершенно ином направлении. Мы уже знаем, что мощность электрического тока равна произведению силы тока на напряжение. Это значит, что

одна и та же мощность может быть передана при большой силе тока и меньшем напряжении, или, наоборот, при большем напряжении и меньшей силе тока. Например, мощность в 12 000 квт может быть получена при напряжении в 120 в и силе тока 100 тыс. а или при напряжении 120 000 в и силе тока всего в 100 а.

С увеличением силы тока нагревание проводов значительно возрастает. Поэтому для уменьшения потерь на нагревание выгоднее передавать ту же мощность при более высоком напряжении, но при меньшей силе тока. Этот вывод был сделан впервые в мире выдающимся русским ученым, проф. физики Д. А. Лачиновым. В 1880 г. он доказал возможность и выгодность дальних передач энергии при условии соответствующего повышения напряжения. Но как получить ток высокого напряжения в десятки и сотни тысяч вольт? Производить его непосредственно с помощью генераторов на электростанциях нельзя: изоляция их обмоток не может выдержать таких напряжений. Нельзя также снабжать таким высоким напряжением потребителей. Выход был найден благодаря изобретению трансформатора, дающего возможность преобразовывать (трансформировать) ток, повышать напряжение и уменьшать силу тока или, наоборот, понижать напряжение, увеличивая силу тока.

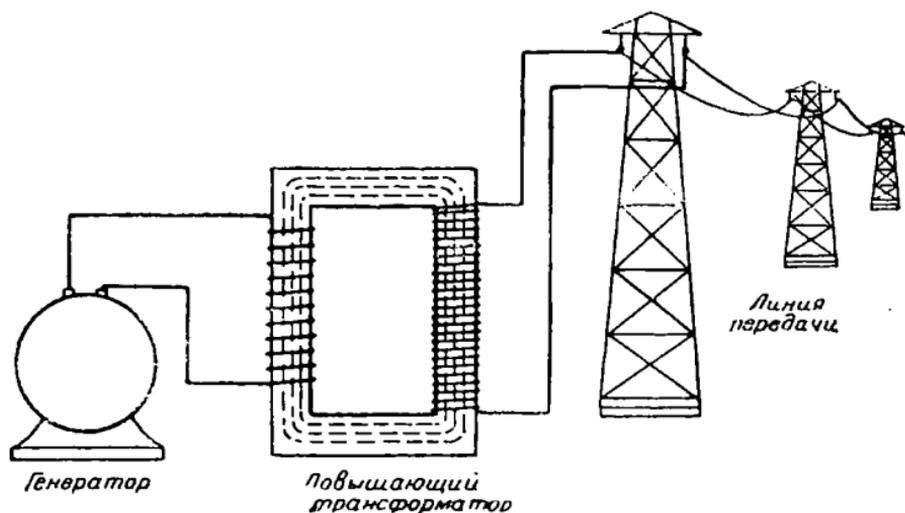
ТРАНСФОРМАТОРЫ

Трансформатор состоит из двух обмоток — первичной и вторичной, находящихся на стальном сердечнике, имеющем вид замкнутой четырехугольной рамы (фиг. 10)¹. Обе обмотки между собой не связаны и соединены с отдельными внешними цепями. В первичную обмотку трансформатора поступает переменный ток от генератора или из линии. Он создает в стальном сердечнике переменное магнитное поле, в котором с каждым изменением направления тока изменяется направление магнитных сил. Силовые линии этого переменного магнитного поля все время пересекают витки вторичной обмотки и индуцируют в ней переменный ток, который отводится во внешнюю сеть. Характерно, что на постоянном токе транс-

¹ Для наглядности на фиг. 10 первичные и вторичные обмотки показаны на разных стержнях. В действительности же они расположены на одном стержне.

форматор работать не может, так как при нем магнитное поле также было бы постоянным, неподвижным, и не было бы пересечения им вторичной обмотки, а следовательно, в последней не происходило бы индукции тока.

Напряжение, индуктируемое во вторичной обмотке трансформатора, зависит от числа ее витков: чем больше витков, тем выше напряжение. Важно соотношение числа витков первичной и вторичной обмоток. В трансформаторе, повышающем напряжение, число витков вторичной



Фиг. 10. Принцип действия трансформатора.

обмотки больше числа витков первичной во столько же раз, во сколько получаемое напряжение больше поступающего в трансформатор. Так как мощность тока остается прежней (не считая некоторых потерь в трансформаторе), то сила тока во столько же раз уменьшается. Применяются также и трансформаторы, понижающие напряжение, у которых число витков вторичной обмотки меньше, чем в первичной; сила тока при этом увеличивается.

Честь создания трансформатора принадлежит русским изобретателям. Впервые он был применен П. Н. Яблочковым в созданной им схеме электрического освещения.

Позднее трансформатор был самостоятельно построен и применен И. Ф. Усагиным для освещения Всероссийской промышленной выставки в Москве. Усагин был сыном крестьянина, самоучкой, работал он в физической лаборатории Московского университета. Это был один из

русских талантов-самородков. Изобретение трансформатора имело громадное значение в развитии электротехники, в частности передачи энергии на большие расстояния.

В 1889 г. выдающийся русский электротехник М. О. Доливо-Добровольский предложил применять трехфазный переменный ток, а к 1891 г. изобрел трехфазные генератор и трансформатор, а также специальный (так называемый асинхронный) двигатель, сделавшие возможным практическое использование трехфазного переменного тока. В том же году Доливо-Добровольский впервые осуществил передачу мощности в 300 л. с. на расстояние 175 км переменным трехфазным током напряжением 8 500 в (а временами и значительно выше) с высоким к. п. д. Это доказало всему миру выгоду передачи электроэнергии на большие расстояния, а с этого времени линии высоковольтной передачи получили большое распространение.

На современных электростанциях произведенный генераторами ток поступает в трансформаторы, повышающие его напряжение. Ток высокого напряжения обычно в 110 и 220 тыс. в передается по линиям электропередач с сравнительно меньшими потерями на нагревание. Так как ток такого высокого напряжения непригоден для освещения, работы двигателей и др. и опасен для людей, он у мест потребления поступает в трансформаторы, понижающие его напряжение. Понижение напряжения производится в нескольких ступенях. Районные трансформаторные подстанции понижают его со 110 или 220 тыс. в до 35 тыс. Под таким напряжением ток поступает в районную распределительную сеть. Затем вторичные понизительные подстанции понижают напряжение до 3—6—10 тыс. в, после чего ток распределяется по городским, заводским или сельским сетям. Наконец, на местах, в трансформаторных будках, происходит третье понижение—до рабочего напряжения 127, 220, 380 в.

Существующие трансформаторы могут преобразовывать лишь переменный ток. А поскольку задача изменения напряжения и передачи тока на большие расстояния была решена именно с помощью трансформатора, это привело к тому, что передача тока стала производиться переменным током. Так как к тому же у переменного тока оказались и другие преимущества (в частности, он

дал возможность Долгово-Добровольскому построить простые и наиболее выгодные электродвигатели, см. ниже), ток этот стал преобладающим видом электроэнергии. В развитии дальних электропередач на определенном этапе переменный ток победил. Но работа технической мысли в вопросах применения переменного и постоянного тока на этом не прекратилась. Теоретически доказано, что при дальних передачах больших мощностей постоянный ток имеет ряд преимуществ в сравнении с переменным.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Возможность передавать электрический ток на большие расстояния сыграла большую роль в использовании природных источников энергии. В природе есть немало богатейших энергетических ресурсов, энергию которых в том виде, как она есть, трудно, невыгодно, а то и невозможно передавать из одного места в другое. Таков, например, торф, перевозка которого на значительные расстояния нецелесообразна. При сжигании же на месте он является очень ценным топливом. Электростанции, построенные близ торфяных болот, дают возможность на месте, без дальней перевозки сжигать торф в топках своих котлов, получать громадное количество тепла, а затем электроэнергию и передавать ее через сотни километров в далекие города и на заводы. Огромные площади торфяников разбросаны по просторам нашей страны; до электрификации они лежали мертвым богатством. Теперь же благодаря электропередаче энергия их широким потоком вливается в народное хозяйство. Москва получает энергию от целого ряда мощных электростанций, работающих на торфе и подмосковном буром угле, с расстояния 100 — 200 км и больше.

Громадное значение имеет энергия рек — гидроэнергия, или «белый уголь». Выше отмечалось, что когда-то, до изобретения паровой машины, этот источник энергии имел немалое значение в производстве — мастерские и заводы располагались тогда вдоль течения рек, и их станки приводились в движение водяными двигателями. Они были этим «привязаны» к рекам, что, разумеется, было неудобно.

Благодаря электрификации гидроэнергия снова приобрела большое значение и стала широко использоваться,

но на совершенно новой, более высокой технической основе. Электричество позволило использовать энергию рек на больших расстояниях от них. Гидроэлектростанции строятся на реках в тех местах, где наиболее целесообразно использовать мощность их течения. Энергия рек «на месте» превращается в электрическую, которая затем передается к местам потребления.

«Белый уголь» является весьма важным источником энергии. Сооружение гидростанций, правда, требует значительных затрат, надо перегородить реку большой плотиной, в ряде случаев приходится сооружать обводный канал, искусственные водохранилища. Но когда станция сооружена, она дает дешевую энергию и не требует расхода топлива. С точки зрения использования природных богатств гидроэлектростанции превращают в реальную ценность громадные ресурсы энергии рек, которые без того пропадают неиспользованными.

В СССР много полноводных рек, на которых построены и строятся мощные гидроэлектростанции. Гордостью нашей электрификации является гигантская электростанция им. Ленина на Днестре, построенная в годы первых сталинских пятилеток. Фашистские оккупанты разрушили нашу Днепрогэс, но сейчас станция быстрыми темпами восстановлена.

Советом Министров СССР приняты решения о строительстве новых гигантских гидроэлектростанций: Куйбышевской и Сталинградской на Волге и Каховской на Днестре. Куйбышевская станция мощностью около 2 млн. кВт даст стране около 10 млрд. кВтч энергии в год. Сталинградская гидростанция также будет давать около 10 млрд. кВтч энергии в год. Три новые гидростанции будут построены в Средней Азии в системе грандиозного строительства Главного Туркменского канала. Создание новых гигантов советской электрификации является частью великого Сталинского плана преобразования природы нашей страны. Оно связано с невиданными по своему размаху работами по орошению и обводнению засушливых районов нашей родины: Заволжья, Прикаспийской низменности, Южной Украины, среднеазиатских пустынь и др. Электроэнергия, производимая новыми станциями, будет питать промышленность, создаваемые оросительные системы и сельское хозяйство (электрическую пахоту и др.). Куйбышевская и Сталинградская станции будут также

передавать электроэнергию в Москву (обе станции вместе более 10 млрд. квтч в год).

В Армении развернуто грандиозное строительство по освоению энергии громадного высокогорного озера Севан. Круговоротом воды в природе здесь на большую высоту поднято огромное количество воды, скопившее в себе несметные запасы потенциальной энергии. Спуск вод Севана будет питать несколько электростанций, расположенных ступенями (каскадами) одна за другой.

На высоте 2 000 м уже пущено сложное подземное водоразборное сооружение, и воды Севана устремились по десятикилометровому туннелю.

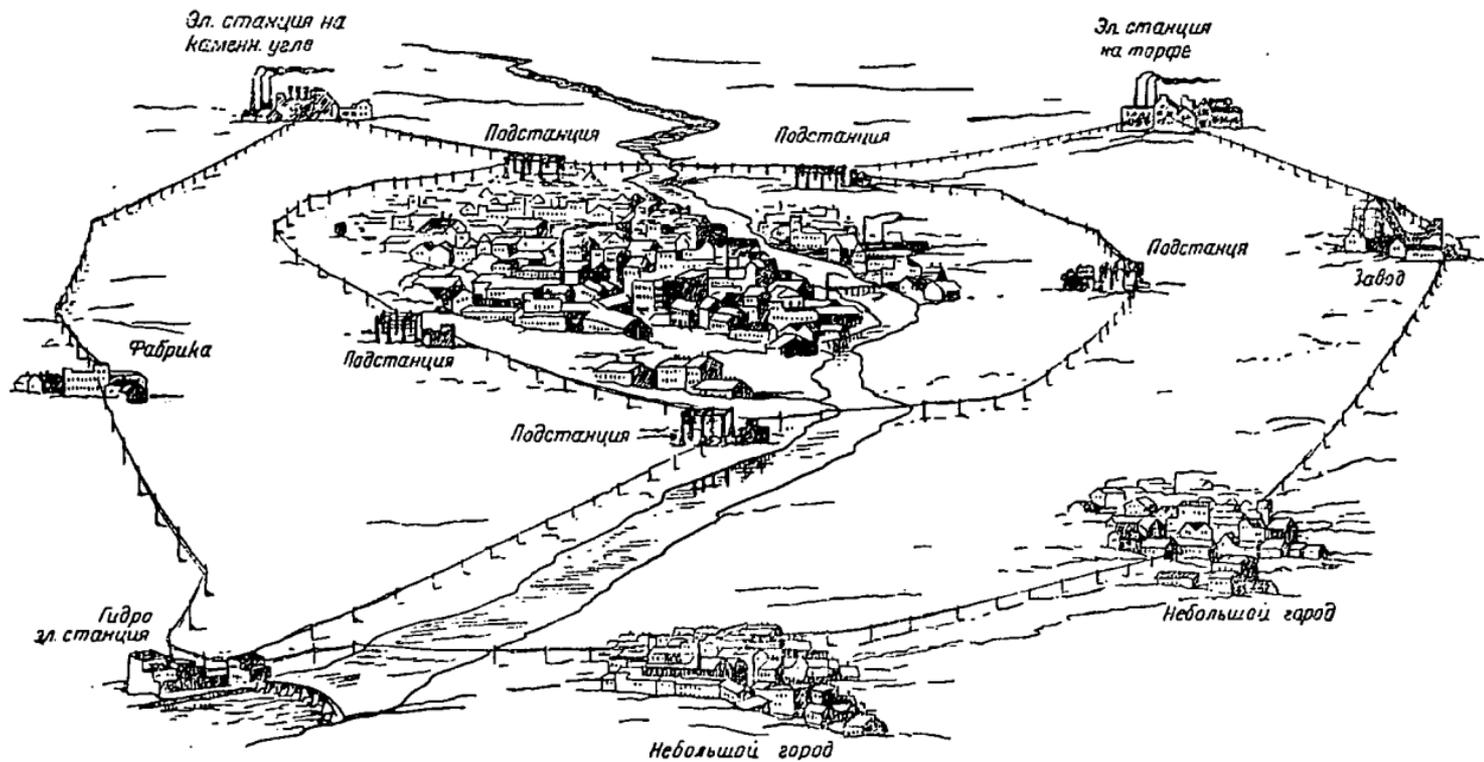
Дальнейшие перспективы освоения гидроэнергии в нашей стране колоссальны. Впереди использование гигантской мощности великих сибирских рек. Полноводная и стремительная река Ангара, которая на своем течении от Байкальского озера до Енисея имеет падение (разность уровней) в 378 м, может питать целый ряд гигантских электростанций, давая в год десятки миллиардов киловаттчасов энергии.

Горные районы с их бурными потоками и водопадами вообще представляют собой богатейшие ресурсы энергии. Каждая горная река может питать не одну электростанцию. И со временем такие горные районы, как Кавказ или Алтай, превратятся в могучие энергетические комбинаты, из которых по линиям электропередач потекут громадные потоки электроэнергии к близким и далеким промышленным центрам.

Так электроэнергия помогает преодолевать пространство и соединяет потребителей энергии с ее природными источниками.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

В осуществление великого плана электрификации СССР передача электроэнергии на расстояние дает возможность не только соединить электростанции с потребителями, но и связывать станции между собой, объединяя их работу в единую, целостную энергетическую систему. Такое объединение имеет большое значение — оно дает возможность лучше использовать особенности различных электростанций (водных, тепловых), лучше обслужить нужды потребителей и обеспечить бесперебойное снабжение их энергией (фиг. 11).



Фиг. 11. Объединение электростанций (энергетическая система).

В первую очередь должна использоваться более дешевая энергия гидроэлектростанций. Но мощность этих станций в разное время года различна, так как реки зимой, весной или летом бывают неодинаково полноводны. При объединении тепловых и гидроэлектростанций в единую сеть в периоды, когда гидростанции работают на полную мощность, они должны брать на себя возможно большую часть общей нагрузки. В это время тепловые станции работают с пониженной мощностью, экономя дорогое топливо. В периоды же малой воды гидростанциям приходится снижать свою мощность, и тогда тепловые станции вводят большие резервные мощности.

Потребители неравномерно берут энергию как в разное время суток, так и в течение года. Особенно неравномерна световая нагрузка электростанций, которая повышается вечером, в часы так называемых пиков. Если гидростанции имеют резервы водной мощности, они в эти периоды увеличивают свою производительность и нагрузку. Работу гидроэлектростанций можно быстро регулировать — пуск водяной турбины производится за 5—15 мин. Если же таких водных ресурсов не хватает, тогда входящие в энергосистему тепловые станции берут нагрузку на себя и в часы пик вводят в работу дополнительные агрегаты.

Объединение электростанций в общую сеть важно еще и в том отношении, что в случае аварии на одной из станций ее нагрузка может быть передана другим станциям, а при аварии в линии энергия подводится потребителям по другим линиям. Поэтому потребитель обеспечивается надежным и бесперебойным снабжением энергией. При работе отдельных, не объединенных станций в случаях аварии происходили бы перебои в снабжении потребителя и простои заводов. При объединении станций в общую энергетическую систему линии электропередач образуют замкнутые кольца, благодаря чему к каждой точке обеспечивается подвод энергии по крайней мере с двух сторон — при аварии в одном месте сети энергия подается по другим линиям.

В нашей стране объединение электростанций в системы носит широкий и плановый характер. Нет мешающих этому капиталистических противоречий. Постепенно развертываются высоковольтные сети СССР. Новые мощные электростанции строятся по заранее продуманному

плану, учитывающему энергетические ресурсы страны, размещение промышленных объектов и развитие народного хозяйства. С каждой пятилеткой вводятся новые громадные мощности тепловых и гидроэлектростанций, протягиваются кольца и радиусы объединяющих их электропередач. Большое значение в этом имеет борьба за все большую дальность электропередач, о которой мы говорили выше.

Мы строим гигантские электростанции. Но наряду с ними громадное значение в нашей стране имеют и небольшие, местные, колхозные электростанции, которые в большом количестве повсеместно строятся в нашей необъятной Родине. Использование движущей силы многих тысяч небольших рек вливает в народное хозяйство огромные дополнительные потоки энергии и ускоряет дело электрификации сельского хозяйства. Во многих селах уже есть старые плотины, создающие нужный напор воды, плотины эти можно легко приспособить для устройства небольших гидроэлектростанций, а там, где их нет, сооружаются новые. Для работы небольшой сельской электростанции достаточен напор воды, т. е. разность уровней по обе стороны плотины, от 2 до 5 м. Наша промышленность выпускает для колхозных электростанций небольшие водяные турбины упрощенной конструкции, генераторы и другое электрическое оборудование. Электростанция нуждается в очень несложном обслуживании. Она работает даже автоматически и лишь время от времени требует наблюдения со стороны человека.

Станции могут строиться мощностью в несколько десятков киловатт. Такая станция в вечерние часы освещает около сотни колхозных домов, а днем приводит в движение мельницу, молотилку или другие сельскохозяйственные машины. В послевоенной пятилетке предусмотрено большое строительство таких электростанций в сельских местностях. В них используется энергия небольших рек, а также местное топливо и энергия ветра. Колхозники Ярославской, Свердловской и других областей уже проявили огромную инициативу в строительстве местных электростанций и электрификации сельского хозяйства.

Энергия ветра принадлежит к числу еще мало использованных, но богатейших природных ресурсов. Она может приводить в действие небольшие, но многочисленные ветродвигатели. На месте прадедовских деревянных

ветряков создаются усовершенствованные ветряные двигатели, построенные по последнему слову науки, которые могут вращать электрические генераторы, развивая мощность иногда в десятки киловатт. Металлическое колесо двигателя, вращающееся на высокой башне, не только само устанавливается по ветру, но может автоматически поддерживать постоянное число оборотов при различной силе ветра, что очень важно в работе электростанций (для неизменности напряжения).

Советские ученые создали новые типы мощных и высокосовершенных ветряных двигателей.

АККУМУЛЯТОРЫ

Большое значение имеет и аккумулярование энергии. Аккумуляировать энергию — значит запастись ее, запастись в концентрированном виде и так, чтобы по мере надобности можно было ее использовать. Аккумуляировать энергию можно разными путями. Можно, например, устроить высоко расположенный бассейн и накачивать (поднимать) в него воду. В силу своего высокого положения вода эта будет сохранять запас энергии, вытекая же вниз, она будет отдавать свою энергию.

Аккумуляторы, применяемые в электротехнике, являются электрохимическими приборами. Накапливается и сохраняется в них химическая энергия определенных веществ (например, свинца и серной кислоты), которая при их взаимодействии превращается в электрическую. В этом отношении в них много общего с гальваническими элементами. Но в отличие от них аккумуляторы заряжаются действием электрического тока. Аккумулятор имеет два электрода, погруженных в банку с жидкостью. При зарядке аккумулятора через него пропускается постоянный ток. Для этого электроды присоединяются к сети, питаемой от электростанции. Заряжающий ток обязательно должен быть постоянным, поэтому при переменном токе в сети зарядка производится через выпрямитель. Проходя через аккумулятор, ток вызывает в нем определенные химические процессы — происходит взаимодействие электродов с жидкостью и накапливаются новые вещества. Вместе с ними накапливается запас химической энергии. Заряженный аккумулятор служит источником тока. При разрядке в нем происходят процессы, противоположные

зарядке. Если при зарядке электрическая энергия превращалась в химическую, то теперь запасенная химическая энергия снова превращается в электрическую—аккумулятор дает ток. Для получения большего напряжения и силы тока составляются батареи из многих аккумуляторов.

Применение аккумуляторов обычно связано с пространственной разобщенностью потребителей и источников энергии. Не в каждом месте можно получить ток из основной сети, от электростанции. Если к тому месту, где находится потребитель, сеть не проведена или даже ее нельзя подвести, энергию может доставить аккумулятор. Его заряжают на зарядном пункте, там, где можно взять энергию из сети. Аккумулятор с запасом энергии можно перевозить, доставлять в нужное место, можно брать с собой в путь.

Аккумуляторная техника достигла уже значительных успехов, и все же она еще очень далека от совершенства — существующие аккумуляторы тяжелы, громоздки, они дороги, заряжаются долго, а запас энергии все же берут недостаточно большой, требуют довольно сложного ухода и легко портятся. Все эти свойства должны быть усовершенствованы. В будущем, несомненно, будут созданы лучшие аккумуляторы, и тогда они приобретут гораздо большее значение, чем в наше время, особенно на транспорте. Электродвигатель, питаемый аккумулятором, во многих отношениях лучше и выгоднее теплового двигателя. Но аккумуляторный транспорт победит лишь тогда, когда аккумуляторы станут гораздо легче, а запас энергии будут иметь больший и когда будет выгоднее брать их с собой, чем равноценный запас топлива. На сегодня до этого еще далеко. Чтобы иметь запас энергии в 1 квтч, нужен аккумулятор весом более 50 кг, такое же количество энергии дают 200 г бензина, следовательно, современный аккумулятор еще в 250 раз тяжелее соответствующего запаса топлива.

Однако и теперь в ряде случаев аккумуляторный транспорт уже оказывается целесообразным и выгодным, особенно при небольшом радиусе действия. На наших заводах в цехах для перевозки материалов применяются аккумуляторные тележки — электрокары. В глубоких подземных рудниках широко применяются аккумуляторные электровозы, движущие целые поезда вагонеток с рудой.

В подземных галереях с их низкими потолками и сыростью проводка контактных проводов часто неудобна.

Развитие применения аккумуляторов, в частности на транспорте, требует хорошо налаженной работы пунктов для их перезарядки. Таких зарядных станций должно быть много. Аккумуляторы должны быть смелными, чтобы зарядка их не задерживала потребителей.

В будущем рисуются удобные, небольшие, легкие и в то же время емкие аккумуляторы, в которых для любых нужд можно взять с собой запас энергии. Существуют уже шахтерские электрические лампы, питаемые аккумуляторной батареей, подвешенной на поясе шахтера, запаса энергии хватает на 8 час. Сама лампа укреплена на фуражке, — куда ни повернешь голову, она освещает то, что оказывается перед глазами. Есть попытки создать и небольшие карманные батарейки, которые можно подзарядить от обычной сети через маленькие выпрямители (для зарядки аккумуляторов обязательно нужен постоянный ток). Это лишь первые шаги, предстоит еще большая работа над усовершенствованием аккумуляторов. Техника будущего не только усовершенствует современные типы электрохимических аккумуляторов, но, по всей вероятности, найдет новые физические принципы аккумулярования, которые будут более экономичными.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО—ВЕДУЩЕЕ ЗВЕНО ЭНЕРГЕТИКИ

Электрическая энергия занимает не только большое, но и главное, ведущее место в современной энергетике — она стала ее основой. Но это место и значение электричества в энергетике своеобразно. Мы не получаем электричества непосредственно из окружающей природы, а производим его из других, неэлектрических природных источников энергии. С другой стороны, мы обычно и используем не электроэнергию, как таковую, а превращаем ее в нужное нам тепло, свет, механическую работу и др., т. е. опять-таки в неэлектрические виды энергии. Электричество является как бы промежуточным звеном или своего рода посредником между природными источниками энергии и производственными процессами. Но значение его при этом исключительно велико.

Мы видели, что одна из особенностей электрического тока в технике состоит в его движении по определенно

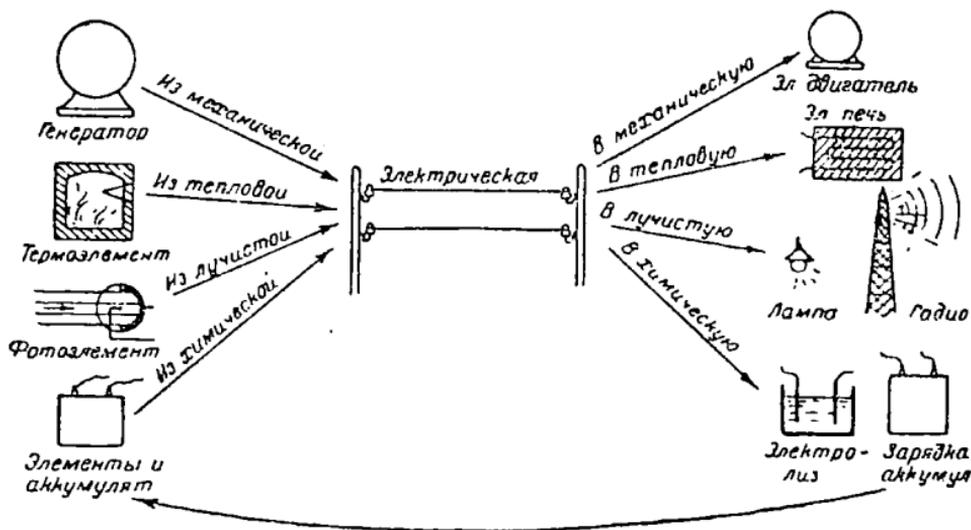
направленным качалам и в возможности передавать электроэнергию на большие расстояния. Это позволяет связать между собой природные источники энергии и ее потребителей, находящихся на больших расстояниях одни от других. Электроэнергия побеждает пространство. Она дает возможность объединять пространственно разделенные объекты в единую, целостную энергетическую систему. При этом многие природные ресурсы энергии, которые по своему месторасположению и свойствам без этого остались бы не использованными, благодаря электричеству могут выгодно использоваться и вступают в строй действующих источников. Таким образом, применение электричества чрезвычайно расширило и обогатило возможности использования природных энергетических ресурсов.

Но значение электроэнергии в технике этим далеко не ограничивается. В производственных процессах происходят разнообразные превращения одних видов энергии в другие. В этих превращениях энергии электричество также имеет первостепенное, исключительное значение.

Существуют различные виды энергии, из которых основными являются: 1) механическая энергия, например, движущихся частей машин, движущихся поездов, автомобилей и пр.; 2) тепловая энергия, нагревающая печи или производящая работу в паровых машинах; 3) электрическая энергия, в частности энергия электрического тока; 4) лучистая энергия видимого нами света, а также различных невидимых лучей, в том числе радиоволн; 5) химическая энергия взаимодействия веществ, в частности энергия топлива. Гениальным Ломоносовым был открыт важнейший закон природы — закон сохранения и превращения энергии. Закон этот состоит в том, что: 1) энергия никогда не возникает из ничего и не уничтожается; 2) одни виды энергии превращаются в другие. Это превращение одних видов энергии в другие постоянно совершается и имеет первостепенное значение в технике. Например, при горении топлива его химическая энергия превращается в тепловую, в тепловых двигателях тепловая энергия превращается в механическую, в генераторах — механическая в электрическую, в электродвигателях, наоборот, электрическая в механическую, в электрических лампах электрическая энергия превращается в тепловую, а она — в лучистую (свет) и т. д.

Мы видим сложную цепь превращений одних видов энергии в другие.

Электричество отличается особенной гибкостью в смысле его превращений в другие виды энергии. Превращения эти очень разнообразны, они происходят сравнительно легко и во многих случаях с небольшими потерями, т. е. очень экономично. С помощью электричества удобно осуществлять разнообразные превращения энергии, необходимые в различных производственных процессах. Электричество часто является целесообразным и выгодным



Фиг. 12. Электричество в превращениях энергии в технике.

промежуточным звеном между другими видами энергии в их взаимных превращениях.

Так, например, на железнодорожном транспорте, в соревновании новых типов локомотивов, большое значение имеет применение на тепловозах дизелей — наилучших, наиболее экономичных из двигателей внутреннего сгорания. Но современные дизели еще недостаточно хорошо работают при малых скоростях, при трогании тяжелого поезда с места, когда надо на малой скорости развить большую силу; они не допускают значительного изменения скоростей. Все это — свойства, очень важные в работе тягового двигателя, поэтому дизель нельзя непосредственно соединить с движущими колесами локомотива. Советский конструктор Я. М. Гаккель нашел своеобразное решение этой задачи. На созданном им тепловозе устанавливается

небольшая электростанция — генератор, вращаемый дизелем и производящий ток. Ток этот приводит в действие электродвигатели, вращающие колеса локомотива. Тепловозы Гаккеля хорошо работают на наших среднеазиатских дорогах.

Благодаря легкости передачи на большое расстояние и удобству превращения в другие виды энергии электричество стало наиболее универсальным видом энергии в технике — универсальным звеном энергетики современного производства (фиг. 12).

ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В наше время большая часть электроэнергии получается путем превращения из механической энергии с помощью генераторов на электростанциях. В качестве небольших источников тока применяются также гальванические элементы, в которых происходят химические процессы и превращение химической энергии в электрическую. Следовательно, практически освоены пока способы получения электрической энергии из механической и химической.

Но уже известны пути получения электричества и из других видов энергии — тепловой и лучистой. Существует прибор — термоэлемент, в котором при нагревании образуется электрическое напряжение, т. е. тепловая энергия превращается в электрическую. Основной частью его являются две проволоки или пластинки из различных металлов, например из меди и константана, спаянные на одном конце, так называемая термопара. Другие, не спаянные концы их соединены электрической цепью через гальванометр. В холодном состоянии напряжения и тока в цепи нет, и стрелка гальванометра стоит на нуле. Если же нагреть место спая этих двух металлов, между неспаянными концами появится напряжение, которое обнаруживается гальванометром. Если соединить последовательно несколько термопар, можно получить большее напряжение на концах такой батареи. Все же ток в цепи получается ничтожной мощности. Источником электроэнергии для практических целей термоэлемент служить не может. Он применяется в качестве очень чувствительного прибора для измерения температуры, так как по величине напряжения можно судить о степени нагрева спая. Но

явление, происходящее в этом приборе, показывает, что превращение тепловой энергии в электрическую, в сущности, вполне возможно.

Существует и другой прибор — фотоэлемент, с которым мы подробнее познакомимся ниже. Прибор этот освещается лучами света, и от их действия в нем возникает электрический ток, происходит превращение лучистой энергии в электрическую. Явление, лежащее в основе этого, было открыто русским физиком А. Г. Столетовым. Правда, и здесь ток получается очень малой мощности. Фотоэлемент применяется и имеет большое значение для многих целей, не требующих сильного тока, например в автоматике, но как источник электрической энергии он применяться не может. Однако он показывает, что в принципе превращение лучистой энергии в электрическую также вполне возможно. В дальнейшем развитии науки и техники, несомненно, будут найдены способы получения токов большой мощности путем превращения как тепловой, так и лучистой энергии в электрическую.

Итак, электрическая энергия может быть получена путем превращения из любого другого вида энергии. Однако получение ее часто происходит сложным, окольным путем — между природным источником энергии и производством электрического тока приходится производить целый ряд промежуточных превращений. На тепловых электростанциях химическая энергия топлива сначала превращается в тепло, затем тепловая энергия превращается в механическую, и лишь она, наконец, в электрическую. Эта цепь превращений энергии осложняет производство и связана с лишними потерями. Особенно невыгодно звено превращения тепловой энергии в механическую. Паровые турбины на электростанциях превращают в полезную работу лишь 35—45% тепла, следовательно, 55—65% энергии тепла пропадает неиспользованным. Важной и интересной технической задачей является упрощение процесса получения электроэнергии из природных источников — более прямое и непосредственное получение электричества, в особенности минуя невыгодное звено превращения тепловой энергии в механическую.

Встает и задача непосредственного использования энергии лучей солнца, особенно в более теплых странах. Интересные опыты в этом направлении производятся в наших среднеазиатских республиках. Делаются попытки

создания солнечных двигателей. Двигатели эти пока, правда, еще мало экономичны, в них происходит много потерь энергии. В превращении энергии участвуют паробразование в котле и обычный тепловой двигатель. В будущем рисуются возможности прямого получения электричества за счет энергии лучей солнца, или путем нагревания, или путем освещения, т. е. прямого превращения тепловой или лучистой энергии в электрическую.

Новые достижения физики и техники открыли громадные перспективы использования атомной энергии. В мельчайших частицах вещества — атомах, в их ядрах находятся огромные ресурсы энергии. Этот новый природный источник энергии также должен давать электричество, которое сможет быть использовано для любых производственных целей.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Вернемся, однако, к универсальному значению электричества в современной энергетике. Мы видели, что оно может быть получено из любого другого вида энергии, и электричество снова может быть превращено в любой другой вид ее — в механическую, тепловую, лучистую, химическую энергию. В современном производстве используются все эти виды энергии. В создании практических способов превращения электричества в другие виды энергии русские электрики шли во главе мировой науки и техники.

Из этих превращений электрической энергии прежде всего важно получение механической энергии, приводящей в движение различные машины. Электрическая энергия превращается в механическую посредством электродвигателей. Первый практически пригодный электродвигатель постоянного тока был построен в России Б. С. Якоби, а первый двигатель переменного тока создан М. О. Доливо-Добровольским. Для многих производственных процессов необходимо также тепло. Есть несколько способов превращения электрической энергии в тепловую. На них основано множество разнообразных электрических печей и нагревательных приборов. Важнейшие способы электрического нагрева также основаны на работах выдающихся русских ученых В. В. Петрова, Э. Х. Ленца, Н. Г. Славянова и др. О применении электродвигате-

лей и электронагрева подробнее будет идти речь в следующей главе.

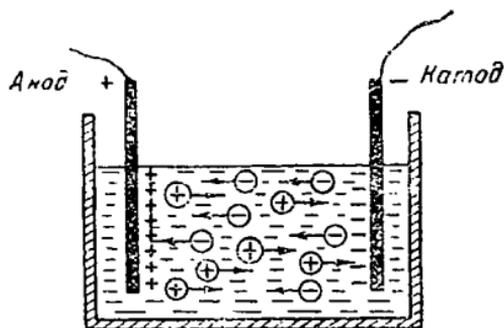
Превращение электрической энергии в лучистую происходит в электрических лампах. Электрическое освещение создано русскими изобретателями П. Н. Яблочковым и А. Н. Лодыгиным. В 70-х годах прошлого века «русский свет», дуговая «свеча» Яблочкова (см. ниже) впервые залила электрическим светом улицы Парижа, Лондона и других европейских городов. Другой источник света, созданный Лодыгиным, — лампа накаливания — применяется ныне во всем мире.

Металлическая нить лампы имеет значительное сопротивление, поэтому проходящий по ней ток сильно ее нагревает. Выделяющееся тепло накаляет нить до очень высокой температуры (более $2\ 000^{\circ}$), отчего она ярко светится. Чтобы нить не перегорела и не разрушалась, из стеклянной колбы лампы удаляется кислород, и она заполняется инертным газом, не вступающим в химическое взаимодействие с раскаленной металлической нитью. В электролампе, следовательно, сначала происходит превращение электрической энергии в тепловую, а затем уже тепловой в лучистую — свет. Наши электролампы удобны, но они неэкономичны, происходящие в них превращения энергии связаны с большими потерями. Полезно используется в виде света лишь 2—3% затраченной энергии, остальные же 97% теряются в виде ненужного тепла.

Поэтому техническая мысль ищет пути более выгодного и более прямого превращения электрической энергии в световую. Было открыто, что при прохождении электрического тока через разреженные газы в них происходит свечение. Если поместить газ, например гелий или неон, весьма малой плотности в длинную трубку и к концам трубки приложить напряжение, газ в трубке испускает яркий свет. Такие светящиеся трубки применяются в витринах магазинов, у кинотеатров и станций метро. Цвет свечения зависит от состава газа. Покрывая стенки трубки особыми веществами, удается получить приятный голубовато-белый свет, подобный естественному дневному свету. В газосветных трубках происходит более совершенное превращение электрической энергии в световую (лучистую). Беспольного нагревания почти не происходит. Эти новые осветительные приборы называются лампами холодного света. Они превращают в свет значитель-

но больший процент энергии. Несомненно, что в недалеком будущем газосветные лампы будут широко применяться для освещения.

Превращение электрической энергии в лучистую происходит и в радио, созданном гениальным русским ученым А. С. Поповым. Радиоволны являются одним из видов лучистой энергии. Они в основном имеют общую физическую природу с лучами видимого света. В антенну передающей радиостанции поступает переменный ток высокой частоты. Он возбуждает в окружающем пространстве радиоволны, происходит превращение электрической энергии в лучистую. В антенне радиоприемника происходит обратное превращение: принимаемые радиоволны вызывают образование переменного тока, лучистая энергия превращается в электрическую.



Фиг. 13. Химическое действие тока при прохождении через жидкость:

Большое производственное значение имеет также превращение электрической энергии в химическую — химическое действие тока. Оно основано на следующем. Электрический ток пропускается через раствор какого-либо вещества, например раствор медного купороса в воде (фиг. 13). Раствор проводит ток, потому что часть его молекул (частиц) всегда распадается на электрически заряженные ионы. Например, частицы медного купороса в растворе распадаются на положительные ионы меди и на отрицательные ионы остающихся частей молекул (содержащих серу и кислород). Если опустить в стеклянную ванну с раствором два электрода и приложить к ним напряжение, в растворе возникает электрический ток, положительные ионы меди будут двигаться к отрицательному электроду (катоде), а отрицательные ионы остатка — к положительному электроду (аноду). Достигнув катода, частицы меди отлагаются на нем в виде совершенно чистой металлической меди. От действия тока происходит химическое превращение веществ, из раствора медного купороса выделяется медь. Процесс этот называется элект-

тролизом. Ток обязательно должен быть постоянным, так как процесс в ванне протекает в определенном направлении.

Электролиз широко применяется в производстве, например, для очистки меди. В большую ванну с раствором медного купороса на аноде погружается толстый лист из неочищенной меди. Она постепенно растворяется и переходит в купорос, а на катоде выделяется совершенно чистая (электролитическая) медь, образуя все более толстый лист. Примеси, «загрязнявшие» медь, среди них золото и другие ценные металлы, падают на дно ванны.

Электролиз применяется и во многих других электрохимических производствах. Мы познакомимся ниже с его значением в получении алюминия. Выше мы видели, что химическое действие тока происходит и при зарядке аккумуляторов. При их разрядке химическая энергия обратно превращается в электрическую.

Таковы лишь некоторые из многообразных превращений энергии в технике, которые происходят с участием электричества.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

С каждым пятилетием страна наша все более электрифицируется. Электрификация — это не только производство огромных количеств электроэнергии и не только разнообразное применение электричества, это глубокое и всестороннее внедрение электроэнергии и электротехнических средств во все отрасли народного хозяйства в промышленность, транспорт, сельское хозяйство и др. На одном из первых мест стоит здесь применение электродвигателей, приводящих в движение машины.

В СССР на заводах и фабриках множество разнообразных станков приводится в действие электродвигателями. Электрифицируются тысячи километров железных дорог. Электродвигатель все более проникает и в социалистическое сельское хозяйство.

Электродвигатели превращают электрическую энергию в механическую, производят движение. Действие электро-

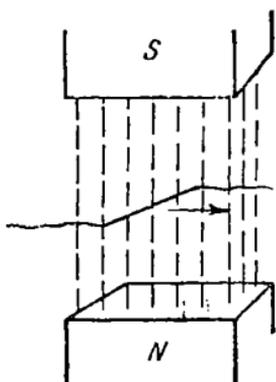
двигателей основано на том, что если в магнитном поле поместить проводник, по которому идет ток, этот проводник с током начинает двигаться (фиг. 14). Механические движения получаются от взаимодействия между током, проходящим по проводнику, и окружающим магнитным полем.

Эти явления были изучены выдающимся русским ученым Э. Х. Ленцем. На этой основе возникла мысль создания двигателя, который будет приводить в движение машины. Но надо было создать техническую форму, в которой это получение движения совершалось бы удобно и выгодно. Первый практически пригодный электродвигатель был построен русским ученым акад. Б. С. Якоби. В 1839 г. лодка с этим двигателем плавала по Неве на расстояние 40 км и перевозила 14 пассажиров, двигатель получал энергию от большой батареи элементов, находившейся на лодке. Якоби был передовым ученым — заслуга его в том, что он первый создал электродвигатель, в котором от электромагнитного действия непосредственно получалось вращательное движение, необходимое для работы машин. До него изобретатели пробовали устроить двигатели, в которых два электромагнита (катушки) поочередно втягивали свои якоря, создавая возвратно-поступательное движение (взад и вперед), и лишь с помощью сложных дополнительных механизмов получалось вращательное движение. В устройстве этих двигателей они подражали действию прежних паровых машин с их цилиндрами и поршнями.

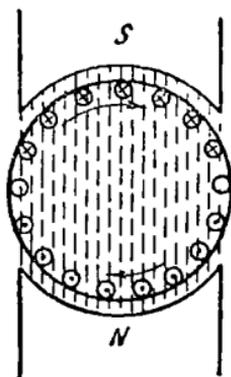
В течение следующих десятилетий были созданы хорошие электродвигатели постоянного и переменного тока. Двигатель постоянного тока по своему устройству в основном очень похож на генератор, хотя действие его совершенно другое. Как и в генераторе, в нем те же две основные части (фиг. 15). Неподвижная часть (статор) с электромагнитами, создающими магнитное поле ротор, или якорь, вращающийся в магнитном поле статора. Но в генераторе надо вращать ротор, и от пересечения силовых линий поля в нем возбуждается ток. В электродвигателе, наоборот, обмотку ротора надо питать током, и от взаимодействия этого тока с магнитным полем происходит движение, ротор вращается сам и приводит в движение ту или другую машину.

Следовательно, если питать током обмотку генератора, он начнет сам вращаться, и генератор превратится в двигатель. Такие машины называют обратимыми.

В 90-х годах прошлого столетия выдающийся русский ученый и изобретатель М. О. Доливо-Добровольский создал двигатель переменного тока. Михаил Осипович Доливо-Добровольский (1862—1919 гг.) по праву должен



Фиг. 14. Движение проводника с током в магнитном поле.



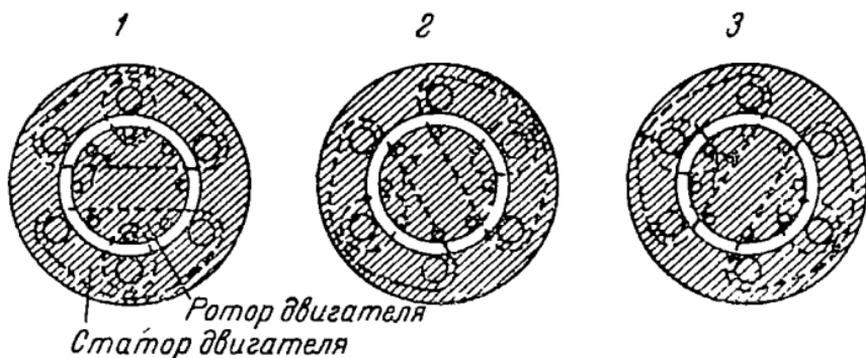
Фиг. 15. Принцип действия электродвигателя постоянного тока.

считаться одним из основателей современной электротехники. Работал он главным образом в области переменного тока.

Им первым была осуществлена передача переменного тока высокого напряжения на такое большое расстояние, как 175 км. Им же создана и система трехфазного тока, применяемая ныне во всем мире система из трех переменных токов, сдвинутых на треть периода. Доливо-Добровольский разработал те способы соединения (звездой и треугольником), которые применяются ныне в трехфазной системе. На основе трехфазной системы создан им асинхронный двигатель переменного тока. В 1891 г. двигатель этот блестяще выдержал испытания на всемирной электротехнической выставке и с тех пор стал наиболее распространенным двигателем на всем земном шаре. М. О. Доливо-Добровольский был представителем русской научной мысли — глубоким ученым-теоретиком и выдающимся инженером-практиком. По политическим обстоятельствам ему пришлось выехать из царской России, но он был патриотом своей родины и всегда считал

себя русским человеком, а свои достижения — достоянием русской науки.

Созданный им двигатель переменного тока состоит из статора и ротора. Статор питается трехфазным переменным током. По его окружности расположены три отдельные обмотки, сдвинутые в пространстве относительно друг друга на 120° . Вспомним, что в трехфазной системе токов в каждой следующей фазе наибольшая величина



Фиг. 16. Принцип действия асинхронного двигателя.

тока наступает на одну треть периода позже, чем в предыдущей фазе. Но при большой силе тока бывает наиболее сильное магнитное поле. Значит и наибольшее магнитное поле в каждой следующей фазе наступает на треть периода позже, чем в предыдущей. Пусть в какой-нибудь момент времени в одной из фазовых обмоток статора двигателя наступает наибольшая сила тока и наибольшее магнитное поле. Через треть периода наибольшая сила тока и наибольшее магнитное поле окажутся уже в следующей фазовой обмотке, расположенной на некотором расстоянии по окружности статора. Еще через треть периода наибольшая сила тока и магнитного поля окажется в третьей фазовой обмотке, расположенной еще дальше по окружности статора. В результате получается, что магнитное поле переходит от одной фазовой обмотки статора к другой — оно как бы движется по окружности статора. Это видно на схематической фиг. 16, если сравнить последовательные положения магнитного поля на фиг. 1, 2 и 3. Магнитное поле непрерывно обегает всю окружность статора, совершая один оборот за другим. Поэтому оно называется вращающимся магнитным полем. Вращающееся трехфазное поле было открыто До-

ливо-Добровольским и является одним из замечательных достижений электротехники.

Что же происходит в роторе двигателя? Из внешней цепи ток в него не поступает. Но так как вращающееся магнитное поле статора все время пересекает проводники ротора, в них индуцируется ток. Этот индуцированный в роторе ток вступает во взаимодействие с вращающимся магнитным полем статора. От этого взаимодействия возникает механическая сила, которая приводит ротор двигателя во вращение, увлекая его вслед за вращающимся магнитным полем. Ротор немного отстает от вращающегося магнитного поля и вращается с несколько меньшей скоростью. Это отставание называется скольжением.

Есть и различные другие типы электродвигателей. Электродвигатели достигли уже большого совершенства, но техническая мысль все время работает над их дальнейшим улучшением и созданием новых типов и конструкций.

Электродвигатели имеют целый ряд очень ценных качеств. Они отличаются относительно малым размером и весом, концентрируя в себе большую мощность. Использование энергии в них очень экономично (высокий к. п. д.). Управление электродвигателями в большой мере автоматизировано, пуск и остановка и вообще управление, обслуживание и уход за ними очень просты и удобны. Эти и ряд других ценных качеств обеспечили электродвигателям самое широкое распространение во всех областях производства.

В нашей социалистической промышленности электродвигатели приводят в движение многие тысячи различных станков и машин, советские заводы и фабрики уже полностью электрифицированы. В подземных коях и рудниках электродвигатели приводят в действие врубовые и другие машины. Электрифицируются работы на многочисленных советских стройках. В социалистическом транспорте электродвигатели движут товарные и пассажирские поезда, городские трамваи, подземные поезда метрополитена, электродвигатели применяются и на самолетах (для различных вспомогательных устройств). Небольшие и удобные переносные электродвигатели применяются в сельском хозяйстве, приводя в движение разнообразные сельскохозяйственные машины. Электродвигатель является универсальным двигателем, хотя различ-

ные области применения предъявляют к нему неодинаковые требования.

Электродвигатели могут строиться на самые различные мощности от 2—8 *вт* до 7 000—8 000 *л. с.* В промышленности двигатели по 8 000 *л. с.* вращают валки громадных советских блюмингов, прокатывающих десятитонные стальные слитки, а двигатели по 50—200 *вт* вращают отдельные веретена прядильных станков (в различных точных приборах применяются даже двигатели по 2—10 *вт*).

РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

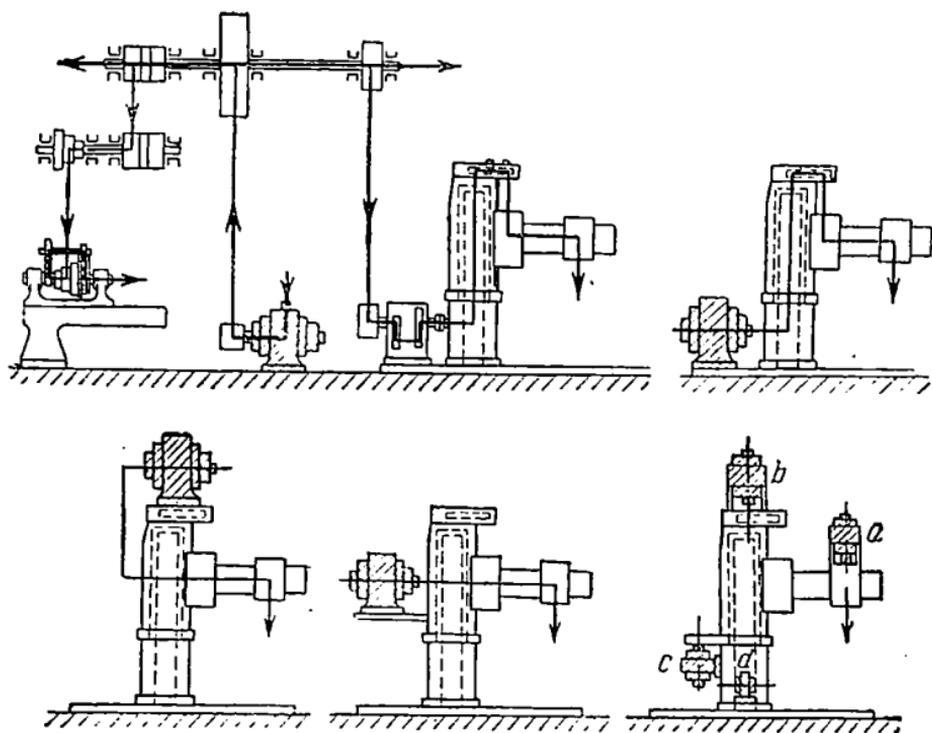
Электрический двигатель пришел на смену паровой машине. На старой, неэлектрифицированной фабрике, в ее машинном отделении работала большая громоздкая паровая машина. От нее ремнями и канатами движение передавалось во все этажи, затем трансмиссионными валами, вращающимися под потолком, оно передавалось по цехам и, наконец, посредством ремней и шкивов приводило в действие многочисленные станки.

Когда электродвигатель стал применяться в промышленности, вначале также ставили групповые электродвигатели, вращавшие каждый большое число станков с помощью прежних трансмиссий, валов, ремней. В истории техники нередко бывало, что новое средство вначале применялось в старых, привычных формах. И лишь затем перешли к одиночному приводу, при котором каждая машина имеет свой отдельный электродвигатель. Ныне такой привод является господствующим в технике социалистического производства.

Станки с одиночным приводом, не связанные общей трансмиссией, стало гораздо легче переставлять и располагать так, как этого требовали последовательность обработки, связь операций. В современном массовом производстве автомобилей, тракторов, самолетов и многих других изделий это имеет очень большое значение. Современное производство в своей основной и наиболее передовой форме носит поточный характер. Стандартные изделия непрерывным потоком движутся от одного станка к другому, из которых каждый совершает лишь определенную, узкую операцию. Для такой организации производства необходимо, чтобы станки не зависели от общей трансмиссии, а имели каждый свой отдельный двигатель.

Поточное производство неразрывно связано с одиночным приводом.

В развитии одиночного привода электродвигатель все более срастается с той машиной, которую он приводит в действие. Сначала движение передавалось через промежуточный вал — контрпривод с помощью двух ременных передач с двумя парами шкивов (фиг. 17). В дальнейшем контрпривод выбросили, и движение стало передаваться



Фиг.17. Схема развития электропривода сверлильного станка.

ремнем прямо от электродвигателя к приводному шкиву станка или применялась зубчатая передача. Затем во многих случаях исключили и эту ременную или зубчатую передачу, и вал двигателя с помощью соединительной муфты стал непосредственно вращать вал машины. Все более сокращался путь передачи движения, упрощалась конструкция, уменьшились потери энергии в лишних звеньях передачи. Повышалась и производительность станков.

Электродвигатель все более внутренне связывается с той машиной, которую он приводит в движение, и ста-

новится ее неотъемлемой частью. Такой привод называют встроенным электродвигателем. Громадный размах строительных работ в СССР и задача их максимальной механизации привели к широкому применению электрифицированного плотничьего и столярного инструментов. Небольшие двигатели, встроенные внутри корпуса самих инструментов, стали их неотъемлемой частью. Таковые электро-сверла, электрорубанки, электродолбежники, дисковые и ленточные электропилы.

Срастание двигателя с рабочей машиной ведет, с одной стороны, к перестройке машины, ее передающих механизмов, с другой — к соответствующему изменению самого электродвигателя. Создаются специализированные электродвигатели, устройство и работа которых приспособлены к определенному типу машин. Такой двигатель, снятый с одной машины, подчас уже не может быть поставлен на машину другого типа. Наша помышленность выпускает специализированные двигатели для прокатных, металлорежущих, текстильных станков, для врубовых машин, крановые двигатели и др.

МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Но одиночный привод еще не предел электрификации рабочих машин.

Дальнейшим этапом развития электрического привода является переход от общего двигателя для всей машины к многодвигательному приводу — к машинам с несколькими электродвигателями, у которых различные части приводятся в движение отдельными двигателями. Это создает новый тип машины, который развивается в наши дни и имеет громадное будущее. Таковы, например, новейшие круглошлифовальные станки, выпускаемые заводом им. Кирова. Отдельный двигатель вращает шлифовальный круг, другой электродвигатель дает вращение шпинделю станка и укрепленному на нем изделию; третий сообщает поступательное движение шлифовальной бабке — продольную или поперечную подачу; наконец, четвертый электродвигатель приводит в действие насос, подающий охлаждающую жидкость.

Рассмотрим еще многодвигательный экскаватор (громадную механическую лопату), применяемый, например, на наших открытых горных выработках и заменяющий

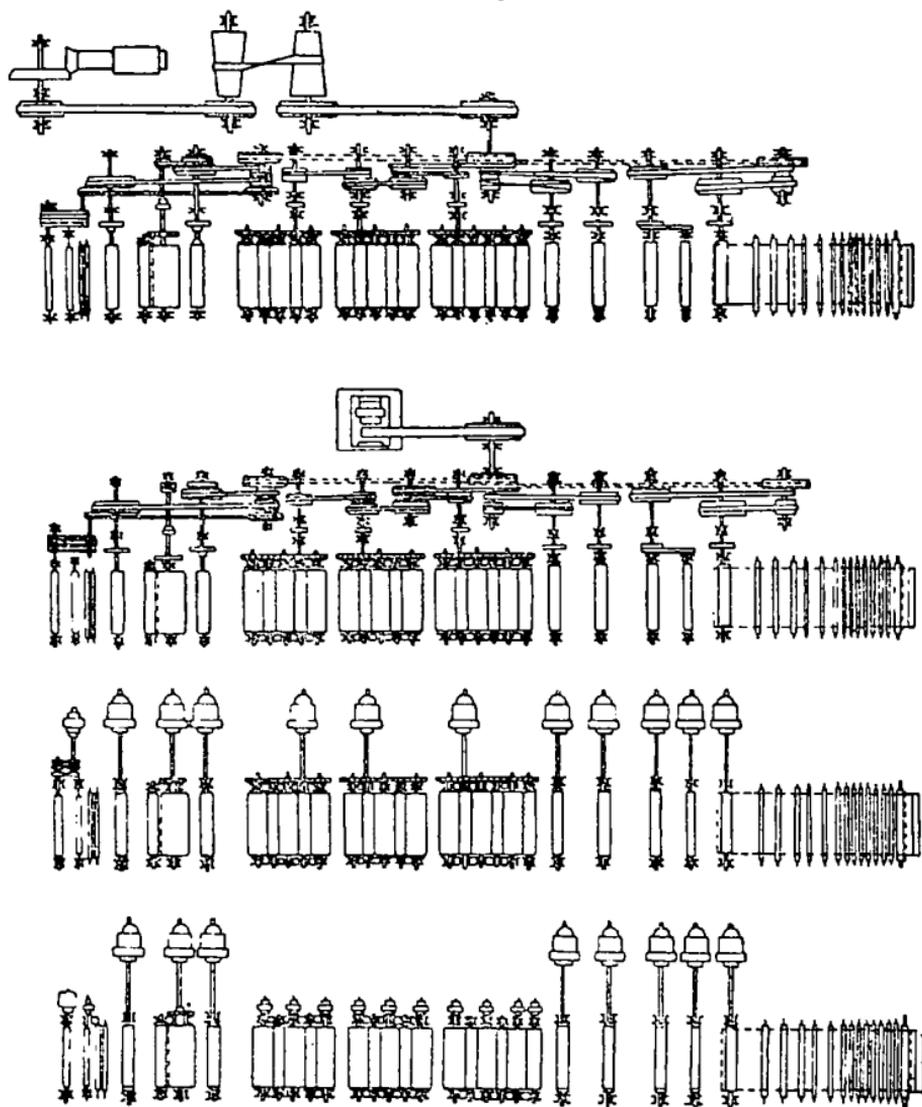
тяжелый ручной труд тысяч горняков и землекопов. Один электродвигатель поворачивает верхнюю платформу, а вместе с ней и выступающую вперед стальную руку экскаватора — стрелу, на которой находится ковш для зачерпывания земли. Второй двигатель установлен на самой стреле и приводит в движение механизм для зачерпывания лопатой грунта. Третий электродвигатель, установленный на платформе сбоку, служит для подъема ковша. Этот же двигатель используется и для передвижения всего экскаватора. В мощных экскаваторах есть еще четвертый двигатель, который открывает и закрывает днище ковша при его разгрузке.

Многодвигательный привод является передовым направлением в современном машиностроении. Он упрощает машину, дает значительную экономию энергии, которая раньше терялась на внутренние передачи, он создает гибкое управление машиной и большую возможность автоматизации ее работы. В нашей стране передовой техники ему, несомненно, принадлежит будущее.

Мы являемся современниками того, как многодвигательный привод производит глубокие перемены в развитии машиностроения и создает новый тип машины. Растущая механизация различных областей производства ведет к созданию все более сложных машин, рабочие части которых должны совершать разнообразные и согласованные движения. Это в особенности относится к самодействующим машинам-автоматам, столь характерным для нашего времени. До введения многодвигательного принципа машиностроение разрешало эти задачи механическими средствами. Строились различные зубчатые и другие механизмы, передающие движение различным рабочим частям машины, шпинделю с изделием, суппорту с резцом, рабочему столу станка, отдельным веретенам и т. п. Машина обрастала множеством валов, зубчатых и иных колес, она становилась громоздкой, в ее передающих механизмах терялось много энергии.

И вот внутри рабочей машины проникли электродвигатели, приводящие в движение ее отдельные узлы и части. Нужда в сложных и громоздких механических передачах постепенно отпадает. Их заменяют отдельные двигатели, непосредственно движущие шпиндель с изделием, суппорт с резцом, рабочий стол и т. д. Энергия к этим двигателям подводится по проводам, почти незаметно

проложенным по станку. Конструкция машины становится гораздо проще и глубоко перестраивается, технические задачи решаются совершенно по-новому.



Фиг. 18. Развитие многодвигательной бумагоделательной машины.

На фиг. 18 показано, как упрощалась конструкция бумагоделательной машины по мере того, как ее передающие механизмы заменялись отдельными электродвигателями.

В новых прядильных станках каждое веретено вращается отдельным небольшим двигателем. Как изменилась и упростилась его конструкция в сравнении с преж-

ними станками, в которых сложные механизмы должны были передавать движение к каждому из нескольких десятков веретен. При порче одного веретена приходилось останавливать весь станок, простаивали десятки исправных веретен. В многодвигательном станке можно остановить на ремонт каждое отдельное веретено при продолжающейся работе остальных. А вот рольганги, по которым слитки стали движутся к прокатным станкам, на поворотах их ролики расположены под различными углами друг к другу. При механической передаче движения от общего двигателя задача передать движение под многими углами представляла большие трудности. Она стала крайне простой, когда каждый ролик начал получать вращение от своего отдельного небольшого двигателя.

Многодвигательный привод способствует перестройке рабочих машин. Но при этом изменяется, перестраивается и сам электродвигатель, органически срастаясь с частями машины и становясь сам ее внутренней составной частью. Так ротор двигателя, вращающего отдельное веретено, сросся с телом веретена в одно неразрывное целое. Статор сросся с подшипником веретена. В рольгангах двигателя, вращающие отдельные ролики, претерпели еще более глубокое и интересное изменение. Здесь тоже ротор сросся с роликом. Но обыкновенно в электродвигателях ротор вращается внутри неподвижной части (статора), здесь же статор и ротор поменялись местами: внутри находится неподвижный статор двигателя, связанный с осью ролика, а вокруг него вращается ротор двигателя, связанный с самим роликом.

Однако на пути широкого применения многодвигательного привода есть еще немалые трудности. Легче заменить отдельными двигателями те механизмы, которые передают движение в различные части машины и преобразуют направление этого движения, передавая его, например, между перпендикулярными валами. Труднее отказаться от механических средств изменения и регулирования скорости движения (числа оборотов) различных коробок скоростей, подач и пр.

Дело в том, что в современных электродвигателях плавное и широкое регулирование оборотов является еще одним из их слабых мест.

Хорошо регулируются двигатели постоянного тока — плавно и экономично. Но в промышленности распростра-

нен переменный ток. Поэтому для использования двигателей постоянного тока надо применять специальные устройства для преобразования переменного тока в постоянный, которые значительно удорожают установку.

У асинхронных же двигателей переменного тока регулирование скорости крайне неэкономично из-за больших потерь в реостате. Скорость этих двигателей обычно регулируется лишь ступенями (например, 3 000/1 500/1 000/500 или 1 500/1 000/500 об/мин и т. д.). Такие двигатели называют многоскоростными; они изготавливаются на 2, 3 и 4 скорости.

Процессы обработки, выполняемые машинами, зачастую требуют точного и гибкого регулирования скоростей. Примером может служить нарезание винтовой резьбы на токарном станке, где приходится очень тщательно подбирать передачи к суппорту, так как большое значение имеет точно установленная скорость движения резца вдоль нарезаемого винта (подача).

В дальнейшем совершенствовании электродвигателей техническая мысль уделяет особое внимание разработке лучших способов регулирования скорости вращения в широких пределах и с плавными переходами от одной скорости к другой. Намечаются разные пути, пробуются различные средства, создаются новые конструкции. Советские ученые ведут большую работу по созданию лучших способов регулирования скорости электродвигателей.

Различные области производства предъявляют к электродвигателям неодинаковые требования. Для большинства промышленных машин нужно, чтобы двигатель, во-первых, допускал изменение (регулирование) скорости вращения по воле человека, а во-вторых, чтобы сам двигатель возможно точнее сохранял постоянную заданную ему скорость, не изменяя ее, в частности, при изменении нагрузки. Если скорость движения частей машины перестает быть постоянной, процессы обработки совершаются неправильно, в результате чего имеет место брак.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ НА ТРАНСПОРТЕ

Иные требования к электродвигателю предъявляет транспорт. Здесь приходится трогать с места тяжелые поезда, преодолевая их громадную инерцию; поэтому тяговые транспортные двигатели должны сразу развить

большое пусковое усилие. Они должны выдерживать значительную перегрузку, так как в условиях транспорта нагрузка на двигатель временами значительно повышается (при разгоне, на подъемах). При увеличении нагрузки тяговый двигатель может уменьшать скорость, но зато должен увеличивать силу тяги.

Электродвигатель все более завоевывает транспорт.

Первые опыты применения электродвигателя на городском рельсовом транспорте были осуществлены Ф. А. Пироцким в России. В 1880 г. в Петербурге он приводил в движение вагон городской железной дороги электрическим двигателем, получавшим ток от генератора через один из рельсов. Этот опыт был, по существу, пуском первого в мире трамвая. После этого опыта во всем мире началось широкое применение электродвигателей в городском транспорте. В России первый трамвай начал регулярную работу в 1892 г. в Киеве.

Вслед за созданием городских трамваев последовала электрификация пригородных, а затем и дальних железных дорог. Электровозы развивают большую скорость, чем паровозы (до 200 км в час и больше), они тянут более тяжелые товарные составы, в частности на подъемах, в горной местности. Советские электровозы тянут на горных перевалах составы до 2 500 т, тогда как паровозы — всего лишь 800 т. Значительно экономнее и питание их энергией в сравнении с паровозами. Последние сжигают дорогие сорта топлива, требуют перевозки его на большие расстояния и имеют очень невысокий к. п. д. (всего 7—10%). Вот почему в нашей стране передового транспорта в послевоенной пятилетке электрифицированы новые тысячи километров железнодорожных линий. Электрифицируется значительная часть великой сибирской магистрали; железные дороги Урала, Закавказья, Московского и Ленинградского узлов.

Электрический двигатель проникает в различные виды транспорта. Среди морских судов все чаще появляются электроходы. Тепловые двигатели (турбины) вращают на них генераторы, а вырабатываемый ими ток приводит в действие мощные электродвигатели гребных винтов. Может показаться, что электричество является здесь лишним, осложняющим звеном превращения энергии. Не проще ли непосредственно передавать вращение винту

от теплового двигателя, как это делается на обычных пароходах и теплоходах. Но преимущества электрической тяги столь велики, что это дополнительное звено вполне оправдывается и окупается. Электрическим двигателем удобно управлять. Он гораздо легче допускает изменение направления вращения (реверсирование) для получения заднего хода судна, чем это пришлось бы делать, непосредственно передавая движение от турбины. К тому же турбины очень быстроходны; они дают, например, 1 500 об/мин, а гребной винт — всего несколько десятков оборотов в минуту. Электрическое звено позволяет легче произвести необходимое уменьшение скорости. Превращение же механической энергии в электрическую и обратно — работа генератора и электродвигателя — связано с сравнительно небольшими потерями энергии.

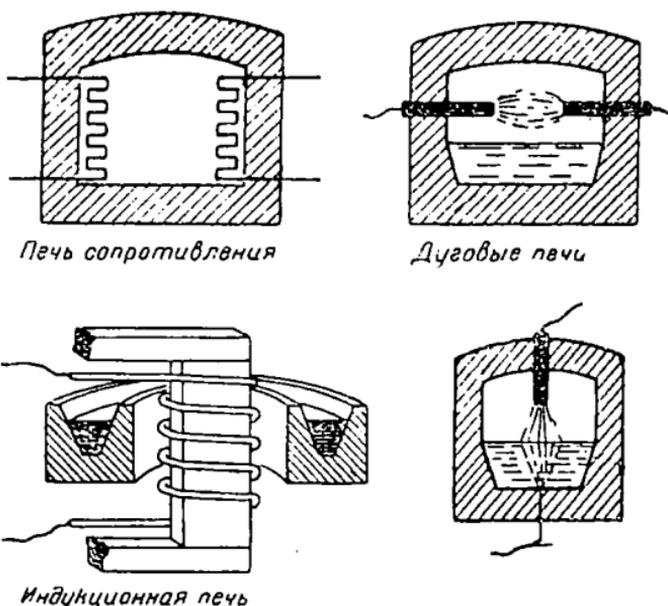
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАГРЕВАНИЕ

Мы видели, как глубоко и разносторонне проникает электродвигатель в различные отрасли нашего народного хозяйства. Но электрификация социалистического производства далеко не ограничивается лишь его силовым аппаратом — двигателями. Происходит еще более глубокая электрификация самих производственных процессов — электричество все чаще принимает непосредственное участие в процессе обработки и изготовления продукта.

В этом отношении интересно применение электрического нагревания. Нагревание имеет большое значение во многих отраслях производства: в металлургии и обработке металлов, в различных химических производствах, в пищевой промышленности, в сельском хозяйстве и др. В сравнении с получением тепла от сжигания топлива электрические способы нагрева во многих отношениях более совершенны и являются более высокой ступенью развития техники. Они дают лучшее качество продукции, позволяют подводить тепло в нужные места. Температура нагрева точно регулируется, причем поддерживается автоматически. Электрическим нагреванием можно поддерживать любую температуру — от 20° до 3 000° и выше в зависимости от потребности для того или другого технологического процесса.

Есть несколько различных способов электрического нагрева (фиг. 19). Самый простой из них — это нагрева-

ние сопротивлением, когда ток проходит по нагревательным элементам, имеющим большое сопротивление, в связи с чем выделяется тепло. Электроны в металле не имеют возможности достаточно свободно двигаться между более крупными частицами, сталкиваются с ними и отдают им свою энергию. При этом упорядоченное движение электронов вдоль проводника превращается в беспорядочное движение частиц, которое и лежит в основе того, что мы называем теплом. Русский ученый Ленц вы-



Печь сопротивления

Дуговые печи

Индукционная печь

Фиг. 19. Способы электрического нагрева и типы электропечей.

яснил, что тепла выделяется тем больше, чем сильнее ток, чем больше сопротивление проводника и время нагрева. Чтобы выделялось больше тепла, а нагревательные элементы занимали меньше места, они делаются из специальных сплавов, которые хотя и проводят ток, но имеют значительное сопротивление. Так, например, нихром — сплав, состоящий из никеля, хрома и иногда стали и др.

Этот способ электронагрева сопротивлением применяется в наших бытовых приборах: плитках, чайниках, духовых шкафах, утюгах и т. п. На нем же основана работа многих больших заводских электропечей для закалки и других видов термической обработки металлов, для нагревания стеклянных и фарфоровых изделий.

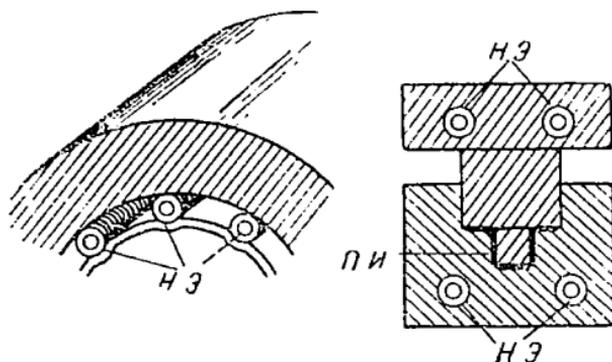
Электрическое нагревание дает возможности распределить образование тепла в тех местах, где оно наиболее нужно. В обычных, неэлектрических печах гораздо труднее управлять потоком тепла. В электрических же печах и приборах можно подвести нагревательные элементы в любое место, если нужно, обернуть ими те или другие части изделия и даже ввести их внутрь изделия, чтобы нагревать его изнутри. Распределение нагревательных элементов сочетается с применением различных прокладок из теплоизолирующего материала (например, асбеста), которые дают возможность еще точнее направлять тепло в нужные места. Регулируя образование тепла, можно одни места нагревать сильнее, другие слабее. С помощью электронагревательных элементов производятся, например, сушка и подогрев литейных форм. В сложных формах полезно в разной степени нагревать их различные части с целью регулирования температуры в остывающих отливках и уменьшения образования в них вредных напряжений.

Существуют гибкие нагревательные элементы, которые можно вводить внутрь одежды. Это дает возможность изнутри нагревать одежду, что весьма полезно при работе на сильном холоде или при полетах на большую высоту. Это, пожалуй, первая в истории человечества одежда, которая действительно греет. Одеждой из такой ткани был снабжен геронческий экипаж советского стратостата, поднявшегося в воздух на рекордную высоту 22 км.

В электрификации производства более совершенное распределение тепла ведет к внутреннему срастанию электронагрева с другими сторонами технологических процессов. Это особенно проявляется в тех случаях, когда электрические нагревательные элементы вводятся внутрь соответствующих частей машин и аппаратов, производящих обработку изделий. Нагревание производится одновременно с основным процессом обработки, например, в прессформах, в которых штампуются изделия из пластмассы (фиг. 20). Нагревательные элементы введены как в верхнюю часть прессформы (пуансон), так и в ее нижнюю часть (матрицу). Они находятся в специальных пазах и каналах, устроенных внутри формы, число и мощность нагревательных элементов зависят от размеров форм, ток подводится по проводам. Электрическое нагре-

вание форм поддерживает в них ту именно рабочую температуру (140—160°), которая необходима для нагревания пластмассы.

Здесь невольно напрашивается выражение «встроенные» электронагревательные элементы, аналогично тому, как мы говорили выше о встроенных электродвигателях и многодвигательных машинах. Электрификация проникает внутрь производственных процессов. Подобным же образом обогреваются прессформы в ряде других произ-



Фиг. 20. Внутренний обогрев барабана и прессформы.

НЭ — встроенные нагревательные элементы;
ПН — прессуемое изделие.

водств при изготовлении шоколада, лекарственных препаратов, изделий из кожи, из бумаги и картона (например бумажных стаканчиков). Есть ковочные машины для горячей обработки металлов, в которых вместо предварительного подогрева в печах поковки нагреваются в самой машине встроенным электронагревателем одновременно с их механической обработкой.

Другую разновидность встроенного электронагрева встречаем мы в процессах, в которых обрабатываемый материал проходит между вращающимися цилиндрами (вальцами) в текстильном, бумажном, резиновом, войлочном производствах, в некоторых прокатных станах, в прачечных гладильных машинах. Нагревательные элементы расположены на внутренней поверхности цилиндров или на неподвижных цилиндрах, расположенных внутри вращающихся. Материал, проходящий между цилиндрами,

одновременно подогревается и подвергается основной обработке. В некоторых машинах нагревается выпуклая плита под вращающимся цилиндром, которая как бы играет роль утюга.

Одно из больших преимуществ электрических способов нагрева состоит в том, что они дают возможность автоматически поддерживать и регулировать нужную температуру с большой степенью точности. В производственных процессах это часто имеет первостепенное значение. Примером может служить закалка стальных изделий. Выдающийся русский ученый Д. К. Чернов — основатель науки о строении металлов — выяснил, что при закалке в металле происходят сложные изменения состава, мельчайшего строения и свойств металла, причем для этого требуется строго определенная температура нагрева. Если данный сорт стали должен закаливаться при температуре 760° , то уже перегрев до 800° или недогрев при 720° может привести к браку целой партии дорогостоящих деталей. Однако в электрической закалочной печи этого не произойдет, так как при мельчайшем повышении температуры выше заданной автоматический регулятор снизит электронагрев и температура вернется к норме, а при вредном снижении температуры нагревание будет автоматически усилено. Ни при каком ином неэлектрическом способе нагрева нельзя получить столь же точного и надежного регулирования температуры.

Автоматические устройства все время измеряют и контролируют температуру в печи и соответственно регулируют нагрев, увеличивают или уменьшают мощность нагревающего тока или включают и выключают большее или меньшее число нагревательных элементов.

В совхозных и колхозных фермах все чаще применяются электрические инкубаторы для искусственного выведения цыплят из яиц. Здесь также необходимо строго поддерживать температуру, необходимую для нормального развития зародышей, отклонение на несколько градусов в ту или другую сторону может погубить выводок. Но автоматические регуляторы не допустят этого. Другое автоматическое приспособление время от времени переворачивает яйца, чтобы они равномерно и правильно прогрелись.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА ПЕТРОВА

Применяются и другие способы электрического нагревания. В 1802 г. русский ученый В. В. Петров открыл явление электрической дуги, которая впоследствии приобрела громадное значение в технике. Петров был последователем великого Ломоносова и первым из блестящей плеяды русских электриков XIX столетия. Располагая самым мощным в мире источником тока — батареей, состоящей более чем из 2 000 элементов, Петров пропускал сильный ток через два сдвинутых вплотную угля. Раздвинув концы этих углей, он заметил, что между ними появилось яркое электрическое пламя. Это особый вид электрического тока, проходящего через воздух. Теперь мы знаем, что электроны, летящие от отрицательного электрода, сталкиваются с частицами воздуха и превращают их в заряженные ионы. В воздухе образуются потоки положительно и отрицательно заряженных частиц, летящих в противоположных направлениях. При этом воздух между электродами, а также концы самих электродов сильно разогреваются. Выделяется много тепла, и температура дуги достигает более 3 000°.

В. В. Петров прозорливо предсказывал, что открытое им «электрическое пламя» найдет большое применение на практике для нагревания и освещения. Предвидение это было осуществлено русскими же изобретателями. П. Н. Яблочков применил дугу Петрова в своей электрической свече. Н. Н. Бенардос и Н. Г. Славянов создали дуговую электросварку и этим вообще положили начало производственному применению электрического нагрева. Температура дуги столь высока, что она плавит металл и сваривает между собой швом металлические части. Электросварка применяется в самых разнообразных отраслях промышленности при прокладке трубопроводов для газа, сооружении мостов и больших судов.

В нашей металлургии широко применяются дуговые электропечи. В них плавятся высококачественные легированные стали. При их производстве добавляются тугоплавкие примеси, например хром, для плавления которых необходима высокая температура электрической дуги.

Печи нагреваются мощной дугой, громадные электроды достигают двух метров длины и полметра толщины.

Дуга образуется или между двумя электродами над металлом, или между электродом и самим металлом, к которому снизу подведен один из полюсов сети.

В дуговых печах производятся лучшие сорта стали. Температура и ход плавки точно регулируются. Металл получается в точности заданного состава, а поэтому и с нужными свойствами. Высокая температура плавки (около 3 000°) дает возможность хорошо растворять в металле ценные примеси, улучшающие его свойства (хром, никель, ванадий и др.), а также плавить тугоплавкие флюсы для удаления вредных примесей (серы). Электроплавка отличается большой чистотой, в металл не попадают загрязняющие примеси, ухудшающие его качество, не образуется и вредных окислов. В послевоенной сталинской пятилетке продолжается увеличение производства электростали и вообще рост советской электрометаллургии.

ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ И НАГРЕВАНИЕ ТОКАМИ ВЧ

Существует и третий способ электрического нагрева, применяемый в индукционных печах. Действие этих печей в известном смысле близко к процессам, происходящим в трансформаторах (фиг. 19).

Многие индукционные печи подобно трансформаторам имеют стальной сердечник, окруженный первичной обмоткой, в которую подается переменный ток. Но вместо вторичной обмотки трансформатора сердечник печи окружен кольцевым жолобом, в котором находится нагреваемый материал. Переменный ток первичной обмотки создает переменное магнитное поле. Его силовые линии пересекают находящийся в жолобе металл и индуцируют в нем переменный ток.

«Вторичная обмотка» в виде жолоба с нагреваемым металлом представляет собой всего лишь один короткозамкнутый виток. Первичная же обмотка имеет значительно больше витков. Поэтому подобно понижающему трансформатору в печи индуцируется ток невысокого напряжения, но весьма большой силы.

Переменный ток такой большой силы производит сильное нагревание. Его энергия превращается в тепловую энергию беспорядочного движения частиц нагревае-

мого материала. Такое нагревание отчасти происходит и в трансформаторах, но там оно является вредным явлением и с ним ведется борьба. В индукционных печах же именно эта сторона процесса нагревания является полезной и нужной, и конструкция печей создает условия для наибольшего выделения тепла и для его наилучшего использования. Так развиваются и изменяются технические принципы, переходя из одной области производства в другую.

Индукционные печи создают высокую температуру, хорошо регулируются, отличаются чистотой и высоким качеством нагрева. Они применяются для плавки ценных сортов металла и во многих других производствах.

В дальнейшем развитии электротехники выяснилось, что еще лучшие результаты можно получить, если применять для нагревания не обычный переменный ток низкой частоты (50 пер/сек), а токи гораздо более высокой частоты, меняющие направление тысячи, миллионы раз в секунду и больше. Токи такой высокой частоты, индуктированные в металле проводника, в еще гораздо большей мере образуют тепловое движение частиц, нагревание происходит очень быстро и сильно. При частоте в несколько сот тысяч периодов в секунду можно в течение нескольких секунд нагреть поверхность стали до 1 000°. Нагревание производится в основном подобно индукционным печам. Нагреваемая металлическая деталь помещается внутри индуктора, в витках которого проходит ток высокой частоты (ВЧ), создающий высокочастотное магнитное поле. Это поле и индуктирует нагревающие токи в металле. Сердечника прибор не имеет. В настоящее время в электротехнике осваиваются токи все более высокой частоты в сотни миллионов и миллиарды периодов в секунду. В разработке способов ВЧ нагрева много сделали советские ученые А. П. Вологдин, Г. И. Бабат и др. Ими разработан новый замечательный способ поверхностной закалки.

Токи ВЧ обладают характерным свойством проникать только в поверхностный слой металла. Поэтому нагревается лишь поверхностный слой, внутренняя же часть металлической детали остается холодной. И чем выше частота тока, тем тоньше нагреваемый им слой. Это дало возможность разработать новый и очень ценный

способ поверхностной закалки металла. При производстве частей машин часто бывает важно закалить лишь их поверхностный слой, оставляя их внутреннюю часть незакаленной. Закалка дает твердость, которая является важным свойством поверхности машинных частей, предохраняющих их от износа (истирания). Но она в то же время увеличивает хрупкость (уменьшает вязкость), что вредно влияет на общую прочность деталей. Если же внутренняя часть остается незакаленной и потому вязкой, нехрупкой, детали обладают отличными механическими свойствами. Поверхностная закалка токами ВЧ не дает также вредных напряжений в металлических деталях. Этот новый метод уже широко применяется в передовой советской промышленности, в частности на наших автомобильных заводах, и дает отличные результаты, ускоряя, упрощая обработку, давая большую экономию и повышая качество деталей.

Электротехника высоких частот дает возможность нагревать также и материалы, не проводящие электричество, например дерево. Но физическая сущность процесса здесь совершенно иная. Для этого применяется конденсатор — прибор, имеющий две пластины, между которыми создается сильное электрическое силовое поле. К пластинам конденсатора приложено напряжение, на них образуется электрический заряд. В слое воздуха между пластинами тока нет, но в нем действуют электрические силы, образуется электрическое поле. Если при этом напряжение на пластинах конденсатора переменное, все время изменяющее свой знак (+ и —), то и электрическое поле между пластинами тоже будет переменным, т. е. направление электрических сил будет в нем все время изменяться.

При нагревании непроводящих материалов изделие из дерева, фарфора и т. п. помещается между пластинами конденсатора, к которым приложено переменное напряжение высокой частоты. Изделие находится здесь в переменном электрическом поле высокой частоты, от действия которого мельчайшие частицы материала испытывают внутренние смещения то в том, то в другом направлении, миллионы раз в секунду. От этого материал быстро нагревается. При этом нагрев происходит по всей толщине изделия. Деревообделочное производство нашло в этом новый способ сушки своих материалов — быстрый,

без коробления (за несколько часов вместо долгих месяцев обычной сушки). Прогревая таким способом сложенные в несколько слоев и спрессованные листы фанеры, пропитанной особой смолой (бакелитом), получают из дерева новый искусственный материал — дешевый и очень прочный, в то же время легкий. Электрификация производства даёт возможность создавать не только новые методы, но и новые высокоценные материалы.

ПРОИЗВОДСТВО АЛЮМИНИЯ

Электрическое воздействие на производственные процессы особенно глубоко в тех случаях, когда оно связано с химическими изменениями состава веществ. Мы видели это в металлургии, в плавлении металлов, где изменение их состава и свойств благодаря электрическому нагреву производится гораздо точнее и лучше. Еще в большей мере относится это к производству алюминия, в котором электрическое нагревание сочетается с электролизом — с химическим действием тока при прохождении его через жидкости (растворы). Происходят сложные внутренние изменения состава веществ.

Для постройки наших лучших в мире самолетов советская промышленность производит все большее количество алюминия и его сплавов. Алюминий получается из бокситовых руд, из содержащегося в них глинозема (соединения алюминия с кислородом). Для его получения приходится производить целый ряд сложных процессов. В особой печи — ванне электронагревом (по способу сопротивления) прежде всего расплавляют криолит — вещество, содержащее алюминий. В полученном горячем жидком криолите растворяют глинозем (окись алюминия). В этом растворе глинозем в расплавленном криолите при температуре около $1\ 000^{\circ}$ и производят электролиз алюминия. Через ванну с раствором пропускают очень сильный ток, который и производит в ней незримую химическую работу. Криолит разлагается на составные части, и содержащийся в нем алюминий выделяется на дне ванны, которое служит одним из электродов.

Но химические процессы в ванне этим не исчерпываются. По мере того, как алюминий из криолита выделяется, он снова пополняется в нем, переходя в него из глинозема. Глинозем, растворенный в криолите, все время

отдает ему свой алюминий, а криолит выделяет его от действия электрического тока (электролиза). В результате получается металлический алюминий.

Методы электрохимии все более внедряются и в другие отрасли нашей социалистической промышленности.

ЭЛЕКТРОНАГРЕВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В период построения коммунизма электрификация широко внедряется и в социалистическое сельское хозяйство. Электрификация производства принимает здесь особый, своеобразный характер. Ведь сельское хозяйство имеет дело с выращиванием организмов растений и животных. Поэтому наряду с применением обычных средств электротехники (двигателей, освещения) в сельской электрификации особенно интересны те процессы, в которых электрические методы воздействуют на жизнь сельскохозяйственных растений и животных.

Применяется, например, электрический нагрев парников и теплиц для выращивания особо ценных культур. В земле парника проходит особый кабель с значительным сопротивлением или нагревательные элементы, проложенные в бетонных трубах. Почва, а от нее и воздух парника нагреваются до нужной температуры. Автоматические устройства поддерживают ту именно температуру, которая содействует наилучшему развитию данных растений (в обычных парниках регулировать температуру нельзя). Растения вырастают значительно быстрее, они получают здоровыми, чему содействует и чистота в электрическом парнике. Выращивание ценных культур можно производить почти в течение года.

Большое значение имеют также опыты выращивания овощей, освещенных электрическими лампами, заменяющими лучи солнца. Опыты производятся в особых шкафах, затененных от солнечного света и освещаемых электрическими лампами, вентиляторы подают свежий воздух. Выращивание огурцов и других овощей дало отличные результаты. Опыты эти особенно важны для наших северных районов с их коротким летом и недостатком солнечного света. Мы уже говорили об электронагреве яиц в инкубаторах. Вылупившиеся из яиц цыплята подвергаются дальнейшему «электрическому уходу». Чтобы вырасти здоровыми и крепкими, им нужен свет и тепло. Они

получают и то и другое от ярких электрических ламп, освещающих и нагревающих пространство под большими металлическими зонтами-брудерами, под которые забираются сотни цыплят. Куры под действием электрического света и тепла несутся даже в зимнее время, носкость повышается до 200—250 крупных яиц в год (вместо обычных 100).

Большое значение в нашем животноводстве имеет силосование кормов. В нем также применяется интересный электрический метод.

На дно силосной ямы кладется металлический лист или сетка — один из электродов; над ним плотно укладывается корм, а сверху кладется второй металлический лист — электрод или же электроды ввертываются в кормовую массу в виде спиральных буравов. Пропускается ток, и масса нагревается по принципу сопротивления. Корм бродит, мельчайшие организмы — бактерии превращают жесткие травы и листья в высококачественное питание для скота. От действия электронагрева процесс силосования происходит гораздо быстрее, за несколько дней вместо 2 мес. Электрические процессы влияют здесь на развитие микроорганизмов. Поддерживается температура 45—50°, наиболее благоприятная для их развития.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО В АВТОМАТИКЕ

Вокруг нас, во многих областях производства, работают самодействующие и самоуправляющиеся или автоматические машины и аппараты. На наших заводах и фабриках, на электростанциях, на транспорте и т. д. происходит все более широкая автоматизация производства. Автоматы все в большей мере выполняют то, что раньше делал сам человек.

Автоматизируется управление машинами, аппаратами, производственными процессами. Автоматический аппарат «сам» следит за ходом процесса и «сам» регулирует его, вводит в действие, останавливает устройство, регулирует скорость, последовательность операций и ход процесса во времени. Машины и аппараты все более становятся не только самодействующими, но и самоуправляющимися.

Исключительное значение имеет автоматизация в нашей стране. В отличие от капиталистических стран она служит у нас не наживе собственников-эксплуататоров, а благу трудового народа. Автоматизация облегчает труд рабочего, во много раз повышает его производительность, дает возможность осуществить высокие стахановские скорости и содействует росту богатства и могущества нашей родины. СССР—страна последовательно проводимой автоматизации. Сталинские пятилетки осуществляют программу широкой автоматизации во всех отраслях народного хозяйства.

В автоматизации современного производства первостепенное значение имеет электротехника. В сравнении с механической автоматикой (автоматическими машинами и механизмами) электрическая автоматика располагает гораздо более богатыми и разнообразными средствами и решает много новых и более сложных технических задач. Современная автоматика в основном — автоматика электрическая.

АВТОМАТИКА НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Все бóльшую автоматизацию, заменяющую действия человека, можно проследить на примере управления движением поездов на железных дорогах. Развитие автоматики вызвано здесь требованием безопасности движения, особой надежности управления им и все более возрастающей пропускной способностью железных дорог. Когда-то управление движением поездов всецело выполнялось людьми, обслуживающим персоналом. Дежурный по станции выдавал машинисту паровоза записку, разрешающую выезд на перегон. Он выдавал ее после того, как получал по телефону сообщение от дежурного следующей станции о том, что к нему прибыл предыдущий поезд, и, значит, перегон между станциями свободен. Семафоры тоже открывались и закрывались людьми по усмотрению.

На советских железных дорогах применяется наиболее совершенная система полной автоматизации, сигнализации и блокировки, при которой управление движением поездов на перегонах происходит совершенно без участия человека. Перегон между станциями разделен на несколько блок-участков, которые ограждены цвет-

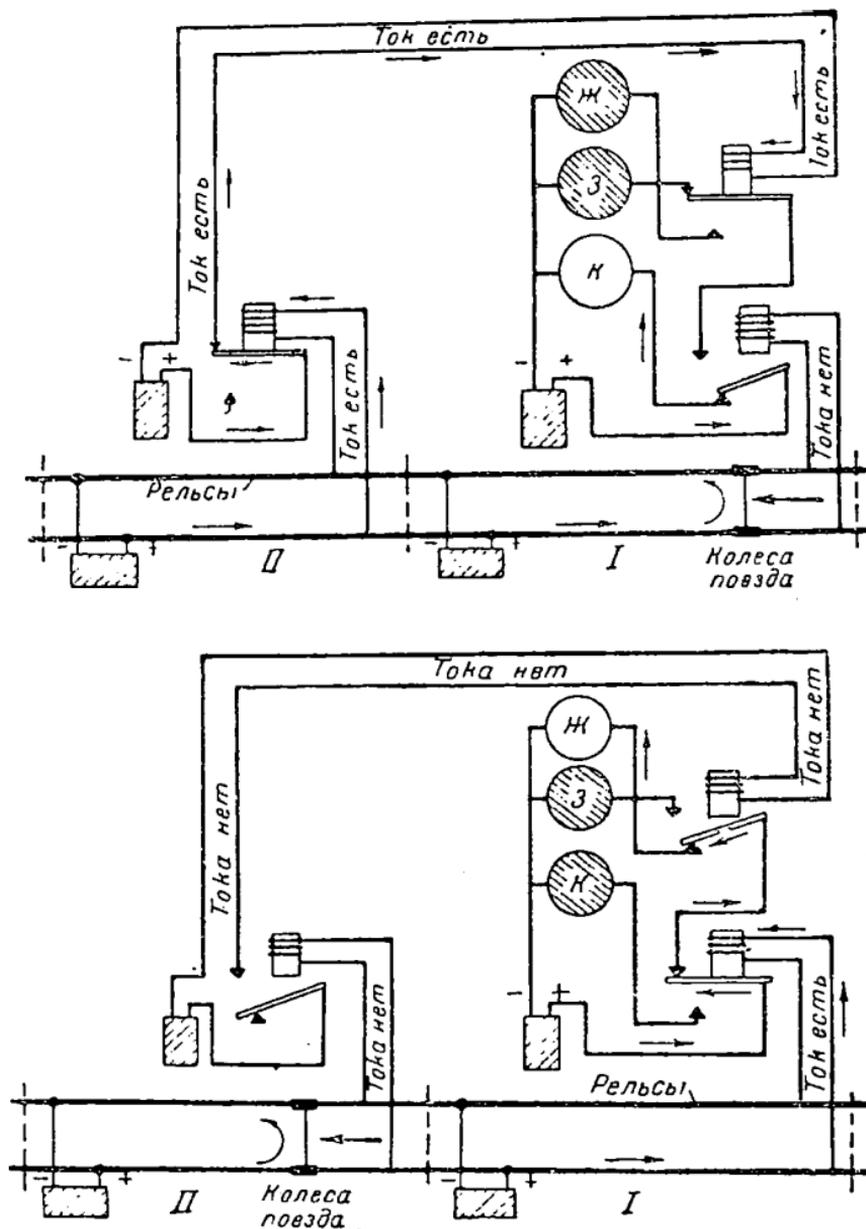
ными огнями — светофорами. Зеленый огонь означает «путь свободен», желтый, предупредительный — «ехать медленно» (поезд впереди близко), красный — «путь занят, стоп». Сами рельсы превращены в электрические цепи, рельсы каждого блок-участка изолированы от соседних, в начале участка рельсы питаются током, а в конце участка они связаны с автоматическим устройством, управляющим светофорами.

Пока перегон свободен, т. е. поезда на нем нет, ток проходит вдоль рельсов блок-участка и попадает в устройство, управляющее светофорами (фиг. 21)¹. При таком положении, получая ток из рельсов, устройство это замыкает те электрические цепи, которые зажигают разрешающий зеленый огонь. Но вот на перегон въехал поезд. Его колеса через свои оси замыкают электрическую цепь обоих рельсов. Поэтому теперь ток из аккумуляторов не доходит до управляющего устройства. При таком положении, не получая тока из рельсов, оно размыкает цепь зеленого огня и замыкает цепь запрещающего красного огня. Следовательно, гашение и зажигание огней того или другого цвета происходят совершенно автоматически, в зависимости от движения самого поезда. Оно повторяется на каждом следующем блок-участке, вдоль перегона. При системе из трех огней (с желтым) сочетание электрических цепей и управляющие ими устройства более сложны. Надежность этой системы дает возможность разбивать перегоны на блок-участки меньшей длины и пропускать больше поездов. Характерно, что громоздкие механические блок-аппараты заменены здесь чисто электрическими автоматическими устройствами.

Технический прогресс в СССР идет к еще большей степени автоматизации. При рассмотренной системе автоблокировки безопасность движения все же зависит от того, что машинист паровоза может не заметить запрещающий сигнал, например во время тумана или от усталости, от внезапной болезни. Чтобы уменьшить эту возможность, разрабатывается новая система сигнализации, при которой сигналы зажигаются в самой паровозной будке, непосредственно перед глазами машиниста. Для

¹ На фиг. 21 питание условно показано от аккумуляторов.

этого используется электромагнитная индукция. По рельсам посылаются электрические токи от специального генератора, дающего импульсы, соответствующие тому или



Фиг. 21. Автоматическая блокировка на железной дороге.

другому сигналу, например один короткий ток — красному, два коротких тока — желтому, три — зеленому; эти токи повторяются через каждые несколько секунд.

На паровозе над рельсами движутся катушки. Магнитное поле рельсовых токов по индукции возбуждает в катушках паровоза такие же короткие токи (по 1, 2 или 3). Токи эти с помощью автоматических устройств замыкают соответствующие цепи и зажигают в будке машиниста сигналы тех же цветов, которые зажигаются вдоль линии.

Но и этого недостаточно. Машинист может заболеть, лишиться сознания, даже скоропостижно умереть и не остановить поезд при красном сигнале. На этот случай применяется автостоп. Те же токи, переданные на паровоз, которые зажигают красный сигнал, автоматически приводят в действие и другое автоматическое устройство, управляющее тормозами, и если машинист при красном сигнале почему-нибудь не остановит поезд, он будет остановлен без его участия посредством автостопа.

В СССР инж. А. А. Танцюра создал новую оригинальную систему автостопа, эксплуатационно-технические качества которой значительно превосходят заграничные системы. Советский автостоп работает надежно независимо от скорости поезда и позволяет безопасно отправлять больше поездов один за другим.

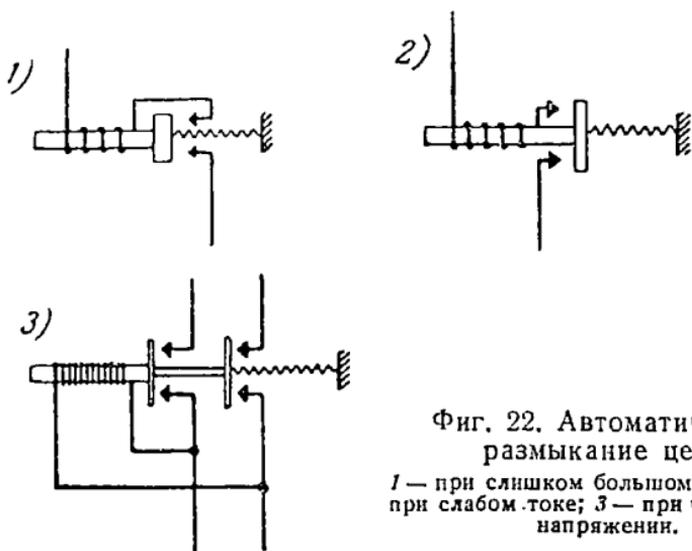
За его разработку т. Танцюра и ряд других работников транспорта удостоены Сталинской премии (1948 г.).

Автоматические устройства должны производить определенное действие в ответ на что-либо происходящее в данном производственном процессе. Пройдет поезд по определенному участку пути и в ответ на это зажигаются нужные сигналы. Изменится температура электропечи и станет ниже или выше нормальной — автоматический регулятор улавливает это изменение и реагирует на него тем, что включает или выключает нагревающие элементы печи. Всякое автоматическое устройство имеет воспринимающую (контролирующую) и исполнительную часть.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА. РЕЛЕ

Для электродвигателей и многих электрических приборов вредно, когда сила тока становится слишком большой. Ставятся защитные автоматические устройства, которые реагируют на вредное повышение силы тока, размыкают цепь и отключают аппарат. Простейшее такое

устройство состоит из катушки электромагнита (фиг. 22), которая включается в цепь контролируемого тока. Пока ток в витках катушки не превышает нормальной силы, магнитное поле недостаточно сильно, чтобы притянуть якорь, который удерживается противодействующей пружиной. Когда же ток становится слишком большим, притяжение катушки усиливается, и она преодолевает пружину — якорь перемещается и при этом размыкает контакты; защищаемый прибор отключается, что предотвращает его порчу.



Фиг. 22. Автоматическое размыкание цепи.

1 — при слишком большом токе; 2 — при слабом токе; 3 — при чрезмерном напряжении.

Натяжение пружины можно точно отрегулировать, так что электромагнит будет преодолевать ее сопротивление при определенной, заданной силе тока. В других случаях бывает нужно, наоборот, отключить прибор, когда сила тока слишком понижается. Для этой цели автоматическое устройство соответственно изменяется. В нормальном положении якорь бывает притянут катушкой, притяжение которой сильнее противодействующей пружины. Контакты прибора при таком положении замкнуты. Если же сила тока в катушке уменьшается, притяжение ее ослабевает, и пружина оттягивает к себе якорь, при этом якорь размыкает контакты.

Для контроля силы тока катушка должна быть включена последовательно в цепь, чтобы через нее проходил весь ток. Но перед автоматическим устройством может быть поставлена и другая задача — защищать от чрез-

мерно высокого напряжения или отключить цепь, когда напряжение, наоборот, слишком понижается. Для этого электромагнитная катушка должна быть включена иначе, не последовательно в линию, а параллельно между двумя проводами. При таком включении притяжение катушки будет зависеть от напряжения в сети. Якоря, размыкающие контакты цепи, притягиваются катушкой или оттягиваются пружиной в зависимости от притягивающей силы катушки (аналогично предыдущему устройству).

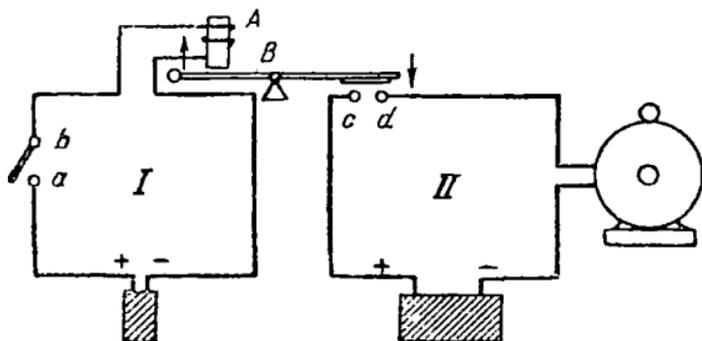
Мы рассмотрели наиболее простые защитные устройства. При мощных токах они бывают гораздо сложнее. Защита от чрезмерных напряжений и токов имеет большое значение на наших многочисленных электростанциях, где они могут испортить и вывести из строя сложные и дорогие генераторы и трансформаторы. Действия человека для этого слишком медленны. Автоматические устройства отключают генераторы или аварийные участки линий почти мгновенно при возникновении опасности, во много раз быстрее, чем это мог бы сделать обслуживающий персонал. Работа наших электростанций вообще все более автоматизируется. Автоматически пускаются генераторы и даже целые электростанции. В случае аварий без участия человека отключаются аварийные участки, производятся сложные переключения в линиях, питающих целые города и заводы, нагрузка переводится с одних генераторов на другие. В СССР строятся и уже работают совершенно автоматизированные гидроэлектростанции, на которых нет ни одного человека, на двери такой станции снаружи висит замок.

На электростанциях приходится размыкать и замыкать цепи с токами громадной мощности. Это производится посредством масляных выключателей, размыкающие контакты которых находятся в баке, наполненном минеральным маслом. Это предохраняет от опасности действия сильной электрической дуги, которая может возникнуть при размыкании таких мощных токов. Движение контактных частей мощного масляного выключателя для замыкания требует значительного усилия и производится специальными механизмами.

Управление масляными выключателями производится или персоналом с центрального щита электростанции, или автоматическими защитными устройствами, в том и другом случае посредством сравнительно слабых токов.

В электрической автоматике управление мощными цепями совершается с помощью цепей значительно менее мощных.

Большое значение в электрической автоматике имеет устройство, носящее название реле. На фиг. 23 изображена простейшая схема применения реле. Мы видим на ней две электрические цепи *I* и *II*, имеющие самостоятельные источники тока и связанные между собой. Если соединить контакты *a* и *b*, т. е. замкнуть первую цепь, то



Фиг. 23. Простейшая схема применения реле.

I — первая цепь управления, маломощная; *II* — вторая цепь управления, более мощная.

ток поступит в катушку электромагнита *A* и он притянет свой якорь *B*. При этом якорь электромагнита замкнет контакты *cd* второй цепи и приведет в действие включенные в нее приборы (в данном случае электродвигатель). Таким образом, посредством первой цепи можно управлять второй цепью. Реле бывают очень разнообразны, но для всех реле характерно соединение двух или большего числа электрических цепей и действие одних цепей на другие, управление одними цепями с помощью других.

Наиболее распространены электромагнитные реле. Контакты первой, управляющей, цепи могут замыкаться различными приборами, отвечающими на изменения тока, температуру, на механические воздействия и др. Мы увидим это ниже из ряда примеров. Замыкание первой, управляющей, цепи направляет ток в обмотку электромагнита, а он, притягивая свой якорь, замыкает или размыкает следующую, управляемую, цепь. Устройство электромагнита, его якоря и контактов бывает очень различным. Управляемая цепь с особым источником тока может приводить в действие двигатель и др. или же управлять следующей, третьей, цепью, та — четвертой

и т. д. В сложных автоматических устройствах бывает большое число цепей, из которых каждая управляет следующей с помощью реле. Реле как бы передает действие из одной цепи в другую.

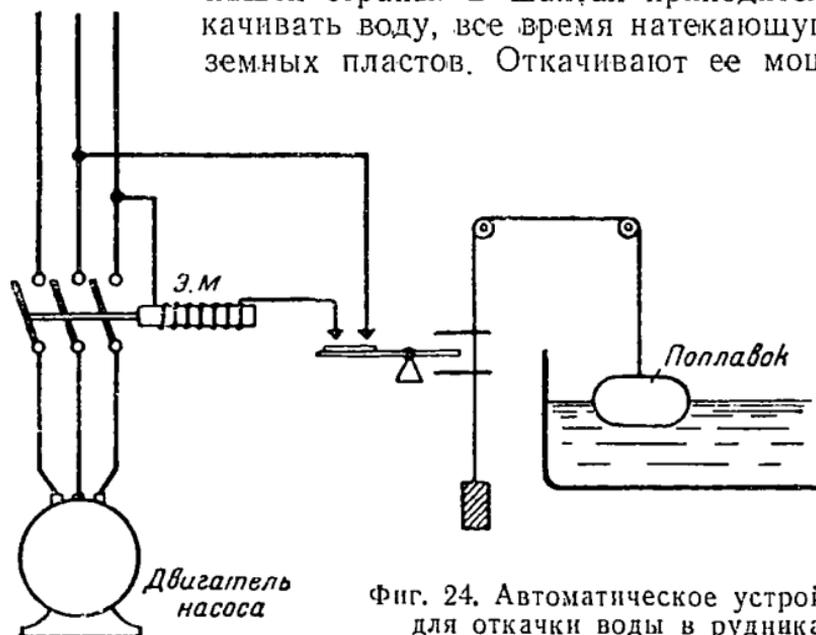
Первая, управляющая, цепь реле может быть гораздо менее мощной, чем вторая, управляемая, цепь, имеющая свой более сильный источник тока. Управляемая цепь может питать электродвигатели различных машин и другие устройства. Управлять же удобнее с помощью более слабых токов. На электростанциях управляющие цепи могут приводиться в действие довольно слабыми влияниями, например, стрелками контрольно-измерительных приборов. Управляемые же цепи гораздо большей мощности приводят в действие механизмы мощных выключателей, которые замыкают или размыкают токи большой силы при высоком напряжении.

Реле широко применяются в автоматике. Они служат не только для усиления действия; с их помощью производится различное, подчас сложное, управление электрическими цепями. В автоматике строятся сложные сочетания из многих цепей, в которых одни цепи управляют другими. Такие сложные релейные устройства применяются, например, в рассмотренной нами автоматической сигнализации на железных дорогах. Первая рельсовая цепь находится в зависимости от проходящих поездов. Она воздействует на сочетание нескольких цепей, которые, замыкая и размыкая друг друга в определенной последовательности, гасят одни сигналы и зажигают другие: непосредственно вслед за поездом — красные, дальше — желтые, еще дальше — зеленые.

Реле и другие средства электрической автоматики все шире применяются в самых различных областях нашего социалистического производства: в металлургии, машиностроении, в легкой, пищевой промышленности, в горном деле, в транспорте, военной технике и т. д. Конечно, в каждом производстве электрическая автоматика должна осуществлять его задачи и соответствовать его условиям и особенностям. Автоматические и электрические устройства управляют механизмами и аппаратами, характерными для данного производства. Они должны реагировать на те или другие условия, характерные для этого производства. В станках, например, автоматические устройства отвечают на изменения их скорости, в печах—

на изменения температуры, в химических процессах — на состав и свойства веществ. Таким образом, электрическое звено вводится между элементами того или другого производственного процесса для его автоматизации.

Глубоко под землей работают шахтеры Донбасса и других богатейших угольных и рудных месторождений нашей страны. В шахтах приходится откачивать воду, все время натекающую из земных пластов. Откачивают ее мощные

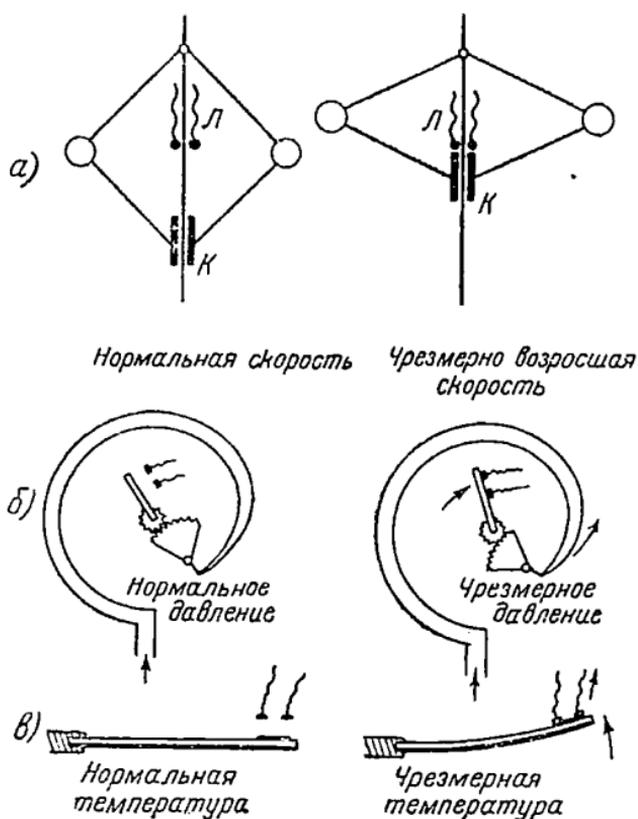


Фиг. 24. Автоматическое устройство для откачки воды в рудниках.-

насосы, причем они начинают действовать, когда накопится определенное количество воды. Пускает их в ход автоматическое электрическое устройство. В особом колодце плавает поплавок, связанный с контактами реле (фиг. 24). Как только уровень воды повысится до определенной высоты, поднимается и поплавок и замыкает контакты. Реле срабатывает, его электромагнит притягивает якорь и замыкает контакты другой более мощной цепи, в которую включен электродвигатель, приводящий в движение насос. Получив ток, двигатель начинает работать, и насос откачивает воду. От этого уровень воды понижается, и когда поплавок опустится до определенного уровня, контакты реле размыкаются, и релейное устройство также автоматически выключает насос. Поплавок — воспринимающий орган устройства, насос — его исполнительный орган. Тот и другой соответствуют осо-

бенностям данного производственного процесса, между ними же введено электрическое автоматическое устройство.

На наших заводах работают тысячи различных машин. Большое значение имеет скорость вращения их частей — надо поддерживать ту или другую определен-



Фиг. 25. Автоматический контроль скорости, давления и температуры.

ную скорость, а в зависимости от скорости регулируются и другие стороны работы. Контакты электроавтоматических устройств могут замыкаться приспособлением, основанным на действии центробежной силы. Тяжелые шары вращаются на шарнирных рычагах, и чем больше возрастает скорость вращения, тем больше действие на них центробежной силы и тем дальше отходят эти шары от оси вращения (фиг. 25,а), поднимая вверх муфту К. На определенной высоте установлены контакты Л, соединенные с электрической цепью сигнального или автома-

тического устройства. При чрезмерном повышении скорости муфта K , поднимаясь, замкнет контакты L и тем приведет в действие сигнальное или автоматическое устройство, снижающее скорость вращения.

В паровых котлах наших электростанций, в газопроводах, в устройствах, работающих сжатым воздухом, большое значение имеет давление пара, газа или воздуха. В зависимости от него должны приводиться в действие те или другие автоматические устройства. Применяются манометры, в которых пар или сжатый воздух поступает внутрь полой изогнутой трубки и разгибает ее. Чем выше давление пара или воздуха, тем больше разгибается трубка. В обыкновенных манометрах конец трубки поворачивает стрелку. Но вместо стрелки можно установить электрические контакты (фиг. 25, б). Тогда при определенном давлении конец трубки будет замыкать эти контакты. Этим самым будет приводиться в действие нужное автоматическое устройство. Например, в зависимости от давления пара в котле будет автоматически регулироваться сжигание топлива. Или в ответ на понижение давления воздуха в тормозной системе начнут работать накачивающие его компрессоры.

В печах и нагревательных приборах автоматические устройства должны реагировать на изменения температуры. Для этого используется то, что различные материалы неодинаково расширяются или удлиняются при нагревании. Спаиваются по длине две пластинки из разных металлов, из которых одна при нагревании удлиняется больше, а другая меньше (фиг. 25, в). Поэтому такая двойная пластинка при нагреве изгибается, и тем больше, чем выше температура. При определенной температуре конец изгибающейся пластинки касается электрических контактов и замыкает цепь реле, а оно автоматически регулирует нагрев печи, включает или выключает нагревающие элементы. Тот же принцип применяется и в пожарном деле, при начавшемся пожаре и повышении температуры изгибающаяся пластинка замыкает контакты автоматической пожарной сигнализации.

Таким образом, электрическая автоматика, по сути своей универсальная, применяется в самых различных производственных процессах (в соответствии с их особенностями и условиями).

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА

Автоматические электрические устройства нередко бывают очень сложны. Автоматика развивается, и ее достижения поразительны по своему совершенству и изобретательности технической мысли. На советских заводах работают электрические печи, в которых на протяжении времени нагрева температура автоматически изменяется в точном соответствии с тем, как это нужно для тепловой обработки данного продукта. Например, после того, как изделия загружены в печь, температура в ней сначала должна постепенно повышаться, затем в течение строго определенного времени выдерживаться на заданном уровне и после этого с нужной скоростью понижаться. Регулирование температуры в печи производится по определенной заданной программе, оно и называется программным регулированием.

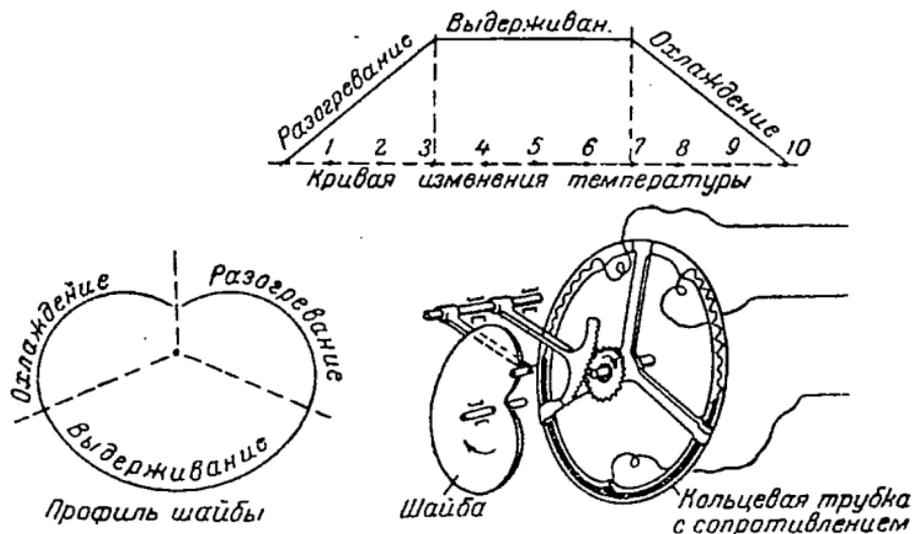
Достигается это посредством применения сложных автоматических устройств. В одной из таких систем применяется вращающаяся шайба (кулачок), форма которой (профиль) вырезана в соответствии с кривой нужного изменения температуры (фиг. 26). Шайба медленно и равномерно вращается, а упирающийся в нее палец с роликом передает движение дальнейшим механизмам в точном соответствии с профилем шайбы, т. е. с кривой изменения температуры.

Специальный механизм передает движение электрическим частям устройства, причем движения пальца назад и вперед превращаются во вращение этих частей в ту или другую сторону.

Пусть, например, весь процесс нагрева должен длиться 20 мин., из них повышение температуры 6 мин. (т. е. 0,30 от этих 20 мин.), выдерживание при небольшой температуре 8 мин. (0,40) и понижение температуры 6 мин. (0,30). Полный оборот шайбы происходит за 20 мин. Профиль шайбы показан на рис. 26. На протяжении 0,3 ее окружности профиль шайбы удаляется от ее центра, что соответствует повышению температуры. В течение этих 0,3 оборота шайбы, или 6 мин., палец будет удаляться от оси шайбы и передающий механизм получит вращение в одном направлении. Следующие 0,4 окружности шайбы профиль остается на одинаковом расстоя-

нии от центра — это соответствует выдерживанию температуры. Эти 0,4 оборота, или 8 мин., палец будет оставаться на одинаковом расстоянии от оси шайбы и передающий механизм будет неподвижен. Наконец, последние 0,3 окружности шайбы ее профиль приближается к центру — это соответствует понижению температуры печи. Эти 0,3 оборота шайбы, или 6 мин., палец будет приближаться к оси, и передающий механизм получит вращение в противоположном направлении.

Механическая часть устройства приводит в действие электрическую. В ней интересен своеобразный прибор для



Фиг. 26. Регулирование температуры печи.

изменения сопротивления (реостат) — кольцевая трубка в виде колеса, внутри которой находится сопротивление (проволочная спираль), а в нижней части налита ртуть. При поворотах этого колеса-трубки ртуть в ней переливается и остается в нижней части, а над ней обнажаются большие или меньшие концы сопротивления. Ток проходит через эти концы и через ртуть, но ртуть хорошо проводит его и на сопротивление не влияет. Сопротивление в цепи зависит лишь от длины концов проволоки над ртутью. Колесо-трубка поворачивается в ту и другую сторону в точном соответствии с профилем шайбы и, следовательно, с заданной кривой температуры. В течение 6 мин. она медленно поворачивается в одну сторону, потом 8 мин. остается неподвижной, а затем в течение 6 мин. поворачивается в другую сторону. Соответственно изме-

няется и сопротивление того и другого конца проволоочной спирали над ртутью. Эти изменения сопротивления и вызванные ими изменения напряжения или тока точно отражают в виде электрических величин те изменения температуры, которые нужно получить в печи.

Температура печи все время контролируется. Особое устройство учитывает разность между заданной по программе и действительной температурой в печи, и в зависимости от этого включаются или выключаются нагревающие элементы, отчего усиливается или ослабляется нагревание током.

Итак, заданной программе регулирования температуры соответствует профиль вращающейся шайбы, ему соответствуют повороты кольцевого реостата и изменения его сопротивления, а им соответствуют изменения нагрева печи.

РАЗДЕЛЕНИЕ НА ОПЕРАЦИИ

Мы видим, что для автоматизации сложного процесса надо разложить его на более простые составные части, в данном случае на: 1) повышение температуры; 2) ее выдерживание; 3) понижение. Для каждой из таких простых операций легче подобрать или создать средства автоматизации, а затем уже из частей построить целый сложный автоматический процесс.

Примером этого может служить автоматический пуск электродвигателей.

Во время пуска двигателя, когда скорость его еще мала, через обмотку проходит большой ток, называемый пусковым током. Поэтому при пуске в ход двигателей в цепь их ротора или якоря включается дополнительное сопротивление (пусковой реостат), которое затем по мере разгона двигателя и уменьшения силы тока постепенно выводится. Раньше рабочий производил это вручную. Процесс состоял из нескольких последовательных операций: 1) включение полного сопротивления и пуск двигателя в ход; 2) выжидание, пока двигатель не наберет некоторую скорость и амперметр покажет уменьшение тока; 3) выключение первой части сопротивления, отчего ток опять повышается; 4) снова выжидание, пока скорость не увеличится еще больше и сила тока опять понизится; 5) выключение второй части сопротивления; и

так дальше, до полного разгона двигателя и выключения всего реостата.

На советских заводах, оборудованных по последнему слову техники, этот процесс пуска полностью автоматизирован, рабочий лишь нажимает кнопку, а остальное делает автоматическое устройство. Но в основе автоматизации лежит разложение сложного процесса на те простые операции, которые раньше выполнялись рабочим. Последовательно с двигателем включены катушки электромагнитов, якорь которых замыкает контакты отдельных секций реостата. Якорь в одну сторону притягивается электромагнитом, а в другую — оттягивается пружиной. Замыкание контактов происходит тогда, когда электромагнит отпускает якорь.

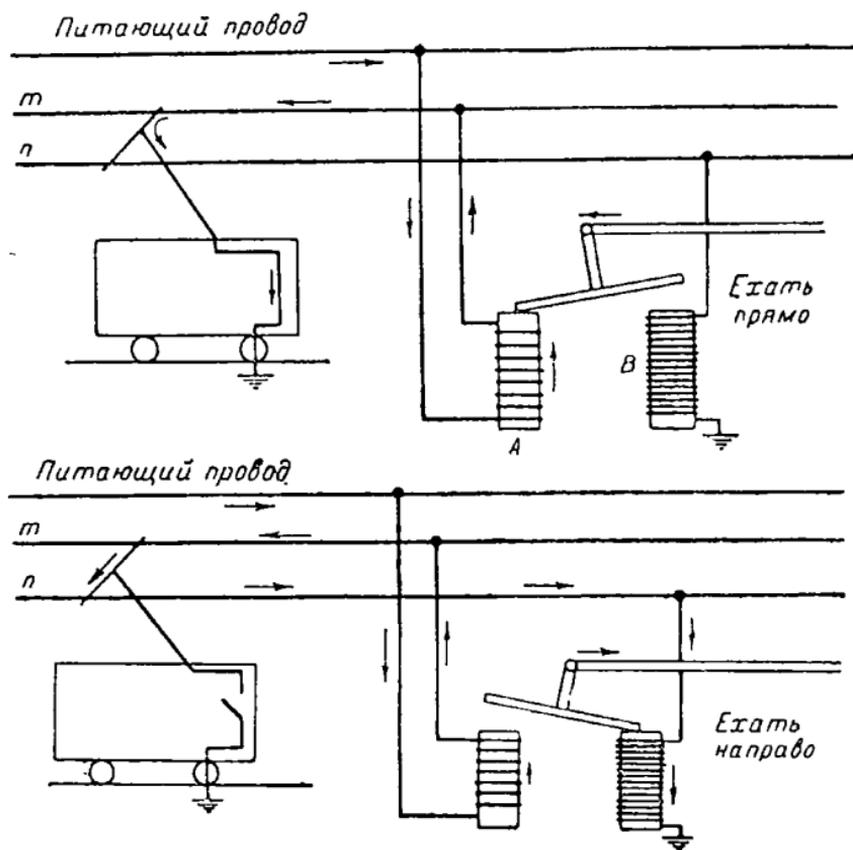
Вначале вводится весь реостат, и двигатель пускается в ход. Пока скорость двигателя мала, через него и через катушку проходит сильный ток, поэтому электромагнит удерживает якорь. Когда же скорость двигателя начинает возрастать, сила тока уменьшится. Поэтому ослабевают и сила притяжения первого электромагнита, и он уже не сможет удержать якорь. Якорь будет оттянут пружиной, замкнет контакты и выключит первую часть реостата. Когда скорость двигателя еще более увеличится, сила тока опять уменьшится, второй электромагнит отпустит якорь и выключит следующую часть реостата. Так будет повторяться несколько раз, пока двигатель не наберет полную скорость и не будет выведен весь реостат. Особое переключающее устройство каждый раз выключает одну часть реостата за другой. Так автоматизируется целый процесс, состоящий из нескольких операций.

СХЕМЫ АВТОМАТИКИ

При разработке нового автоматического устройства надо построить его электрическую схему. Она должна наилучшим образом решить поставленную задачу, учитывая все условия и особенности автоматизируемого процесса. Автоматическое устройство представляет собой сложную электрическую цепь, сочетание многих цепей, определенным образом связанных между собой. В эти цепи введены различные электротехнические приборы. Советские ученые и изобретатели создают много новых оригинальных схем автоматики, основанных на глубоком знании, смелом тех-

ническом творчестве. Наша электропромышленность выпускает все более разнообразный ассортимент приборов и аппаратов, создающих базу для расцвета советской автоматики.

Рассмотрим пример автоматической схемы. Перед нашими изобретателями встала задача облегчить труд трамвайного вагоновожатого и дать ему возможность перево-



Фиг. 27. Автоматическая трамвайная стрелка.

дить стрелки, не выходя из вагона. Вот одна из схем такой автоматической стрелки. Исполнительным аппаратом является особый электромагнит с двумя катушками, имеющими разное число витков, и с якорем в виде качающегося коромысла (фиг. 27). С этим якорем связан рычаг, переводящий стрелку в то или другое положение, в зависимости от того, которая из двух катушек притянет якорь. На некотором расстоянии перед стрелкой ниже питающего трамвайного провода подвешены два допол-

нительных провода (так что дуга трамвая не касается главного провода).

Электрическая цепь (схема) построена и действует следующим образом. Если надо ехать прямо, вожатый проезжает под дополнительными проводами с включенными электродвигателями. Тогда ток из главного провода проходит через катушку A с меньшим числом витков, из нее — в дополнительный провод m , а затем через дугу трамвая, через его электродвигатель и в землю. В цепь включены две параллельные ветви через электродвигатель и через вторую катушку B с большим числом витков. Из двух путей ток идет через электродвигатели, потому что сопротивление в них значительно меньше. Поэтому из двух катушек намагничена лишь катушка A , которая и притягивает якорь, а он ставит стрелку на положение «прямо».

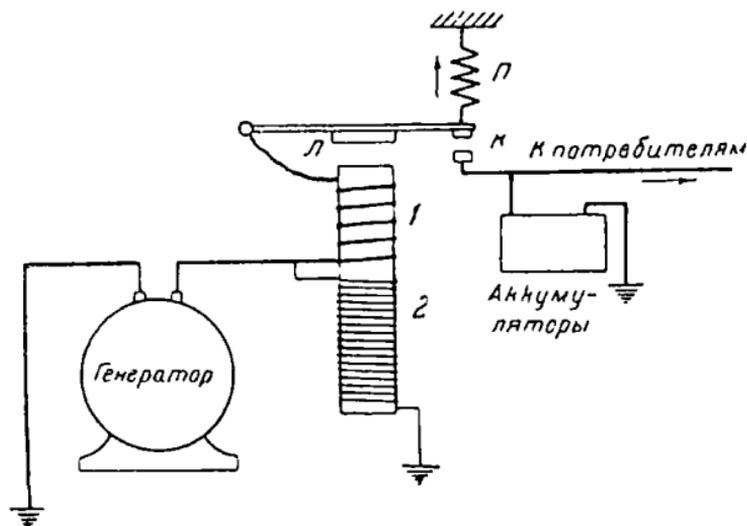
Если же надо ехать вправо, вожатый, проезжая под дополнительными проводами, выключает электродвигатель. Теперь ток из главного провода, пройдя катушку A , дополнительный провод m и дугу трамвая, не может направиться через двигатели, цепь которых разомкнута. Поэтому ему остается один путь — из дуги трамвая через второй дополнительный провод n и вторую катушку B , а затем в землю. Намагничены теперь, следовательно, обе катушки. Но у катушки B больше витков, поэтому она притягивает с большей силой, чем катушка A . Якорь наклоняется в сторону катушки B , и связанный с ним рычаг переводит стрелку в положение «вправо».

В этой схеме интересно построение цепи — пути тока через катушки или через двигатели, через главный и дополнительный провода. Оригинально использовано различное сопротивление катушек и двигателей. Построен электромагнит особого устройства. Различное число витков у двух его катушек дает возможность получить различную силу притяжения и к тому же используется в качестве различных сопротивлений.

В электрической автоматике надо не только умело использовать существующие приборы, но и видоизменять их, создавая у них новые нужные свойства. Рассмотрим еще один пример такого видоизменения электромагнита в автоматическом устройстве. На автомобилях ток часто одновременно получается от небольшого генератора и от батареи аккумуляторов. Когда автомобиль замедляет ход,

скорость вращения генератора уменьшается, а от этого падает напряжение на его зажимах. Напряжение генератора становится меньше, чем напряжение батареи, от этого из батареи в генератор может пойти сильный обратный ток, который перегреет и испортит обмотку генератора. Чтобы не допустить этого, ставится защитное устройство — реле обратного тока, которое в нужный момент отключает генератор (фиг. 28).

Главной частью его является электромагнит особого вида. В катушке его имеются две обмотки, первую 1,



Фиг. 28. Реле обратного тока на автомобиле.

включенную между генератором и потребителями тока последовательно с генератором (серийную), и вторую обмотку 2, включенную параллельно генератору (шунтовую). Так как по первой обмотке проходит сильный ток, она состоит из немногих витков более толстой проволоки. Пока генератор вращается с достаточной скоростью и дает нормальное напряжение, он соединен с цепью через последовательную обмотку электромагнита и контакты К. Ток из генератора проходит по обеим обмоткам, которые намотаны так, что создают магнитное действие одинакового направления. Магнитные силы обеих обмоток складываются, и электромагнит притягивает якорь, преодолевая силу противодействующей пружины П. При таком положении якоря контакты К замкнуты, и генератор присоединен к общей цепи.

Но вот автомобиль замедляет ход, скорость вращения и напряжение генератора уменьшаются. Из батареи аккумуляторов, присоединенной к той же цели, обратный ток направляется в генератор, проходя по пути через последовательную обмотку электромагнита 1. Направление тока в этой обмотке теперь изменялось, стало противоположным прежнему, а поэтому изменилось и направление создаваемого им магнитного потока. Магнитное действие обеих обмоток катушки теперь противоположно, а от этого общая притягивающая сила электромагнита становится слабее. Он уже не может удерживать якорь, который в противоположную сторону оттягивается пружиной. Якорь отходит, и контакты *K* от этого размыкаются, генератор отключается от цепи. Все это происходит очень быстро, так что обратный ток не успевает повредить генератору.

УПРАВЛЕНИЕ НА РАССТОЯНИИ

В СССР — стране передовой техники — все более внедряется управление на расстоянии или телемеханика, тесно связанная с электрической автоматикой. Машинна или аппарат, а иногда и целое предприятие, например электростанция, управляется с более или менее значительного расстояния. В СССР по идее великого русского ученого Д. И. Менделеева и по завету Ленина производятся опыты подземной газификации угля, имеющее громадное значение в развитии нашей энергетики. Там, где угольные пласты имеют небольшую толщину, вместо того чтобы извлекать уголь на поверхность земли, целесообразнее на месте, под землей, получать из угля горючий газ, который по трубам гораздо легче передавать в нужные места. Для этого угольные пласты поджигают и подвергают неполному сгоранию при уменьшенной подаче воздуха. Но таким «подземным пожаром» надо управлять, а управлять им, разумеется, можно только с значительного расстояния. На поверхности земли в комнате сидит инженер-диспетчер и по проводам посылает электрические токи-приказы. Глубоко под землей эти приказы приводят в действие устройства, открывающие и закрывающие заслонки и клапаны трубопроводов. От этого в те или другие места горящих угольных пластов подается больше или меньше воздуха, а по другим трубам отводится готовый газ.

Все чаще применяется у нас централизованное управление стрелками на больших железнодорожных станциях. Большое предприятие управляется из одного центрального поста. Диспетчер большой станции со многими путями посылает электрические приказы, которые с расстояния в сотни метров и больше переводят стрелки, зажигают сигналы, ограждают занятые пути и принимают поезд на свободные маршруты. Перед глазами диспетчера наглядное изображение всех путей станции, на котором сигнальные лампочки показывают положение поездов, стрелок сигналов и др. Телеуправление неразрывно связано с контролем на расстоянии.

Все это может быть осуществлено лишь электротехническими средствами. Механические средства могут управлять лишь на очень небольшом расстоянии и гораздо менее совершенны. Электрическая телемеханика может действовать почти на любом большом расстоянии.

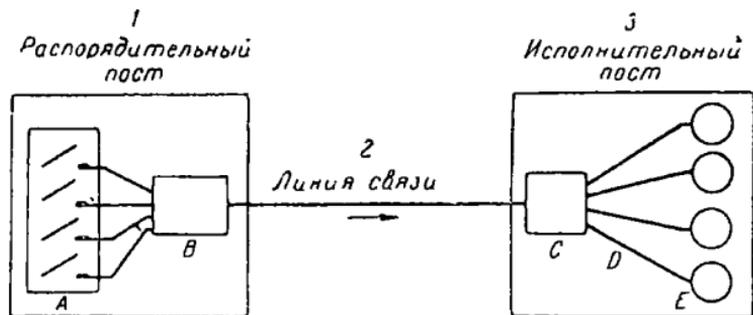
На канале им. Москвы применяется централизованное управление шлюзами, расположенными на значительном расстоянии от диспетчерского поста. При этом по проводам посылаются различные приказы. Если диспетчер получил сведение, что к шлюзу снизу подошел корабль, он посылает первый приказ, который приводит в действие механизм, открывающий нижние ворота шлюза. Когда корабль войдет в шлюз, второй приказ закрывает его нижние ворота. Третий приказ приводит в действие механизмы, наполняющие шлюз водой. Четвертый приказ открывает верхние ворота шлюза, пятый закрывает их и т. д.

В телемеханике часто стоит задача посылать значительное число различных приказов. Можно каждый из них посылать по отдельному проводу. Но такая многопроводная система неудобна, громоздка и удорожает устройство. Надо стремиться, по возможности, уменьшать число проводов и посылать различные приказы по одному и тому же проводу. Для этого различные приказы посылаются в виде комбинаций коротких электрических токов (импульсов), которым придается значение того или другого приказа. Такова, например, система телеграфной азбуки Морзе, состоящая из более длинных и более коротких токов (тире и точек). Тире потом точка может означать один приказ, например, приводить в действие механизм, открывающий нижние ворота шлюза, точка потом

тире — другой приказ, закрывающий ворота, точка, тире, точка — третий приказ и т. д. или приказы могут посы- латься в виде различного числа коротких импульсов тока: 1, 2, 3, 4 и т. д.

На фиг. 29 показана общая схема управления на рас- стоянии.

Система состоит из: 1) распорядительного поста с пе- редающим устройством для зашифровки приказов; 2) ли- нии связи, по которой передаются электрические приказы;



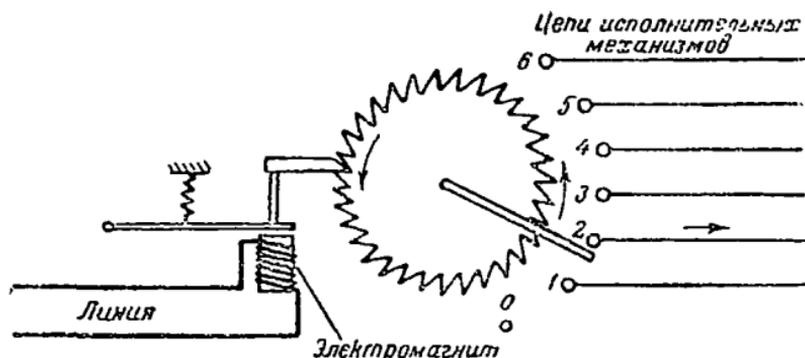
Фиг. 29. Управление на расстоянии (общая схема).

3) исполнительного поста с приемным устройством для расшифровки приказов и для распределения между управ- ляемыми объектами.

На распорядительном пункте нужно устройство, посы- лающее такие приказы. Мы постоянно пользуемся таким устройством в автоматических телефонных аппаратах. Автоматический телефон тоже является своего рода управлением на расстоянии. Набирая номер, мы издали управ- ляем аппаратами телефонной станции, которые со- единяют нас с нужным абонентом. Под вращающимся диском номеронабирателя по окружности расположены электрические контакты. Поворачивая диск, мы набираем цифру 3, 5 и 8. Возвращаясь, диск замыкает один за другим 3, 5 или 8 контактов и посылает в линию столько же коротких токов.

На приемном пункте должно быть устройство, кото- рое расшифровывает получаемые сигналы и приводит в действие соответствующие исполнительные механизмы. Устройства эти бывают очень сложны, и мы рассмотрим простейший из них — шаговый распределитель (фиг. 30). Приказы (токи) поступают в катушку электромагнита. При каждом импульсе тока электромагнит на короткое время намагничивается и притягивает якорь. Якорь, опу-

скаясь, тянет с собой рычажок с собачкой, которая упирается в зуб зубчатого колеса и поворачивает его на один зуб. Вокруг колеса по окружности расположены электрические контакты, каждый из которых связан с цепью того или другого исполнительного механизма. Вместе с колесом поворачивается контактная планка, которая входит в соединение с тем или другим контактом и этим



Фиг. 30. Шаговый распределитель (схема).

замыкает цепь соответствующего механизма. Пусть принимается приказ, состоящий из трех коротких токов. Электромагнит три раза, один за другим, притянет якорь, который каждый раз отходит обратно. Собачка якоря соответственно повернет зубчатое колесо. От этого контактная планка перейдет на контакт № 3 и замкнет его цепь, например цепь механизма, открывающего ворота шлюза. Если получен другой приказ, состоящий из пяти импульсов тока, распределитель аналогично замкнет цепь контакта № 5. Действие распределителя связано с более сложными релейными цепями.

ГЛАВА ПЯТАЯ

РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ И НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Все те замечательные достижения электротехники, о которых говорилось в предыдущих главах, основаны на данных физики, на изучении электричества и разнообразных электрических явлений. Мы не раз убеждались в этом, говоря о магнитном поле, об электромагнитной индукции и работе генераторов, об электрической дуге

и многом другом. Между электротехникой и физикой существует тесная внутренняя связь. Развитие производства, его практические нужды лежат в основе все более глубокого изучения физической природы явлений. С другой стороны, успехи науки, открытия физики имеют первостепенное значение в прогрессе техники и раскрывают новые горизонты для практических применений. На протяжении прошлого столетия рука об руку развивались изучение электрических явлений и их применение.

Мы видели, какую громадную роль сыграли в этом работы русских ученых, сочетавших глубокие теоретические исследования с практическими применениями физики в электротехнике.

Последние десятилетия XIX века подготовили новые величайшие завоевания науки и техники.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ. РАДИОТЕХНИКА

Особенно большое значение имело открытие невидимых для глаза электромагнитных волн, применяемых ныне в радиотехнике. Природа этих волн очень сложна. Они являются особым сочетанием электрических и магнитных полей, о которых мы говорили в первой главе. Сила электрического и магнитного поля поочередно то возрастает, то убывает. Происходят электрические и магнитные колебания, которые распространяются в пространстве в виде волн. Их до некоторой степени можно сравнить с распространением волн на поверхности воды. Но в последних распространяются механические колебания, состоящие в том, что частицы воды поочередно то поднимаются, то опускаются. Здесь же распространяются колебания электрического и магнитного полей, электрических и магнитных сил, которые поочередно то возрастают, то уменьшаются.

Характерно, что существование этих электромагнитных волн сначала было предсказано на основе чисто теоретических соображений и расчетов (1864 г.), и лишь через четверть столетия (в 1888 г.) оно было доказано путем лабораторных опытов. Такое научное предвидение новых открытий особенно ярко показывает могущество научного знания.

Были построены приборы, в одном из которых (вибраторе) высокочастотный переменный ток возбуждал эти волны в окружающем пространстве. Волны, распростра-

няясь вокруг, достигали другого прибора (резонатора), находившегося на некотором расстоянии, и улавливались им. Они возбуждали в нем переменный ток, который можно было обнаружить. Невидимые электромагнитные волны были окончательно открыты на опыте.

На основании этого открытия физики гениальный русский ученый Александр Степанович Попов создал радио.

Гордостью русской науки является то, что радиотехника — это величайшее завоевание человечества — возникла в нашей стране. А. С. Попов был ученым-физиком, блестящим экспериментатором и инженером-практиком. После многих опытов и упорного труда по улучшению созданных им первых в мире радиоприборов А. С. Попов 7 мая 1895 г. сообщил о своем великом изобретении. Это было днем рождения радио.

Электромагнитные волны, открытие которых было замечательным проявлением могущества научной мысли, получили практическое применение и стали основой новой важнейшей области техники. В антенну передающей радиостанции поступают переменные токи высокой частоты. Колебательное движение электронов в антенне, меняющее направление сотни тысяч, миллионы и более раз в секунду, вызывает в окружающем пространстве те колебания электрических и магнитных полей, которые распространяются в виде волн. Достигнув антенны радиоприемника, эти электромагнитные колебания возбуждают (индуцируют) в ней переменные электрические токи такой же высокой частоты. Эти токи и поступают в радиоприемник.

После великого изобретения А. С. Попова радиотехника неуклонно шла вперед. Все более возрастала дальность радиопередачи. От нескольких десятков километров в первых опытах Попова она достигала десятков тысяч километров. Вначале применялся радиотелеграф — посредством радиоволн, посылаемых в виде отдельных импульсов, передавались тире и точки телеграфной азбуки. Впоследствии был создан и радиотелефон. Звуки речи или музыки представляют собой колебания воздуха. В проволочном телефоне звуковые колебания воздуха превращаются в соответствующие изменения силы тока, которые на другом конце линии снова превращаются в звуки. В радиотелефоне эти изменения электрического тока, передающие звуковые колебания, превращаются

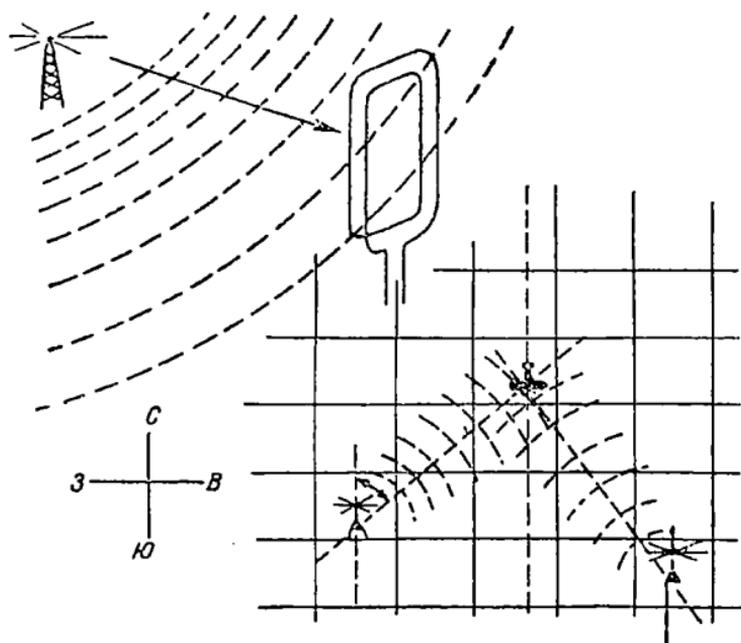
в соответствующие изменения электромагнитных волн, которые затем в радиоприемниках снова превращаются в изменения тока. Мы вернемся к этому ниже.

В наше время радиотехника выросла в обширную область, и электромагнитные волны находят все более разнообразные применения. Развивается, например, радиотелемеханика — управление далекими объектами, например самолетами, посредством радиоволн. В воздухе летит самолет-автомат без людей, а с земли или с другого самолета управляют его движениями, и самолет послушно выполняет приказы, летит прямо или делает развороты, набирает высоту или идет на посадку, сбрасывает почту и т. д. Говоря о телемеханике, мы видели, как посылаются и применяются приказы и как они приводят в действие исполнительные механизмы. В управлении по радио приказы посылаются не в виде импульсов тока по проводам, а в виде аналогичных волновых импульсов, которые принимаются радиоаппаратами и приводят в действие механизмы, управляющие, например, рулями самолета.

Электромагнитные волны применяются не только как средство передачи сигналов или импульсов. Используются и различные свойства самих волн, их направление, скорость распространения и др.

Применяется, например, радиопеленгирование. По направлению радиоволн самолеты ориентируются в местности (ночью, в туман), определяют свое местонахождение и исправляют полет. Для этого специальными приборами точно определяют направление волн, принимаемых от радиостанций, место которых известно на карте. Поворотная рамочная антенна устанавливается навстречу волне (фиг. 31). Точно определяется угол (пеленг) между направлением волны и меридианом местности. Под этим углом на карте проводится линия через место радиостанции. Это надо сделать по отношению к двум радиостанциям. Тогда точка на карте, в которой пересекутся линии направления волн, проведенные от двух станций, в точности укажет место, где находится самолет. Здесь используется направление распространения радиоволн — направление, в котором они принимаются самолетом. Мы встретимся в дальнейшем и с другими применениями электромагнитных волн в технике.

СССР с его необъятными просторами и гигантским культурным ростом является страной передовой радио-



Фиг. 31. Ориентировка самолета по радио (пеленгирование).

техники. Мы строим самые мощные в мире радиостанции. Наши ученые ведут большую работу над совершенствованием радио и его новыми применениями.

ТОК В РАЗРЕЖЕННЫХ ГАЗАХ

Другая важнейшая новая область электротехники основана на электрических явлениях в газе и в разреженном пространстве — в вакууме. В основе ее также лежат открытия физики, сделанные в последней четверти прошлого столетия. Ученые производили опыты, пропуская ток через стеклянные трубки, из которых воздух выкачивался до все большей степени разрежения. Газы значительной плотности, например окружающий нас воздух, в обычном состоянии плохо проводят электричество. Опыты с трубками показали, что разреженные газы (очень малой плотности) становятся проводниками электрического тока. Заряженные частицы движутся в них свободнее, меньше сталкиваясь с частицами газа. В газах очень малой плот-

ности были открыты новые и важные электрические явления. Откачивая из трубок воздух до очень высокой степени разрежения, ученые получили в них особые лучи, которые истекали из отрицательного электрода (катода). Было установлено, что лучи эти представляют собой поток мельчайших заряженных частиц — электронов. Поток летящих частиц отклоняли действием на них магнита и по характеру отклонения установили, что это действительно частицы, заряженные отрицательным электричеством. Исследования электрических явлений в разреженных газах окончательно доказали действительное существование электронов как основных носителей электричества.

С помощью тонких и продуманных опытов ученым удалось точно определить ничтожно малую массу электронов, величину их электрического заряда и громадную скорость их движения в разреженном пространстве. Возник и стал быстро развиваться новый раздел физики, изучающий электронные явления. Большое значение имело и изучение явлений с более крупными заряженными частицами — ионами.

Итак, было установлено, что через трубку с разреженным газом могут двигаться электрически заряженные частицы. Был открыт особый вид электрического тока в пустоте и в разреженных газах.

На основе этих успехов физики выросла новая область техники — область электронных и ионных приборов, значение которой растет с каждым годом. Электронная техника является передовой областью современной электротехники, с ней связаны наиболее выдающиеся достижения техники нашего времени. В СССР развитию и применению электронной техники уделяется особое внимание как одной из технических основ строящегося нового, коммунистического, общества.

ЭЛЕКТРОННАЯ ЛАМПА

Особенно большое значение имело создание нового прибора — электронной лампы, которая сначала произвела переворот и в радиотехнике, а затем стала все шире применяться и в других областях, содействуя их техническому прогрессу.

Ученые выяснили, что если сильно нагреть некоторые металлы, помещенные в разреженном пространстве (ва-

кууме), они испускают из себя электроны. Говоря об электрическом токе в металлических проводниках, мы видели, что между более крупными частицами металла беспорядочно движутся свободные электроны. Чем выше температура металла, тем больше скорость и энергия движения этих свободных электронов. При низкой температуре они не могут вырваться за пределы металла и вылетать из него, так как этому препятствует притяжение положительно заряженных ионов металла, образующих его основное строение. Если же металл сильно нагрет, скорость и энергия движения его свободных электронов возрастают настолько, что электроны эти преодолевают притяжение положительных ионов и вылетают из металла. Явление это называется тепловой эмиссией электронов. Чтобы электроны могли вылететь из металла, важно еще чтобы вокруг было сильно разреженное пространство (вакуум).

Что происходит дальше с вылетевшими из металла электронами? Если нет электрического поля (напряжения), они падают обратно на поверхность металла. Но иные явления будут происходить, если вылетевшие электроны окажутся в электрическом поле. Для этого надо внутри стеклянной колбы с выкаченным воздухом поместить два электрода, один из которых накаляется и испускает электроны, и приложить к этим электродам напряжение. Накаляться должен отрицательный электрод — катод (током от особого источника). Тогда электроны, вылетающие из катода, под действием напряжения устремятся к другому электроду (аноду) и внутри колбы образуется ток, проходящий через вакуум.

Так была создана электронная лампа. В своем первоначальном простейшем виде с двумя электродами она получила широкое применение в радиотехнике в качестве выпрямителя переменного тока. Если к электродам лампы приложено переменное напряжение, каждый из них поочередно становится то положительным, то отрицательным электродом (катод и анод все время меняются местами). А так как накаляется и выбрасывает электроны лишь один из этих электродов, то в лампе происходит следующее. В те моменты, когда накаленный электрод оказывается катодом, электроны из него летят к другому электроду, который в это время является анодом — через лампу идет ток. А в те моменты, когда на-

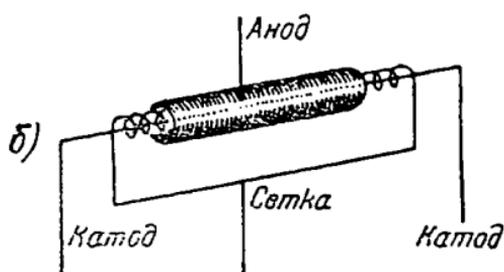
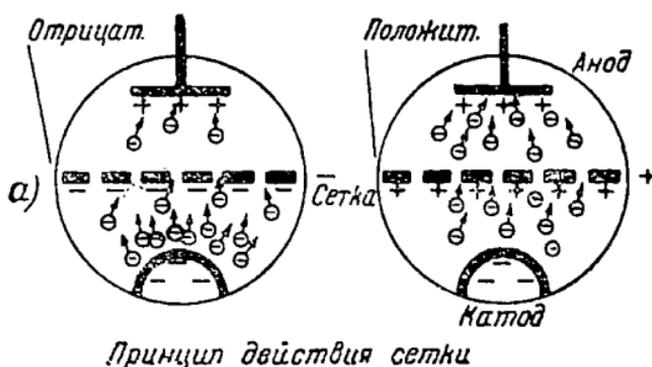
каленный электрод оказывается анодом, вылетающие из него электроны притягиваются обратно и тока через лампу нет. В результате ток, проходящий через лампу, хотя и изменяется по силе (пульсирует), все время имеет одно направление — переменный ток превращается в постоянный. Такое выпрямление переменного тока, поступающего из антенны, необходимо в каждом радиоприемнике. Электронные выпрямители (детекторы) оказались несравненно лучше прежних способов и стали необходимой частью радиоприемных устройств.

УПРАВЛЯЮЩАЯ СЕТКА

Но развитие электронных ламп продолжалось. Мы уже знаем, что электрический ток в них представляет собой поток электронов, движущихся через пустоту. Движение этого потока вызвано электрическим напряжением между электродами ламп. А что, если на пути движущихся электронов создать дополнительный источник напряжения, который изменял бы, усиливал или ослаблял поле. Можно будет по желанию воздействовать на ток в лампе, т. е. управлять им. Такое средство управления током, проходящим через электронную лампу, было достигнуто тем, что внутри лампы между катодом и анодом на пути электронного потока был введен третий электрод. Он представлял собой металлическую сетку, в отверстия которой могли достаточно свободно пролетать движущиеся к аноду электроны (фиг. 32). К сетке подводится напряжение. От этого на пути электронов создаются электрические силы, которые влияют на их движение и могут изменять его. Если на сетке создается напряжение, положительное по отношению к катоду, оно усиливает действие анода (также положительного) и поток электронов через лампу увеличивается. Если же напряжение на сетке по отношению к катоду отрицательно, оно ослабляет влияние положительного анода, и поток через лампу становится меньше. Изменяя напряжение на сетке, можно вызывать любые нужные изменения потока электронов, летящих от катода к аноду (анодного тока лампы).

Сетка оказалась хорошим средством управления током в лампе. Малейшие изменения напряжения на сетке вызывают значительные изменения анодного тока. Это объясняется особенностями самого тока в вакууме. Элек-

троны в нем летят свободно, не сталкиваясь с более крупными частицами. Движение их очень чувствительно и податливо к малейшим влияниям на их пути. Электрический ток в металлических проводниках, где электроны движутся менее упорядоченно и с большими препятствиями, далеко не обладает такой чувствительностью и податливостью. Вот почему электронные приборы оказались



Фиг. 32. Трехэлектродная лампа.

а — принцип действия сетки; *б* — взаимное расположение анода, катода и сетки.

гораздо лучшим средством управления током, чем прежние электротехнические устройства.

Трехэлектродные лампы с сетками прежде всего нашли широкое применение в радиотехнике. Здесь они оказались хорошими усилителями. Радиоприемник получает очень слабые колебания переменного тока, соответствующие передаваемым звукам. Они должны быть во много раз усилены. Для этого принятые слабые колебания напряжения подаются на сетку электронной лампы. Поток электронов, проходящий через лампу (анодный ток) за ничтожные доли секунды, то усиливается, то ос-

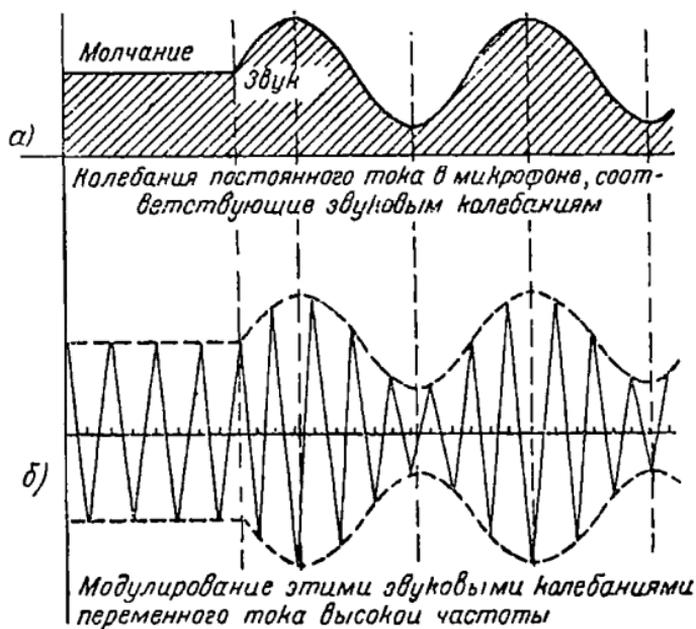
лабляется в точном соответствии с колебаниями напряжения на сетке. Но колебания в анодной цепи лампы получаются гораздо сильнее, чем они были на сетке. Анодный ток не только в точности повторяет все изменения напряжения сетки, но и во много раз их усиливает.

Усиление колебаний необходимо и на передающих радиостанциях, причем здесь часто работает несколько мощных ламп одна за другой. Колебания, уже усиленные первой лампой, подаются на сетку второй. Анодный ток второй лампы еще более усиливает эти колебания. Затем они подаются на сетку третьей лампы и т. д. Получается несколько каскадов усиливающих ламп, дающих в целом усиление в десятки и сотни тысяч раз.

РАДИОТЕЛЕФОН (МОДУЛЯЦИЯ)

Сетка трехэлектродной лампы позволяет производить очень сложное управление анодным током. Такое сложное управление током производится в радиотелефонии, при передаче звуковых колебаний речи и музыки с помощью радиоволн. В чем сущность этой передачи? Звуковые колебания воздуха, превращаемые в электрические колебания, имеют сравнительно небольшую частоту от 16 пер/сек обычно до 10 000. Частота же радиоволн, посредством которых совершается передача, значительно выше, сотни тысяч, миллионы и больше периодов в секунду. Колебания низкой звуковой частоты налагаются на несущие колебания высокой частоты (фиг. 33). Процесс этот называется модуляцией. Колебания имеют больший или меньший размах или амплитуду — максимальные точки колебаний могут больше или меньше удаляться от среднего, нулевого, положения. При амплитудной модуляции высокая частота несущих колебаний остается неизменной. Амплитуда же их (размах) изменяется в соответствии с передаваемыми звуковыми колебаниями низкой частоты. На фиг. 33 видно, как эти изменения амплитуды образуют как бы вторую частоту, наложенную на несущие колебания. Это относится и к переменным токам в антенне и к радиоволнам, которые воспроизводят те же колебания, как несущие, так и наложенные на них (модулирующие). В свое время мы говорили о сложности и богатстве свойств переменного тока — модуляция может служить примером их применения в технике.

Как же производится модуляция в радиотелефонии? При сеточной модуляции на сетку электронной лампы подается переменное напряжение, соответствующее передаваемым звуковым колебаниям. Эти колебания напряжения сетки управляют анодным током, заставляя его в точности воспроизводить такие же колебания. Одновременно с этим создаются несущие колебания высокой частоты. Модулирующие колебания напряжения сетки



Фиг. 33. Модулирование в радиотелефоне.

(низкой звуковой частоты) так влияют на эти высокочастотные колебания анодного тока, что изменяют их амплитуду (размах) в точном соответствии с передаваемыми звуковыми колебаниями. Колебания эти передают тончайшие оттенки человеческой речи или музыки. Мы видим здесь пример очень сложного и тонкого управления током с помощью сетки электронной лампы.

Это связано еще с одним очень важным и ценным свойством электронных приборов — с их безинерционностью. Электрические устройства с механическим движением частей, например электромагнитные приборы, притягивающие якорь для замыкания контактов, всегда обладают инерцией, замедляющей скорость их действия. Электронные же приборы, действие которых не связано

с механическим перемещением частей, и основано на свободном движении электронов в пустоте, практически не обладают такой задерживающей инерцией в работе. Это является важным преимуществом, особенно в тех случаях, когда приходится иметь дело с очень быстрыми, кратковременными процессами. В этом отношении применение электронных приборов соответствует тому освоению все больших скоростей, которое вообще характерно для современной техники. Новая электронная техника — это техника таких высоких скоростей, которые были неосуществимы прежними средствами.

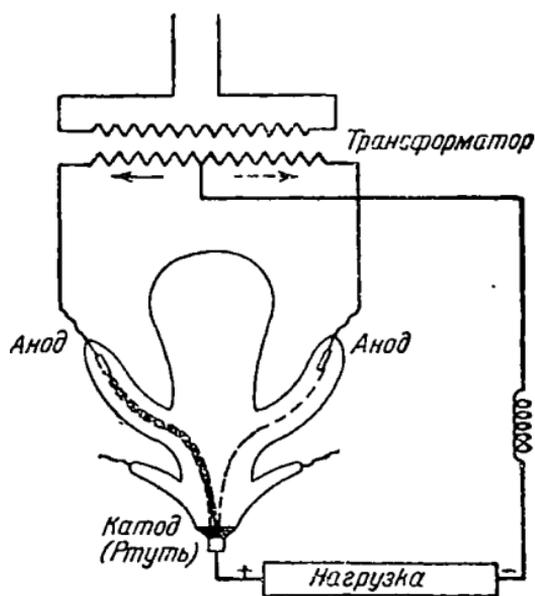
Колебания, применяемые в радиотехнике, имеют громадную частоту. Анодный ток лампы должен повторять и усиливать колебания, происходящие тысячи и миллионы раз в секунду. При такой неимоверной скорости процессов малейшее замедление задержка из-за инерции в действии прибора, искажала бы передаваемые колебания. Но электронные лампы благодаря своей малой инерционности обеспечивают высокую точность и чистоту передачи.

Радиотехника была первой областью, в которой нашли применение электронные приборы. Но в дальнейшем они вышли из нее в другие области техники и стали все более и более широко применяться в них. В прогрессе электротехники за последние десятилетия радиотехника, созданная А. С. Поповым, не раз шла впереди. Имея дело с более сложными и тонкими процессами, она служила почвой для развития и освоения новой, более совершенной аппаратуры и методов, которые потом не только находили плодотворное применение в других областях, но содействовал их движению вперед.

ВЫПРЯМИТЕЛИ МОЩНЫХ ТОКОВ

Очень важной областью применения этих новых приборов были преобразователи электроэнергии. Мы видели выше, что современная электротехника применяет разнообразные виды тока и все чаще нуждается в преобразователях, превращающих переменный ток в постоянный или, наоборот, постоянный ток в переменный, изменяющих частоту переменного тока и др. Выпрямление переменного тока, получаемого из обычной сети, необходимо для питания электрических железных дорог и некоторых за-

водских двигателей, для электрохимических производств, для зарядки аккумуляторов. В этих превращениях электроэнергии характерно то, что приходится иметь дело с токами значительной, а иногда и очень большой мощности. Для этой цели более пригодны не электронные вакуумные приборы, в которых поток электронов происходит в пустоте (вакууме), а приборы несколько иного типа. Приборы эти содержат некоторое, правда, очень небольшое количество газов весьма малой плотности.



Фиг. 34. Ртутный выпрямитель.

Электрические явления в таких приборах с разреженными газами более сложны в сравнении с потоком электронов в пустоте. Электроны, летящие через прибор, встречают на пути молекулы газа, ударяются о них и отрывают от них электроны. От этого, с одной стороны, становится больше свободных электронов, а, с другой стороны, образуются положительно заряженные

ионы (остатки молекул). Электроны в увеличенном количестве движутся к аноду, встречают на пути новые молекулы газа и таким же образом ионизируют их. В результате в направлении к аноду движется все возрастающее количество электронов, а в противоположном направлении к катоду движется также все возрастающий поток положительных ионов. Явление это подобно электрической дуге. Таким образом, в приборе образуется ток значительно большей силы, чем в пустотных электронных лампах. А это и нужно при работе с большими мощностями. Такие приборы с разреженными газами и с потоками более крупных заряженных частиц — ионов — носят название ионных приборов (в отличие от электронных, вакуумных).

Для выпрямления мощных токов широко применяются ртутные выпрямители — одна из разновидностей ионных приборов. В нижней части прибора находится жидкая ртуть, служащая катодом. Выше над ней расположены аноды. Во время работы ртуть испаряется, и пары ее наполняют прибор. Летящие электроны сталкиваются с молекулами ртутного пара, ионизируют их и в приборе образуются те нарастающие потоки электронов и ионов (в противоположных направлениях), о которых мы только что говорили, возникает электрическая дуга. К электродам приложено переменное напряжение. Но так как электроны могут выделяться только из жидкого ртутного электрода, то ток через прибор идет лишь в те моменты, когда электрод этот оказывается катодом. Прибор обладает свойством пропускать через себя ток лишь в одном направлении, поэтому-то он и выпрямляет переменный ток в постоянный.

Для выпрямления однофазного переменного тока в ртутном выпрямителе имеются два анода и один общий катод. Аноды присоединены к концам вторичной обмотки трансформатора, в который подается переменный ток. Направление тока в обмотке трансформатора все время изменяется. В связи с этим в течение каждого полупериода ток направляется то к одному, то к другому аноду выпрямителя — аноды поочередно становятся положительными по отношению к катоду. Поток заряженных частиц происходит между катодом и тем из анодов, который в это время оказывается положительным. Поэтому с наступлением каждого следующего полупериода дуга переходит с одного анода на другой. Этим достигается то, что ток через выпрямитель идет непрерывно во время обоих полупериодов.

ТИРАТРОН И ЕГО НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Выпрямители имеют лишь катоды и аноды и в этом смысле являются двухэлектродными приборами. Сетки для управления анодным током в них нет. Для более сложных преобразований электроэнергии надо было создать ионный прибор с сеткой, который сочетал бы в себе ценные свойства электронной лампы (управление током) и пригодность для токов большой мощности. Эта задача привела к созданию нового прибора — тиратрона, кото-

рый внес в электротехнику новые своеобразные возможности решения многих ее задач.

В тиратроне три электрода: катод, анод и сетка. Но в приборе находится небольшое количество газа, которое значительно изменяет условия его работы. От проходящего через тиратрон тока находящийся в нем газ ионизируется и образующиеся положительные ионы оказывают большое влияние на работу сетки.

Пусть в начале процесса на сетку тиратрона подано напряжение, отрицательное по отношению к катоду. Оно ослабляет влияние положительного напряжения анода и может совершенно прекратить ток, проходящий через прибор, как говорят, запереть тиратрон. Изменим напряжение на сетке — вместо отрицательного подадим на него положительное по отношению к катоду. Оно усиливает влияние анода и отпирает тиратрон, между катодом и анодом возникает ток. Пока все это подобно электронной лампе. Но от возникшего анодного тока в приборе происходит ионизация газа, образуются положительно заряженные ионы. Они притягиваются отрицательно заряженной сеткой, скопляются вокруг нее и нейтрализуют ее заряд. От этого сетка теряет способность влиять на анодный ток и управлять им. Что получится, если мы теперь снова переменим напряжение на сетке с положительного на отрицательное? В электронной лампе это опять прекратило бы анодный ток и заперло бы прибор. В тиратроне этого не произойдет, так как из-за ионизации газа сетка потеряла свою управляющую способность. Она могла вначале отпереть тиратрон, но не может запереть его. Чтобы вернуть сетке ее управляющую способность, надо принять особые меры, прекратить анодный ток или временно приложить к аноду противоположное (отрицательное) напряжение. От этого положительно заряженные ионы снова превратятся в нейтральные, незаряженные частицы газа и перестанут мешать сетке управлять анодным током. Сетке будет возвращена ее управляющая способность, однако лишь очень ненадолго, чтобы еще раз открыть дверь анодному току и снова потерять управление им. Каждый раз, после того, как сетка «откроет дверь» анодному току, надо принимать эти меры для того, чтобы снова «закрыть ее». Лишь при таком условии тиратрон может длительно работать.

На первый взгляд все это лишь бесполезно усложняет дело. На самом же деле, в этом таятся новые технические возможности, надо только найти те практические задачи, в которых новые свойства прибора окажутся полезными и даже необходимыми. Тиратрон нужен там, где при управлении мощным током важно в определенный момент «отпирать дверь», недаром само слово тиратрон происходит от греческого слова дверь (тира).

Особое значение приобретают тиратроны для управления переменным током, при котором в них происходит своеобразный и интересный процесс. Мы видим, что для возвращения сетке тиратрона ее управляющей способности, надо прекратить анодный ток, отчего образовавшиеся ионы превратятся в незаряженные частицы. При переменном токе это очень упрощается. Пусть сетка отперла тиратрон и возник анодный ток. Через полпериода направление тока изменится, и на аноде окажется противоположное (отрицательное) напряжение. Ток в тиратроне прекратится, так как через него он может идти лишь в одном направлении. От этого ионы превратятся в нейтральные частицы, произойдет деионизация, и сетка опять сможет управлять анодным током. Это же повторится при следующих изменениях напряжения (полярности) на электродах и будет повторяться в каждом новом периоде. Управление с помощью сетки состоит в том, что в течение каждого периода переменного тока она может отпирать анодный ток несколько раньше или несколько позже. Поэтому в течение каждого периода ток через тиратрон будет проходить большее или меньшее время и достигать большей или меньшей силы. А от этого будет изменяться и общее действующее значение силы тока, получающееся от сложения этих отдельных, коротких токов.

Это открывает возможности для создания новых способов управления различными устройствами, работающими на переменном токе, в частности для регулирования скорости электродвигателей. При этом управление посредством тиратрона может производиться автоматически. Например, в текстильных машинах или при волочении проволоки необходимо плавное регулирование скорости вращения электродвигателя в соответствии с натяжением пряжи или проволоки. Натяжение их контролируется автоматическим устройством, которое регулирует напряжение на сетке и на аноде тиратрона.

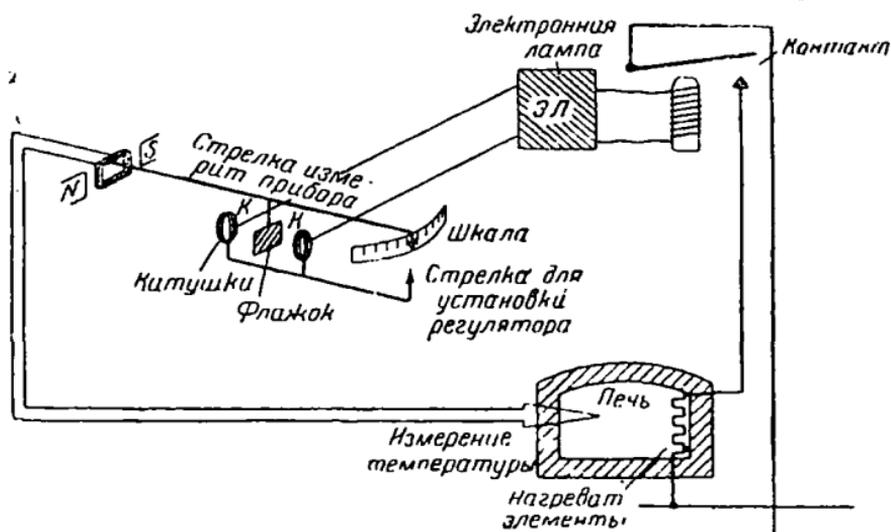
ЭЛЕКТРОННАЯ АВТОМАТИКА

Значение электронных и ионных приборов особенно велико в современной автоматике и с каждым годом становится все больше. Передовая советская техника широко осваивает новую электронную автоматику. Значение ее объясняется исключительно высокой чувствительностью этих приборов и скоростью их действия, которая связана с их безинерционностью. Электронные лампы используются в автоматике как усилители. Во многих случаях автоматические устройства должны отвечать на очень слабые, ничтожные воздействия, которые необходимо во много раз усилить. Управление током с помощью сетки лампы или тиратрона дает возможность автоматически управлять сложными процессами.

В электронной автоматике важно находить такие способы, с помощью которых процессы различных производств могли бы воздействовать на сетку электронной лампы. В некоторых производствах бывает, например, нужно измерять и контролировать действие еле заметных сил или ничтожно малые перемещения предметов. С этой целью применяется, например, интересное видоизменение трансформатора в сочетании с электронной лампой. Трансформатор имеет две вторичные обмотки и подвижный сердечник. От положения сердечника зависит распределение магнитного потока в трансформаторе и напряжение, индуцируемое в каждой из двух его вторичных обмоток. Сердечник перемещается от действия на него контролируемой силы. От этого изменяется соотношение напряжений в двух вторичных обмотках. Изменение это очень мало, но оно во много раз усиливается электронной лампой, которая с помощью сетки управляет током в автоматическом устройстве. Прибор столь чувствителен, что улавливает перемещение сердечника на пять тысячных долей миллиметра.

Рассмотрим еще пример автоматического устройства с электронной лампой, регулирующего нагревание печи (фиг. 35). На стрелке чувствительного прибора, измеряющего температуру печи (термопары с гальванометром), приделан легкий флажок из металлической фольги, который находится между двумя плоскими электрическими катушками в их магнитном поле. Катушка соединена с электронной лампой. При каждом ничтожно малом изменении температуры печи стрелка измерительного прибора,

а с ней и флажок чуть-чуть смещаются в ту или другую сторону. Флажок изменяет свое положение между катушками, что влияет на электрические свойства катушек (их индуктивность). Это действие передается на сетку электронной лампы, усиливается ею и влияет на анодный ток. В зависимости от этого автоматическое устройство



Фиг. 35. Пример электронной автоматики—регулирование температуры печи.

регулирует температуру печи. Благодаря электронной лампе устройство столь чувствительно, что отвечает на смещения флажка на 0,0025 мм, а значит и на ничтожные изменения температуры печи.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ «ГЛАЗ» (ФОТОЭЛЕМЕНТ)

В развитии новой электронной автоматики и многих других важнейших областей техники особенно плодотворным оказалось открытие одного физического явления, сделанное русским физиком А. Г. Столетовым. Открытие это было сделано в стенах Московского университета. Своими опытами Столетов установил, что некоторые вещества от действия на них лучей света (лучистой энергии), выбрасывают электрически-заряженные частицы, которые могут образовать электрический ток. Явление это называется фотоэлектрическим эффектом. Это тоже особый вид электронной эмиссии, но в отличие от рассмотренной выше тепловой эмиссии вылетающие электроны получают энергию за счет воздействующих на них лучей

света. Происходит превращение лучистой энергии в электрическую.

На основе открытия этого явления был создан новый прибор-фотоэлемент. В стеклянной колбе находятся два электрода: катод и анод. Катод в виде широкой пластинки, покрытой светочувствительным слоем (калия или цезия), освещается лучами света и от их действия испускает электроны. Между катодом и анодом приложено напряжение. Поэтому электроны, вылетающие из катода, движутся к аноду, образуя ток. Но ток возникает лишь тогда, когда фотоэлемент освещен. Воздух из прибора удален.

Токи в фотоэлементах получаются, правда, очень слабыми. Но с помощью электронных ламп они могут быть усилены в тысячи раз. В автоматических устройствах фотоэлемент обычно применяется в сочетании с усиливающейся электронной лампой. Советская наука работает и над усилением потока электронов в самих фотоэлементах. Для этого используется явление вторичной эмиссии электронов. Оно заключается в следующем: поток электронов, вызванный действием света, направляется на поверхность вещества, которое от действия бомбардирующих его частиц выделяет электроны в еще большем количестве. Получается еще более сильный поток их. Так можно повторять несколько раз, создавая в приборе все более и более сильный поток электронов.

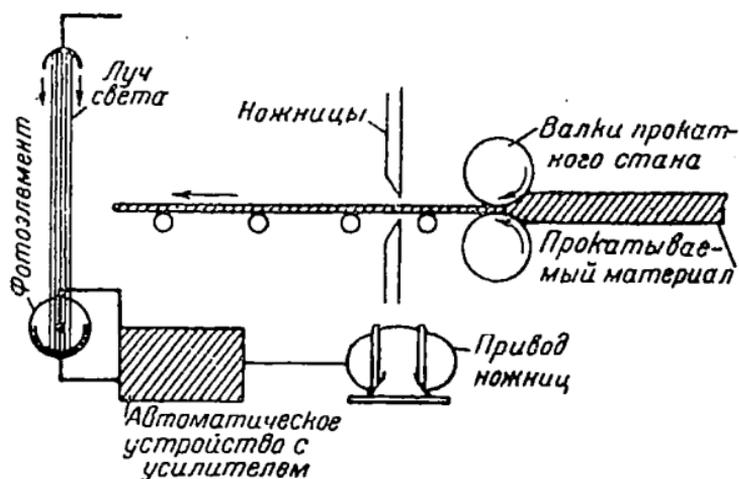
Вызванный действием лучей усиленный ток может приводить в действие те или иные автоматические устройства. Фотоэлемент дал возможность построить особый вид реле (фотореле), приводимое в действие лучами света. Цепь с фотоэлементом может замыкать или размыкать новые, более мощные цепи, управлять ими, приводить в действие или останавливать любые исполнительные механизмы. Особенность этих устройств в том, что они приводятся в действие лучами света. Это создало новую, своеобразную и очень обширную область автоматической техники.

Вот, например, автомобиль подъезжает к воротам гаража. Они закрыты. Но на них установлен фотоэлемент, и как только автомобиль осветил его светом своих фар—ворота немедленно автоматически раскрылись. Вызванный действием света и усиленный ток через релейное устройство привел в действие механизм, открывающий ворота.

Советские ученые ведут большую работу над новой задачей: ввести в работу машин и аппаратов фотоэлек-

трическое звено, состоящее из светового луча и реагирующего на него фотореле. Надо находить способы, с помощью которых можно переводить те или иные стороны производственных процессов на язык световых лучей, воздействующих на фотоэлемент.

На наших металлургических заводах работают мощные листопрокатные станы. Выходящая из валков прока



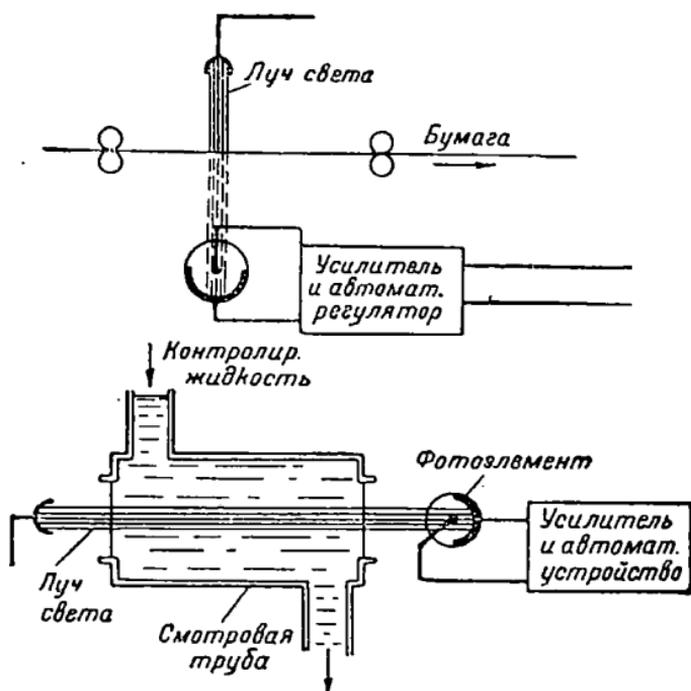
Фиг. 36. Автоматические ножницы с фотоэлементом.

танная полоса металла должна разрезаться автоматическими ножницами на листы строго определенной длины. Для этого на определенном расстоянии от стана поместили фотоэлемент, освещаемый узким пучком света. Дойдя до этого места, прокатный материал пересекает световой луч, который, таким образом, перестает попадать на фотоэлемент (фиг. 36). От этого срабатывает фотореле и приводит в действие автоматический механизм ножниц. Длина отрезаемых листов равна расстоянию от ножниц до фотоэлемента, — один за другим отрезаются листы строго одинаковой длины.

Этот принцип пересечения светового луча и затенения фотоэлемента оказался очень удачным и применяется во многих случаях. В работе тяжелых быстроходных прессов стала задача предотвратить возможность того, чтобы пресс раздавил руку рабочего, попавшую в опасную зону. И здесь в рабочий процесс удалось ввести фотоэлектрическое звено. Световой луч, падающий на фотоэлемент, ограждает опасную зону пресса. И если рука рабочего приблизится к этой зоне, она пересечет луч, затенит фо-

тоэлемент и автоматическое устройство в тот же миг остановит пресс, — рука человека будет спасена.

Устройства с фотореле отвечают не только на наличие или отсутствие света, на его появление или прекращение. Сила тока, возбуждаемого в фотоэлементе, пропорциональна интенсивности его освещения. Поэтому фотореле



Фиг. 37. Контроль на просвет с помощью фотоэлемента.

Наверху — контроль бумажной ленты; внизу — контроль жидкости.

может различать лучи света различной силы и яркости, а следовательно, и более светлые и более темные предметы.

Устройство с фотоэлементом может сортировать темные и белые бобовые зерна. Они одно за другим движутся по лотку. В определенном месте луч света освещает зерна и, отражаясь от них, попадает на фотоэлемент. Сила этого отражения света, а значит и степень освещения фотоэлемента зависят от цвета зерен. Устройство автоматически сбрасывает темные зерна, белые же движутся дальше и скопляются в другом месте. В других случаях свойства объектов выявляются на просвет. Так, например, в машинах, изготовляющих бумагу, фотоэлемент помещает-

ся с одной стороны движущейся бумажной ленты, а источник света — с другой (фиг. 37). Прозрачность, степень поглощения света свидетельствуют о контролируемой плотности бумаги. В зависимости от большего или меньшего освещения фотоэлемента устройство автоматически регулирует состав бумажной массы, поступающей в машину. Аналогичный способ просвечивания часто применяется в химической промышленности, где им можно выявить и контролировать различные свойства жидких и газообразных веществ (фиг. 37).

Применяются и более сложные автоматические устройства с фотоэлементами. Таковы, например, самонаводящиеся подзорные трубы, которые сами автоматически следят за летящим самолетом и все время удерживают его в центре своего поля зрения. Поле зрения трубы разделено перекрещивающимися нитями на четыре четверти, каждая из которых освещает фотоэлемент. Если самолет сместится из центра трубы в одну из этих четвертей, соответствующий фотоэлемент окажется частично затененным и будет получать меньше света, чем остальные. Схема автоматического устройства с четырьмя фотореле построена так, что при неравномерной освещенности фотоэлементов вспомогательные электродвигатели (сервомоторы) приведут трубу в движение, пока самолет не окажется опять на перекрестке нитей и все четыре фотоэлемента снова будут освещены одинаково.

ЗВУКОВОЕ КИНО

Фотоэлемент и вообще электронно-ионные приборы получают все более разнообразное применение и даже создают новые области техники. Таково звуковое кино, возникшее благодаря фотоэлементу. Советские ученые П. Г. Тагер и А. Ф. Шорин создали оригинальные первоклассные системы звукового кино. Звуковая часть кинокартины сначала записывается на киноплёнке (сбоку) в виде так называемой звуковой дорожки. Для этого звуки (звуковые колебания) посредством обычного микрофона превращаются в соответствующие колебания электрического тока. Последние управляют модулятором света, который в соответствии с этими колебаниями изменяет силу светового луча. Этот луч света и записывает на чувствительной плёнке темную полосу (дорожку), которая в различных местах получается то гуще, то прозрачнее

(а в другой системе то шире, то уже). Эти изменения в точности соответствуют записанным звуковым колебаниям.

При демонстрации кинофильма воспроизведение звуковой части происходит следующим образом. Звуковая дорожка просвечивается лучом света, который затем освещает фотоэлемент. Степень освещенности фотоэлемента все время изменяется в соответствии с изменениями прозрачности или ширины дорожки, т. е. с записанными звуковыми колебаниями. Соответственно изменяется сила тока, возникающего в фотоэлементе, пропорционально его освещенности. Эти изменения тока усиливаются электронными лампами, а затем приводят в действие громкоговоритель, установленный около киноэкрана.

ТЕЛЕВИДЕНИЕ

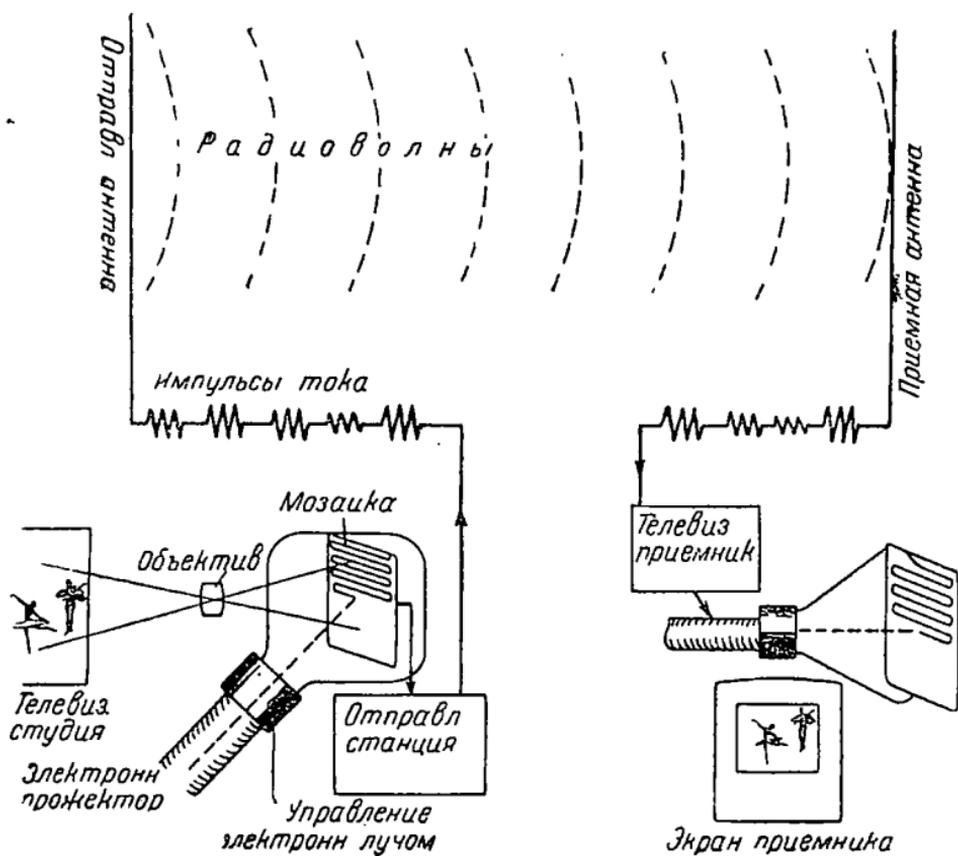
Фотоэлемент сыграл большую роль и в создании телевидения, этого замечательного завоевания электронной и радиотехники.

Мы начинаем не только слушать, но и «видеть по радио». Недалек тот день, когда при передаче последних известий мы будем видеть на светящемся экране все то, о чем говорит диктор. Мы сможем быть зрителями, свидетелями событий, происходящих в отдаленных от нас местах. Пуск нового завода, заседание Верховного Совета, уличная демонстрация в далеком городе, арктический перелет, спортивный рекорд — все это будет проходить перед нашими глазами. Уже сейчас, сидя у себя дома, можно смотреть театральные спектакли, кинофильмы. В дальнейшем можно будет совершать радиоэкскурсии по всей стране, разговаривая по телефону, видеть собеседника и т. п. Телевидению, несомненно, принадлежит громадное будущее. В этом направлении есть уже большие достижения — телевидение является уже вполне реальным техническим завоеванием. Ближайшие годы должны принести значительное развитие телевидения в нашей стране.

Чтобы передать на расстояние (по проводам или по радио) зрительную картину, надо ее световые свойства превратить в электрические, в импульсы электрических токов. Это делают поочередно для каждой точки картины в отдельности. Изображение, как говорят, развертывается на множество строчек, а каждая строчка — на отдельные точки, которые одна за другой посылают электрические

импульсы, следующие друг за другом с громадной скоростью. Превращение это осуществляется с помощью фотоэлемента. Чем светлее или темнее та или другая точка картины, тем более или менее сильный ток образуется в фотоэлементе, получающем свет от этой точки.

В распространенной системе телевизионной передачи это осуществляется по следующему принципу. Основной частью сложного прибора является так называемая мозаи-



Фиг. 38. Схема телевидения.

ка, состоящая из большого числа крошечных катодов фотоэлементов, расположенных в несколько сот строчек (анод у всех у них общий). На эту мозаику проектируется передаваемая зрительная картина, например спектакль в телевизионной студии (фиг. 38). Каждый крошечный катод освещается той или другой точкой сложной картины и от действия света на нем образуется электрический за-

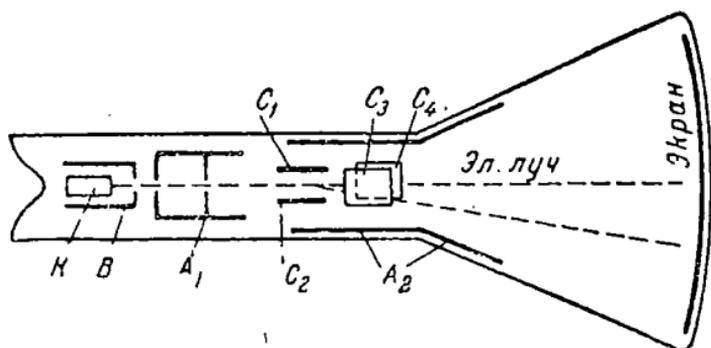
ряд. Чем светлее или темнее та или другая точка картины, чем сильнее или слабее падающий от нее луч света, тем более или менее сильный заряд накапливается на освещенном ею катоде.

Получается как бы «электрическое изображение», которое надо превратить в посылаемые один за другим импульсы тока. Для этого по мозаике быстро движется узкий пучок электронов, направляемый особым электронным прожектором. Этот электронный луч пробегает по мозаике строчка за строчкой с громадной скоростью, пробегая все ее сотни строчек 20—25 раз в секунду. Попадая на каждый из крошечных катодов, электронный пучок снимает с него заряд, и в этот момент по отводящей цепи посылается импульс тока. Импульсы, соответствующие отдельным катодам мозаики (точкам картины), посылаются с огромной скоростью один за другим. Сила каждого импульса соответствует заряду, скопившемуся на том или другом катоде, а значит, и световым свойствам каждой точки передаваемой картины. Так развертывается сложная картина и превращается в электрические импульсы, а затем и в радиоволны, передаваемые телевизионной станцией.

Принимающий прибор должен совершать обратное превращение импульсов тока в световые точки картины. Изображение получается на светящемся экране, покрытом специальными люминесцентными веществами, светящимися под действием падающего на них потока электронов. Для этого по экрану с громадной скоростью пробегает узкий электронный лучок. Он пробегает одну строчку за другой, по всему полю экрана. От действия электронного луча на экране одна за другой вспыхивают отдельные точки изображения. Глаз зрителя соединяет их в целостную картину, так как луч пробегает все несколько сот строчек экрана 20—25 раз в секунду. Понятно, какую большую роль играет безинерционность действия электронных приборов при такой огромной скорости процессов. Сила электронного луча изменяется в соответствии с силой получаемых импульсов, т. е. с яркостью той или другой точки передаваемой картины, а от этого и точки на экране телевизора вспыхивают с различной яркостью. Поэтому на экране в точности воспроизводится картина события, передаваемая с большого расстояния.

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЛУЧ

Мы видели, что как в передающем, так и в приемном телевизионном аппарате участвует электронный луч — узкий пучок электронов, который с большой скоростью и точностью движется по строчкам передаваемого изображения. Образование такого электронного луча и его движение достигаются посредством еще одного нового прибора, приобретающего все большее значение — электронно-лучевой трубки. На фиг. 39 схематически показана



Фиг. 39. Схема электронно-лучевой трубки.

ны ее основные части. Катод K накаляется током и поэтому испускает электроны. Далее один за другим расположено несколько электродов различной формы: B — полый цилиндр; A_1 — первый анод; A_2 — второй анод. Каждый из этих электродов имеет в середине по оси трубки небольшое отверстие, через которое может пролетать узкий пучок электронов — отверстия эти как бы вырезают узкий пучок из того широкого потока электронов, который вылетает с поверхности катода. К этим электродам приложено напряжение, положительное по отношению к катоду, которое вызывает поэтому движение электронов от катода вдоль трубки. Напряжение, приложенное к этим электродам, образует внутри трубки сложное электрическое силовое поле. Это поле создает сосредоточенный пучок электронов и направляет его так, чтобы он сходиллся (фокусировался) в определенной точке, в центре дна широкой, расходящейся части трубки. Дно этой широкой части трубки покрыто изнутри веществом, светящимся от действия падающего на него потока электронов. Оно образует экран электронно-лучевой трубки, на котором образуется яркое светящееся пятно в том ме-

сте, куда падает сфокусированный электронный луч. Рассмотренные нами электроды направляют луч в центр экрана.

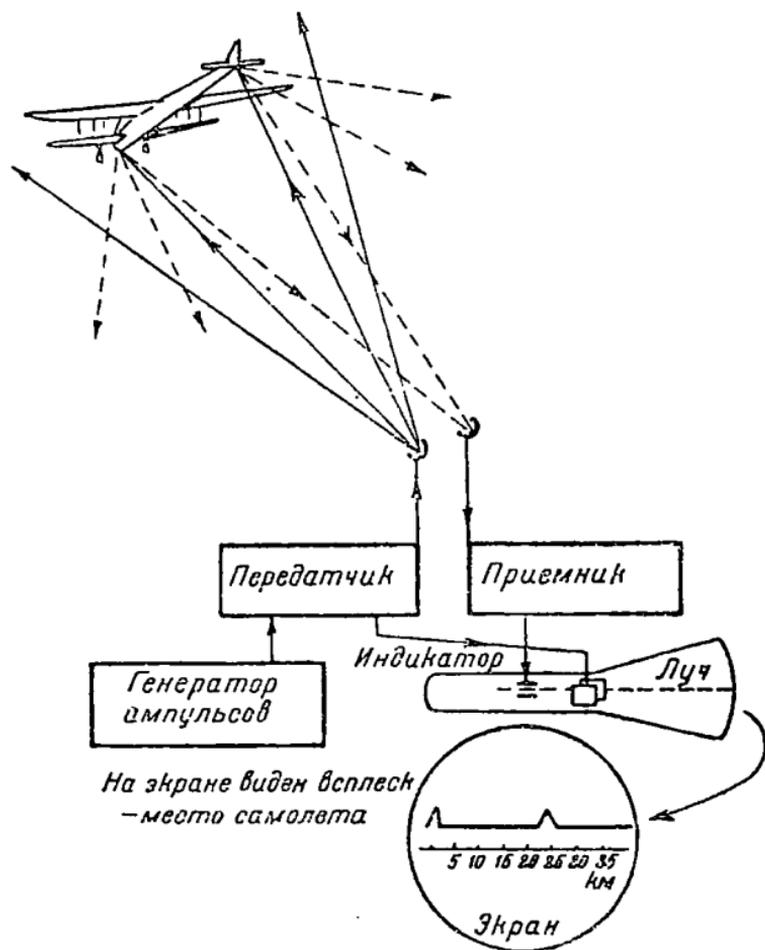
Но электронный луч не остается неподвижно в центре экрана, так как трубка имеет еще и другое устройство, управляющее движением луча: это две пары пластин-электродов, расположенных одна горизонтально, другая пара вертикально. На эти пластины подается напряжение, поэтому между каждой парой пластин образуется электрическое поле. Это поле отклоняет проходящий через него поток электронов в плоскости, перпендикулярной к пластинам. Следовательно, вертикальная пара пластин отклоняет электронный луч в горизонтальной плоскости, а горизонтальная пара — в вертикальной. Степень этого отклонения зависит от напряжения на пластинах. Подбирая и изменяя напряжение, можно вызвать любое движение луча, а так как обе пары пластин вызывают движение луча в горизонтальной и вертикальной плоскости, то, сочетая их влияние, можно получить любое движение луча по экрану трубки. При этом на экране видно соответствующее движение светящегося пятна. В телевизионных аппаратах создается движение луча по строчкам картины (в передатчике экран трубки заменен мозаикой). В других применениях электронно-лучевых трубок управляющие пластины вызывают различные другие нужные движения электронного луча.

РАДИОЛОКАЦИЯ

Радиотехника находит все новые применения. Новейшим, замечательным завоеванием ее (в сочетании с электронной техникой), является радиолокация. Это способ определения местонахождения какого-либо предмета, например, самолета, корабля и др., с помощью радиоволн. Радиолокация дает возможность точно определить: 1) в каком направлении находится объект; 2) на каком расстоянии он находится. Это может производиться ночью, в туман или через облака, на большом расстоянии, результаты получаются очень быстро, с большой точностью и надежностью. Радиолокация имеет большое значение в обороне нашей родины, она позволяет издали, заблаговременно обнаружить приближающиеся самолеты, следить за ними и руководить противовоздушной обороной. Советская наука работает над применением ее в мирной жизни.

ни для ориентировки кораблей и самолетов и для многих других целей.

Радиолокационная установка посылает радиоволны в виде отдельных коротких импульсов. Если эти волны встречают на пути летящий самолет или иной объект, они



Фиг. 40. Схема радиолокации.

отражаются от него и возвращаются обратно (фиг. 40). Эти отраженные от объекта волны принимаются станцией, которая имеет как передающие, так и принимающие радиоаппараты. Антенна станции дает возможность точно определять направление, в котором посылались эти вернувшиеся назад волны, а следовательно, и направление, в котором находится отражающий их объект. Что же касается расстояний до него, то оно определяется по проме-

жутку времени, который прошел с момента посылки волнового импульса до момента его возвращения. Скорость распространения радиоволн известна — она равна 300 000 км в секунду. Зная время и скорость, нетрудно определить расстояние, которое равно скорости, умноженной на время. Надо только еще разделить полученное число пополам, так как это путь радиоволн туда и обратно. Если, например, от момента посылки волны до ее возвращения прошло две десятитысячные доли секунды, то расстояние до самолета равно

$$\frac{0,0002 \times 300\,000}{2} = 30 \text{ км.}$$

Разумеется, это определение производится автоматически. Таким образом, в радиолокации используются различные свойства электромагнитных волн, их направление, отражение, скорость.

Радиолокационная установка имеет мощную отправляющую радиостанцию, которая посылает импульсы. Большое значение имеет антенная система. Она должна посылать волны не во все стороны, а в строго определенном направлении. Антенна имеет форму вогнутого зеркала, действие которого в принципе подобно отражающему зеркалу прожектора. Волны создаются возбуждающими их элементами, расположенными в фокусе зеркала, а затем отражаются зеркалом и благодаря его особой кривизне собираются и направляются в виде узкого пучка. Вогнутое зеркало антенны делается из металла, так как металлы хорошо отражают электромагнитные волны. Зеркало поворачивается, благодаря чему можно направлять пучок волн в любом направлении и искать («нащупывать») объект в той части пространства, где есть основание его ждать. Разработаны специальные методы поисков и устройство антенн, позволяющие быстро находить объект и точно определять направление на него

Особенно интересен индикатор — устройство, наглядно показывающее расстояние до объекта. Оно представляет собой электронно-лучевую трубку, на экране которой наблюдатель все время видит наглядное изображение того, на каком расстоянии находится, например, летящий самолет. Наблюдатель видит на экране горизонтальную светящуюся линию, на которой в определенном месте появляется зазубрина или всплеск, соответствующий месту

наблюдаемого объекта. Чем дальше этот всплеск от левого края (нулевой точки) горизонтальной линии, тем больше расстояние до объекта. Расстояние до него в километрах определяется по шкале, находящейся тут же на экране под горизонтальной линией.

Вспомним, что в электронно-лучевой трубке движение электронного луча, дающего светящееся пятно на экране, управляется двумя парами пластин-электродов горизонтальной и вертикальной. В индикаторе радиолокационной установки вертикальные пластины соединены с аппаратом, посылающим в пространство волновые импульсы. В момент посылки каждого очередного импульса на эти пластины автоматически подается напряжение, от действия которого электронный луч начинает двигаться горизонтально, след его на экране движется от левого края направо. Горизонтальные управляющие пластины соединены с аппаратом, принимающим волны, отраженные от объекта. Напряжение на эти пластины автоматически подается в момент приема отраженного импульса, и в этот момент оно вызывает небольшое движение луча вверх и вниз, отчего на экране появляется всплеск. Итак, в момент посылки импульса луч начинает двигаться горизонтально, а в момент приема отраженного импульса на горизонтальной линии появляется всплеск. Путь, который след луча на экране успевает пройти по горизонтали от левого края до появления всплеска, соответствует времени от момента посылки импульса до момента его возвращения, а следовательно, и расстоянию до объекта. Шкала переводит его в километры.

Этот промежуток времени длится десятитысячные доли секунды. В течение 1 сек. посылаются и принимаются сотни и тысячи импульсов. Поэтому наблюдатель, разумеется, не видит каждое движение луча. При каждом очередном импульсе луч снова и снова повторяет свое движение слева направо. И то, что наблюдатель видит на экране, это след, образующийся от суммирования тысяч таких движений луча. Движение всплеска по горизонтали слева направо соответствует удалению объекта, увеличению расстояния до него, движение всплеска справа налево, наоборот, говорит о приближении объекта.

Пока наблюдатель видит горизонтальную линию без всплесков, это значит, что самолетов в воздухе нет. Если появились всплески (один или несколько) на правом

краю экрана и они движутся справа налево, значит появилась и приближается эскадрилья самолетов. Если всплещи появились слева и движутся направо, это показывает, что навстречу вылетели другие самолеты.

ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП

Таков победоносный путь электронной техники, завоевывающий все новые области применения. В наши дни развивается электронная оптика — совершенно новый тип зрительных приборов. Существовавшие до сих пор микроскопы давали увеличенное изображение мельчайших предметов с помощью системы стеклянных линз, преломляющих световые лучи. Новые электронные микроскопы дают возможность рассматривать «мир ничтожно малого» с помощью потоков электронов (частиц). Увеличивающая сила новых электронных микроскопов во много раз больше обычных микроскопов. Если те давали увеличение не более чем в 2—3 тыс. раз, то электронные микроскопы уже дают его в десятки тысяч раз, а в будущем обещают давать еще гораздо большие увеличения. Поэтому они гораздо глубже проникают в область мельчайшего строения тел, позволяют делать недоступные раньше открытия и несут с собой новую эру в развитии многих наук о природе. С помощью электронного микроскопа были, например, открыты вирусы, мельчайшие носители некоторых болезней. Величина их гораздо меньше известных прежде микробов, в обычные микроскопы они невидимы. Советские ученые А. А. Лебедев и др. построили усовершенствованный электронный микроскоп, дающий увеличение в 50—60 тыс. раз.

Стеклянные линзы обычных микроскопов преломляют и собирают световые лучи, идущие от рассматриваемых предметов. В электронных микроскопах аналогично преломляются потоки электронов. Из этих электронных потоков или лучей образуются сильно увеличенные изображения мельчайших объектов. Нужное преломление и фокусирование потоков электронов производится действием на них электрических или магнитных полей. Если на летящие электроны не действуют никакие силы, они движутся по прямолинейным путям. Если же на пути их действуют электрические или магнитные силы, они искривляют движение электронов. Создавая на пути потока элект-

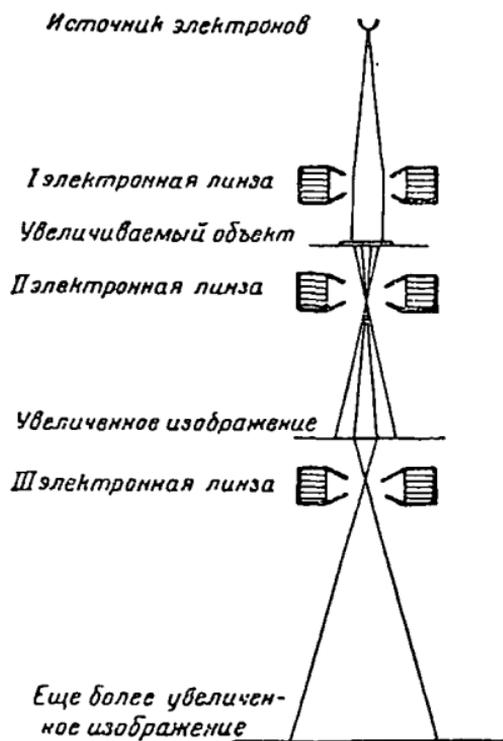
тронов электрическое силовое поле и подбирая его напряжение, можно вызвать любое нужное изменение направления движения электронов. Можно направить электроны так, что они будут расходиться в разные стороны, или можно, наоборот, собрать потоки электронов в виде узкого пучка и направить их так, что они будут сходиться в одной точке. Этому же можно достигнуть и действием магнитных полей. В электронной оптике применяют сложные электрические и магнитные поля, которые создают нужное направление потоков электронов. По аналогии со стеклянными линзами обычных оптических приборов они называются электронными линзами.

В электронном микроскопе первая такая линза направляет пучок электронов на тот мельчайший объект, который надо увеличить, как бы освещает его потоком электронов. Электроны проходят через рассматриваемый объект. В тех местах, где этот объект менее плотен, через него проходит больше электронов, более же плотные места пропускают меньше электронов. Это дает возможность получить изображение объекта. Прошедшие через него электроны проходят через новую линзу — электрическое или магнитное силовое поле. Эта линза так направляет потоки электронов, что получается сильно увеличенное и в то же время ясное, сфокусированное изображение. Для получения еще большего увеличения потоки электронов проходят еще через одну подобную же линзу. Получаемое «электрическое изображение», правда, непосредственно невидимо для нашего глаза, но оно превращается в видимое изображение действием электронных потоков на светящийся экран или на фотопластинку (фиг. 41).

Мы познакомились с замечательными достижениями электротехники и с значением электрификации в современном производстве. Электроэнергия и средства электротехники все глубже проникают во все области нашего народного хозяйства, поднимая их на новый, более высокий уровень. Сама электротехника, опирающаяся на успехи физики, неуклонно идет вперед. На протяжении десятилетий ее развития создавался богатейший ассортимент средств, основанных главным образом на канализации электрического тока по металлическим проводам и на многочисленных применениях электромагнитных явлений. Новая электротехника дополняет эти средства

применением радиоволн и электрических процессов в разреженных газах и в вакууме. Электронно-ионные приборы, возникшие в радиотехнике, приобретают все большее значение. Электронно-ионная техника подняла на новый уровень электрическую автоматику и технику преобразования электроэнергии. Она создала и совершенно новые области техники — телевидение, радиолокацию, электронную оптику. Несомненно, что электронная техника принесет еще немало новых завоеваний и что ей принадлежит большое будущее. Особенно грандиозны перспективы ее роста у нас, в стране неограниченного, ничем не стесненного прогресса техники.

Наука и техника неуклонно развиваются. Физика все глубже проникает в изучение мельчайшего строения материи. Наряду с электронной физикой выросла физика ядерная, изучающая основную, наиболее глубоко заложенную часть атомов — их ядра. На основе изучения природы материи техника также идет по пути все более глубокого овладения явлениями природы. Вслед за электронной техникой поднимается техника ядерная, которая даст не только несметные количества новой энергии для нужд нашей социалистической промышленности, транспорта и др., но создаст новую область технических средств, еще глубже использующих природу. Здесь поднимается перед нами завеса перед новой эрой технического прогресса — прогресса техники коммунистического общества. Так беспредельно растет могущество человека, вооруженного научным знанием и переделывающего природу.



Фиг. 41. Схема электронного микроскопа.

10584

Цена 3 р. 90 к.

Номинал по
прейскуранту 1952 г.

ОНЗ, ЧИТ./зала
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Д1
9646