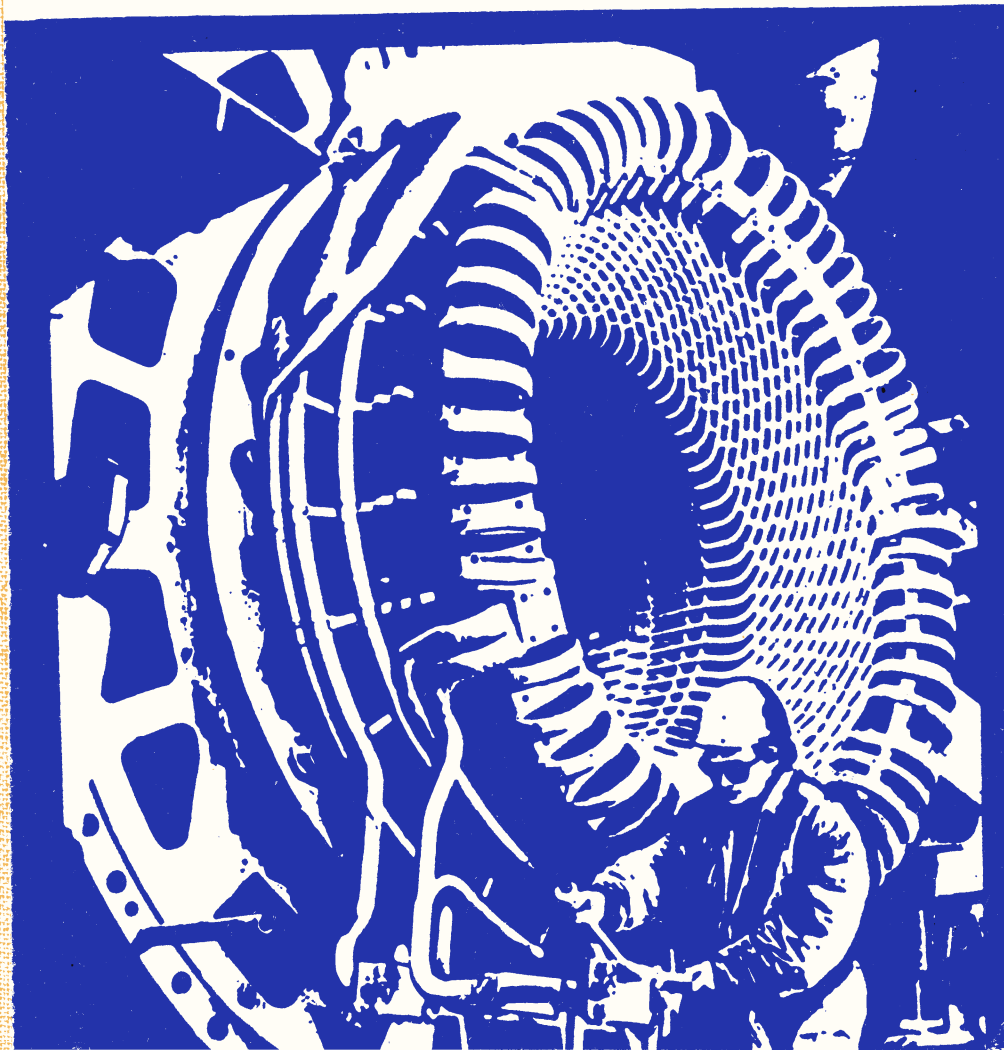


9-10

В. А. ПОЛЯКОВ

# ЭЛЕКТРО- ТЕХНИКА



ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

$$I = \frac{U}{R}$$

МОЩНОСТЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

$$P = UI$$

ИНДУКТИВНОСТЬ НАТУШНИ, Гн (  $\mu$ -МАГ-  
НИТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ, Гн/м;  
 $w$ -КОЛИЧЕСТВО ВИТКОВ;  $S$ -ПЛОЩАДЬ  
ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НАТУШНИ, м<sup>2</sup>;  
 $l$ -ДЛИНА НАТУШНИ, м )

$$L = \frac{\mu w^2 S}{l}$$

ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

$$X_L = 2\pi fL$$

ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕН-  
НОМУ ТОКУ

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

$$I = \frac{U}{Z}$$

КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

ПОЛНАЯ МОЩНОСТЬ ПЕРЕМЕННОГО  
ТОКА

$$S = UI$$

АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ ПЕРЕМЕННОГО  
ТОКА

$$P = UI \cos \varphi$$

НОМИНАЛЬНАЯ СИЛА ТОКА

$$I_H = \frac{P_H}{U_H}$$

НОМИНАЛЬНАЯ СИЛА ТОКА ( $P_y$  – УСТАНОВЛЕННАЯ МОЩНОСТЬ, т. е. СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ;  $k_c$  – ОПРЕДЕЛЯЕМЫЙ ПО ТАБЛИЦЕ КОЭФФИЦИЕНТ СПРОСА, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЙ НЕОДНОВРЕМЕННОСТЬ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ ИЛИ ИХ РАБОТУ НЕ НА ПОЛНУЮ МОЩНОСТЬ)

$$I_H = \frac{k_c P_y}{U_H}$$

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ДИЭЛЕКТРИКА ( $h$  – ТОЛЩИНА ДИЭЛЕКТРИКА)

$$E_{np} = \frac{U}{h}$$

ЧАСТОТА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ( $p$  – ЧИСЛО ПАР ПОЛЮСОВ;  $n$  – ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ, об/мин)

$$f = \frac{pn}{60}$$

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЛИНЕЙНЫМ И ФАЗНЫМ НАПРЯЖЕНИЯМИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ЗВЕЗДОЙ

$$U_L = \sqrt{3} U_\phi$$

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЛИНЕЙНЫМ И ФАЗНЫМ НАПРЯЖЕНИЯМИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

$$U_L = U_\phi$$

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЛИНЕЙНЫМ И ФАЗНЫМ ТОКАМИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ЗВЕЗДОЙ

$$I_L = I_\phi$$

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЛИНЕЙНЫМ И ФАЗНЫМ ТОКАМИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi$$

ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ( $s$  – СКОЛЬЖЕНИЕ)

$$n = \frac{60f}{p} (1 - s)$$

НОМИНАЛЬНАЯ СИЛА ТОКА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ( $P_H$  – НОМИНАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ, кВт)

$$I_H = \frac{P_H \cdot 1000}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi}$$

В.А. ПОЛЯКОВ

---

# ЭЛЕКТРО - ТЕХНИКА

---

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ  
ДЛЯ УЧАЩИХСЯ  
9 и 10 КЛАССОВ  
СРЕДНЕЙ  
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ  
ШКОЛЫ

*Допущено Министерством  
просвещения СССР*

*Издание второе, переработанное*

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1986

ББК 31.2я72  
П54

Рецензенты:

преподаватель УПК № 1 Тимирязевского р-на Москвы *Н. М. Кумина*,  
зав. кафедрой физики Орехово-Зуевского пединститута,  
кандидат педагогических наук *А. А. Евсюков*

**Поляков В. А.**

**П54**      **Электротехника: Учеб. пособие для учащихся 9 и 10 кл. сред. общеобразоват. шк.—2-е изд., перераб.— М.: Просвещение, 1986.—239 с., ил.**

Учебное пособие предназначено для учащихся 9 и 10 классов, проходящих трудовое обучение по электротехнике и получающих электрическую профессию. Оно может быть использовано для профессиональной подготовки учащихся 7 и 8 классов.

**П** **4306021900—361** инф. письмо —86  
**103(03)—86**

**ББК 31.2я72**  
**6П2.1(075)**

Трудно назвать такую профессию, работая по которой на современных промышленных предприятиях, транспорте, стройках, в сельском хозяйстве можно обойтись без знания об электричестве и магнетизме. Квалифицированные рабочие, техники и инженеры должны разбираться в сущности электрических и магнитных явлений, знать способы применения их на практике.

Электротехникой обычно называют науку, которая изучает вопросы производства, преобразования, распределения и применения электрической энергии. Однако электротехника — это не только наука, но и отрасль техники, занимающаяся использованием электрических и магнитных явлений в практических целях: преобразование различных видов энергии в электрическую, применение ее для превращения одних веществ в другие, получения и обработки материалов, передачи информации. Таким образом, *электротехника* — это отрасль науки и техники, связанная с применением электрических и магнитных явлений для преобразования энергии, получения и изменения химического состава веществ, производства и обработки материалов, передачи информации, охватывающая вопросы получения, преобразования, распределения и применения электрической энергии.

В данном пособии не излагается систематический курс электротехники. Этот предмет изучают в техникуме, институте. Цель настоящего пособия: дать общее понятие о современном электротехническом производстве; помочь осмысленному выполнению электротехнических работ, связанных с обработкой электротехнических материалов, сборкой электрических машин и аппаратов, монтажом, ремонтом и обслуживанием электрических установок, применением электроизмерительных приборов, чтением и составлением электрических схем; ознакомить с содержанием и условиями труда рабочих массовых электротехнических профессий.

В средней школе вы можете овладеть одной из электротехнических профессий, которая отвечает вашим интересам, склонностям и одновременно нужна для окружающих школу промышлен-

ных предприятий,строек, различных организаций и учреждений.

Широко распространена профессия *электромонтажника*. Так, при выполнении строительных, монтажных и ремонтно-строительных работ нельзя обойтись без квалифицированных рабочих следующих профессий: электромонтажник по кабельным сетям, электромонтажник по освещению и осветительным сетям, электромонтажник по силовым сетям и электрооборудованию, электромонтажник по электрическим машинам и др.

Многие электротехнические профессии сочетают в себе электротехнические и слесарные работы. Эти профессии известны под общим названием *электрослесарь*. В школе можно получить, например, профессию электрослесаря по ремонту трансформаторов, электрослесаря по ремонту электрических машин, электрослесаря по ремонту распределительных устройств, слесаря-электрика по ремонту электрооборудования, слесаря-электромонтажника.

Большое количество электротехнических профессий относится непосредственно к электротехническому производству, продукцией которого являются электроизоляционные материалы, провода, кабели, электрические машины, аппаратура и приборы, различное электротехническое оборудование. В школе можно овладеть одной из таких профессий, как сборщик трансформаторов, сборщик электроизмерительных приборов, слесарь-сборщик электрических машин и аппаратов, намотчик электроизоляционных изделий, испытатель проводов и кабелей, электромонтажник-схемщик и др.

Традиционно к электротехническим относится профессия *электромонтера*. В современных условиях в зависимости от конкретного содержания работы различают профессии электромонтер-обмотчик и изолировщик по ремонту трансформаторов, электромонтер-обмотчик и изолировщик по ремонту электрических машин и др. Эти и аналогичные профессии можно получить в средней школе. Однако есть более сложные профессии, основами которых овладевают в школе, а завершают подготовку в профессионально-технических училищах. К таким профессиям относятся, например, электромонтер диспетчерского оборудования и телеавтоматики, электромонтер по обслуживанию электрооборудования, электромонтер по ремонту электрооборудования, электромонтер по ремонту аппаратуры релейной защиты и автоматики.

В содержании знаний, умений и навыков, необходимых для квалифицированных рабочих различных электротехнических профессий, есть много сходного. Так, для работы по каждой из них надо иметь понятие о видах и свойствах электротехнических материалов, стандартах и технической документации, устройстве и действии электрических машин, аппаратов, электроизмерительных приборов, основах экономики и организации произ-

водства, а также знать и уметь выполнять правила техники безопасности, организации рабочего места, пользования электромонтажным инструментом и т. д. Этим, общим для различных электротехнических профессий вопросам и посвящено данное учебное пособие.

Теоретические сведения в пособии изложены сжато, текстовой материал дополняют таблицы и рисунки. В таблицах приведены технические характеристики электротехнических материалов и изделий, указаны их основные свойства и области применения. На рисунках показаны устройство электрической техники и способы обращения с ней, приемы выполнения электротехнических работ. Сведения, которые можно получить из таблиц и рисунков, в тексте, как правило, не повторяются. Все это следует учитывать, пользуясь данным пособием.

Физическую основу электротехники составляют электрические и магнитные явления. Если соответствующий учебный материал по физике был изучен ранее, например в VII классе, то в данном пособии он не рассматривается, а только используется (в необходимых случаях дополняется) для объяснения принципа действия, устройства и работы технических объектов, принципов и способов осуществления технологических процессов, изучаемых электротехникой. Если же требующийся для объяснения вопросов электротехники учебный материал по физике (например, о физических свойствах полупроводников) будет изучаться позже, то в пособии он излагается подробнее. В дальнейшем эти знания помогут более глубокому изучению соответствующих явлений и законов на уроках физики.

Пособие предназначено для работы с ним непосредственно на занятиях по трудовому обучению. Оно дает возможность самостоятельно разобраться в устройстве и действии изучаемого прибора, аппарата или машины, составить его техническую характеристику или выбрать электротехнические материалы и изделия, требующиеся для изготовления или монтажа заданного объекта. Пользуясь формулами и данными, приведенными в таблицах, выполняют технические, технологические расчеты, например определяют марку провода. В случае необходимости по пособию повторяют ранее пройденный материал, готовясь к выполнению практических работ или сдаче квалификационных экзаменов.

В пособии помещены инструктивные указания по выполнению практических работ. Эти указания рассчитаны на то, что оборудование нужно подобрать самостоятельно, а нередко требуется самостоятельно составить электрическую схему. Чтобы успешно выполнить практическую работу, необходимо прежде изучить соответствующий теоретический материал и относящиеся к нему таблицы и рисунки. Во избежание опасности поражения электрическим током собирать электрические цепи, де-



лать опыты следует в точном соответствии с указаниями о порядке выполнения практической работы.

Вопросы и упражнения, имеющиеся в конце параграфов, составлены таким образом, чтобы можно было проявить самостоятельность, сообразительность и творчество. Поэтому, отвечая на вопросы и выполняя упражнения, следует, кроме основного текста, использовать имеющиеся в таблицах справочные сведения, внимательно изучать рисунки, а в случае необходимости обращаться за консультацией к учителю или мастеру.

К изучению ряда глав пособия, например «Стандарты и техническая документация», «Электротехнические материалы», «Электрические измерения», к пользованию большинством таблиц придется обращаться на многих занятиях по электротехнике. Поэтому на первых порах при изучении указанных глав нужно усвоить основной и доступный материал, а в дальнейшем возвращаться к этим главам, чтобы получить дополнительные и справочные сведения. Если же потребуются более широкие и глубокие теоретические сведения, то нужно обращаться к школьным учебникам по физике, а также к справочникам и пособиям, предназначенным для учащихся профессионально-технических училищ и техникумов.

Для удобства пользования учебным пособием в конце его приведен предметный указатель.

# ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

## § 1. ЭНЕРГЕТИКА

В народном хозяйстве нашей страны важное место занимает электроэнергетика. Ее бурное развитие началось благодаря историческому плану ГОЭЛРО. Ленинская формула: *«Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны»* — стала руководством в деятельности Коммунистической партии, поставившей перед советским народом задачу осуществить сплошную электрификацию страны. Эта задача успешно выполняется.

В настоящее время СССР располагает мощной отраслью народного хозяйства — электроэнергетикой; ее задачей является обеспечение бурного роста производства электроэнергии.

Процесс создания материальных благ, необходимых для жизни человека, для существования и развития общества, требует затраты энергии. Долгое время орудия труда были примитивными и мускулы человека оставались тем единственным двигателем, на который он мог рассчитывать. Затем для выполнения более сложных работ люди начали использовать энергию домашних животных, а еще позднее научились применять энергию ветра, потока воды, пара, солнца. Однако еще сто лет назад на долю последних в общем балансе энергетических ресурсов приходился небольшой процент: из всей энергии, используемой людьми для совершения трудовых и производственных процессов, 15% составляла энергия их мускульных усилий, 73% — энергия домашних животных, 6% — энергия ветра, потока воды и остальные 6% — прочие виды энергии. В настоящее время на долю мускульных усилий человека приходится не более 1% всей вырабатываемой энергии.

По мере развития общества совершенствовались орудия труда — появились сложные машины и механизмы. Возникновение новой производственной технологии и машинной техники потребовало значительных энергетических затрат, которые уже не могли быть полностью обеспечены энергией мускульных усилий человека и животных, энергией ветра, воды, пара.

Подлинная революция в развитии технологии, техники, производства в целом произошла тогда, когда люди научились

получать и использовать электрическую энергию. Дальнейший социальный и научно-технический прогресс обусловил не только широчайшее применение электрической энергии, но и одновременное развитие тепло-, гидро- и ветроэнергетики, а с середины XX в. — ядерной энергетики и гелиоэнергетики.

Количественный рост производства электроэнергии привел к качественному скачку ее роли в нашей стране: создалась крупная отрасль народного хозяйства — энергетика.

Под *энергетикой* в широком смысле слова понимают область науки и отрасль народного хозяйства, охватывающие изучение, производство, преобразование, передачу, распределение и потребление энергии в различных ее формах.

Наибольшей эффективности использования энергетических ресурсов достигают благодаря созданию энергосистем (рис. 1).

**Энергосистемой** (электроэнергетической системой) называют совокупность взаимосвязанных электрических станций, электрических и тепловых сетей и потребителей электрической и тепловой энергии, объединенных единством процесса производства, передачи и потребления энергии.

Энергосистему страны называют Единой энергетической системой (ЕЭС), энергосистему нескольких районов — объединенной энергосистемой, одного района — районной энергосистемой, предприятия (корабля, самолета и т. п.) — автономной энергетической системой.

Уровень развития энергосистем оказывает большое влияние не только на экономику страны, но и на социальные и политические процессы как внутри страны, так и в международном масштабе. В СССР и других социалистических странах планами развития народного хозяйства предусмотрено опережающее развитие энергетики. На основе энергетической системы страны и в зависимости от ее состояния и перспектив развития формируются основные пропорции народного хозяйства. Успешно функционирует электроэнергетическая система «Мир», объединившая Единую электроэнергетическую систему европейской части СССР с энергосистемами стран — членов СЭВ.

КПСС постоянно обращает внимание на необходимость соблюдения строгого режима экономии энергии, увеличение масштабов использования возобновляемых ее источников, т. е. гидравлической, солнечной, ветровой, геотермальной энергии. В выработке электроэнергии всевозрастающее значение будут иметь атомные и гидравлические электростанции.

### Вопросы и упражнения

1. Дайте характеристику понятий «энергетика», «электроэнергетика», «электротехника», «энергосистема».

2. В чем заключается эффективность создания энергетических систем?

3. Какие меры приняты Коммунистической партией и Советским правительством для обеспечения опережающего развития энергетики? Составьте диаграмму роста производства электроэнергии в СССР.

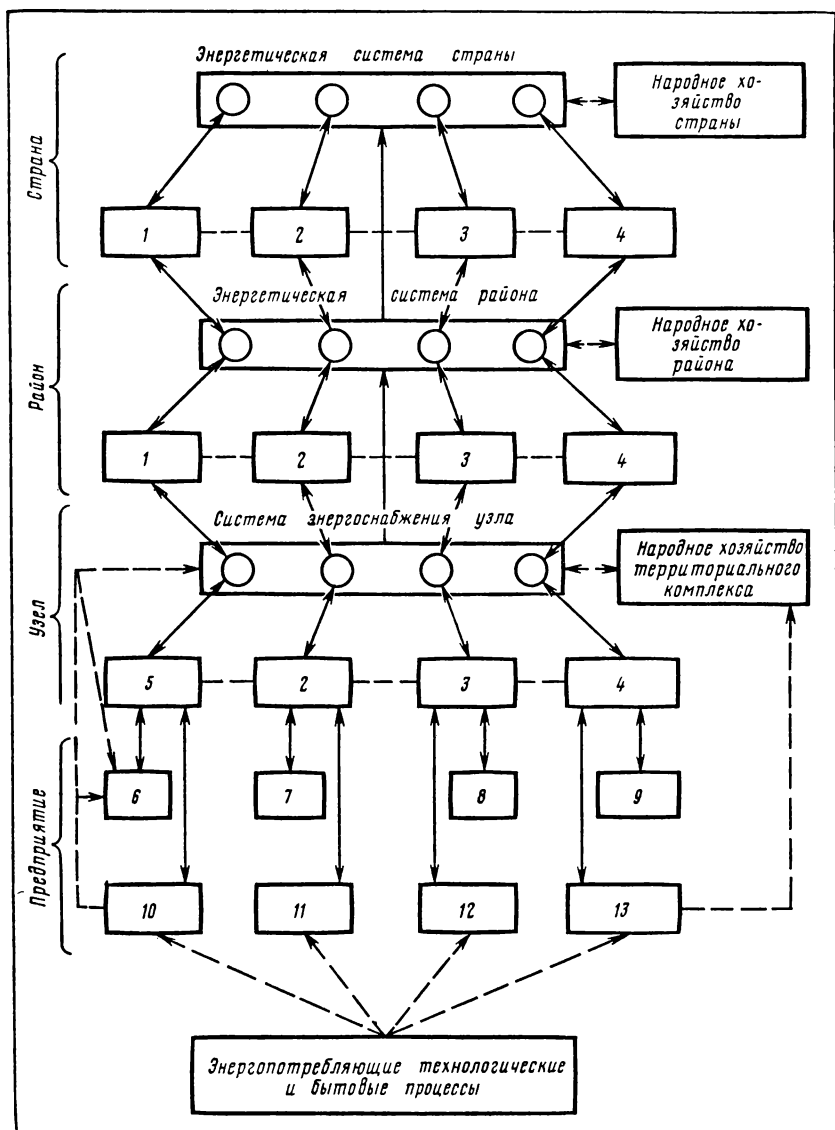


Рис. 1. Схематическое изображение энергетической системы: 1 — система электро снабжения; 2 — система нефтеснабжения; 3 — система газоснабжения; 4 — система углеснабжения; 5 — система электро- и теплоснабжения; 6 — электростанции, котельные; 7 — нефтепромыслы; 8 — газовые промыслы; 9 — шахты, карьеры; 10 — потребители энергии, пара, горячей воды; 11 — потребители нефтепродуктов; 12 — потребители газа; 13 — потребители угля.

4. Покажите на карте СССР места, где расположены крупные атомные и гидравлические электростанции. Выясните, какова мощность этих станций. Назовите наиболее крупные электростанции, строящиеся в нашей стране в текущей пятилетке.

## § 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Слова «производство» и «произвести» тесно связаны между собой. Они указывают на наличие действия — сделать, выполнить, устроить. Поэтому под общественным производством в широком смысле этого слова понимают всю деятельность людей: создание материальных ценностей, работу в области науки, культуры, искусства и т. д. Но сама жизнь и любая деятельность человека невозможны без создания материальных благ в виде предметов потребления (пищи, одежды, жилища) и средств производства — орудий и предметов труда. Поэтому чаще всего, говоря о производстве, имеют в виду материальное производство.

*Производство* (материальное) — это процесс создания материальных благ, необходимых для существования и развития общества. На предприятиях электротехнической промышленности, например, производят электротехническую продукцию, необходимую для производства, передачи и потребления электрической энергии: турбо- и гидрогенераторы; электрические генераторы, двигатели и другое электрооборудование для станков, транспортных, строительных и других машин; трансформаторы; выпрямители; аккумуляторы; аппаратуру управления электрическими устройствами; различные электротехнические материалы; бытовые электрические машины; приборы и многое другое.

Материальные и духовные ценности создаются трудом рабочих, колхозников, интеллигенции; только труд является источником приумножения национального богатства; общество может распределять лишь то, что произведено.

Труд направлен на изменение предметов труда. В электротехнической промышленности предметы труда — это прежде всего различные электроизоляционные, проводниковые и магнитные материалы, а также изготовленные из них изделия, например провода, кабели, детали и сборочные единицы электрических машин и аппаратов и т. п. Для рабочих электротехнических профессий, занимающихся эксплуатацией и ремонтом электроустановок, предметами труда являются электрические машины, приборы, аппараты, которые, в свою очередь, представляют собой продукты труда, произведенные на предприятиях электротехнической промышленности.

Человек изменяет предметы труда с помощью средств труда — машин, станков, инструментов и т. п. На предприятиях электротехнической промышленности в качестве средств труда широко используют различные металлорежущие станки

и оборудование для обработки материалов — их резания, точения, сверления и т. д., изготовления обмоток электрических машин и трансформаторов (намоточные станки), инструменты и приспособления для выполнения слесарных и электромонтажных работ, сварочное оборудование, многие контрольно-измерительные приборы и испытательные стенды.

Рабочие электротехнических профессий трудятся не только на предприятиях электротехнической промышленности, а повсеместно: в машиностроении, металлургии, строительстве, на транспорте, в сфере обслуживания населения. В зависимости от выполняемых ими основных функций — эксплуатация, ремонт, обслуживание — они применяют соответствующие средства труда. Однако среди последних преобладают слесарные и электромонтажные инструменты и приспособления, контрольно-измерительные приборы, паяльные и сварочные агрегаты, токарные, сверлильные и намоточные станки.

В электротехнической промышленности можно выделить: тяжелое, среднее и мелкое электромашиностроение, трансформаторостроение, высоковольтное и низковольтное аппаратостроение, кабельное производство, электроизоляционное производство, производство аккумуляторов, преобразовательной техники, электрооборудования для транспорта, электротермического оборудования, светотехнической продукции. Эта структура электротехнической промышленности непостоянна, так как возникают новые виды производства, обусловленные научно-техническим прогрессом, специализацией и разделением труда.

Электротехническая промышленность успешно решает задачи по увеличению производства турбогенераторов повышенной мощности и электрооборудования на напряжение 1150 кВ переменного тока и 1500 кВ постоянного тока. Особое внимание уделяется выпуску электрооборудования, имеющего высокий коэффициент полезного действия и требующего меньшего расхода цветных металлов и других дефицитных материалов. Расширяется производство современных и экономичных источников тока, источников света, проводов, электродвигателей, рассчитанных на длительный срок службы.

#### **Вопросы и упражнения**

1. Какие материальные блага производят на предприятиях электротехнической промышленности?
2. Приведите примеры предметов и средств труда, применяющихся в электротехническом производстве.
3. Укажите главные направления развития электротехнической промышленности в текущей пятилетке.

### **§ 3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ**

Электрическую часть энергосистемы называют *электрической системой*. В ее состав входят электрические генераторы, трансформаторы, линии электропередачи, приемники электри-

ческой энергии, а также аппаратура защиты, регулирования и управления.

Элемент электрической системы, в котором производится, преобразуется, передается, распределяется или потребляется электрическая энергия, называют **электростанцией**. К электростанциям относятся, например, электрические генераторы с вспомогательными устройствами, электрические подстанции, линии электропередачи.

**Линия электропередачи (ЛЭП)** — это электроустановка, состоящая из проводников тока и вспомогательных устройств и предназначенная для передачи на расстояние электрической энергии. По конструктивному исполнению различают воздушные, кабельные и другие линии электропередачи. Совокупность электрических подстанций и линий электропередачи называют **электрической сетью**.

Электростанции, находящиеся на открытом воздухе, носят название открытых, а расположенные в помещении — закрытых. Электростанции бывают стационарные и передвижные. К первым относятся, например, электросети различных зданий, а ко вторым — передвижные электростанции.

В зависимости от напряжения различают электростанции напряжением до 1000 В и выше 1000 В. В данном пособии рассматриваются главным образом электростанции напряжением до 1000 В. Некоторые сведения об электростанциях напряжением выше 1000 В приведены в главе 6.

Устройства, в которых электрическая энергия преобразуется в другие виды энергии, называют приемниками электрической энергии — **электроприемниками**. К электроприемникам относятся, например, электродвигатели, электронагревательные приборы, электрические лампы.

Электроприемники по надежности электроснабжения делят на три категории. К первой категории относят электроприемники, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение оборудования, массовый брак продукции, нарушение сложного технологического процесса, выход из строя особо важных элементов городского хозяйства. Электроснабжение этих электроприемников обеспечивается от двух независимых источников питания — основного и резервного, причем резервный источник питания включается автоматически.

Ко второй категории относят электроприемники, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым срывом выпуска продукции, остановкой механизмов и промышленного транспорта, простоем рабочих, нарушением нормальной деятельности значительного числа городских жителей. Перерыв в электроснабжении этих электроприемников не должен превышать времени, необходимого для включения резервного источника

питания дежурным персоналом или выездной оперативной бригадой.

К третьей категории относят все остальные электроприемники, не подходящие под определение первой и второй категорий, например электроприемники вспомогательных цехов. Перерыв в электроснабжении этих электроприемников допускается на время ремонта или замены поврежденного элемента системы электропитания, но не более чем на сутки.

Каждый электроприемник предназначен заводом-изготовителем для работы при *номинальном режиме*. Номинальным называют такой режим, при котором значения напряжения, мощности и силы тока, указанные в паспорте электроприемника, совпадают со значениями этих же величин при работе электроприемника. Например, номинальное напряжение, на которое рассчитан электроприемник, и напряжение источника питания (электрической сети), к которому подключают этот электроприемник, должны быть одинаковы. Согласно ГОСТ электрические сети и электроприемники общего назначения должны иметь стандартные номинальные напряжения. В таблице 1 указаны для примера некоторые значения номинальных напряжений.

Таблица 1

Номинальные напряжения электрических сетей и электроприемников общего назначения до 1000 В

Номинальное напряжение, В					
Постоянный ток	Переменный ток		Постоянный ток	Переменный ток	
	Однофазные сети	Трехфазные сети		Однофазные сети	Трехфазные сети
6	—	—	60	127	220/127
24	24	—	110	220	380/220
36	36	36	220	380	660/380
48	42	42	440	—	—

Нередко требуется рассчитать силу тока при известных номинальных значениях напряжений и мощности. Для цепей постоянного тока и цепей переменного тока, в которых отсутствуют электродвигатели, конденсаторы и катушки индуктивности, расчет номинального значения силы тока (обычно это значение называют просто номинальным током) выполняют по формуле:

$$I_n = \frac{P_n}{U_n}.$$

где  $I_n$  — номинальная сила тока, А;  
 $P_n$  — номинальная мощность, Вт;  
 $U_n$  — номинальное напряжение, В.



В зависимости от назначения и исполнения электроустановок, а также от значения электрического напряжения, при котором они работают, к их монтажу, эксплуатации и ремонту предъявляют разные требования.

Монтаж, эксплуатацию и ремонт электроустановок, обслуживание электроприемников выполняют в строгом соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ), «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭ), «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТБ), «Строительных норм и правил» (СНиП) и других аналогичных документов. Необходимые сведения из этих документов приведены в соответствующих главах и параграфах данного пособия.

### Вопросы и упражнения

1. Дайте характеристику понятий «электроустановка» и «электроприемник».

2. Приведите примеры электроустановок и электроприемников, имеющих в доме, в школе, на учебно-производственном комбинате, на базовом предприятии. К каким категориям относятся названные вами электроприемники?

3. Как можно узнать номинальные значения напряжения и мощности электроприемников? На что следует обратить внимание перед включением электроприемников в электрическую сеть?

4. Сравните номинальные значения силы токов ( $I_n$ ) в электролампах, рассчитанных соответственно на номинальные напряжения и мощности 220 В, 75 Вт и 127 В, 75 Вт. Почему предпочтительнее строить электрические сети на напряжение 220 В, а не на 127 В?

5. Какими основными документами нужно руководствоваться при выполнении монтажа, эксплуатации и ремонта электроустановок?

## § 4. РАБОЧЕЕ МЕСТО

В широком смысле слова *рабочее место* — это часть пространства, приспособленная для выполнения работником или группой их своего производственного задания. Рабочее место, как правило, оснащено основным и вспомогательным оборудованием (станки, механизмы, энергетические установки и т. п.), технологической (инструмент, приспособления, контрольно-измерительные приборы) и организационной (столы, верстаки и т. п.) оснасткой.

На социалистических производственных предприятиях ко всем рабочим местам предъявляют требования, выполнение которых обеспечивает научную организацию труда (НОТ), повышение производительности труда и способствует сохранению здоровья и развитию личности работника.

Рабочие места, на которых трудятся рабочие электро-технических профессий, бывают различными в зависимости от того, какие действия и операции они выполняют — монтажные, сборочные, регулировочные и т. п. Например: заготовку проводов

для прокладки электропроводок производят на технологических линиях (при отсутствии такой возможности работы по подготовке проводов к прокладке выполняют на монтажном столе или верстаке); намотку катушек, применяемых в электрических машинах и аппаратах,— на намоточных станках, а многие операции, связанные с электротехническими работами, выполняют за слесарным верстаком.

Рабочее место электромонтера может быть и на открытом воздухе, например при сооружении или ремонте воздушных и кабельных электрических сетей, подстанций и т. п.

Во всех случаях на рабочем месте должен быть образцовый порядок: инструменты и приспособления (разрешается пользоваться только исправным инструментом!) необходимо размещать на соответствующих местах, туда же нужно класть инструмент после окончания работы с ним; на рабочем месте не должно быть ничего лишнего, не требующегося для выполнения данной работы; оснащение и содержание рабочего места должно строго отвечать всем требованиям охраны труда, техники безопасности, производственной санитарии и гигиены и исключать возможность возникновения пожара.

Все указанные выше общие требования относятся и к рабочему месту учащегося. Оно может включать в себя монтажный стол или верстак (при выполнении электромонтажных и изоляционных работ), намоточный станок (при выполнении намоточных работ), специальный верстак или стол (при выполнении слесарно-сборочных работ) и т. п. В зависимости от вида выполняемых электротехнических работ (монтаж, сборка, эксплуатация и др.) рабочее место должно быть оснащено соответствующими инструментами и приспособлениями. Например, на рабочем месте размещают следующие инструменты: крепёжно-зажимные — плоскогубцы, круглогубцы, пассатижи, тиски; режущие — монтерский нож, кусачки, ножовку; ударные — молоток, зубило, пробойник. Кроме того, применяют общеслесарный инструмент, а также многие виды металлорежущего инструмента, так как выполнение электротехнических работ часто связано с рубкой металла, изгибанием труб, резанием различных материалов, нарезанием резьбы и т. п.

Заводы выпускают наборы инструментов для выполнения отдельных видов электротехнических работ. Так, в комплект инструментов (рис. 2) для выполнения электромонтажных работ общего назначения входит следующее: плоскогубцы 200 мм универсальные, плоскогубцы электромонтажные с эластичными чехлами; острогубцы (кусачки) 150 мм с эластичными чехлами; отвёртки слесарно-монтажные разные (с пластмассовыми ручками) — 3 шт.; молоток слесарный с ручкой массой 0,8 кг; нож монтерский; шило монтерское; указатель напряжения; линейка метровая складная металлическая; очки защитные светлые; гипсовка; гладилка; шнур крученный диаметром 1,5—2 мм длиной 15 м.

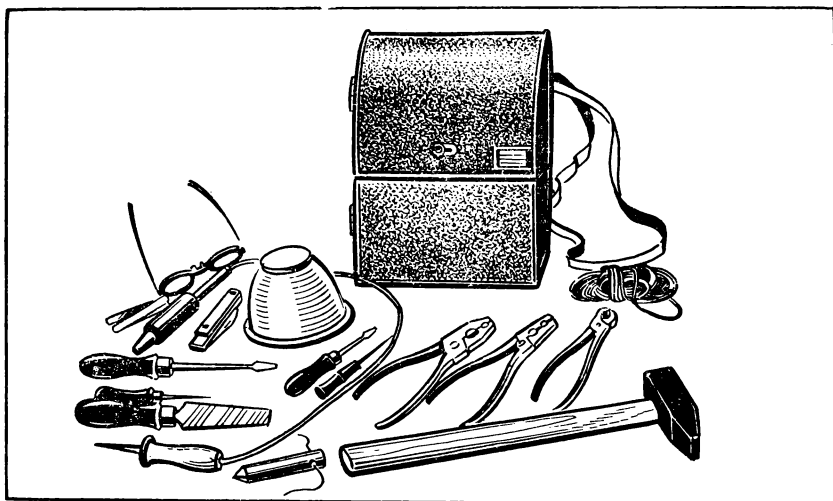


Рис. 2. Набор инструментов для выполнения электромонтажных работ.

О других инструментах, приспособлениях, станках и оборудовании говорится в соответствующих параграфах данного пособия, в которых рассматривается технология электротехнических работ.

Находясь на рабочем месте, строго соблюдайте следующие правила:

1. Будьте внимательны, дисциплинированы, осторожны, точно выполняйте устные и письменные указания учителя (мастера).

2. Не оставляйте рабочее место без разрешения учителя (мастера).

3. Располагайте на рабочем месте приборы, инструменты, материалы, оборудование в том порядке, который указан учителем (мастером) или в письменной инструкции.

4. Не держите на рабочем месте предметы, не требующиеся при выполнении задания.

### Вопросы и упражнения

1. Что называется рабочим местом? Какие правила необходимо соблюдать на рабочем месте?

2. Ознакомьтесь во время экскурсии с рабочими местами электромонтажника, электрослесаря, электромонтера.

3. Какие основные инструменты и приспособления должны быть на рабочем месте, на котором трудится рабочий избранной вами электротехнической профессии?

4. Проверьте состояние своего рабочего места и в случае необходимости наведите на нем требуемый порядок.

## **§ 5. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ**

### **ПРИЧИНЫ ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА**

Электрический ток, проходя через тело человека, поражает прежде всего центральную нервную систему. В результате этого нарушается работа сердца и органов дыхания, что может привести к смерти. Степень поражения электрическим током зависит главным образом от трех факторов: силы тока, частоты тока и пути, по которому проходит ток через организм человека.

Неприятные ощущения у человека возникают при прохождении по нему тока в несколько миллиампер. Судороги мышц, неспособность самостоятельно освободиться, например, от провода, к которому прикоснулся человек, возникают при прохождении через него тока 0,025 А, а при силе тока 0,1 А мгновенно наступает смерть, вызванная параличом дыхательных органов и сердца.

Согласно закону Ома сила тока, проходящего через тело человека, зависит от его электрического сопротивления и напряжения, под которым оказался пострадавший.

Электрическое сопротивление человеческого тела зависит от его физического состояния. Для человека, находящегося в нормальном состоянии, оно равно нескольким десяткам тысяч омов.

В особо неблагоприятных случаях (болезненное состояние, увлажнение потом, водой и т. п.) электрическое сопротивление тела человека понижается до 400—800 Ом. По этим данным на основании закона Ома нетрудно подсчитать напряжение, опасное для жизни. Правилами техники безопасности установлено, что опасными для человека являются следующие напряжения: 65 В — в сухих помещениях (относительная влажность до 60%), например в жилых комнатах и квартирах, в отапливаемых помещениях административных, общественных зданий, лечебных учреждений и т. п.; 36 В — в сырых помещениях (относительная влажность от 60 до 75%), например в подвалах, кухнях предприятий общественного питания и др.; 12 В — в особо сырых помещениях (относительная влажность от 75 до 100%), например в банях, прачечных, некоторых цехах промышленных предприятий, а также в особо опасных помещениях, таких, как металлические кабины, котлы.

Что касается частоты тока, то наиболее неблагоприятное воздействие на организм человека оказывают токи частоты 50—60 Гц.

Наибольшая опасность для человека возникает в тех случаях, когда при поражении его ток проходит через нервные центры органов дыхания и кровообращения, например по пу-

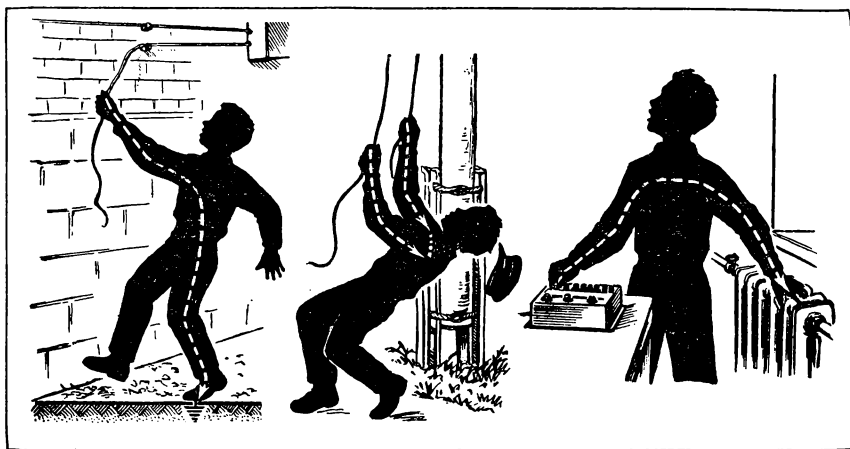


Рис. 3. Примеры опасных для жизни случаев поражения человека электрическим током (пунктирной стрелкой указан путь тока).

ти: правая рука — левая нога, правая рука — левая рука и т. п. (рис. 3).

Поражение людей током происходит чаще всего вследствие: прикосновения к неизолированным токоведущим частям — оголенным проводам, контактам электрических машин, рубильников, ламповых патронов, предохранителей и других аппаратов и приборов, находящихся под напряжением;

прикосновения к частям электроустановки, не предназначенным для прохождения тока (например, к корпусу электродвигателя), но в результате повреждения изоляции оказавшихся под опасным напряжением;

прикосновения к токопроводящим частям, не являющимся частями электроустановки, но случайно оказавшимся под напряжением, например к сырым стенам, металлическим конструкциям здания;

нахождения вблизи места соединения с землей оборванного провода электросети;

несоблюдения правил техники безопасности в быту (рис. 4)

### **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА**

Для предупреждения электротравматизма применяют различные защитные средства (рис. 5). Резиновые перчатки, являясь хорошим изолятором, служат для предохранения работающего от поражения током при случайном прикосновении к токоведущим частям. Аналогичную функцию выполняют резиновые боты, галоши, изолирующие подставки, дорожки и коврики, так как они уменьшают опасную возможность образо-

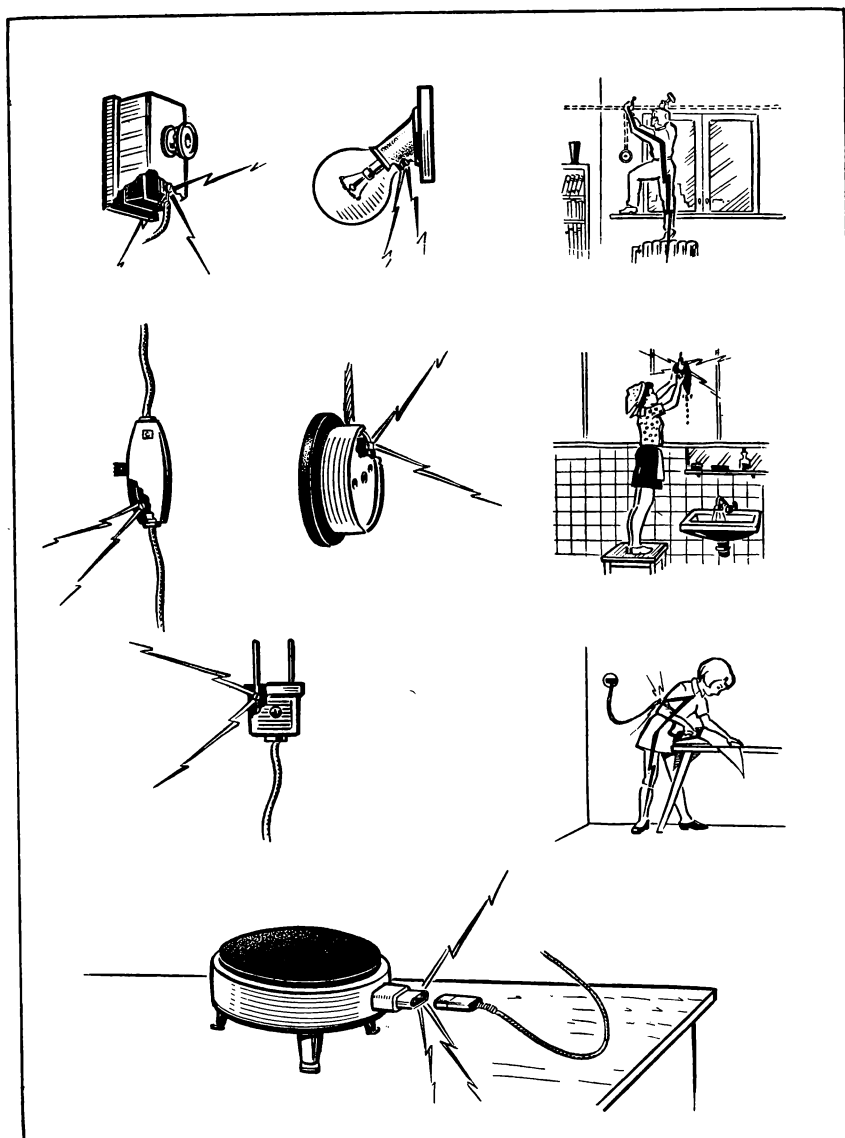
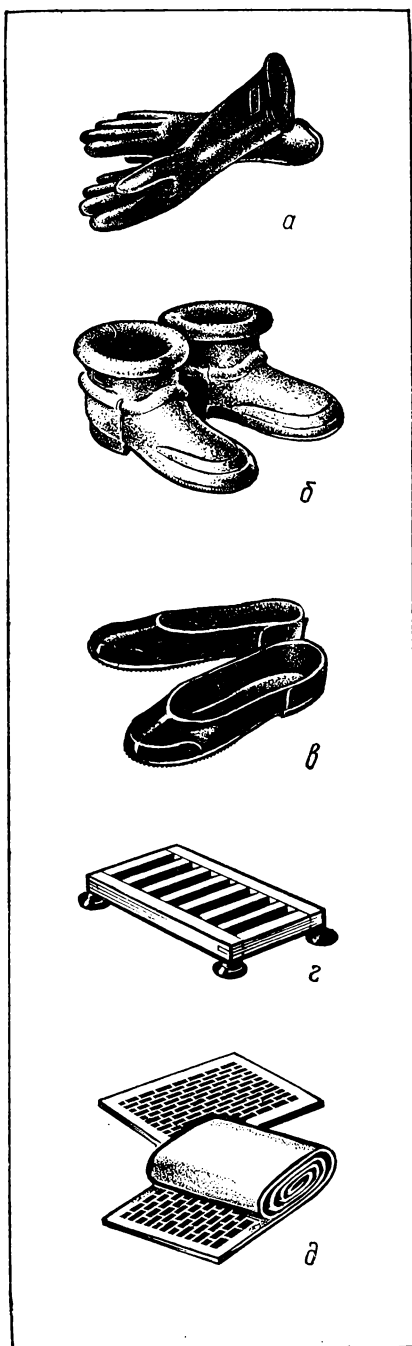


Рис. 4. Некоторые случаи поражения электрическим током в быту.



вания электрического контакта между работающим и токоведущими частями, соединенными с землей (подробнее об этом говорится в § 6). Промышленность выпускает изолирующие чехлы (см. рис. 2) на металлические ручки инструментов, используемые при выполнении электромонтажных работ.

К защитным средствам, применяемым в электроустановках, относят также специальные плакаты (рис. 6). Плакаты вывешивают на дверях и стенах помещений, в которых находятся электроустановки, на электрических щитках и рубильниках, на опорах линии электропередачи и т. д. Указания, имеющиеся на этих плакатах, необходимо строго соблюдать.

С целью исключения возможности поражения электрическим током монтаж и ремонт электроустановок необходимо производить в соответствии с определенными требованиями:

а) все электроустановки должны быть смонтированы так, чтобы их токоведущие части были недоступны для случайного прикосновения — провода и кабели тщательно изолированы, другие токоведущие части закрыты защитными ограждениями в виде кожухов, ящиков, шкафов;

Рис. 5. Некоторые защитные средства, применяемые для предупреждения электротравматизма: а — резиновые перчатки; б — резиновые боты; в — резиновые галоши; г — изолирующая подставка; д — изолирующие дорожка и коврик.



Рис. 6. Плакаты по технике электробезопасности:  
 а — предупреждающие; б — запрещающие; в — разрешающие.

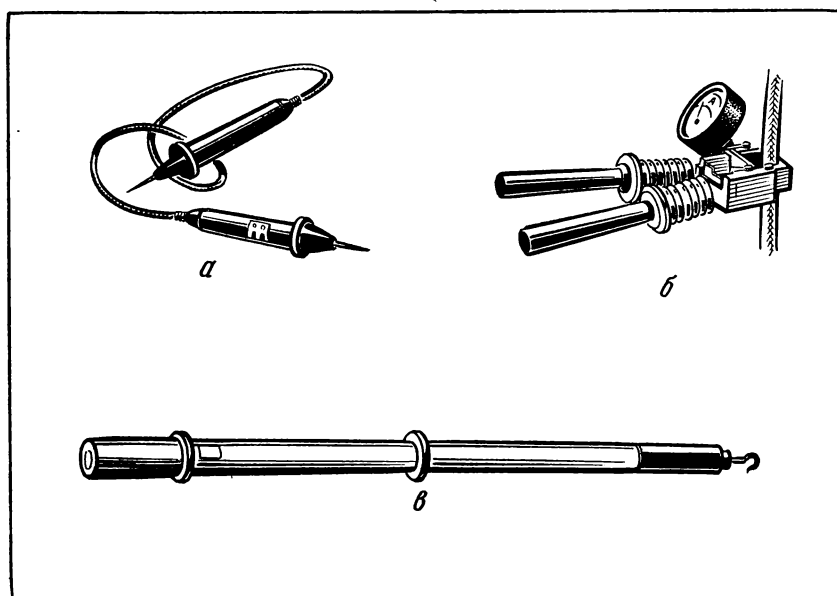


Рис. 7. Устройства для проверки наличия напряжения: а — указатель напряжения, применяемый в электроустановках при напряжении до 1000 В; б — электроизмерительные клещи; в — указатель напряжения, применяемый в линиях электропередачи и распределительных устройствах.



б) металлические части электрооборудования, не предназначенные для прохождения по ним тока, должны быть заземлены, т. е. преднамеренно соединены с землей (см. § 6);

в) не разрешается производить монтаж или ремонт электроустановок, если они находятся под напряжением; нужно перед началом работы с помощью указателя напряжения (рис. 7) или других аналогичных средств убедиться, что напряжение отсутствует.

### **ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ**

Успех при оказании первой помощи пострадавшему от электрического тока, как и при других несчастных случаях, зависит от быстроты и правильности действий окружающих. Промедление или неумение оказывающими помощь выполнить необходимые действия могут повлечь за собой смерть пострадавшего.

При поражении электрическим током пострадавший нередко не может самостоятельно освободиться от действия тока, так как ток вызывает судороги мышц. Чтобы помочь пострадавшему, нужно немедленно отключить электроустановку или соответствующую ее часть (рис. 8). Если же это сделать невозможно (далеко расположен рубильник, доступ к нему оказался опасным), пострадавшего нужно отделить от токоведущих частей следующим образом:

надев резиновые галоши и перчатки или обмотав руку сухой тканью, оторвать человека, попавшего под напряжение, от токоведущих частей;

взявшись за сухие части одежды пострадавшего, оторвать его от токоведущих частей;

встав на сухую доску или подсунув ее под пострадавшего, оторвать его от токоведущих частей.

Меры первой помощи зависят от состояния, в котором находится пострадавший после освобождения его от действия тока.

Один из оказывающих помощь должен немедленно вызвать врача, а другой (лучше с помощью товарищей, если они рядом) также немедленно выполнить следующее: уложить пострадавшего на спину на твердую ровную поверхность и проверить, есть ли у него дыхание и пульс. Если пострадавший находится в сознании, то его надо укрыть теплой одеждой, не давать двигаться и до прихода врача продолжать наблюдать за состоянием дыхания.

В случае бессознательного состояния пострадавшего, но при наличии у него дыхания и пульса нужно уложить пострадавшего в удобном положении, расстегнуть одежду, обеспечить приток свежего воздуха и дать нюхать нашатырный спирт. Все это надо делать до прихода врача.

Если у пострадавшего отсутствуют признаки жизни, то его нельзя считать умершим, так как только врач может безошибочно

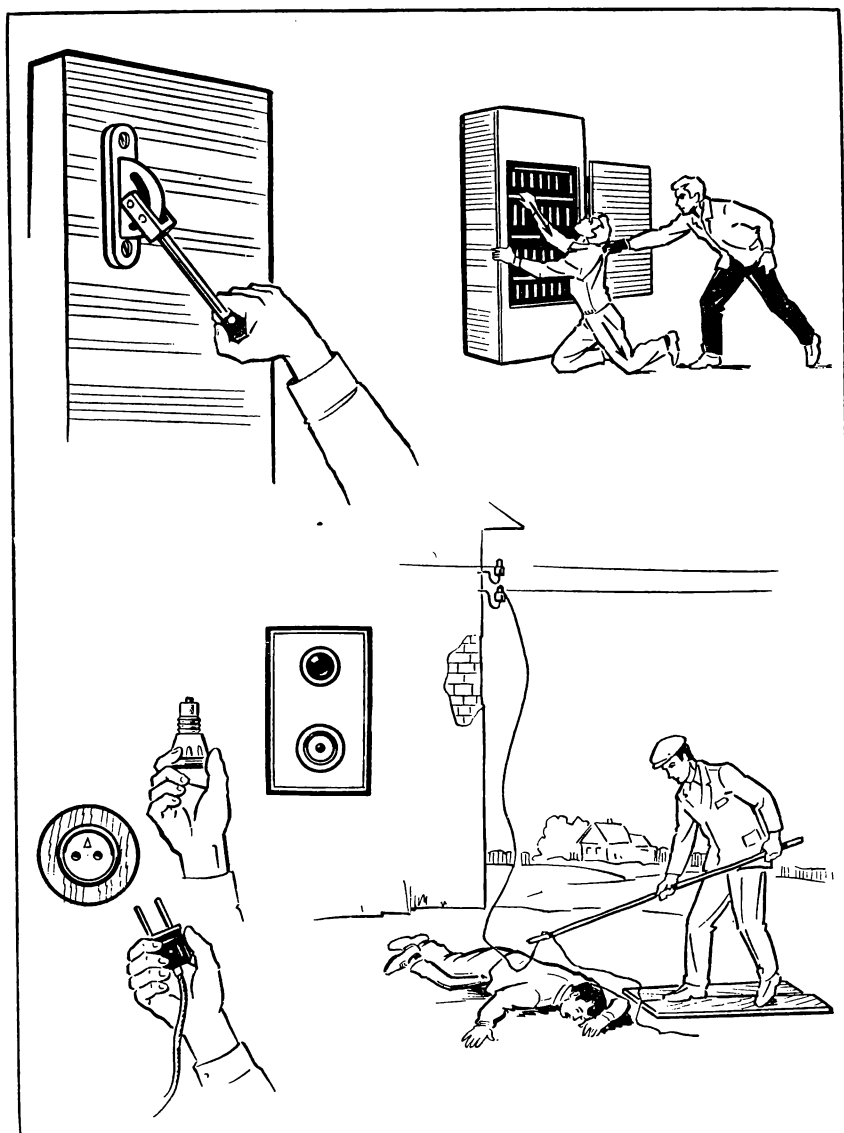


Рис. 8. Некоторые способы освобождения пострадавшего от действия тока.

бочно установить, мертв ли пострадавший или его еще можно спасти. До прихода врача необходимо делать пострадавшему искусственное дыхание и массаж сердца.

О специальных правилах техники безопасности при выполнении отдельных электротехнических работ говорится в соответствующих параграфах пособия.

Во всех случаях, находясь в электротехническом кабинете (лаборатории), на участке или в цехе учебно-производственного комбината, на предприятии, стройке и т. д., строго соблюдайте следующие общие правила техники электробезопасности:

1. Не включайте источники электропитания без разрешения учителя (мастера).

2. Проверьте, отключен ли источник электропитания, и только после этого производите сборку электрических цепей, переключения в них, монтаж и ремонт электрических устройств, замену предохранителей.

3. Проверяйте наличие напряжения на источнике электропитания или других частях электроустановок с помощью указателя напряжения и т. д. (см. рис. 7).

4. Следите, чтобы изоляция проводов была исправна; при сборке электрической цепи провода располагайте аккуратно, а концы их плотно соединяйте с зажимами.

5. Не прикасайтесь к конденсаторам даже после отключения электрической цепи от источников электропитания: их сначала нужно разрядить (с помощью специального разрядника).

6. Обнаружив неисправность в электрических устройствах, находящихся под напряжением, немедленно отключите источник электропитания и сообщите об этом учителю (мастеру).

### **Вопросы и упражнения**

1. По каким причинам может произойти поражение человека электрическим током?

2. Назовите защитные средства, применяемые для предупреждения электротравматизма. Как ими пользоваться?

3. Каким образом и для чего следует проверять наличие напряжения на частях электроустановок?

4. Какая помощь должна быть оказана пострадавшему от электрического тока? Что и как надо сделать, чтобы освободить пострадавшего от действия электрического тока? Как нужно действовать, оказывая первую помощь пострадавшему? Какими способами делают пострадавшему искусственное дыхание и массаж сердца?

5. Перечислите правила техники безопасности при работе в электротехническом кабинете, в цехе, на участке и т. п.

6. Ознакомьтесь с устройством и правилами обращения с указателем напряжения; проверьте наличие напряжения по заданию учителя (мастера) на частях электроустановки.

## **§ 6. ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО**

Металлические части электрических машин, аппаратов, приборов и т. п., не предназначенные для прохождения по ним тока, могут оказаться под напряжением из-за нарушения или

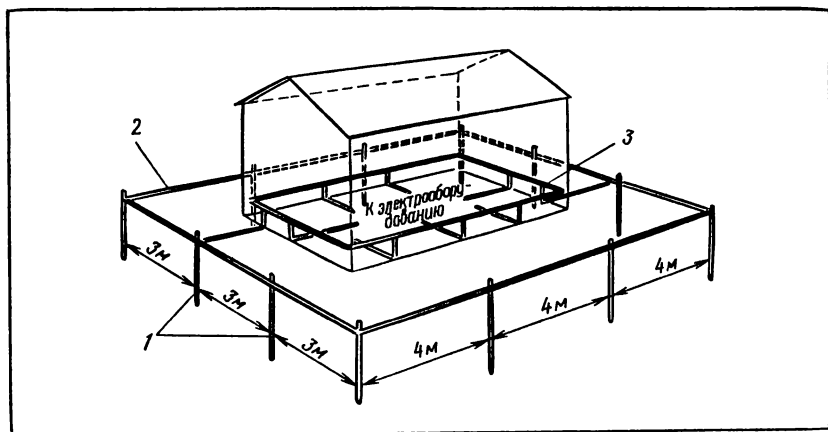


Рис. 9. Схема заземляющего устройства: 1 — вертикальные заземлители; 2 — горизонтальный заземлитель; 3 — заземляющий проводник.

ухудшения изоляции. В случае прикосновения человека к этим частям создается опасность поражения его электрическим током. Чтобы исключить это, выполняют защитное заземление.

*Защитное заземление* — преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

*Заземляющее устройство* (рис. 9) — совокупность заземлителей и заземляющих проводников.

*Заземлитель* — проводник (электрод) или совокупность металлически соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в соприкосновении с землей. Им может быть, например, вертикально забитый отрезок трубы, рельса или горизонтально расположенные металлические полосы, лист, провод (без изоляции).

*Заземляющий проводник* соединяет заземлители с заземляемой частью электроустановки.

Электрическое сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом. В этом случае исключается поражение человека током, даже если он прикоснется к корпусу электродвигателя, электрического щитка и т. п., оказавшемуся под напряжением. Рассмотрим это с помощью рисунка 10.

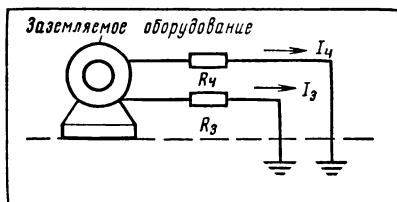


Рис. 10. Схема, поясняющая роль защитного заземления:  $R_4$  — электрическое сопротивление человека;  $R_3$  — сопротивление заземляющего устройства.

земленному электрооборудованию, оказывается соединенным параллельно с заземляющим проводником. Из курса физики известно, что токи в параллельно соединенных проводниках обратно пропорциональны сопротивлениям этих проводников, т. е.  $\frac{I_3}{I_4} = \frac{R_4}{R_3}$ . Согласно нормам  $R_3 \leq 4$  Ом, поэтому  $R_3 \ll R_4$ , следовательно,  $I_4 \ll I_3$ .

«Правилами устройства электроустановок» утверждены требования к минимальным размерам заземлителей и заземляющих проводников (табл. 2 и 3).

Т а б л и ц а 2

**Минимальные размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников**

Место прокладки	Диаметр круглого проводника, мм	Размеры прямоугольного проводника		Толщина полка угловой стали, мм	Толщина стенок трубы, мм
		площадь сечения, мм <sup>2</sup>	толщина, мм		
В зданиях . . .	5	24	3	2	2,5
В земле . . .	10	48	4	4	3,5

Т а б л и ц а 3

**Минимальные площади сечения медных и алюминиевых заземляющих проводников в электроустановках напряжением до 1000 В**

Наименование	Площадь сечения проводника, мм <sup>2</sup>	
	медный	алюминиевый
Голые проводники при открытой прокладке . . .	4	6
Изолированные провода . . . . .	1,5	2,5
Заземляющие жилы кабелей или многожильных проводов в общей защитной оболочке . . . . .	1	1,5

Заземляющее устройство периодически проверяют. Открыто проложенные заземляющие проводники должны быть окрашены в черный цвет. К ним необходимо иметь доступ для осмотра (это не относится к скрыто проложенным проводникам или проводникам, находящимся в земле). Однако ограничиваться осмотром внешнего вида заземляющего устройства нельзя, надо измерить его электрическое сопротивление. С этой целью ис-

пользуют специальный прибор — измеритель сопротивления заземления. Если высокой точности результатов измерения не требуется, то сопротивление заземляющего устройства определяют косвенным методом — с помощью амперметра и вольтметра.

Кроме защитного заземления, с целью защиты людей от поражения электрическим током выполняют зануление. *Зануление* — преднамеренное электрическое соединение металлических нетоковедущих частей электроустановки, которые могут оказаться под напряжением, с глухозаземленной нейтралью трансформатора или генератора (сущность зануления рассматривается в § 45).

#### **Вопросы и упражнения**

1. Для какой цели служит защитное заземление?
2. Можно ли в заземляющем устройстве применить естественные заземлители? Если можно, то назовите их.
3. Чем руководствуются, выбирая заземлители и заземляющие проводники?
4. Предложите схему измерения сопротивления заземляющего устройства с помощью амперметра и вольтметра. По заданию учителя (мастера) проверьте этим методом сопротивление заземляющего устройства и сделайте заключение о его пригодности.

# СТАНДАРТЫ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

### § 7. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТАНДАРТАХ

Слово «стандарт» в широком смысле обозначает образец, эталон, модель, принимаемые за исходные для сопоставления с ними других объектов.

Процесс установления и применения стандартов называют *стандартизацией*. Объекты стандартизации — конкретная продукция, нормы, требования, термины, обозначения и т. п., многократно используемые в науке, технике, промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте, в строительстве, культуре и других сферах народного хозяйства.

Основные задачи стандартизации в СССР и странах социалистического содружества — членах Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ):

- обеспечение оптимального качества продукции и ликвидация нерационального многообразия ее видов, марок и т. п. на основе установления строго определенных требований к продукции, сырью, материалам, полуфабрикатам, комплектующим изделиям;

- развитие специализации, комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, повышение эффективности эксплуатации и ремонта изделия на основе унификации и агрегатирования продукции и повышения уровня ее взаимозаменяемости;

- обеспечение единства и достоверности измерений на основе установления государственных эталонов единиц физических величин, методов и средств их измерений;

- улучшение возможности сбора, обработки и применения различной производственной информации на основе установления унифицированных систем документации, классификации и кодирования информации, а также единых терминов и обозначений в важнейших областях народного хозяйства;

- улучшение охраны труда и окружающей среды на основе установления строго определенных требований к соблюдению техники безопасности, противопожарных мероприятий, производственной гигиены и санитарии, использования природных ресурсов и т. п.;

создание благоприятных условий для развития международных торговых, культурных и научно-технических связей.

В СССР действует *Государственная система стандартизации*: Государственные стандарты (ГОСТ) утверждаются Госстандартом и действуют на всей территории нашей страны;

отраслевые стандарты (ОСТ) утверждаются соответствующим министерством и действуют на всех предприятиях данной отрасли;

республиканские стандарты (РСТ) утверждаются Советом Министров (Госпланом) союзной республики и обязательны для всех предприятий, расположенных на ее территории;

стандарты предприятий и объединений (СТП) утверждаются данным предприятием (объединением) и обязательны только для него.

Наряду со стандартами в СССР действуют технические условия (ТУ) на конкретные типы и марки продукции. В технических условиях указывают требования к продукции, правилам ее приемки и поставки, методам контроля, условиям эксплуатации, транспортирования и хранения. По мере достижения определенного уровня производства продукции технические условия заменяют созданными на их основе стандартами.

Соблюдение всех видов стандартов и технических условий строго обязательно. В соответствии с последними достижениями науки, техники, производства стандарты периодически пересматривают и обновляют.

Современная научно-техническая революция, расширяющиеся международные экономические связи все больше обуславливают необходимость установления *мировых стандартов*. В этом направлении проводится определенная работа. Однако единых для всех стран мировых стандартов не существует. Только странами СЭВ разработаны и приняты нормативно-технические документы по стандартизации производства асинхронных электродвигателей, силовых кабелей, ряда продукции машиностроения. Эту работу продолжают применительно к другим видам продукции, например бытовым электроприборам, телевизорам, металлорежущим станкам и т. д. *Стандарты СЭВ* обязательны для применения всеми предприятиями, организациями и учреждениями во всех отраслях народного хозяйства СССР. Эти меры призваны обеспечить выпуск в странах — членах СЭВ продукции на уровне и выше мировых стандартов.

### Вопросы и упражнения

1. Что такое стандарт? Какие основные задачи стандартизации в СССР и странах — членах СЭВ?
2. Из каких видов стандартов состоит Государственная система стандартизации в СССР?



## § 8. ПОНЯТИЕ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В СССР применяют Единую систему конструкторской документации (ЕСКД), Единую систему технологической документации (ЕСТД), Единую систему технологической подготовки производства (ЕСТПП).

ЕСКД представляет собой комплекс государственных стандартов, устанавливающих правила и положения о разработке, оформлении, комплектации и применении конструкторской документации. К конструкторской документации относятся чертежи, спецификации, схемы, ведомости и др.

Назначение, типы, правила выполнения и чтения различных чертежей вам известны из курса черчения. Выполняя производственные работы, часто пользуются эскизами, рабочими и сборочными чертежами. Вспомните, например, что *эскизами* (набросками) пользуются при конструировании и проектировании оборудования, его ремонте, а нередко непосредственно по эскизу изготавливают деталь. Поэтому эскиз выполняют в соответствии со всеми требованиями стандартов, хотя и делают его от руки и с глазомерным соблюдением масштаба. *Рабочий чертеж* (при его выполнении используют все известные вам изображения: виды, сечения, разрезы) должен давать полное представление о форме и размерах детали, качестве обработки ее поверхностей, материале, из которого деталь нужно изготовить.

Изделие, состоящее из деталей и сборочных единиц, изготавливают (собирают), пользуясь *сборочным чертежом*. На сборочном чертеже изображают полностью изделие и помещают исчерпывающие данные, необходимые для его сборки и контроля.

Непосредственно в электротехнике широко применяют особые чертежи, называемые *электрическими схемами*. Об этом рассказывается в § 9.

При конструировании, изготовлении и эксплуатации промышленных изделий, проектировании, возведении и эксплуатации зданий и сооружений используют различную техническую и технологическую документацию. Она может быть графической и текстовой, например, чертежи, спецификации, ведомости, схемы.

Основное назначение стандартов ЕСТД состоит в установлении в организациях и на предприятиях единых правил оформления и обращения технологических документов.

К технологической документации относятся:

*маршрутная карта* (МК) — описание технологического процесса изготовления или ремонта изделия; в ней указывают все выполняемые операции в определенной последовательности, применяемое оборудование, материалы и т. п.;

*карта эскизов (КЭ)* — графическое ( в виде эскизов) изображение технологии изготовления или ремонта изделия; *комплектовочная карта (КК)* — совокупность данных о материалах, деталях и сборочных единицах;

*технологическая инструкция (ТИ)* — описание приемов работы, методов контроля технологических процессов, правил пользования оборудованием, приборами и т. п.

Кроме указанных выше общих документов, составляют специализированные документы на определенные виды работ. К таким документам относятся *операционные карты и технологические карты*.

К технологической документации общего назначения относятся также различные *ведомости*, в которых приводятся следующие основные данные: маршрут прохождения изделия по цехам предприятия (ведомость расцеховки), перечень приспособлений и инструментов, необходимых для изготовления изделий (ведомость оснастки), подетальная или сводная нормы расхода материалов (подетальная или сводная ведомости материалов).

Виды маршрутных карт зависят от типа производства. На таблице 4 показан пример бланка маршрутной карты для типовых операционных технологических процессов. Основную надпись (см. табл. 4) выполняют по установленной ГОСТ форме. Она содержит следующие сведения: наименование предприятия, разработавшего данный документ; наименование технологического процесса, детали (сборочной единицы), порядковый номер документа и фамилии лиц, подписавших документ.

Примеры операционных карт показаны на таблицах 5 и 6 ( $T_0$  — основное время).

#### **Вопросы и упражнения**

1. В чем состоит основное назначение и содержание стандартов ЕСКД и ЕСТД?
2. Назовите и охарактеризуйте основные виды технологической документации.
3. По заданию учителя (мастера) ознакомьтесь с применяемыми на предприятии (в учебно-производственном комбинате) эскизами, рабочими и сборочными чертежами, маршрутными картами, картами эскизов, технологическими картами, технологическими инструкциями, операционными картами.

## **§ 9. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ**

### **ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ**

*Электрическая схема* — это чертеж, на котором с помощью условных графических и буквенно-цифровых обозначений изображена электроустановка или ее часть.

Кроме электрических, используют кинематические, гидрав-

**Таблица 4**

**Таблица 4**

**Одна из форм операционной карты на выполнение слесарно-сборочных электромонтажных работ (фрагмент)**

[illegible]

Таблица 6

Одна из форм операционной карты на выполнение обмоточно-изолирующих и пропиточно-сушильных работ (фрагмент)

Дополнительные графы		Основная надпись		
Номер операции				
Номер перехода	Содержание перехода	Приспособление (код, наименование)	Инструмент (код, наименование)	Технологический режим
Основная надпись				

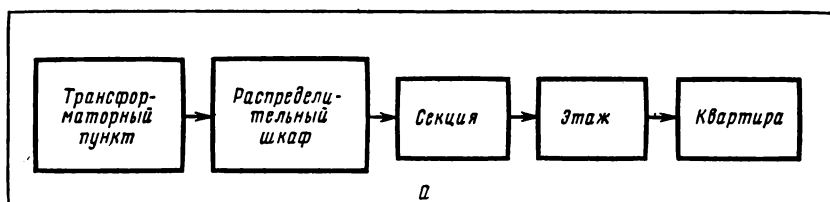
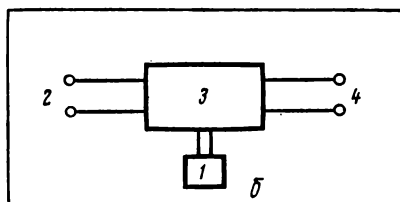


Рис. 11. Структурные схемы: *a* — осветительной электроустановки (показаны одна секция, один этаж и одна квартира); *б* — усилители электрических сигналов: 1 — источник электропитания; 2 — вход; 3 — преобразователь энергии; 4 — выход



лические, пневматические и другие схемы. Составную часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное функциональное назначение, называют **элементом**. Элементом являются, например, резистор, трансформатор и т. п. Совокупность элементов, представляющих собой конструкцию (например, плата, механизм и т. п.), называют **устройством**. Совокупность элементов, выполняющих в изделии определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию, называют **функциональной группой**. Примеры функциональных групп: фильтр в выпрямителях переменного тока, усилитель низкой частоты в радиоприемнике.

Электроустановки состоят обычно из нескольких частей. Чтобы наглядно показать состав и взаимодействие основных частей электроустановки, составляют структурную схему. *Структурная схема* представляет собой упрощенный чертеж, на котором изображены лишь основные функциональные части электроустановки, их назначение и взаимосвязи (рис. 11).

На *принципиальных схемах* показывают электрическую связь и взаимодействие всех элементов электроустановки без указания их территориального расположения (см. рис. 42). Принципиальные схемы дают детальное представление о принципах работы электроустановок и служат для разработки различных конструкторских документов, применяемых при монтаже, ремонте и эксплуатации электроустановок.

На *многoliniейных* принципиальных электросхемах каждый провод обозначают отдельной линией, а на *однoliniейных* — любое количество проводов обозначают одной линией, на которую наносят соответствующее количество штрихов.

*Монтажные схемы* (схемы соединения) представляют собой чертеж, на котором указаны все электрические соединения элементов электроустановки и расположение их относительно конструктивных частей данной установки.

## **ОБЩИЕ ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ**

Электрические схемы выполняют в строгом соответствии с требованиями ГОСТ на условные графические и буквенно-цифровые обозначения, о которых говорится в § 10 и 11. Выполняя каждую конкретную электрическую схему, соблюдают также изложенные ниже общие правила и требования.

На схемах изображают электроустановки, находящиеся в отключенном положении.

Схемы выполняют без соблюдения масштаба, а действительное расположение составных частей электроустановки либо не учитывают вообще, либо учитывают приближенно.

Нужно стремиться к тому, чтобы количество схем, характеризующих электроустановку, было минимальным, но при условии, что они содержат достаточные сведения для проектирования, монтажа, регулировки, эксплуатации и ремонта электроустановки.

На схемах должно быть наименее возможное количество изломов и пересечений линий, а расстояние между соседними параллельными линиями — не менее 3 мм. Расположение условных обозначений на схеме определяется удобством ее чтения.

При изображении на одной и той же схеме цепей, имеющих различное функциональное назначение, допускается различать их толщиной линий. Например, рекомендуемая толщина линий электрической связи — 0,3 — 0,4 мм. Если же нужно сделать толщину линий различных цепей неодинаковой, то ее берут в пределах от 0,2 до 1 мм.

При сборке электротехнических изделий и монтаже некоторых электроустановок используют сборочные чертежи. В случае необходимости делают рабочие чертежи отдельно на механическую сборку и на электромонтаж. На сборочном чертеже изделий, имеющих обмотки, помещают, как правило, схему обмотки. В продольных разрезах якорей (роторов) и статоров электрических машин изображают обычно только верхнюю половину, а в случае необходимости нижнюю половину изображают контуром. Сердечники магнитопроводов на видах показывают как монолитные тела.

### **Вопросы и упражнения**

1. Дайте сравнительную характеристику структурных, принципиальных и монтажных электрических схем.
2. Какие общие требования предъявляют к выполнению электрических схем?
3. По заданию учителя (мастера) начертите принципиальную схему электроустановки. Составьте по этой принципиальной схеме монтажную схему.

## **§ 10. УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ**

Каждый элемент электрической цепи (электроустановки) изображают на схемах с помощью соответствующего условного знака, установленного ГОСТ (табл. 7). Чтобы быстрее и лучше запомнить условные обозначения, на первых порах нужно чаще пользоваться таблицей 7. К этой таблице следует обращаться и в последующие периоды обучения и работы, если не удастся хорошо запомнить условное обозначение того или другого элемента.

### **Упражнения**

1. Рассмотрите таблицу 7. Ряд условных обозначений вы встречали ранее. Проверьте себя, правильно ли вы выполнили их на схемах.
2. Какие новые для вас условные обозначения встретились при рассмотрении таблицы 7? Запомните эти обозначения.
3. Начертите условные обозначения источников тока, предохранителя, контактов выключателей и переключателей. Проверьте правильность выполнения задания, пользуясь таблицей 7.

## **§ 11. БУКВЕННО-ЦИФРОВЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ**

На электрических схемах, а также на всех конструкторских документах, содержащих сведения об электрических схемах, согласно стандарту проставляют буквенно-цифровые обозначения. Условные буквенно-цифровые обозначения предназначены для записи в сокращенной форме сведений об элементах, устройствах и функциональных группах изделия, показанных в текстовой конструкторской документации и в графическом виде. Они служат также для ссылок на них в тексте и нанесения непосредственно на изделие.

Общие правила построения условных буквенно-цифровых обозначений:

следует применять прописные буквы латинского и русского алфавитов и арабские цифры, причем в одном условном обозначении высота букв и цифр должна быть одинаковой:

в условном обозначении, не являющемся составным, нельзя применять одновременно буквы латинского и русского алфавитов;

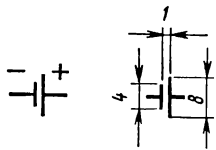
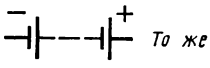
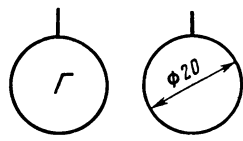
буква З и цифра «три» (3) должны быть изображены графически разными знаками;








знак 0 нужно использовать и воспринимать как цифру «нуль», за исключением случаев, когда этот знак используют в заведомо буквенном сочетании, например: БОП — блок оперативной памяти.



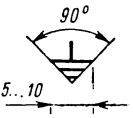

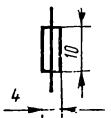

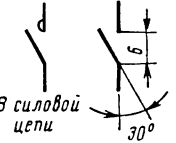


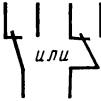
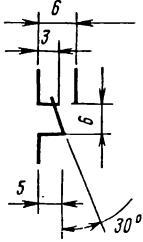
Рассмотрим правила построения условных буквенно-цифровых обозначений отдельных типов.


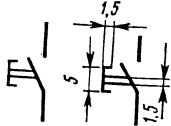

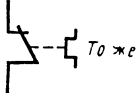
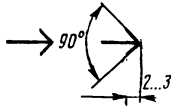
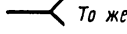
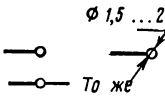

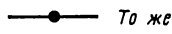
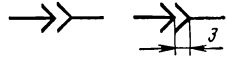


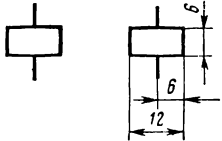
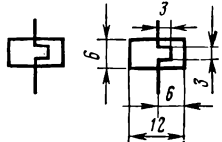
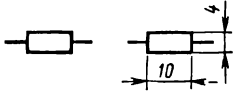

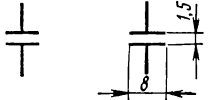


## Обозначения условные графические в электрических схемах


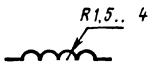



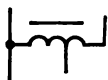

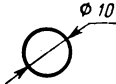

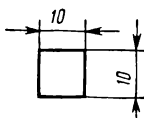
Наименование	Обозначение и размеры
<i>Род тока и напряжения</i>	
Ток постоянный	— <i>Толщина</i> 0,3...0,4 мм
Ток переменный	~ <i>То же</i>
Ток постоянный и переменный	⌒ <i>То же</i>
Полярность:	
отрицательная	— <i>То же</i>
положительная	+ <i>То же</i>
<i>Источники электрического тока</i>	
Элемент гальванический или аккумулятор	
Батарея из гальванических или аккумуляторных элементов	
Генератор электрический (общее обозначение)	

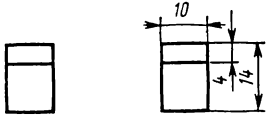
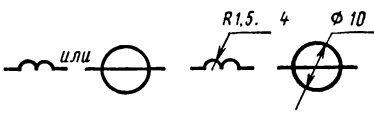
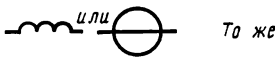
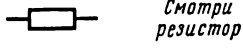
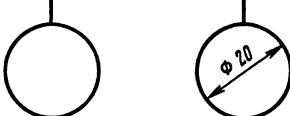
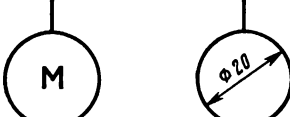


Наименование	Обозначение и размеры
<i>Линии электрической связи</i>	
Линия электрической связи (провод, кабель, шина) (общее обозначение)	 <p style="text-align: right;">Толщина 0,3... 0,4 мм (допускается 0,2... 1 мм)</p>
Линия электрической связи, осуществ- ленной гибким проводом	 <p style="text-align: right;">То же</p>
Пересечение линий электрической свя- зи	 <p style="text-align: right;">То же</p>
Линия электрической связи с от- ветвлением	 <p style="text-align: right;">То же</p>
Излом линии электрической свя- зи	 <p style="text-align: right;">То же</p>
Повреждение изоляции:	
между проводами	 <p style="text-align: right;">То же</p>
на землю	 <p style="text-align: right;">То же</p>


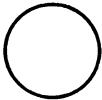
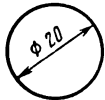

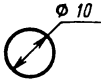

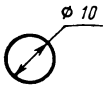

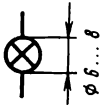



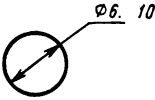
Наименование	Обозначение и размеры
на корпус	
Заземление	 
<i>Коммутационные устройства и контактные соединения</i>	
Предохранитель плавкий (общее обозначение)	 
Контакт коммутационного устройства: замыкающий	 
размыкающий	 
переключающий	 

Наименование	Обозначение и размеры
Выключатель (например, трехполюсный)	 То же
Выключатель кнопочный нажимной: с замыкающим контактом	
с размыкающим контактом	
Контакт электротеплового реле	
Контакт контактного соединения: а) разъемного: штырь	
гнездо	
б) разборного	
в) неразборного	 
Соединение контактное разъемное	

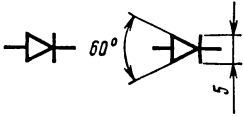
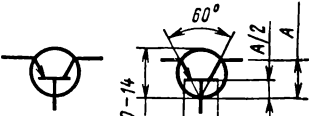
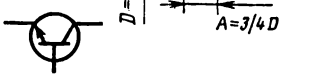

Наименование	Обозначение и размеры
<i>Воспринимающая часть электромеханических устройств</i>	
Катушка электромеханического устройства (например, магнитного пускателя)	
Воспринимающая часть электротеплового реле	
<i>Резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы</i>	
Резистор постоянный	
Резистор переменный (стрелка обозначает подвижный контакт)	 То же
Конденсатор постоянной емкости	
Конденсатор электролитический	 То же
Сердечник (магнитопровод) ферромагнитный	 Толщина 1...1,2 мм

Наименование	Обозначение и размеры
Катушка индуктивности (дроссель):	
без сердечника	 
с ферромагнитным сердечником	 <i>То же</i>
Трансформатор без сердечника	 <i>То же</i>
Трансформатор с ферромагнитным сердечником	 <i>То же</i>
Автотрансформатор однофазный с ферромагнитным сердечником	 <i>То же</i>
<i>Приборы электроизмерительные</i>	
Прибор измерительный:	
показывающий	 
регистрирующий	 

Наименование	Обозначение и размеры
интегрирующий (например, электросчетчик)	
Обмотка токовая измерительного прибора	
Обмотка напряжения измерительного прибора	
Шунт измерительный	
Электрические машины	
Машина электрическая (общее обозначение)	
Двигатель электрический (общее обозначение)	
Обмотка статора (каждой фазы) машины переменного тока, обмотка последовательного возбуждения машины постоянного тока	
Обмотка параллельного возбуждения машины постоянного тока, обмотка независимого возбуждения	

Наименование	Обозначение и размеры
Обмотка добавочных полюсов	 То же
Статор, обмотка статора (общее обозначение)	 
Ротор с короткозамкнутой обмоткой	 
Ротор с обмоткой, коллектором и щетками	 
Осветительные и сигнальные лампы	
Лампа накаливания осветительная и сигнальная	 
Лампа сигнальная (допустимое общее обозначение)	 То же
Лампа газоразрядная осветительная и сигнальная (например, люминесцентная лампа)	 Не нормируется
Пускатель (для люминесцентных ламп)	 



Наименование	Обозначение и размеры
<i>Полупроводниковые приборы</i>	
Диод полупроводниковый	
Триод полупроводниковый (транзистор): типа $p-n-p$	
типа $n-p-n$	
Тиристор	

*Позиционное обозначение* должно состоять, как правило, из трех частей: условное обозначение вида элемента или устройства (табл. 8), порядковый номер элемента или устройства, функциональное назначение элемента или устройства.

Таблица 8

Буквенные обозначения некоторых наиболее распространенных элементов (устройств)

Буквенное обозначение	Вид элемента (устройства)	Примеры элементов (устройств)
A	Устройства (общее обозначение), усилители	Агрегаты электромашинные; усилители ламповые, полупроводниковые, магнитные, электромашинные
C	Конденсаторы	Конденсаторы постоянной емкости, переменной емкости и др.
E	Элементы разные	Элементы, для которых не установлено специальных буквенных обозначений
F	Элементы и устройства защитные	Предохранители, разрядники, реле защитные
G	Генераторы, источники питания	Генераторы постоянного тока, переменного тока и др., преобразователи частоты, источники питания электрохимические, термоэлектрические и т. п.
GB	Батарей	Батарей аккумуляторные

Буквенное обозначение	Вид элемента (устройства)	Примеры элементов (устройств)
Н	Устройства индикационные и сигнальные	Приборы световой сигнализации (лампы сигнальные, индикаторы ионные и полупроводниковые), звуковой сигнализации (звонок, сирена, гудок и т. п.)
К	Реле, контакторы	Реле электромагнитные, искатели электромагнитные, пускатели
Л	Катушки индуктивные	Катушки индуктивные, дроссели
М	Двигатели	Двигатели однофазные, трехфазные, постоянного тока
Р	Приборы и устройства измерительные	Приборы измерительные (показывающие, регистрирующие, интегрирующие)
Р	Резисторы	Резисторы постоянные, переменные, подстроечные
С	Устройства коммутационные	Выключатели, кнопки, переключатели, контроллеры
Т	Трансформаторы	Трансформаторы, автотрансформаторы
У	Приборы электровакуумные, приборы полупроводниковые	Лампы электронные, трубки электронно-лучевые, приборы газоразрядные, диоды полупроводниковые, транзисторы, тиристоры
Х	Соединения разъёмные, монтажные, устройства соединительные	Гнезда, клеммы, зажимы, планки, колодки, разъёмы
У	Устройства механические с электрическим приводом	Электромагнитные муфты, тормоза, электромагниты

Обозначение *функциональной группы* составляют из букв (например, УНЧ — усилитель низкой частоты) или из букв и цифр.

Обозначение *конструктивного расположения* записывают координатным методом (например, 3.21 — ряд 3, колонка 21).

*Электрические контакты* обозначают порядковыми номерами, начиная с единицы: 1, 2, 3 и т. д. или 01, 02, 03 и т. д.

#### Вопросы и упражнения

1. Каково назначение условных буквенно-цифровых обозначений на электрических схемах?
2. Назовите и объясните основные типы условных буквенно-цифровых обозначений.
3. Какие общие правила построения условных буквенно-цифровых обозначений?
4. Рассмотрите таблицу 8. Обратите внимание на условные буквенно-цифровые обозначения, встречающиеся вам впервые. Проверьте себя, не ошибались ли вы ранее при обозначении знакомых вам элементов.
5. На выполненных вами условных графических обозначениях (см. упражнение 3 в § 10) проставьте условные буквенно-цифровые обозначения.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

## § 12. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

От качества электротехнических материалов, правильного их выбора и применения зависят надежность и экономичность работы электрических машин, аппаратов, приборов и электроустановок в целом. Работающим по электротехническим профессиям нужно знать о назначении, свойствах различных современных электротехнических материалов, о зависимости этих свойств от действия электрических и магнитных полей.

Электротехнические материалы классифицируют прежде всего по способности проводить электрический ток. По этому признаку различают проводниковые, электроизоляционные и полупроводниковые материалы.

Из курса физики известно, что способность материала проводить электрический ток характеризуется удельным электрическим сопротивлением (или просто удельным сопротивлением). *Проводниковые материалы* (проводники) имеют небольшое удельное сопротивление (порядка  $10^{-6}—10^{-8}$  Ом·м) и поэтому являются хорошими проводниками электрического тока. Их применяют в качестве токоведущих частей электроустановок.

*Электроизоляционные материалы* (часто их называют *диэлектриками*) обладают большим удельным сопротивлением (порядка  $10^8—10^{13}$  Ом·м) и поэтому практически не проводят электрический ток. Их применяют для изолирования токоведущих частей электроустановок.

Удельное электрическое сопротивление *полупроводниковых материалов* (полупроводников) по сравнению с проводниками и диэлектриками изменяется в очень большом интервале — от  $10^{-5}$  до  $10^8$  Ом·м. Поэтому полупроводники обладают рядом особых электрических свойств, которые будут рассмотрены в § 18. Полупроводниковые приборы широко используют в выпрямителях переменного тока, усилителях электрических сигналов, радиоэлектронных устройствах и многих других областях.

Определенную группу составляют магнитные материалы. *Магнитные материалы* обладают свойством изменять магнитное поле, в которое их помещают. Они находят применение для изготовления магнитопроводов, являющихся важной частью в устройстве трансформаторов, электрических машин, электро-

измерительных приборов; их используют для изготовления постоянных магнитов, а также других деталей, применяемых в автоматике, телефонной связи, радиоэлектронике.

Конструктивные элементы электроустановок изготовляют из *конструкционных электротехнических материалов*, к которым относятся многие проводниковые и электроизоляционные материалы. Например, из стали изготавливают корпуса электрических машин, щиты, конструкции, на которые крепят токоведущие части; из пластмассы — корпуса электроизмерительных приборов, щитки, рукоятки рубильников; из керамики — основания реостатов и электронагревательных приборов.

Для изготовления и монтажа электроустановок применяют также клеи, эмали, лаки, припои и подобные им материалы. Их принято называть *вспомогательными электротехническими материалами*.

### Вопросы

1. Для чего необходимо знать свойства различных электротехнических материалов?

2. По каким основным признакам классифицируют электротехнические материалы?

3. Приведите примеры проводниковых, электроизоляционных, полупроводниковых и магнитных материалов и укажите область их применения в электротехнике, радиоэлектронике, автоматике.

## § 13. СВОЙСТВА ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В данном пособии рассмотрены свойства твердых проводниковых материалов.

К твердым проводниковым материалам относятся металлы и сплавы из них. Из курса физики известно, что носителями электрических зарядов в металлах являются свободные электроны. Они при отсутствии внешнего электрического поля движутся беспорядочно. Под действием же электрического поля свободные электроны в проводнике движутся в одном определенном направлении, образуя электрический ток. Большой плотностью свободных электронов объясняется свойство металлов хорошо проводить электрический ток. Химически чистые металлы имеют малое удельное сопротивление. Сплавы по сравнению с чистыми металлами, как правило, обладают большим удельным сопротивлением.

Из курса физики известно, что сопротивление металлов увеличивается с повышением температуры. Это необходимо учитывать, производя расчеты с целью выбора проводниковых материалов, так как они нагреваются при прохождении по ним электрического тока. Температурный коэффициент сопротивления чистых металлов составляет в среднем  $4 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . При понижении температуры удельное сопротивление отдельных проводников уменьшается, например: при температуре жидкого

водорода ( $20^{\circ}\text{K}$ ) удельное сопротивление алюминия равно  $0,05\text{ нОм}\cdot\text{м}^1$ , т. е. в 524 раза меньше, чем при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  ( $293^{\circ}\text{K}$ ). У многих проводников, кроме меди, серебра, золота и некоторых других металлов, при охлаждении до определенной критической температуры, близкой к абсолютному нулю, электрическое сопротивление скачкообразно падает до нуля. Это свойство проводников называется **сверхпроводимостью**. Явление сверхпроводимости в настоящее время находит широкое практическое применение, например при сооружении мощных электромагнитов, кабелей, трансформаторов, электрических машин. Однако пока это связано с большими материальными затратами, так как поддержание низких температур при работе электрооборудования и электроустановок обходится слишком дорого.

Применяя в электроустановках проводниковые материалы, учитывают не только их удельное сопротивление и температурный коэффициент сопротивления, но обращают внимание также на плотность применяемых материалов, температуру их плавления, механические и химические свойства.

Проводниковые материалы различают по механическим свойствам: твердость, прочность при изгибании, растяжении и т. п. Эти свойства учитывают при проектировании и конструировании электроустановок.

При выборе и применении проводниковых материалов учитывают их химические свойства. Если, например, проводники требуется применять в условиях повышенной влажности, то в некоторых случаях их защищают антикоррозионными покрытиями или даже помещают в герметические оболочки. Выбирая проводники, важно учитывать их свойство соединяться путем сварки и пайки.

### Вопросы

1. Как изменяется сопротивление проводниковых материалов в зависимости от температуры?

2. Совокупность каких свойств проводниковых материалов необходимо учитывать при выборе их для изготовления электрических машин, аппаратов, приборов и других электротехнических изделий?

## § 14. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Основные характеристики проводниковых материалов, часто применяемых для изготовления токоведущих частей электроустановок общего назначения, приведены в таблице 9. Этой таблицей нужно пользоваться по мере необходимости при изучении многих параграфов данного пособия, а главным образом

---

<sup>1</sup>  $1\text{ нОм (наноом)} = 10^{-9}\text{ Ом}$ .

Таблица 9

## Характеристика основных свойств проводниковых материалов

Наименование материала	Удельное электрическое сопротивление, $\times 10^{-8}$ Ом · м	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура плавления, °С	Изделия, для изготовления которых применяется материал
Алюминий	2,6	2700	660	Провода, кабели, контактные зажимы, корпуса электромашин, детали приборов
Медь	1,72—1,75	8960	1084,5	Провода, кабели, контактные зажимы
Сталь проводниковая	10—14	7700—7900	1400—1530	Провода, конструктивные части электроустановок
Бронза	2—5	8500—8900	885—1050	Провода для контактных линий, скользящие и штепсельные контакты, пружины электроизмерительных приборов
Латунь	3,1—7,9	8500—9700	900—960	Контактные зажимы, контактные ножи рубильников, колпачки радиоламп
Свинец	21	11 350	327	Припой, аккумуляторные пластины, оболочки кабелей, плавкие предохранители
Олово	12	7290	232	Припой, фольга для конденсаторов
Цинк	5,9	7140	419,6	Антикоррозионные покрытия, припой, электроды гальванических элементов, металлизированная бумага для конденсаторов
Манганин	48	8500	1000	Эталоны и магазины сопротивления, шунты и добавочные резисторы, терморезисторы
Константан	48—52	8900	1275	Реостаты, терморезисторы
Нихром	100—110	8100—8400	1400	Нагревательные элементы промышленных электронагревательных приборов
Фехраль	120—130	6900—7500	1450	Нагревательные элементы бытовых и промышленных электронагревательных приборов, реостаты

при выполнении различных расчетов, связанных с выполнением практических работ. Выбирая материалы, необходимо помнить об экономии материалов, прежде всего цветных металлов, хотя их производство в стране и увеличивается.

*Алюминий* получают путем электролиза. Алюминий обладает хорошей теплопроводностью и небольшой плотностью, хорошо прокатывается в тонкие листы, что используют при изготовлении фольги, но у него сравнительно невысока прочность на разрыв и излом. На воздухе алюминий быстро окисляется, покрываясь тонким слоем оксида  $Al_2O_3$ , который хорошо предохраняет его от дальнейшего окисления. Из-за пленки оксида затруднено образование электрических контактов, поэтому перед соединением алюминиевых проводников их необходимо тщательно очищать от пленки, при плохом соединении происходит разрушение проводников. Пайка алюминия обычными способами затруднена, так как температура плавления оксида алюминия высока (порядка  $2000^\circ C$ ), поэтому применяют специальные припои (см. § 23) или ультразвуковые паяльники. Алюминиевые проводники предпочтительнее соединять сваркой. Различают неотожженный алюминий — твердый (марка АТ) и отожженный — мягкий (марка АМ).

Для электротехнических целей *медь* получают путем электролиза. В зависимости от технологии производства различают неотожженную медь — твердую (марка МТ) и отожженную — мягкую (марка ММ). В электротехнических устройствах медь все чаще заменяют алюминием как менее дорогим и дефицитным материалом.

*Сталь* является не только проводниковым, но и магнитным материалом. В качестве магнитного материала применяют специальную электротехническую сталь, об особых свойствах которой говорится в § 22.

*Бронза* — сплав меди, олова, кремния и алюминия с добавлением кадмия (кадмиевая бронза) или фосфора (фосфористая бронза). Кадмиевая (около 1% кадмия) бронза устойчива на износ трением; фосфористая (около 0,13% фосфора) — обладает повышенной твердостью и упругостью.

*Латунь* — сплав меди и цинка; обладает высокой механической прочностью, плавится при сравнительно высокой температуре, хорошо поддается штамповке, пайке, сварке; устойчива против коррозии.

Проводниковые материалы с большим удельным электрическим сопротивлением — *манганин, константан, нихром, фехраль* и т. п. — характеризуются также и высокой механической прочностью. Одни из них (см. таблицу 9) применяют преимущественно для изготовления деталей точных электроизмерительных приборов и образцовых сопротивлений, так как обладают свойством сохранять постоянным сопротивление при изменении температуры и продолжительном времени эксплуа-

тации; другие — для резисторов (реостатов), так как имеют небольшой температурный коэффициент сопротивления, выдерживают высокую температуру и сравнительно дешевы, что важно для производства из них массовой продукции; третьи — для электронагревательных приборов и нагрузочных реостатов, так как являются жаростойкими и сравнительно дешевыми материалами. В последние годы вместо константана применяют более дешевый материал нейзильбер (сплав меди с 5—35% никеля и 13—45% цинка), обладающий аналогичными свойствами.

Из неметаллических проводниковых материалов широко применяют *электротехнический уголь*. Его получают из образований углерода: сажи, графита, каменного угля. Измельченную угольную массу смешивают с каменноугольной смолой и обжигают при высокой температуре.

Из электротехнического угля изготавливают стержни, которые применяют в качестве электродов в прожекторах, электрических печах и сварочных аппаратах.

Электротехнический уголь используют также и в виде порошка, например, при изготовлении микрофонов, а также щеток, широко применяемых в устройстве электрических машин.

Графитные щетки (марки ГЗ, 611М, 6110М) делают из графита. Они рассчитаны на номинальную плотность тока 20 А/см<sup>2</sup>, при работе вызывают незначительный шум.

Угольно-графитные щетки (марки Г20, Г21, Г22) изготавливают из графита с добавлением кокса, сажи и связующих веществ и после термической обработки покрывают тонким слоем меди. Они рассчитаны на номинальную плотность тока от 10 до 22 А/см<sup>2</sup>, обладают повышенной механической прочностью, твердостью и большой износоустойчивостью.

Электрографитированные щетки (марки ЭГ2А, ЭГ2АФ и др.) делают так же, как и угольно-графитные щетки, но после первой термической обработки подвергают графитизации, т. е. отжигу при температуре 2500—2800 °С. Они рассчитаны на номинальную плотность тока 20 А/см<sup>2</sup>, обладают повышенной механической прочностью. Эти щетки в отличие от угольных и угольно-графитных применяют в электрических машинах, работающих при больших частотах вращения и толчкообразных изменениях нагрузки, например в тяговых электродвигателях.

В электрических машинах низкого напряжения применяют металлографитные щетки (марки М1, МГ2, МГС5, и др.).

### Вопросы и упражнения

1 Рассмотрите материалы: алюминий, медь, сталь. Укажите отличительные внешние признаки каждого из них. Сравните достоинства и недостатки меди и алюминия как проводниковых материалов.



2. Чем отличается латунь от бронзы по внешним признакам, свойствам и области их применения?

3. Какие проводниковые материалы выбирают для изготовления контактов? зажимов? плавких вставок электрических предохранителей?

4. Чем руководствуются при выборе проводниковых материалов для изготовления точных электроизмерительных приборов, эталонных сопротивлений, резисторов (реостатов), электронагревательных приборов, нагрузочных реостатов? Какие материалы лучше выбрать для этих целей?

5. Как изменится удельное электрическое сопротивление при нагревании медного проводника от 20 до 120 °С; то же — для алюминиевого, константанового проводников?

6. Каково будет удельное электрическое сопротивление алюминиевого проводника, если его поместить в среду жидкого водорода? Каковы преимущества и недостатки применения алюминия в качестве проводникового материала в нормальных атмосферных условиях и в среде жидкого водорода?

7. Какие инструменты применяют для механической обработки проводниковых материалов: меди, алюминия, латуни, стали, бронзы, цинка?

8. Выясните, каким образом производят медь, алюминий и другие проводниковые материалы.

## **§ 15. СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

### **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

В отличие от проводников электропроводность электроизоляционных материалов, как известно из курса физики, обусловлена движением не электронов, а ионов под действием электрического поля.

Электроизоляционные материалы обладают очень малой электропроводностью. Ток, обусловленный этой электропроводностью, называют током утечки. Он может идти как по поверхности диэлектрика, так и через весь его объем. В соответствии с этим различают два вида тока утечки: поверхностный и объемный токи утечки. Аналогично различают и два вида электрического сопротивления диэлектриков: удельное поверхностное сопротивление ( $\rho_{\text{пов}}$ , или  $\rho_s$ ) и удельное объемное сопротивление ( $\rho$ ,  $\rho_{\text{об}}$ , или  $\rho_v$ ).

Токи утечки являются причиной нагревания диэлектрика и рассеяния энергии в окружающую среду, что обуславливает потери энергии в диэлектрике; их принято называть мощностью диэлектрических потерь. При технических расчетах рассеянием энергии в окружающую среду, вызванным поверхностным током утечки, обычно пренебрегают, так как оно существенно не влияет на работу электрических машин, аппаратов и т. д. Поэтому основной характеристикой диэлектрика служит удельное объемное электрическое сопротивление.

*Удельное объемное электрическое сопротивление вещества равно сопротивлению, которое оказывает куб (с ребром в единицу длины), сделанный из этого вещества, току, проходя-*

шему через две противоположные грани перпендикулярно к ним. Электроизоляционные материалы обладают большим удельным объемным электрическим сопротивлением: газообразные — от  $10^{14}$  до  $10^{16}$  Ом·м, жидкие — от  $10^{10}$  до  $10^{13}$  Ом·м, твердые — от  $10^{16}$  до  $10^{18}$  Ом·м.

Под действием высокого электрического напряжения, приложенного к электроизоляционному материалу определенной толщины, в нем может установиться большой ток. Это явление называют электрическим пробоем.

*Электрическая прочность* — это величина, равная напряжению, при котором может быть пробит электроизоляционный материал толщиной в единицу длины. Электрическую прочность определяют опытным путем. В лаборатории на специальной установке (схема показана на рисунке 12) измеряют напряжение, при котором пробивается образец электроизоляционного материала определенной толщины, а затем вычисляют электрическую прочность по формуле:

$$E_{\text{пр}} = \frac{U}{h},$$

где  $E_{\text{пр}}$  — электрическая прочность, кВ/мм;

$U$  — напряжение, кВ;

$h$  — толщина образца электроизоляционного материала, мм.

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Физико-химические свойства диэлектриков характеризуются изменением их состояния при нагревании или охлаждении, а также под действием влаги, химически активных веществ, механических нагрузок и т. п.

Чрезвычайное нагревание электроизоляционного материала может вызвать нежелательные, а порой аварийные последствия в работе электроустановок, например короткое замыкание, пожар, поражение людей электрическим током. Поэтому к диэлектрикам предъявляются высокие требования по их нагревостойкости. *Нагревостойкость* — это способность диэлектрика длительно выдерживать заданную рабочую температуру без заметного изменения своих электроизоляционных качеств. По нагревостойкости различают семь классов электроизоляционных материалов, эксплуатирующихся при температурах 90, 105, 120, 130, 155, 180, более  $180^{\circ}\text{C}$ . Ряд материалов (слюда, кера-

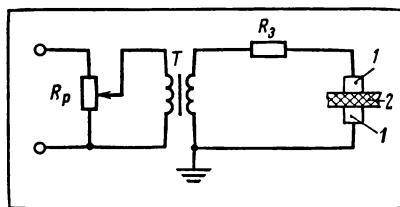


Рис. 12. Схема установки для определения электрической прочности диэлектриков:  $R_p$  — регулирующее устройство;  $T$  — повышающий трансформатор;  $R_3$  — защитный резистор; 1 — электроды, 2 — испытываемый образец диэлектрика.

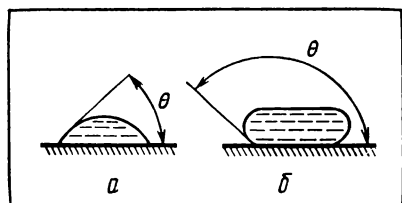


Рис. 13. Определение смачиваемости диэлектрика: *а* — капля жидкости на смачиваемой поверхности; *б* — капля жидкости на несмачиваемой поверхности;  $\theta$  — краевой угол смачивания.

мические материалы, асбест и т. п.) благодаря своему строению обладают большой нагревостойкостью. Волокнистые материалы — из целлюлозы, хлопка, шелка и т. п. — с целью повышения нагревостойкости пропитывают специальными веществами.

При нагревании некоторые диэлектрики могут расплавиться (парафин, слюда), размягчиться (смолы, битумы) или

даже загореться (при определенных температурах происходит вспышка паров электроизоляционных жидкостей — трансформаторное, кабельное масло, синтетические электроизоляционные жидкости).

Охлаждение диэлектриков приводит к потере эластичности, появлению трещин и т. п. Поэтому каждый материал характеризуется холодостойкостью. *Холодостойкость* — это способность диэлектрика сохранять свои основные свойства при охлаждении. Например, у твердого диэлектрика за холодостойкость принимают такую температуру (ниже  $0^{\circ}\text{C}$ ), при которой начинается механическое разрушение его.

Многие электроустановки работают на открытом воздухе, вследствие чего электроизоляционные материалы подвергаются действию влаги. Да и в закрытых электроустановках в зависимости от окружающей среды, особенностей технологического процесса электрооборудование также подвергается действию влаги. Проникновение воды внутрь диэлектрика ухудшает прежде всего его электроизоляционные свойства, так как вода является проводником электрического тока. Способность диэлектрика поглощать влагу из окружающей среды характеризуется *влагопоглощаемостью*. Влагопоглощаемость определяют опытным путем: образец диэлектрика выдерживают в дистиллированной воде в течение 24 ч при температуре обычно  $20^{\circ}\text{C}$ ; есть и другие способы определения влагопоглощаемости.

Твердые диэлектрики характеризуют также *смачиваемостью* их поверхности водой, так как наличие воды уменьшает удельное поверхностное электрическое сопротивление диэлектрика. О смачиваемости судят по краевому углу смачивания (рис. 13). Чем больше угол смачивания, тем меньше смачиваемость диэлектрика и лучше его электроизоляционные свойства.

Электроизоляционные материалы, предназначенные для работы в химически активной (агрессивной) среде, должны противостоять действию кислот, щелочей. Эти свойства определяют примерно так же, как влагопоглощаемость.

Многие электроизоляционные материалы, кроме своего прямого назначения, используются также для защиты металлических проводников от коррозии.

В настоящее время в связи с бурным развитием космической техники и атомной энергетики все более высокие требования предъявляют к радиационной стойкости диэлектриков.

Жидкие диэлектрики характеризуют также *вязкостью*. Вязкость определяют временем истечения жидкости из сосуда, имеющего строго определенную форму и отверстие.

При изготовлении электрических машин, аппаратов и другого электрооборудования, монтаже или ремонте электроустановок часто приходится обрабатывать электроизоляционные материалы механическими способами — резанием, сверлением, шлифованием и т. п. Поэтому важно знать механические свойства диэлектриков — предел прочности, твердость и т. п. Не менее важно знать свойства диэлектриков растворяться в лаках и растворителях, склеиваться. Последнее особенно часто встречается в связи с внедрением новых, прогрессивных способов выполнения электромонтажных работ, сборки электрических машин и аппаратов.

### Вопросы и упражнения

1. Сравните физическую сущность электропроводности проводниковых и электроизоляционных материалов.

2. Почему во время работы электроустановки нагреваются диэлектрики, входящие в ее состав?

3. Какими общими для всех материалов свойствами характеризуются диэлектрики?

4. Какими отличительными свойствами характеризуются электроизоляционные материалы?

5. Какими механическими способами обрабатывают электроизоляционные материалы? Предложите технологию обработки электроизоляционного материала (по выбору).

6. Определите опытным путем влагопоглощаемость диэлектрика (по выбору), предварительно составив план выполнения опыта и используя лабораторное оборудование: весы с разновесом, ванночку с водой и т. п.

Указание: расчет влагопоглощаемости можно произвести по формуле:

$$x = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100\%,$$

где  $m$  — масса сухого образца диэлектрика (до погружения его в воду, кг);  $m_1$  — масса образца диэлектрика после погружения его в воду, кг.

7. Определите вязкость трансформаторного (или кабельного, конденсаторного) масла, предварительно составив план опыта и пользуясь лабораторным оборудованием: штатив, бюретка, секундомер и т. п.

8. Рассчитайте электрическую прочность конденсаторной бумаги, если при испытании ее образец толщиной 0,015 мм оказался пробитым при напряжении 180 В.

9. Нанесите на поверхности трех-четырех различных диэлектриков по капле воды; зарисуйте форму капли; определите краевой угол смачивания; сделайте вывод относительно свойств испытуемых диэлектриков.

## § 16. ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗООБРАЗНЫХ И ЖИДКИХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Наиболее распространенным газообразным диэлектриком является воздух, он используется в подавляющем числе электрических машин и аппаратов (они находятся в воздушной среде, и поэтому воздух в дополнение к твердым или жидким электроизоляционным материалам выполняет роль диэлектрика). Воздух изолирует друг от друга и провода воздушных линий электропередач. Однако электрическая прочность воздуха сравнительно мала, поэтому в качестве диэлектриков в электроустановках используют многие другие газообразные вещества.

Т а б л и ц а 10

Характеристика газообразных диэлектриков

Наименование материала	Состав материала	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Электрическая прочность, кВ/мм
Воздух	Смесь газов	1,293	3
Азот	N <sub>2</sub>	1,251	3
Водород	H <sub>2</sub>	0,0898	1,8
Элегаз (фторид серы VI)	SF <sub>6</sub>	6,48	7,2
Фреон (дихлордифторметан)	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0,543	7,8

Из жидких диэлектриков (табл. 11) в электроустановках применяют главным образом две группы: минеральные (нефтяные) электроизоляционные масла и синтетические электроизоляционные жидкости, а также касторовое масло.

Нефтяные электроизоляционные масла получают путем фракционной вакуумной перегонки нефти. При температуре 300—400 °С частично выкипают вредные примеси нефти: насыщенные углеводороды, сернистые соединения, смолисто-битумные вещества, органические кислоты. Наличие этих примесей в электроизоляционном масле ухудшает его электроизоляционные свойства. После перегонки масло очищают, применяя кислоты (удаление нестойких примесей), щелочи (нейтрализация имеющейся в масле серной кислоты), воду (удаление продуктов нейтрализации кислоты), а также сушат.

В зависимости от степени очистки масла различают трансформаторное, конденсаторное и кабельное масла; два последних лучше очищены от примесей, чем трансформаторное масло.

Характеристика некоторых электроизоляционных жидкостей

Наименование материала	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура вспышки паров, °С	Удельное объемное сопротивление, Ом·м	Электрическая прочность, кВ/мм
Трансформаторное масло . . . . .	880	135	$10^{16}—10^{17}$	18
Кабельное масло . . . . .	900	135	$10^{16}—10^{17}$	18—20
Конденсаторное масло . . . . .	920	135	$10^{16}—10^{17}$	20
Совол (хлорированный дифенил)	1560	200	$10^{16}$	18
Совтол-2 (смесь совола с трихлорбензолом) . . . . .	1520	200	$10^{15}—10^{16}$	20

Нефтяные масла обладают особым свойством — старением; со временем вследствие окисления под воздействием воздуха, некоторых металлов (особенно меди, латуни), электрического поля ухудшаются электроизоляционные свойства масла. Для замедления процесса окисления масла в него добавляют присадки — ингибиторы. Свойства состаренного масла восстанавливают путем регенерации, что дает большой экономический эффект.

Из синтетических жидких диэлектриков наиболее широко применяют совол и совтол.

При работе с ними нужно соблюдать повышенную осторожность, так как эти жидкости токсичны.

#### Вопросы и упражнения

1. Выясните, в каких случаях на производстве, кроме электротехнических целей, применяют воздух, азот, водород.
2. В чем заключается технологический процесс получения трансформаторного, кабельного, конденсаторного масла?
3. Объясните сущность понятия «старение материала».

## § 17. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В таблице 12 дана классификация, приведены некоторые важные свойства наиболее распространенных диэлектриков и указаны преимущественные области их применения. Этими данными нужно руководствоваться, выбирая требующиеся материалы, определяя способ их обработки и наилучшие условия применения.

Характеристика некоторых твердых электроизоляционных материалов

Наименование	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельное объемное сопротивле- ние, Ом·м	Электри- ческая прочность, кВ/мм	Некоторые физико-механи- ческие и химические свойства	Основная область приме- нения в электротехнике
<i>Пропиточные и заливочные материалы</i>					
Канифоль	1070—1085	$10^{12}—10^{18}$	15	Легкое, хрупкое, неокис- ляющееся вещество, раз- мягчается при температуре 52—70 °С, при температуре 150 °С растворяет оксид меди	В качестве флюса при пайке меди, пропитка бу- мажной изоляции
Парафин	850—930	$10^{14}—10^{16}$	20—30	Размягчается при тем- пературе около 60 °С	Заливка, пропитка элект- ротехнических изделий
Эпоксидная смола	1100—1250	$10^{15}—10^{17}$	16—20	Обладает высокой нагре- востойкостью	Пропитка обмоток, за- ливка муфт кабелей
Бакелитовая смола (лак)	1100—1300	$10^{12}—10^{14}$	10—40	Высокая стойкость про- тив действия влаги, кис- лот, щелочей	Пропитка обмоток, произ- водство слоньих пластинок
<i>Волокнистые материалы</i>					
Древесина су- хая — береза, дуб и др.	Зависит от по- роды древесины и степени сушки	$2 \cdot 10^6—8 \cdot 10^8$	22—50	Небольшая плотность, высокая влагопоглощае- мость, горючесть	Изготовление панелей, каркасов, опорных и кре- пежных деталей аппара- туры

Электроизоляционная бумага	700—1100	$10^{15}—10^{16}$	5—10	Небольшая плотность, горячесть, невысокая механическая прочность	Изготовление конденсаторов, кабелей, производств слоистых пластинок, оклейка деталей электроаппаратуры
Электроизоляционный картон	950—1250	$10^{11}$	8—30	Легко поддается механической обработке	Изготовление каркасов катушек, прокладок.
Фибра	1100—1300	$10^{10}$	3—7	Высокая механическая прочность; в пламени электрической дуги выделяет дугогасящие газы	Изготовление дугогасящих камер, патронов трубчатых предохранителей
Асбест	2300—2600	$10^{10}—10^{14}$	1,5—3	Высокая жаростойкость, плавится при температуре 1150 °С	Электро- и теплоизоляция; изготовление асбокартона и асбоцемента
Лакоткани	900—1200	$10^{10}—10^{13}$	12—60	Хлопчатобумажные, шелковые, капроновые, стеклянные материалы, пропитанные лаком и обладающие большой гибкостью	Гибкая изоляция и прокладки в электрических машинах и аппаратах

*Слоистые пластики*

Гетинакс	1280—1450	$10^{12}—10^{15}$	12—30	Высокая механическая прочность, морозостойкость, жаростойкость	Аппарато- и приборостроение (напряжение до 1000 В)
Текстолит	1300—1400	$10^{11}—10^{14}$	5—16	То же	То же
Стеклотекстолит	1600—1900	$10^{12}—10^{16}$	10—32	Более высокие электрические и механические качества, чем у текстолита	То же



Наименование	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельное объемное сопротив- ление, Ом · м	Электриче- ская проч- ность, кВ/мм	Некоторые физико-механи- ческие и химические свойства	Основная область приме- нения в электротехнике
<i>Полимерные материалы</i>					
Полистирол	1050—1100	10 <sup>17</sup> —10 <sup>19</sup>	25—30	Прозрачный термопла- стичный материал	Изготовление каркасов катушек и т. п.
Полиэтилен	920—960	10 <sup>17</sup> —10 <sup>19</sup>	40—42	Обладает гибкостью и стойкостью к действию воды и растворителей	Гибкая изоляция прово- дов и кабелей, каркасы, катушки, изоляционные пла- сты
Полиметилмета- крилат (органиче- ское стекло)	1190	10 <sup>14</sup> —10 <sup>15</sup>	15—18	Прозрачный термопла- стичный материал	Изготовление электронизо- ляционных и конструкцион- ных деталей
Поливинилхлорид- ный пластикат	1300—1400	10 <sup>15</sup> —10 <sup>16</sup>	15—20	Негорючий, термопластич- ный, химически стой- кий материал, обладающий повышенной гибкостью	Гибкая изоляция прово- дов, кабелей, изготовление изоляционных трубок, лент и т. п.
<i>Минеральные твердые диэлектрики</i>					
Слюда	2800—2900	10 <sup>17</sup>	140—180	Высокая гибкость, слабая влагопоглощаемость, высо- кая нагревостойкость	Изоляция электромашин, изготовление конденсато- ров, миканита
Электрофарфор	2300—2500	10 <sup>14</sup> —10 <sup>16</sup>	12—28	Высокая механическая прочность, нагревостой- кость	Изготовление роликов, изоляторов, резисторов, конденсаторов и т. п.
Миканит коллек- торный	Зависит от спо- соба производства и марки	10 <sup>14</sup> —10 <sup>16</sup>	18—22	Твердый листовый мате- риал, изготовленный из ли- стоцков слюды (склеенных)	Изоляционные прокладки в коллекторах электриче- ских машин

Рассмотрим для примера кратко технологию производства некоторых твердых электроизоляционных материалов.

*Фибру* изготавливают следующим образом: тонкую электротехническую бумагу пропитывают теплым раствором хлорида цинка, под воздействием которого она набухает и частично растворяется; полученную массу прессуют, а затем промывают и сушат.

Пластмассовые электроизоляционные материалы служат для изготовления фенопласта, слоистых пластиков и других изделий. Так, для получения гетинакса прочную и нагревостойкую бумагу (наполнитель), пропитанную фенол- или крезол-формальдегидной смолой (связующее вещество), пластификатором (уменьшающим хрупкость) и красителем, нарезают листами, укладывают в пакет и помещают между стальными плитами пресса. В плитах имеются каналы, через которые пропускают горячий пар. При нагревании смола размягчается и заполняет поры между волокнами и листами бумаги. При сжатии и после остывания смола как бы цементирует листы бумаги в единое целое.

Подобным же образом изготавливают и текстолит, но наполнителем в нем служит хлопчатобумажное волокно. Используя в качестве наполнителя асбестовое или стеклянное волокно, можно получить соответственно асботекстолит или стеклотекстолит.

Для изолирования токоведущих частей часто применяют электроизоляционные ленты (табл. 13).

Таблица 13

Основные характеристики электроизоляционных лент, применяемых в электроустановках низкого напряжения

Наименование ленты	Толщина, мм	Ширина, мм	Электрическая прочность, кВ/мм	Способ изготовления	Область применения
Поливинилхлоридная	0,2 0,3 0,4 0,45	15 20 30 50	5—6	Ленту из поливинилхлоридного пластика покрывают с одной стороны липким составом и наматывают в рулон (круг)	Изоляция соединений проводников
Прорезиненная	0,25— 0,35	10; 15; 20; 25; 30; 40; 50	3—5	Миткалевую ленту пропитывают липкой резиновой пастой и наматывают в рулоны (круги)	Изоляция соединений проводников
Лавсановая	0,235	60— 100	22—25	Прозрачную ленту из лавсана наматывают на каркас в форме катушки	Изоляция токоведущих частей электроустановок

### Вопросы и упражнения

1. По каким признакам классифицируют электроизоляционные материалы?
2. Чем руководствуются при выборе электроизоляционных материалов?
3. Определите, пользуясь таблицей 12, какие электроизоляционные материалы имеют наибольшую, а какие наименьшую электрическую прочность. У каких материалов самое большое удельное объемное сопротивление, у каких наименьшее?
4. Выясните, какие электроизоляционные материалы легко поддаются механической обработке, а какие обрабатывать труднее. Какие инструменты нужно применять для механической обработки твердых диэлектриков?
5. Как влияет пропитка волокнистых диэлектриков на их электрическую прочность? Почему?
6. Какие электроизоляционные материалы применяют для гашения электрической дуги в электрических аппаратах? Объясните сущность этого явления.
7. Какие электроизоляционные материалы получают в перспективе наибольшее применение?

## § 18. СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

### ПРОВОДИМОСТЬ ЧИСТЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Многие из окружающих нас веществ являются полупроводниками. В периодической таблице элементов Д. И. Менделеева представлена целая группа элементов, обладающих полупроводниковыми свойствами. К таким элементам относятся германий, кремний, селен, теллур и др. Полупроводниками являются и различные минералы, а также оксиды, теллуриды и сульфиды многих металлов.

Электрический ток в полупроводниках (так же, как и в металлах — проводниках) обусловлен упорядоченным движением в них электронов проводимости (их нередко называют свободными электронами). Однако если в металлах всегда есть электроны проводимости и концентрация их велика, то в химически чистых полупроводниках таких электронов в миллионы раз меньше, а при абсолютном нуле температуры они отсутствуют. Например, в атоме германия на внешней оболочке находится четыре валентных электрона, а остальные 28 электронов размещаются на внутренних оболочках атома и прочно удерживаются его ядром. В кристалле германия электронные оболочки соседних атомов значительно перекрываются, поэтому довольно часто атомы обмениваются валентными электронами, оставаясь электрически нейтральными, так как связаны друг с другом ковалентной связью. Таким образом, в кристалле химически чистого германия при низкой температуре нет электронов проводимости.

Однако ковалентные связи у полупроводников могут легко разрываться, если сообщить валентным электронам энергию извне, например, если нагреть полупроводник. Тогда даже при сравнительно низкой температуре в полупроводниках образу-

ются электроны проводимости. Ими становятся валентные электроны, разорвавшие при нагревании связи со своими атомами. Такие электроны могут свободно перемещаться в кристаллической решетке полупроводника. Если теперь к полупроводнику приложить электрическое напряжение, то в нем установится электрический ток. Проводимость химически чистых полупроводников, обусловленная упорядоченным движением в них электронов проводимости, называют собственной *электронной проводимостью* или *n-проводимостью*.

Валентный электрон, ставший электроном проводимости в кристаллической решетке полупроводника, освободил свое место в атоме. Следовательно, теперь данный атом имеет избыточный положительный заряд. Освободившееся в атоме место принято называть дыркой. Дырку может занять электрон соседнего атома, создавая одновременно новую дырку. Ее, в свою очередь, занимает электрон другого атома. Таким образом, процесс выхода валентных электронов из атомов сопровождается процессами образования дырок в атомах и замещения их валентными электронами соседних атомов. Под действием электрического поля, приложенного к полупроводнику, валентные электроны, заполняющие дырки, движутся упорядоченно, т. е. создают электрический ток. В этом случае можно говорить о том, что носителями заряда как будто служат дырки; они движутся относительно электронов в противоположном направлении. Проводимость химически чистого полупроводника, обусловленную направленным замещением дырок электронами проводимости, принято называть собственной *дырочной проводимостью* или *p-проводимостью*.

### **ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

Атомы или ионы других химических элементов, внедренные в кристаллическую решетку чистого полупроводника, называют примесями. Примеси значительно увеличивают проводимость полупроводника, причем в одних случаях в большей мере увеличивается *n-проводимость*, а в других случаях — *p-проводимость*.

Пусть, например, в кристаллическую решетку германия (четыревалентный элемент) в качестве примеси внедрен фосфор (пятивалентный элемент). Тогда четыре из пяти валентных электронов атома фосфора и четыре валентных электрона соседних атомов германия участвуют в образовании ковалентной связи, а пятый валентный электрон атома фосфора становится электроном проводимости. Благодаря этому концентрация электронов проводимости в кристаллической решетке германия увеличивается. Если теперь к кристаллу германия с примесью фосфора приложить электрическое напряжение, то в нем создастся

электрический ток. Этот ток обусловлен упорядоченным движением не только электронов проводимости германия, но и электронов проводимости фосфора. Полупроводники, в которых преобладает электронная проводимость, называют *электронными полупроводниками* или *n-полупроводниками*. Электронные полупроводники образуются в том случае, если валентность чистого полупроводникового элемента меньше валентности химического элемента, внедряемого в качестве примеси. Например, *n*-полупроводник можно получить, вводя в кристалл германия фосфор, мышьяк или сурьму.

Проводимость германия увеличится и вследствие того, что в его кристаллическую решетку будет введен химический элемент с меньшей валентностью, например индий (трехвалентный элемент). В этом случае преобладающей станет дырочная проводимость. Дело в том, что три валентных электрона атома индия и три из четырех валентных электронов атомов германия обусловят образование ковалентной связи; четвертый валентный электрон атома германия станет электроном проводимости, вследствие чего образуется дырка. Из-за наличия примеси в кристалле германия электронов проводимости не станет больше, но количество дырок увеличится. Полупроводники, в которых вследствие введения примесей преобладает дырочная проводимость, называют *дырочными полупроводниками* или *p-полупроводниками*.

Таким образом, в зависимости от сочетания чистого полупроводникового элемента и внедренных в него примесей различают полупроводники, имеющие преимущественно электронную или дырочную проводимость.

### ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЙ ПЕРЕХОД

Если *n*-полупроводник соединить непосредственно с *p*-полупроводником (рис. 14, а), то в месте контакта (границы) этих полупроводников образуется *электронно-дырочный переход* или *n — p-переход*. Это объясняется тем, что электроны из *n*-полупроводника переходят в *p*-полупроводник, вследствие чего в *n*-полупроводнике вблизи его границы с *p*-полупроводником уменьшается количество электронов и образуется область с положительным зарядом. Дырки в свою очередь тоже перемещаются, что еще более усиливает избыточность положительного заряда в пограничной области *n*-полупроводника. Таким образом на границе двух полупроводников, обладающих разной проводимостью, создается разность потенциалов, которая препятствует дальнейшему переходу электронов и перемещению дырок. Поэтому пограничный слой называют *запирающим слоем* (см. рис. 14, а).

Под действием внешнего электрического поля сопротивление запирающего слоя существенно изменяется. Например: пусть положительный полюс источника тока соединен с *p*-полупро-

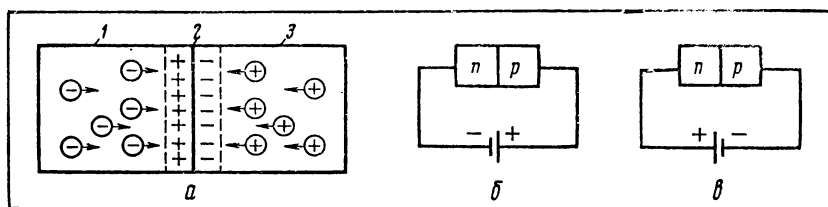


Рис. 14. Схемы, поясняющие образование и роль электронно-дырочного перехода: 1 —  $n$ -полупроводник; 2 — граница между полупроводниками электронной и дырочной проводимости; 3 —  $p$ -полупроводник.

водником, а отрицательный полюс — с  $n$ -полупроводником (рис. 14, б); тогда под действием электрического поля, создаваемого этим источником тока, носители зарядов — электроны и дырки — будут переходить через запирающий слой, не встречая заметного сопротивления; образующийся в результате этого электрический ток называют *прямым током*; сила тока при этом может быть значительной. Если же, наоборот, положительный полюс источника тока соединить с  $n$ -полупроводником, а отрицательный полюс — с  $p$ -полупроводником (рис. 14, в), то сопротивление запирающего слоя прохождению через него тока будет очень большим; в этом случае говорят, что электронно-дырочный переход заперт; однако в реальных полупроводниках всегда имеется небольшое количество электронов проводимости, которые и в рассматриваемом случае создадут электрический ток; этот ток называют *обратным током*, сила этого тока незначительна.

Из изложенного выше нетрудно уяснить, что полупроводник с электронно-дырочным переходом обладает в е н т и л ь н ы м с в о й с т в о м: ток через  $n$  —  $p$ -переход может проходить только в одном направлении. На данном явлении основано применение полупроводников для выпрямления переменного тока.

#### Вопросы

1. Объясните сущность понятий: «электронная проводимость», «дырочная проводимость».
2. Вследствие чего при соединении между собой полупроводников, обладающих разной проводимостью, образуется запирающий слой (электронно-дырочный переход)?
3. На каком явлении основано применение полупроводников для изготовления выпрямителей переменного тока?

## § 19. ВИДЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Применяемые в различных отраслях производства и техники полупроводниковые материалы можно условно разбить на ряд групп:

кристаллы — кремний, германий, селен и др.;  
оксиды металлов — оксиды меди, цинка, кадмия, титана, молибдена, вольфрама, никеля и др.;  
сульфиды — химические соединения, для получения которых используют серу;  
селениды — химические соединения, в состав которых входит селен;  
соединения алюминия, галлия, индия с фосфором, сурьмой, мышьяком и др.;  
некоторые органические материалы (полимеры).

В электротехнике несколько десятилетий назад начали применять *меднозакисные* (купроксные) и *селеновые* полупроводниковые материалы для изготовления выпрямителей переменного тока. В дальнейшем широкое применение нашли *германиевые* и *кремниевые вентили*. Особенно перспективно применение полупроводниковых материалов на кремниевой основе: высоковольтные выпрямители для современных линий электропередач постоянного тока, неуправляемые и управляемые вентили в преобразовательной технике, интегральные схемы, широко используемые в радиоэлектронной промышленности для изготовления миниатюрных диодов, транзисторов, резисторов, конденсаторов.

В электротехнике, радиоэлектронике, связи все шире применяют нелинейные резисторы, называемые *варисторами*. Электрическое сопротивление варисторов не остается постоянным, а изменяется в зависимости от приложенного к ним напряжения. Вследствие этого ток, проходящий по ним, с увеличением напряжения растет нелинейно. Например, в линиях электропередачи по ряду причин может значительно повыситься напряжение по сравнению с номинальным напряжением (это явление называют перенапряжением), что вызовет тем самым выход из строя аппаратуры управления и перерыв в электроснабжении потребителей. Избежать отрицательных последствий перенапряжений позволяют разрядники, сделанные из нелинейных резисторов, которые устанавливают в линиях электропередачи. Нелинейные резисторы используют также для изготовления стабилизаторов напряжения, регулирования частоты вращения электродвигателей и в ряде областей техники, связанных с применением тока высокой частоты.

Из полупроводниковых материалов — оксидов меди, марганца, железа, цинка, кобальта изготавливают *терморезисторы* (термисторы). Главная особенность термисторов заключается в том, что они обладают большим по модулю отрицательным температурным коэффициентом сопротивления. Их широко применяют в различных устройствах радиоэлектроники и автоматики.

Сульфиды, селениды, теллуриды используют для изготовления *фоторезисторов* и *фотоэлементов*, так как их сопротивление в значительной мере зависит от освещенности. Для изго-

товления фоторезисторов в настоящее время используют также германий и кремний. Кремний применяют для создания солнечных батарей — соединенных между собой фотоэлементов, преобразующих энергию солнечного света в электрическую. Солнечные батареи находят широкое применение в космонавтике.

### Вопросы

1. Какие материалы применяют в качестве полупроводников?
2. Применение каких полупроводниковых материалов и где наиболее перспективно?
3. Как можно избежать опасных последствий перенапряжения в линиях электропередач?
4. Какова роль полупроводниковых материалов для развития радиоэлектроники, автоматики, космонавтики и других отраслей производства и областей техники?

## § 20. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

### КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

В § 18 были рассмотрены явления движения электронов в полупроводнике. Подробнее их можно изучить, пользуясь учебниками по физике и электронике, в которых рассматриваются также явления движения электронов в вакууме и газе. На этих явлениях основано устройство и действие электронных ламп, применяемых в радиотехнике и радиоэлектронике, газоразрядных источников света и многих других аналогичных приборов, относящихся к электронным приборам. *Электронные приборы* предназначены для преобразования электромагнитной энергии одного вида в электромагнитную энергию другого вида, осуществляемого посредством взаимодействия электронов (движущихся в вакууме, газе или полупроводнике) с электромагнитными полями. К электронным приборам относятся **э л е к т р о в а к у у м н ы е п р и б о р ы** (электронные лампы, электроннолучевые трубки и т. д.) и **п о л у п р о в о д н и к о в ы е п р и б о р ы**. В данном параграфе рассмотрены только некоторые полупроводниковые приборы.

Действие полупроводниковых приборов основано на электронных процессах в полупроводниках. Эти приборы в энергетике служат для преобразования одних видов энергии в другие, а в электронике — для преобразования различных сигналов.

Полупроводниковые приборы классифицируют по назначению, принципу действия, виду материалов, из которых они изготовлены, по конструкции, технологии, области применения. К основным классам полупроводниковых приборов относятся:

электропреобразовательные приборы — полупроводниковые диоды, транзисторы, тиристоры. Они преобразуют одни электрические величины в другие;

оптоэлектронные приборы — фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры, полупроводниковые лазеры и др.



Они преобразуют световые сигналы в электрические и наоборот; термоэлектрические приборы — термоэлементы, термоэлектрические генераторы, солнечные батареи, термисторы и т. п. Они преобразуют внутреннюю энергию в электрическую и наоборот.

В данном пособии кратко рассмотрены устройство, действие и область применения только некоторых, широко применяемых в электротехнике полупроводниковых приборов — полупроводниковых диодов, транзисторов и тиристоров.

### ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

**Полупроводниковый диод** — прибор, состоящий из двух полупроводниковых кристаллов, имеющих разную проводимость, и образующегося между ними электронно-дырочного перехода (толщина  $\approx 10^{-7}$  м). Механизм действия полупроводникового диода рассмотрен в § 18 (см. рис. 14). Промышленность выпускает полупроводниковые диоды различного исполнения, но можно говорить о двух видах диодов: плоскостных и точечных.

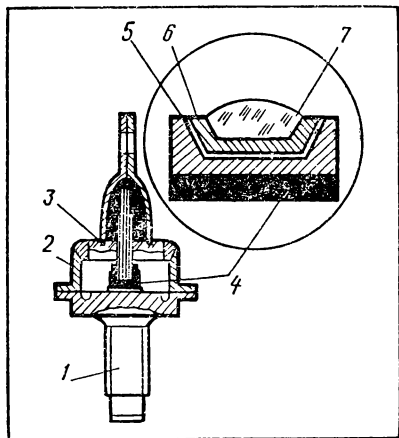


Рис. 15. Устройство плоскостного полупроводникового диода: 1 — болт крепления; 2 — корпус; 3 — изолятор; 4 — кристалл германия (кремния); 5 — электронно-дырочный переход; 6 — зона  $p$ -проводимости; 7 — вплавленный кристалл индия.

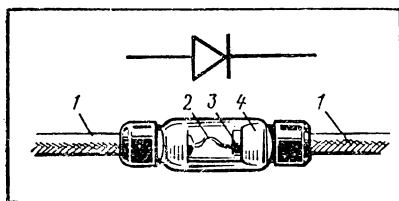


Рис. 16. Устройство точечного полупроводникового диода: 1 — выводы; 2 — вольфрамовая игла; 3 — кристалл германия (кремния); 4 — стеклянный баллон.

В плоскостных диодах (рис. 15), получаемых сплавным или диффузионным методом, в германиевый или кремниевый кристалл вплавлен индий. Эти диоды при больших приложенных к ним напряжениях могут пропускать в одном направлении сравнительно большие токи, а потому они находят широкое применение в выпрямителях переменного тока.

В точечных диодах (рис. 16), получаемых методом вплавления тонкой металлической проволоки в базу диода, полупроводниковый кристалл (германий, кремний) соприкасается с металлической контактной иглой. Эти диоды применяют в радиовещательной и телевизионной приемной аппаратуре и в некоторых измерительных приборах.

Тип полупроводникового диода обозначают следующим образом: первая буква или цифра указывает материал, из которого сделан диод (Г или 1 — германий, К или 2 — кремний, А или 3 — арсенид галлия); вторая буква обозначает тип диода (Д — выпрямительный, универсальный, импульсный, А — сверхвысокочастотный, Н — неуправляемый, У — управляемый); число, стоящее за второй буквой, характеризует электрические свойства диода.

Подробные данные об обозначении полупроводниковых диодов, их типах и параметрах можно найти в справочнике по полупроводниковым приборам.

## ТРАНЗИСТОРЫ

Транзистор (рис. 17) состоит из трех полупроводниковых кристаллов, два из которых обладают одинаковой проводимостью, а находящийся между ними третий кристалл с противоположной проводимостью. Таким образом, в транзисторе есть два электронно-дырочных перехода.

В транзисторах (рис. 18) различают три части: эмиттер, коллектор и базу (основание).

Если собрать цепь по схеме, изображенной на рисунке 19, то можно убедиться в том, что транзистор усиливает электрические сигналы. Рассмотрим это.

Пусть в цепь (см. рис. 19) пока не включен источник переменной ЭДС. Так как эмиттер соединен с положительным полюсом источника тока, а коллектор — с отрицательным, то на границах эмиттер — база и база — коллектор дырки не встречают заметного сопротивления, и поэтому сила тока коллектора примерно равна силе тока эмиттера (сила тока кол-

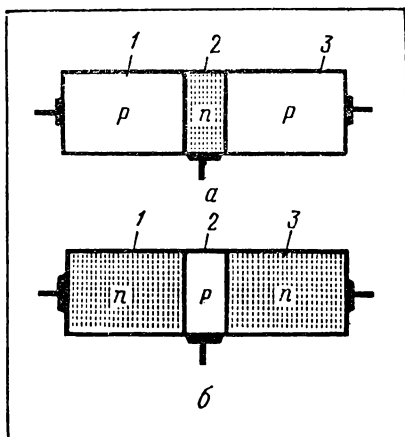


Рис. 17 Схематическое изображение устройства транзисторов: а — типа  $p-n-p$ ; б — типа  $n-p-n$ ; 1 — эмиттер; 2 — база; 3 — коллектор.

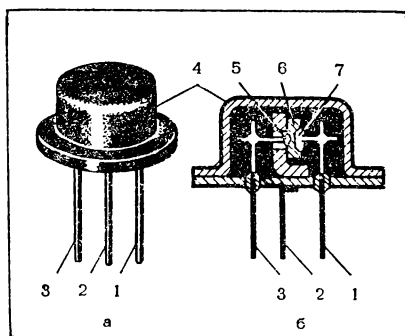


Рис. 18. Транзистор типа  $p-n-p$ : а — внешний вид; б — схема внутреннего устройства; 1 — вывод коллектора; 2 — вывод базы; 3 — вывод эмиттера; 4 — корпус; 5 — эмиттер; 6 — база, 7 — коллектор.

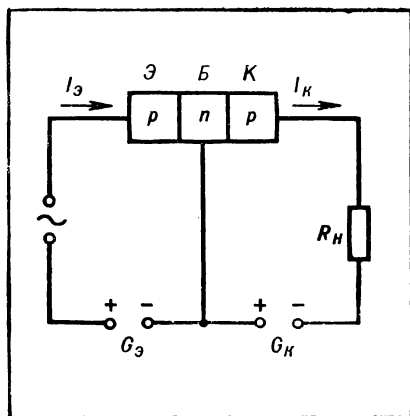


Рис. 19. Простейшая схема транзисторного усилителя электрических сигналов.

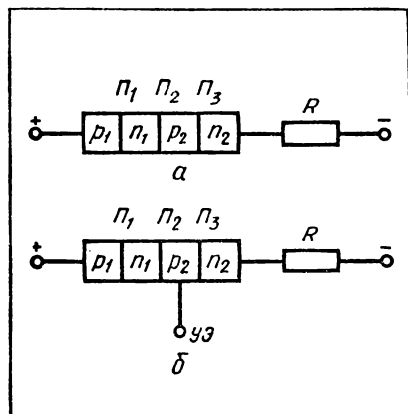


Рис. 20. Схемы, поясняющие устройство и действие тиристора: а — схема тиристора (динистора) без управляющего электрода; б — схема тиристора (тринистора) с управляющим электродом; УЭ — управляющий электрод.

четырёхслойный кристалл  $p_1 - n_1 - p_2 - n_2$  соединить с источником тока небольшого напряжения (несколько вольт), как показано на рисунке 20, а, то в электронно-дырочных переходах  $\Pi_1$  и  $\Pi_3$  установится прямой ток, а переход  $\Pi_2$  будет заперт (см. рис. 14). По мере увеличения напряжения, приложенного к тиристорному проводнику его сначала незначительно увеличивается. Однако при определенном напряжении (порядка десятков или сотен вольт) тиристор скачкообразно переходит в состояние с большой проводимостью (включается) и в нем устанавливается ток, определяемый напряжением источника тока и сопротивлением внеш-

лектора несколько меньше вследствие рекомбинации электронов и дырок). Если же в цепь эмиттера дополнительно включить источник переменной ЭДС (входной сигнал), то ток эмиттера, а следовательно, и ток коллектора изменятся пропорционально изменению этой ЭДС. При этом сопротивление резистора  $R_n$ , включенного в цепь коллектора, можно выбрать большим (несколько десятков тысяч омов), и тогда напряжение на резисторе, сохраняя форму входного сигнала, будет иметь значительную амплитуду, т. е. входной сигнал усилится. Именно поэтому транзисторы применяют для усиления электрических сигналов.

Подробные данные о транзисторах можно найти в учебниках, а также справочниках по полупроводниковым приборам.

## ТИРИСТОРЫ

Тиристором называют электропреобразовательный полупроводниковый прибор с тремя электронно-дырочными переходами, обладающий вентиляльным свойством.

Принцип работы тиристора состоит в следующем. Если

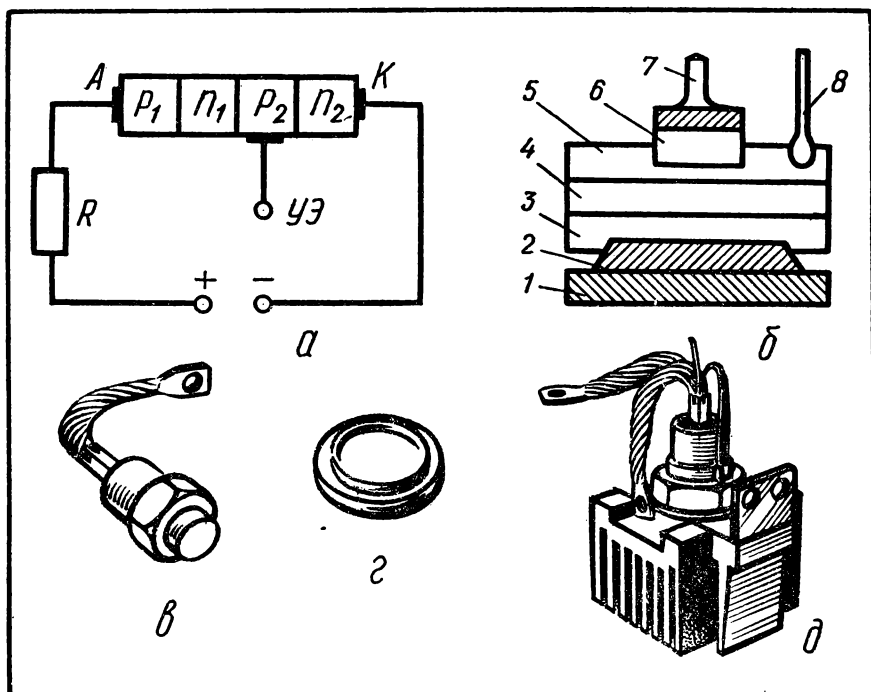


Рис. 21. Устройство тиристора: *а* — схематическое изображение тиристора; *б* — схема одной из конструкций тиристора; *в* — внешний вид штыревого тиристора в металлическом корпусе; *г* — внешний вид таблеточного тиристора в керамическом корпусе; *д* — внешний вид штыревого тиристора в металлокерамическом корпусе в сборе с охладителем; *А* — анод; *К* — катод; *УЭ* — управляющий электрод; *1* — металлический вывод катода; *2* — кристаллодержатель; *3* — область  $p_2$ ; *4* — область  $p_2$ ; *5* — область  $n_1$ ; *6* — область  $p_1$ ; *7* — вывод анода; *8* — вывод управляющего электрода.

ней цепи (явления, происходящие при этом в тиристоре, связаны с процессами движения электронов и дырок через переходы  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$ . Из-за относительной сложности объяснения этого явления в данном пособии оно не рассматривается). Напряжение, при котором происходит скачкообразное переключение тиристора из состояния с малой проводимостью в состояние с большой проводимостью, называют **напряжением переключения**.

Аналогичный эффект можно получить, если к слою  $p_2$  тиристора (рис. 20, б) присоединить **управляющий электрод**, по которому пропустить ток, совпадающий по направлению с током через переход  $P_3$ . Изменяя значение силы тока в управляющем электроде, можно при неизменном напряжении источника тока заперать или включать тиристор. Наименьшее значение силы тока в управляющем электроде, при кото-

ром происходит переключение тиристора, называют током управления.

Представление об устройстве тиристора дает рисунок 21. К крайним слоям (областям) монокристалла присоединены силовые электроды — анод и катод, а к одному из промежуточных слоев — управляющий электрод (рис. 21, а). При изготовлении тиристора (рис. 21, б) четырехслойный монокристалл припаивают на кристаллодержатель и помещают в герметичном корпусе. Конструктивное оформление штыревого тиристора в металлическом корпусе (рис. 21, в) почти не отличается от обычного плоскостного полупроводникового диода. Внешний вид тиристора таблеточного типа показан на рисунке 21, г. Когда тиристор включен (открыт), через него идет большой ток, вследствие чего тиристор нагревается. Поэтому тиристоры во время их работы необходимо охлаждать. На рисунке 21, д показан штыревой тиристор в металлокерамическом корпусе в сборе с охладителем.

Тиристоры широко применяют для управления электроприводом (см. § 51), в автоматике, вычислительной технике.

#### Вопросы и упражнения

1. Расскажите о классификации полупроводниковых приборов. Назовите области их применения.

2. Объясните, почему полупроводниковый диод обладает вентильным свойством.

3. Осмотрите внешний вид полупроводникового диода, проверьте целостность антикоррозионного покрытия металлических частей, облуженность выводов, четкость и разборчивость маркировки. Расшифруйте тип диода.

4. Объясните, каким образом транзистор может усиливать электрические сигналы.

5. Выполните аналогичное указанному в п. 3 заданию, рассматривая транзистор. Пользуясь справочником по полупроводниковым приборам, расшифруйте тип рассматриваемого транзистора.

6. Как устроен тиристор? В чем сходство и отличие в устройстве и действии тиристора, полупроводниковых диодов и транзисторов?

7. Где и с какой целью применяют тиристоры?

## § 21. СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В электроустановках применяют главным образом те магнитные материалы, которые, находясь в магнитном поле, усиливают его. Их называют *ферромагнитными материалами* или просто ферромагнетиками. К ферромагнетикам относятся железо, никель, кобальт и многие их сплавы. Используют эти материалы для изготовления сердечников электрических машин, трансформаторов, электромагнитов и многих других электромагнитных приборов и аппаратов.

Физические процессы, происходящие в ферромагнетиках, а также в других магнитных материалах — *парамагнетиках* и *диамагнетиках*, рассматривают в курсе физики. Поэтому в данном случае остановимся лишь на вопросах, свя-

занных со свойствами и применением магнитных материалов в электрических устройствах.

Во многих электроустановках ферромагнитные материалы работают при переменном магнитном поле, вследствие чего происходит перемагничивание магнитных материалов. При циклическом изменении магнитного поля, что происходит, например, при работе электрических машин переменного тока и трансформаторов, график намагничивания материалов (рис. 22) принимает форму

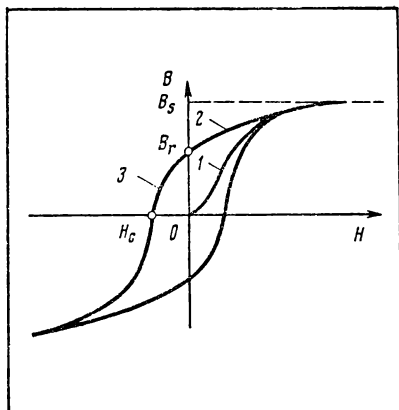


Рис. 22. График, описывающий циклическое перемагничивание материала

замкнутой кривой, называемой петлей *гистерезиса*. В начальный момент напряженность  $H$  и магнитная индукция  $B$  магнитного поля равны нулю. По мере возрастания напряженности магнитного поля увеличивается магнитная индукция (на графике эта кривая обозначена цифрой 1). В определенный момент магнитная индукция достигает максимального для данного материала значения  $B_s$ . При уменьшении напряженности уменьшается и магнитная индукция, но уменьшение магнитной индукции идет медленнее (на графике данная кривая обозначена цифрой 2), поэтому в тот момент, когда напряженность становится равной нулю, магнитная индукция еще не достигает нулевого значения (на графике эта величина обозначена отрезком  $OB_r$ ). Магнитную индукцию в намагниченном до насыщения материале, при которой напряженность магнитного поля равна нулю, называют *остаточной магнитной индукцией* (обозначают  $B_r$ ).

На этом явлении основано, например, изготовление постоянных магнитов.

Достигнув нулевого значения, напряженность продолжает уменьшаться (меняется ее знак); уменьшается и магнитная индукция (на рис. 22 эта кривая обозначена цифрой 3); когда напряженность достигнет значения  $H_c$ , магнитная индукция становится равной нулю — материал размагнитится. Величину  $H_c$  называют *коэрцитивной силой*.

В процессе перемагничивания часть энергии расходуется на нагревание материала. Количество этой энергии (ее называют потерями энергии на гистерезис) пропорционально площади петли гистерезиса. Поэтому от формы петли гистерезиса, что в свою очередь определяется свойствами материала, зависят его магнитные характеристики. Различают магнитно-мягкие и магнитно-твердые материалы.

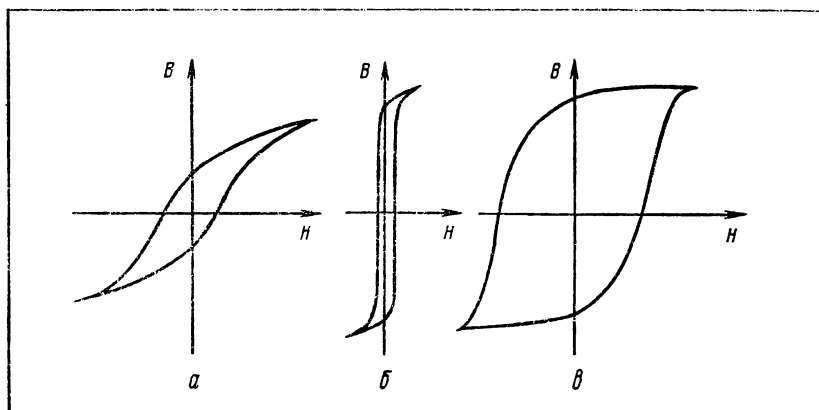


Рис. 23. Петли гистерезиса:  $a$  — магнитно-мягкого материала — электротехнической стали;  $b$  — магнитно-мягкого материала — пермаллоя;  $v$  — магнитно-твёрдого материала.

Магнитно-мягкие материалы характеризуются малыми потерями энергии на гистерезис (рис. 23,  $a$  и  $b$ ), обладают большой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой. Этим обусловлено применение магнитно-мягких материалов для изготовления электрических машин и аппаратов, трансформаторов и других устройств, т. е. там, где требуется быстрое намагничивание и перемагничивание с малыми потерями энергии.

Магнитно-твёрдые материалы (рис. 23,  $v$ ) характеризуются сравнительно большими потерями на гистерезис, обладают большой коэрцитивной силой, но, как и магнитно-мягкие материалы, имеют большую магнитную проницаемость. Магнитно-твёрдые материалы остаются намагниченными после снятия намагничивающего поля, и поэтому их применяют главным образом для изготовления постоянных магнитов.

Для экономичного использования магнитных материалов важно учитывать еще одну их характеристику. Дело в том, что согласно закону электромагнитной индукции в сердечниках электрических машин, аппаратов, работающих на переменном токе, возникают индукционные токи (их называют вихревыми токами). Вихревые токи нагревают сердечник (магнитопровод), вследствие чего часть энергии рассеивается в окружающее пространство, т. е. теряется. Эти потери энергии называют потерями на вихревые токи. Ясно, что величина потерь на вихревые токи зависит от удельного электрического сопротивления магнитного материала (закон Джоуля — Ленца) и конструкции магнитопровода. С целью уменьшения значения вихревых токов магнитопроводы изготавливают из легированной кремнием стали и делают их не сплошными, а собирают из тонких листов (пластин), изолированных друг от друга. Из-за наличия кремния

увеличивается удельное электрическое сопротивление стали, а пластины как бы разрезают контуры вихревых токов, которые согласно закону электромагнитной индукции возникают в плоскостях, перпендикулярных магнитным потокам в магнитопроводе

### Вопросы

1. Каковы отличительные особенности магнитных материалов?
2. Сравните значения магнитной проницаемости ферромагнетиков, парамагнетиков и диамагнетиков.
3. Объясните сущность понятия «коэрцитивная сила».
4. Вследствие чего теряется энергия в магнитных материалах при использовании их в электрооборудовании и электроустановках? Каким образом можно уменьшить эти потери?
5. Сравните основные свойства магнитно-мягких и магнитно-твердых материалов. Где применяют эти материалы? Какие экономические соображения принимают в расчет при выборе магнитных материалов?

## § 22. ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В электротехнике в качестве основного магнитного материала используют *электротехническую сталь*. Она представляет собой магнитно-мягкий материал (см. рис. 23, а), и поэтому ее широко применяют в устройстве электрических машин, аппаратов, трансформаторов, электромагнитных реле, дросселей, электрических приборов.

Листовую электротехническую сталь производят путем горячей или холодной прокатки. Горячекатаная электротехническая сталь содержит до 4,5% кремния и обладает изотропными магнитными свойствами.

Холоднокатаная электротехническая сталь может быть как изотропной, так и анизотропной в отношении магнитных свойств.

Холоднокатаная электротехническая сталь может быть текстурованной: листы повторно прокатывают, а затем подвергают отжигу, вследствие чего изменяется кристаллическая структура стали, что улучшает ее способность намагничиваться.

При механической обработке электротехнической стали надо учитывать, что ее магнитные свойства ухудшаются от ударов, резания, штамповки и т. п.

В СССР производят самые различные стали, отличающиеся по своей структуре, свойствам, назначению. Марки электротехнической стали записывают в виде сочетания буквы Э и ряда следующих за ней цифр, например Э11, Э32, Э42, Э330 и т. п. Иногда в конце записи марки стоит буква А. Буквы и цифры указывают на следующее:

Э — электротехническая сталь;

первая цифра после буквы Э (от 1 до 4) указывают процент содержания кремния, а именно: 1 — низколегированная (0,8—



1,8%); 2— среднелегированная (1,8—2,8%); 3— повышеннолегированная (2,8—3,8%); 4— высоколегированная (3,8—4,8%);

цифры 1..8, стоящие на втором месте после буквы Э, характеризуют гарантированные ГОСТ электрические и магнитные свойства, а именно: 1— нормальные удельные потери; 2— пониженные потери; 3— низкие потери; 4— низкие потери при частоте 400 Гц; 5— нормальная магнитная проницаемость в слабых магнитных полях; 6— повышенная магнитная проницаемость в слабых магнитных полях; 7— нормальная магнитная проницаемость в средних магнитных полях; 8— повышенная магнитная проницаемость в средних магнитных полях;

третья цифра за буквой Э обозначает холоднокатаную текстурованную сталь (0) или холоднокатаную малотекстурованную сталь (00);

буква А указывает на особо низкие удельные потери.

Например: Э21— электротехническая сталь, среднелегированная, обладает нормальными удельными потерями на нагревание вихревыми токами и вследствие гистерезиса; Э47А — электротехническая сталь, высоколегированная, обладает нормальной магнитной проницаемостью в средних магнитных полях и очень низкими удельными потерями; Э320— электротехническая сталь, повышеннолегированная, обладает пониженными удельными потерями, холоднокатаная текстурованная.

Данные об электрических и магнитных свойствах электротехнической стали различной толщины и различных марок можно найти в справочниках по электротехническим материалам.

В электрических устройствах, предназначенных для работы в слабых магнитных полях, например в некоторых измерительных приборах и трансформаторах, применяют магнитно-мягкий материал *пермаллой*. Пермаллой представляет собой железоникелевый сплав (45—80% никеля), легированный хромом, кремнием, молибденом. Пермаллой легко намагничивается в слабых магнитных полях (см. рис. 23, б) и обладает повышенным удельным электрическим сопротивлением.

В зависимости от содержания никеля различают несколько марок пермаллоев. Пермаллой с низким содержанием никеля применяют для изготовления магнитопроводов трансформаторов, катушек индуктивности, приборов и аппаратов, использующихся главным образом в радиотехнике, связи, автоматике. Высоконикелевые пермаллои используют для изготовления магнитных усилителей, катушек индуктивности, трансформаторов слабого тока, применяемых в аппаратуре связи и автоматике, а также для изготовления магнитопроводов некоторых трансформаторов тока промышленной и звуковой частот.

В качестве магнитно-мягких материалов применяют также *ферриты*. Магнитно-мягкие ферриты получают спеканием смеси порошков ферромагнитного оксида железа и оксидов цинка, никеля, магния и некоторых других металлов. Ферриты обла-

дают очень большим удельным электрическим сопротивлением, и поэтому их применяют в устройствах, работающих при высоких и сверхвысоких частотах (радиоэлектроника, связь, автоматика). В этих же областях применяют магнитно-мягкие материалы *алсифер* (сплав железа, алюминия и кремния), *пермнivar* (сплав железа, никеля и кобальта) и др.

Магнитно-твердые материалы по сравнению с магнитно-мягкими материалами обладают большими значениями коэрцитивной силы и остаточной индукции, что позволяет широко применять их для изготовления постоянных магнитов. В СССР производят магнитно-твердые материалы многих видов и марок. Вот некоторые из них — стали, легированные хромом, вольфрамом или кобальтом, сплавы из железа, никеля и алюминия (альни, альнико и др.), металлокерамические материалы (магнитно-твердые ферриты, получаемые прессованием порошкообразных компонентов с использованием бария или кобальта); их используют в электромашиностроении, приборостроении, телефонии, связи и других отраслях промышленности.

#### **Вопросы и упражнения**

1. Какие виды сталей выпускает наша промышленность? Какими отличительными свойствами по сравнению с другими сталями обладает электротехническая сталь?

2. Какими способами осуществляют механическую обработку электротехнической стали? Какие инструменты, станки и приспособления для этого применяют?

3. В электротехнике часто применяют электротехнические стали следующих марок: а) Э310, Э320, Э330, Э330А, Э340, Э370, Э380 — холоднокатаная сталь; б) Э1100, Э1200, Э1300, Э3100, Э3200 — холоднокатаная сталь; в) Э11, Э12, Э13, Э21, Э22, Э31, Э32, Э41, Э42, Э43, Э43А, Э44, Э45, Э46, Э47, Э48 — горячекатаная сталь. Охарактеризуйте основные электрические и магнитные свойства этих сталей и укажите, где их наиболее целесообразно применять.

4. Какие магнитные материалы применяют для работы в слабых магнитных полях? Приведите примеры технических устройств, в которых имеются детали из таких материалов.

5. Рассмотрите образцы электротехнической стали различных марок, пермаллоя, ферритов. Выясните, где применяют данные материалы.

### **§ 23. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ**

При выборе и применении вспомогательных электротехнических материалов необходимо учитывать основные требования по обеспечению надежности соединения деталей, соблюдению санитарно-гигиенических норм и правил техники безопасности, достижению высокой производительности труда, экономному расходованию материалов и энергии. Неправильный выбор материала, например марки припоя, может повлечь за собой плохое качество соединения проводников, излишний расход припоя и электроэнергии. Для того чтобы рационально выбрать и применить соответствующие материалы, нужно хорошо знать технологию

пайки, сварки, клеевых соединений. Рассмотрим это на примере пайки. В основе пайки металлов лежит использование закономерностей плавления, отвердевания и окисления. Соединяемые пайкой металлы нагревают с помощью паяльника (в электротехнических работах обычно применяют электропаяльник); припой расплавляют (поэтому температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления соединяемых пайкой металлов). Для прочного соединения металлов с помощью припоя нужно разрушить имеющуюся на их поверхности пленку оксида, с этой целью применяют флюсы. Таким образом, для осуществления пайки требуются два основных материала — припой и флюс, свойства и различные марки которых надо хорошо знать.

*Припои* — это сплавы, которые в зависимости от составляющих их металлов бывают легкоплавкими или тугоплавкими (температура плавления не менее 500 °С). Легкоплавкие припои называют мягкими, тугоплавкие — твердыми припоями. Основные характеристики наиболее распространенных припоев приведены в таблице 14. Пользуясь этой таблицей, нужно иметь в виду, что со временем появляются новые марки припоев, меняется их состав, а следовательно, их свойства, в частности температура плавления.

В качестве *флюсов* для пайки мягкими припоями деталей из меди, латуни, бронзы применяют материалы, изготовленные на основе канифоли с добавлением этилового спирта (марка КЭ), глицерина (марка ГК) и ряда других материалов — вазелина, хлорида цинка, стеарина. Для пайки деталей из алюминия и его сплавов мягкими припоями применяют флюс марки ФВ-3, состоящий из фторида натрия (8%), хлорида цинка (16%), хлорида лития (36%) и хлорида калия (40%).

Для пайки твердыми припоями применяют флюсы, в состав которых в определенном соотношении входят бура, борная кислота, хлориды натрия, цинка, лития, калия. Приготавливать такие флюсы и использовать их можно лишь по специальному указанию учителя (мастера).

Во многих отраслях промышленности — автомобильной, авиационной, судостроительной, электро- и радиотехнической, химической, деревообрабатывающей и др. — заклепочные, болтовые, сварные и другие соединения деталей все чаще заменяют *клеевыми соединениями*. Они по надежности не уступают, а в ряде случаев превосходят соединения другими способами. Главное же заключается в том, что клеевые соединения не разрушаются под воздействием атмосферных явлений, противостоят коррозии. Это обусловлено применением синтетических клеев.

Применение клеевых соединений при выполнении электротехнических работ — явление прогрессивное. Этот способ соединения часто бывает проще и дешевле по сравнению с пайкой и сваркой, а производительность труда при этом выше.

Основные характеристики припоев некоторых марок

Марка припоя	Составляющие элементы и их содержание, %	Температура плавления, °С	Наименование соединяемых металлов
<i>Мягкие припои</i>			
ПОС-10	Олово — 10	299	Медь, латунь, бронза
ПОС-40	Свинец — 90 Олово — 40	238	То же
ПОССу35-05	Свинец — 58 Сурьма — 2 Олово — 34—36	245	Медные жилы кабелей
ПОССу40-0,5	Сурьма — 0,2—0,5 Свинец — остальное Олово — 39—41	235	Медные обмотки электрических машин
ПОСК-50-18	Сурьма — 0,2—0,5 Свинец — остальное Олово — 49—51	145	Токоведущие детали приборов, конденсаторов, чувствительные к перегреву
П300	Кадмий — 17—19 Свинец — остальное Цинк — 60	300	Токоведущие части из алюминия и его сплавов
Л170А	Кадмий — 40 Олово — 80 Серебро — 1 Кадмий — 19	175	Соединение алюминия с медью
<i>Твердые припои</i>			
А	Олово — 40 Цинк — 58,5 Медь — 1,5	400—425	Алюминий
ЦА-15	Цинк — 85 Алюминий — 15	500—550	То же
ЦО-12	Олово — 12 Цинк — 88	500—550	То же
ПМЦ-54	Медь — 54 Цинк — 46	880	Детали из меди, латуни, бронзы, стали (швы получаются хрупкие)
ЛОК-62-06-04	Медь — 63 Олово — 0,4 Кремний — 0,4 Цинк — остальное	905	То же, но швы обладают большой механической прочностью

При выполнении электромонтажных работ применяют только синтетические клеи. Входящие в их состав вещества в большинстве случаев вредны и пожароопасны. Поэтому в работе с применением клеев нужно строго соблюдать санитарно-гигиенические, противопожарные нормы. Особенно осторожно нужно обращаться с клеями, изготовленными на основе эпоксидных смол.

Для склеивания различных электротехнических материалов применяют клеи марок БФ-2, БФ-4, 88-Н, БМК-5, БМК-5М и др.

Клеями марок БФ-2 и БФ-4 соединяют детали из металла, фарфора, стекла, древесины, пластмасс. Поверхности склеиваемых деталей зачищают металлической щеткой или напильником, а затем обезжиривают ацетоном, соблюдая при этом санитарно-гигиенические и противопожарные правила работы с применением ацетона. Необходимо следить, чтобы ацетон не попадал на кожу рук и других частей тела, одежду, окружающие предметы и т. п., чтобы на рабочем месте и вблизи от него не было пламени, а пары ацетона быстро удалялись при помощи вытяжной вентиляции (если работы выполняются в закрытом помещении). На подготовленные к соединению поверхности деталей наносят по два слоя клея, просушивая каждый слой в течение часа при температуре 20 °С или 15 мин при 60 °С. Затем поверхности с усилием прижимают друг к другу и помещают на 40—50 мин в сушильный шкаф, температура в котором 150—160 °С.

Клеем марки 88-Н склеивают детали из резины или приклеивают их к металлу, древесине, фарфору, стеклу, пластмассе. Поверхности склеиваемых деталей подготавливают так же, как описано выше, но для обезжиривания применяют не ацетон, а бензин. На зачищенную и обезжиренную металлическую, фарфоровую или другую деталь наносят два слоя клея, просушивая каждый слой 8—10 мин, а на резиновую поверхность — один слой, который сушат 3—5 мин. Затем склеиваемые поверхности прижимают друг к другу и выдерживают их в таком положении 24 ч при температуре 20—40 °С.

Клеи марок БМК-5 и БМК-5М применяют для приклеивания деталей электроустановок к строительным конструкциям. Зачищают поверхности строительной конструкции и основания приклеиваемой детали, наносят на них слой клея толщиной 0,3—0,5 мм, устанавливают деталь и крепко прижимают ее в течение 10—12 с.

Учащиеся IX—X классов при выполнении электротехнических работ могут применять клеи марок БФ-2 и БФ-4 при обязательном соблюдении соответствующих правил.

В качестве *конструкционных материалов* применяют угловую, швеллерную, полосовую, листовую сталь и стальные ленты. Из крепежных изделий (рис. 24), предназначенных для образования неподвижных разъемных соединений, используют болты, винты, шайбы. Требования ко всем этим материалам и изделиям, а также к их размерам, массе и другим характеристикам установлены ГОСТ; о них можно узнать из специальных справочников по машиностроительным или электротехническим материалам.

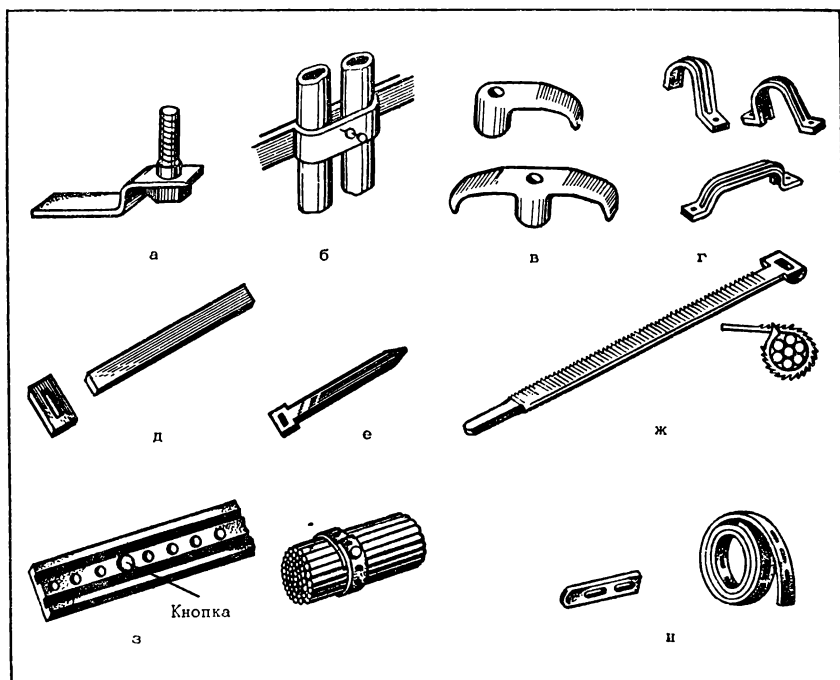


Рис. 24. Крепежные изделия для электропроводки: *а* — лапка с болтом; *б* — скоба-накладка; *в* — пластмассовые скобы; *г* — скобы металлические; *д* — стальная полоска с пряжкой; *е* — полоска-пряжка для бандажирования проводов; *ж* — пластмассовая полоска-пряжка; *з* — поливинилхлоридная полоска с пряжкой; *и* — перфорированная полоса.

### Вопросы и упражнения

1. Какими требованиями руководствуются при выборе и применении вспомогательных электротехнических материалов? Приведите примеры.
2. Объясните сущность процесса пайки. Как знания об этом процессе помогают в выполнении соответствующей работы?
3. Почему клеевые соединения широко применяют в различных отраслях народного хозяйства?
4. Ознакомьтесь по справочникам с видами и характеристиками конструкционных материалов и крепежных изделий, применяемых в электротехнических целях.

## § 24. УСТАНОВОЧНЫЕ ПРОВОДА

Установочные провода применяют для монтажа открытых и скрытых электропроводок.

Установочные провода выпускают различных марок, причем промышленность осваивает производство все новых марок проводов. Однако провода некоторых марок применяют на протяжении многих лет. Кроме того, в действующих электроустановках использованы и ранее выпускавшиеся провода.

Поэтому рассмотрим основные способы маркировки установочных проводов как выпускавшихся ранее, так и продолжающих выпускаться в настоящее время и принятых к производству в последние годы.

Марку провода записывают, как это принято и в других случаях маркировки материалов и изделий, в виде сочетания букв, например: АПР, ПРТО, ПГВ, ПРДШ. Как видим, первая буква в обозначении марки провода — А или П. Буква А указывает на то, что жилы провода алюминиевые; если этой буквы в начале записи марки нет, то, значит, жилы медные. Буква П, стоящая на первом месте (или на втором при наличии буквы А) обозначает, что данное изделие — провод. Другие буквы показывают следующее:

Р — изоляция резиновая,

В — изоляция поливинилхлоридная,

П (если стоит в конце марки) — изоляция полиэтиленовая,

О — провод заключен в общую пропитанную хлопчатобумажную оплетку,

Ш — провод заключен в оплетку из лавсанового шелка,

Л — провод покрыт лаком,

Т — провод предназначен для прокладки в трубах,

Г — гибкий провод (многопроволочный),

Д — провод двойной, гибкий (шнур),

ПП (впереди может не быть буквы или стоять буква А; после них есть буква, указывающая на вид изоляции, Р, В или П) — провод с двумя или тремя однопроволочными жилами, расположенными параллельно, разделенными изоляцией; этот провод называют также плоским или ленточным.

Чаще всего установочные провода имеют от 1 до 4 жил, изолированных друг от друга, а стандартные площади сечения жил от 0,5 до 500 мм<sup>2</sup>: 0,5; 0,75; 1,0; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 400; 500. Чтобы одновременно указать марку провода, количество жил в нем и площадь их сечения, запись делают в следующем виде: ПРТО-2×1,5, АППВ-3×2,5 и т. п. Первая после букв цифра указывает на количество жил, а за знаком умножения указана площадь сечения жилы (в мм<sup>2</sup>).

Выбирая установочные провода, учитывают условия их прокладки (открыто, скрыто, в трубах), эксплуатации (напряжение, влажность, температура и т. п.), силу тока, длительно проходящего по проводам, а также экономические факторы (например, без необходимости не применяют дорогостоящие провода).

Расчетами и испытаниями установлены *допустимые длительные токовые нагрузки* (сила тока) на провода. Зная или рассчитав, какой силы ток длительно должен проходить по проводу, выбирают токопроводящую жилу требуемой площади сечения (табл. 15).

Таблица 15

**Допустимые длительные токовые нагрузки на открыто прокладываемые  
установочные провода**

Площадь сечения жилы, мм <sup>2</sup>	Токовая нагрузка, А		Площадь сечения жилы, мм <sup>2</sup>	Токовая нагрузка, А	
	медные жилы	алюминие- вые жилы		медные жилы	алюминие- вые жилы
0,5	11	—	6	50	39
0,75	15	—	10	80	55
1	17	—	16	100	80
1,5	23	—	25	140	105
2,5	30	24	35	170	130
4	41	32	50	215	165

Таблица 16

**Основные данные для выбора установочных проводов**

Марка провода	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Область применения
<i>Провода с резиновой изоляцией</i>		
ПР	0,75—400	Наружные и внутренние электропроводки переменного тока напряжением до 600 В, постоянного — до 3000 В
АПР	2,5—400	То же, но в сетях постоянного тока напряжением до 1000 В
ПРГ	0,75—240	Там же, где и провод марки ПР
ПРЛ	0,75—6	Вторичные цепи переменного тока напряжением до 660 В, постоянного тока — до 1000 В
ПРЛГ	0,75—70	То же, но в случае, когда необходима гибкость провода
ПРТО	1—500	Прокладка в металлических трубах и рукавах при напряжении до 660 В переменного тока и до 2000 В постоянного тока
АПРТО	2,5—500	То же
ПРДШ	0,75—6	Прокладка на роликах в сухих помещениях при напряжении до 380 В переменного тока
<i>Провода с поливинилхлоридной или полиэтиленовой изоляцией</i>		
ПВ	0,5—95	Прокладка в трубах и каналах негорюемых строительных конструкций при напряжении до 660 В переменного тока
ПГВ	0,5—95	Прокладка вторичных цепей; гибкие соединения в электропроводках напряжением до 660 В переменного тока
ППВ	0,75—4	Сети переменного тока напряжением до 660 В
АППВ	2,5—6	То же



В зависимости от условий монтажа электропроводки и ее эксплуатации, зная площадь сечения требуемого провода, по таблице 16 выбирают установочный провод нужной марки.

### Вопросы и упражнения

1. Рассмотрите установочные провода различных марок. Выясните, как устроены эти провода; расшифруйте их марки; укажите, где целесообразно применять данные провода.

2. Почему устанавливают стандартные значения допустимых длительных токовых нагрузок на провода? Каким образом можно рассчитать токовую нагрузку на провода, зная мощность и напряжение электроприемника?

3. Какими требованиями руководствуются, выбирая установочные провода для монтажа или ремонта электроустановок? Выберите установочные провода, необходимые для выполнения монтажных или ремонтных работ (по заданию учителя, мастера).

## § 25. МОНТАЖНЫЕ ПРОВОДА

Монтажные провода применяют для монтажа электрических аппаратов, приборов, причем крепление этих проводов делают неподвижным. При выполнении указанной работы провода приходится нередко изгибать, поэтому монтажные провода в отличие от установочных обладают повышенной гибкостью. Это свойство обусловлено тем, что жилы монтажных проводов изготавливают из мягкой медной проволоки (многопроволочные жилы — из тонких медных проволок, свитых друг с другом). Жилы монтажных проводов луженые, благодаря этому они легко соединяются пайкой.

Токопроводящие жилы монтажных проводов изолируют капроновыми, лавсановыми или стеклянными нитями, поливинилхлоридом, полиэтиленом. В проводах некоторых марок пластмассовая изоляция защищена оболочкой из капрона или жилы сначала обмотаны нитями из триацетатного шелка, а затем на обмотку нанесена изоляция из поливинилхлорида или полиэтилена. Изоляцию из поливинилхлоридных и полиэтиленовых материалов чаще делают сплошной — из пластиката, но применяют также пленки из этих материалов (пленочная изоляция). Монтажные провода в зависимости от назначения бывают лакированными и экранированными.

Площадь сечения жил монтажных проводов небольшая — от 0,05 до 6 мм<sup>2</sup>, так как они не предназначены для больших токовых нагрузок. Количество изолированных друг от друга жил не более трех. Если для подключения приборов и аппаратов требуется большее количество жил, то применяют монтажные кабели (см. § 27).

Важной характеристикой монтажных проводов служит их наружный диаметр. Промышленность выпускает монтажные провода с наружным диаметром от 0,8 до 5,8 мм.

Марки монтажных проводов записывают следующим образом. На первом месте обычно ставят букву **М** — провод монтажный (исключение составляют некоторые провода с пластмассовой изоляцией, в обозначении марки которых буква **М** отсутствует). Остальные буквы указывают на материал, из которого сделана изоляция, и некоторые другие особенности устройства провода, а именно:

- Ш** — изоляция из полиамидного шелка;
- С** — изоляция из стекловолокна;
- Ц** — пленочная изоляция;
- В** — поливинилхлоридная изоляция;
- П** — полиэтиленовая изоляция;
- Л** — провод лакированный;
- Э** (если она следует за буквой **М**) — провод эмалированный;
- Э** (если она стоит на последнем месте) — провод экранированный;
- Г** — провод гибкий с многопроволочными жилами;
- Д** — провод имеет двойную обмотку.

Рассмотрим примеры: **МШДЛ** — провод монтажный, с однопроволочной жилой, с двойной обмоткой из полиамидного шелка, лакированный; **МГШДЛ** — провод монтажный, многопроволочный, гибкий, с двойной обмоткой из полиамидного шелка, лакированный; **МГЦСЛЭ** — провод монтажный, многопроволочный, гибкий, с пленочной изоляцией, в оплетке из стекловолокна, лакированный, экранированный; **МШВ** — провод монтажный, однопроволочный, с обмоткой из триацетатного шелка, в сплошной изоляции из поливинилхлоридного пластиката; **МГСП** — провод монтажный, многопроволочный, гибкий, с обмоткой из стеклянных нитей, с изоляцией из полиэтилена.

Монтажные провода с волокнистой и пленочной изоляцией предназначены для электроустановок напряжением 127 или 220 В (провод марки **МГШ** — 24 В). Провода некоторых марок, имеющие площадь сечения жил до 0,14 мм<sup>2</sup>, пригодны для работы при напряжении до 380 В переменного тока и до 500 В постоянного тока. Монтажные провода со сплошной поливинилхлоридной, полиэтиленовой, а также комбинированной (волокнисто-пластмассовой) изоляцией рассчитаны на работу при напряжении до 1000 В переменного тока и до 1500 В постоянного тока.

### Вопросы и упражнения

1. Рассмотрите отрезки монтажных проводов различных марок. Выясните, как устроены эти провода; расшифруйте их марки. Где применяют монтажные провода?
2. Дайте сравнительную характеристику устройства установочных и монтажных проводов; объясните, чем обусловлено различие в их устройстве.
3. Выберите монтажные провода, необходимые для выполнения монтажных или ремонтных работ (по заданию учителя, мастера).

## § 26. ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА

Назначение обмоточных проводов — изготовление обмоток электрических машин, аппаратов, приборов, трансформаторов. В этих обмотках обычно насчитывается большое количество витков. Одно из направлений прогресса в технике — это создание малогабаритных машин, аппаратов, приборов и др. Поэтому обмоточные провода многих марок имеют жилы малого диаметра (в отличие от установочных и монтажных проводов обмоточные провода характеризуют не площадью сечения, а диаметром жил) и малую толщину изоляционного слоя.

Изготовление таких проводов самых различных марок (их насчитывается более 100) стало возможно благодаря разработке технологии производства особо тонкой проволоки и созданию прогрессивных электроизоляционных материалов.

Долгое время жилы обмоточных проводов делали только из меди. Теперь уже многие годы для этой цели применяют также алюминий и сплавы с большим удельным электрическим сопротивлением: применение алюминия позволяет экономить дефицитный материал — медь, а использование сплавов с большим удельным сопротивлением дает возможность повысить нагревостойкость обмоточных проводов.

В качестве изоляции жил обмоточных проводов применяют многие современные материалы. В зависимости от вида изоляции, как правило, и классифицируют обмоточные провода, учитывая при этом материал, из которого сделаны токопроводящие жилы.

В практических целях удобно пользоваться следующей классификацией обмоточных проводов:

обмоточные провода с медными или алюминиевыми жилами и с эмалевой, волокнистой или стекловолокнистой изоляцией;

то же, но с эмалево-волокнистой (комбинированной) изоляцией;

то же, но с пленочной изоляцией.

При изготовлении обмоточных проводов применяют также лаки (для изолирования жил) и хлопчатобумажные, лавсановые, шелковые нити (для изоляции жил и изготовления оплеток и обмоток).

Маркировку обмоточных проводов осуществляют по такому же принципу, что и маркировку монтажных проводов: с помощью сочетания букв записывают материал, из которого сделана жила, изоляция. Однако ввиду наличия большого количества различных марок обмоточных проводов в их обозначение вводят дополнительные буквы, указывающие на особые свойства материалов, из которых выполнен данный провод. Поэтому помнить все применяемые для маркировки обмоточных проводов буквенные обозначения необязательно, ведь при необходимости всегда можно обратиться к справочникам. Рассмотрим

лишь основные значения букв, с помощью которых записывают марки обмоточных проводов.

Материал, из которого сделаны жилы обмоточных проводов, указывают следующим образом. В марках всех медных проводов на первом месте ставят букву П, этим одновременно обозначают: «провод», жилы его сделаны из меди. Для того чтобы отличить алюминиевые провода с эмалевой изоляцией от медных, в конце марки первых ставят букву А, например: ПЭВ — провод с медными жилами; ПЭВА — провод с алюминиевыми жилами. В марках проводов из сплавов с большим удельным сопротивлением записывают буквы: М — марганец, К — константан, НХ — нихром; если еще надо указать, что проволока мягкая (отожженная), то после букв М или К ставят букву М; для указания того, что проволока твердая, пишут букву Т. Сравните для примера: ПЭММ — провод, жила которого сделана из мягкой марганцевой проволоки; ПЭМТ — провод, жила которого сделана из твердой марганцевой проволоки; других различий в устройстве этих проводов нет.

Для обозначения вида изоляции обмоточных проводов применяют следующие буквы и буквосочетания:

ЭЛ — эмаль на масляной основе, ЭВ — эмаль высокопрочная на поливинилацетатной основе, ЭМ — эмаль высокопрочная на поливинилформалевой основе, ЭЛР — эмаль высокопрочная на полиамиднорезольной основе, Б — хлопчатобумажная пряжа, Ш — натуральный шелк, ШК — капрон, Л — лавсан, С — стекловолокно, О — один слой обмотки, Д — два слоя обмотки. Наличие в марке второй буквы П обозначает, что изоляция пленочная, например: ППФ — провод, изолированный пленкой из фторопласта.

При записи марки проводов с комбинированной изоляцией соответствующие буквы располагают в порядке следования слоев изоляции от внутреннего к внешнему, например: ПЭЛШО — провод медный, с изоляцией из эмали на масляной основе и одним слоем обмотки из натурального шелка.

Примеры расшифровки марок обмоточных проводов:

ПЭЛР — провод медный, изолированный высокопрочной эмалью на полиамиднорезольной основе; ПЭВКМ — провод из мягкой константановой проволоки, изолированный высокопрочной эмалью на поливинилацетатной основе; АПЛБД — провод алюминиевый, изолированный одним слоем обмотки из лавсановых нитей и одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи.

### Вопросы и упражнения

1. Рассмотрите обмоточные провода. Выясните устройство этих проводов и их применение.

2. Дайте сравнительную характеристику монтажных и обмоточных проводов. Объясните, чем обусловлено различие в их устройстве.

3. Выберите обмоточные провода для намотки катушек трансформаторов, электрических машин, аппаратов (по заданию учителя, мастера).

4. Каковы тенденции в применении материалов для изготовления обмоточных проводов?

## § 27. КАБЕЛИ

Кабель состоит из одного или нескольких изолированных друг от друга проводников (жил), заключенных в герметичную защитную оболочку из резины, пластмассы, алюминия или свинца. Защитная оболочка кабеля может иметь броню — обмотку из стальной ленты, плоской или круглой проволоки; такой кабель называют бронированным. Защитную оболочку или броню нередко покрывают джутовой пропитанной пряжей.

Кабели, предназначенные для прокладки непосредственно в земле (в траншеях), в специальных сооружениях (каналах, туннелях), а также внутри помещений при напряжении до 1000 В, называют *контрольными кабелями* (рис. 25, а). Контрольные кабели изготавливают с медными или алюминиевыми жилами, с пластмассовой и резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках. Оболочка может быть покрыта броней из стальных лент и защитным противокоррозионным слоем из пропитанной кабельной пряжи.

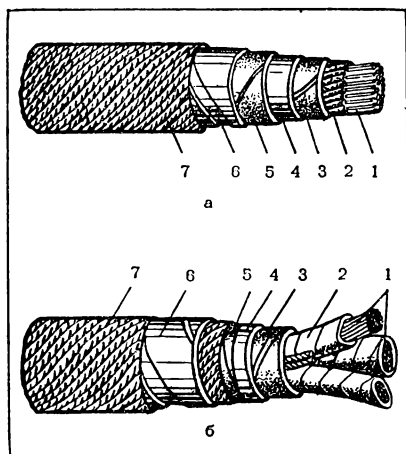


Рис. 25. Устройство кабелей: а — контрольного марки КСБ; б — силового марки СБ; 1 — токопроводящие жилы; 2 — бумажная изоляция жил; 3 — поясная изоляция из пропитанной маслом бумаги; 4 — свинцовая защитная оболочка; 5 — бумажная лента, покрытая битумом; 6 — броня из стальной ленты; 7 — паружное защитное покрытие из джутовой пропитанной пряжи и битума.

Контрольные кабели имеют от 4 до 37 жил. Площадь сечения каждой жилы может быть 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10 мм<sup>2</sup>.

Для передачи и распределения электроэнергии сооружают не только воздушные, но и кабельные линии. Протяженность их в нашей стране огромна. Применяемые для этих целей кабели называют *силовыми кабелями* (рис. 25, б). Они в отличие от контрольных кабелей рассчитаны на более высокое напряжение — 35 кВ и выше. Работы по сооружению и ремонту кабельных линий электропередач выполняют квалифицированные рабочие — электромонтажники по кабельным сетям.

Буквы в наименовании марки кабеля обозначают следующее: на первом месте стоит буква А — жилы алюминиевые, если этой буквы нет, то

жилы медные. Для отличия контрольных кабелей от силовых маркировку первых начинают с буквы К, если жилы медные, или с букв АК, если жилы сделаны из алюминия.

Материал, из которого выполнена изоляция жил, обозначают следующими буквами: Р — резиновая, В — поливинилхлоридная, П — полиэтиленовая; если жилы кабеля имеют изоляцию из пропитанной маслом электротехнической бумаги, то ее в обозначение не вводят; изоляцию из бумаги, пропитанной нестекающей церезиновой массой, обозначают буквой Ц.

Защитные оболочки кабелей маркируют следующим образом: С — свинцовая, А — алюминиевая, В — поливинилхлоридная, Т — утолщенная свинцовая.

Обозначения брони следующие: Б — из стальных лент, покрытых джутовой пропитанной пряжей и битумом; БГ — из стальных лент без джутового покрытия (голый кабель); П — из плоской стальной проволоки, покрытой джутовой пропитанной пряжей; К — из круглой стальной проволоки, покрытой джутовой пропитанной пряжей.

Для прокладки внутри помещений и в передвижных электроустановках чаще всего применяют контрольные кабели марок КСБГ, КСРГ, КВРГ, АКВРГ.

Для монтажа наружных и внутренних кабельных электрических сетей напряжением до 1000 В применяют контрольные кабели марок КСБ, КВРГ, КВРБ и силовые кабели марок СБ, ЦСБ, АСБ, ААБ, ЦААБ, ВРБ, ВРГ, НРГ и др.

Для монтажа электропроводок, соединяющих между собой электрические приборы, аппараты, работающие при напряжении до 500 В переменного тока и до 750 В постоянного тока, применяют *монтажные кабели*. В отличие от монтажных проводов монтажные кабели имеют большее количество изолированных друг от друга жил (в основном от 2 до 14), заключенных в общую оболочку.

В электроустановках общего назначения применяют главным образом следующие монтажные кабели: МКШ — изоляция жил и общая оболочка из поливинилхлоридного пластика; МКЭШ — то же, но экранированный; МПКШ — изоляция жил сделана из полиэтилена, а общая оболочка — из поливинилхлоридного пластика; МПКЭШ — то же, но экранированный.

#### Вопросы и упражнения

1. Для чего предназначены кабели и как в зависимости от этого их называют?
2. Рассмотрите кабели. Выясните, как они устроены и где их применяют.
3. В чем состоит сходство и различие в устройстве проводов и кабелей?

### **АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ**

#### **§ 28. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТАХ**

##### **КЛАССИФИКАЦИЯ АППАРАТУРЫ И ТРЕБОВАНИЯ К НЕЙ**

Аппаратура, применяемая для управления (включение, переключение и отключение) электроустановками, носит название *коммутационной аппаратуры*. К ней относятся выключатели, рубильники, переключатели, контакторы, магнитные пускатели, автоматические выключатели.

Аппаратуру, применяемую для отключения электроустановок при токовых перегрузках и коротких замыканиях, называют *защитной аппаратурой*. К ней относятся, например, электрические предохранители и защитные реле.

Некоторые аппараты, например автоматические выключатели и магнитные пускатели, являются одновременно и коммутационными, и защитными аппаратами. Различают неавтоматические и автоматические коммутационные аппараты.

К неавтоматическим коммутационным аппаратам (аппаратура ручного управления) относятся кнопочные, рычажные, поворотные, пакетные выключатели, рубильники, переключатели, реостаты, контроллеры, пульты. Например, пусковые реостаты (предназначены для кратковременного прохождения по ним тока) и регулировочные реостаты (предназначены для длительного прохождения по ним тока) применяют для пуска и регулирования частоты вращения электродвигателей. Контроллеры позволяют пускать электродвигатели и регулировать частоту их вращения в более широких пределах, чем реостаты.

К автоматическим коммутационным аппаратам относятся реле, контакторы и магнитные пускатели.

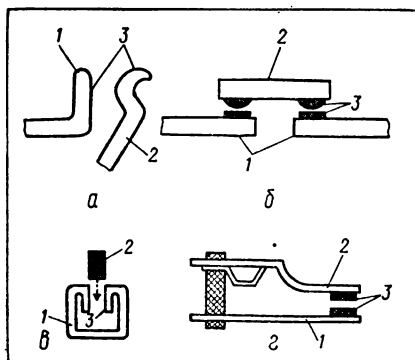
Устройство и действие различных электрических аппаратов зависит от их назначения. (Об этом будет сказано в следующих параграфах.) Однако можно выделить ряд частей, являющихся общими для разных электрических аппаратов. К таким частям относятся электрические контакты, магнитопроводы, катушки (обмотки), пружины, а также некоторые детали из электроизоляционных материалов. Во многих электрических аппаратах имеются устройства, предназначенные для гашения электрической дуги, которая возникает при размыкании контактов. Такое устройство чаще всего выполняется в

К аппаратуре управления электроустановками предъявляют следующие общие требования: надежность действия, безопасность обслуживания, достаточный срок службы, простота изготовления, монтажа и эксплуатации, небольшие габариты, малое потребление электрической энергии самими аппаратами, невысокая стоимость.

Электрические контакты (рис. 26) — важная часть коммутационного аппарата. Пальцевые, мостиковые и врубные контакты применяют в коммутационных аппаратах, рассчитанных на большие номинальные токи (десятки ампер и больше). В других аппаратах, например в реле, используют преимущественно контакты с плоскими пружинами.

Поверхности соприкосновения неподвижных контактов с подвижными называют *контактирующими поверхностями*; они бывают точечными, линейными или плоскостными.

Контактирующие поверхности периодически очищают наждачной бумагой от грязи, пыли и нагара, после чего, соблюдая осторожность, протирают смоченной в спирте или бензине тряпочкой. В процессе работы контактирующие поверх-



93



ности изнашиваются. Поэтому по мере необходимости производят регулирование контактов. С этой целью изменяют силу натяжения соединенной с контактом пружины или подгибают один из контактов. При этом строго соблюдают установленные для каждого типа аппарата параметры контактов: раствор, провал, начальное и конечное давление.

**Р а с т в о р** — это величина, равная кратчайшему расстоянию между подвижным и неподвижным контактами при разомкнутом положении. Чем больше напряжение и сила тока, при которых работает аппарат, тем больше должен быть раствор. Его измеряют при помощи шаблона.

**П р о в а л** — это величина, равная расстоянию, которое прошел бы подвижный контакт с момента касания с неподвижным, если последний убрать. Из-за сложности измерения провала контактов, движущихся по дуге, в технической документации обычно указывают условное и истинное значения провала.

Установленная на подвижных контактах *пружина* создает давление на контакт и препятствует случайному срабатыванию контактов при сотрясении, ударе, вибрации и т. п. Давление пружины на подвижный контакт, когда он не касается неподвижного, называют *н а ч а л ь н ы м д а в л е н и е м*. Давление пружины на оба контакта в тот момент, когда они замкнуты на полный провал, называют *к о н е ч н ы м д а в л е н и е м*. За счет создаваемого пружиной давления происходит самозачистка контактирующих поверхностей.

Контакты, которые в неработающем состоянии находятся в разомкнутом положении, называют *замыкающими*, а в замкнутом положении — *размыкающими*. В аппаратах, применяемых для автоматического управления электроустановками, контакты могут замыкаться или размыкаться с выдержкой времени. Условные обозначения контактов на электрических схемах приведены в таблице 7 (см. главу 2).

### **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МЕХАНИЗМ**

В автоматических коммутационных и защитных электрических аппаратах имеется *электромагнитный механизм*, благодаря которому электрическая энергия, получаемая от источника тока, превращается в механическую, используемую для размыкания или замыкания контактов. Электромагнитный механизм состоит из двух главных частей: магнитопровода и катушки.

В электрических аппаратах применяют сплошные (рис. 27) и шихтованные (рис. 28) *магнитопроводы*. Они состоят из неподвижной части — сердечника и подвижной — якоря.

Сплошные магнитопроводы изготавливают из низкоуглеродистых магнитно-мягких отожженных сталей путем их механической обработки — штамповки, резания, гибки и т. п. Их применяют в аппаратах постоянного тока.

Шихтованные магнитопроводы изготавливают из листовой

электротехнической стали подобно тому, как сердечники электрических машин. Их применяют в аппаратах переменного тока.

К а т у ш к а состоит из каркаса (рис. 29), на который намотана обмотка. Катушка называется бескаркасной (рис. 30), если она состоит только из обмотки. Для придания бескаркасной катушке монолитности витки обмотки стягивают хлопчатобумажной лентой (бандажирование) или между рядами витков помещают электроизоляционные прокладки, обмотку пропитывают электроизоляционной жидкостью, а затем сушат.

В зависимости от назначения электрических аппаратов в них применяют токовые катушки или катушки напряжения. Т о к о - в ы е к а т у ш к и рассчитаны на большую силу тока. Токовые катушки изготавливают из обмоточных проводов или голых проводов (шин) сравнительно большой площади сечения.

К а т у ш к и н а п р я ж е н и я рассчитаны на работу при сравнительно высоком напряжении и небольшой силе тока. Их изготавливают, наматывая на станках обмоточные провода на каркас (каркасные катушки) или на шаблон (бескаркасные катушки).

При массовом производстве для изготовления катушек применяют различное оборудование, в том числе намоточные автома-

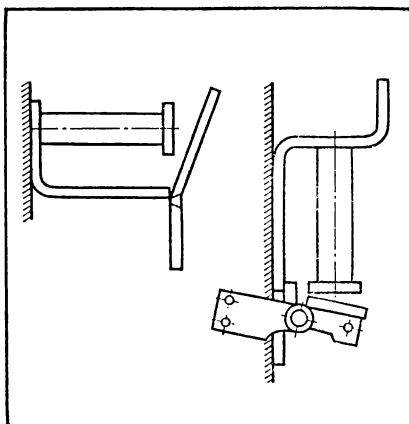


Рис. 27. Сплошные магнитопроводы.

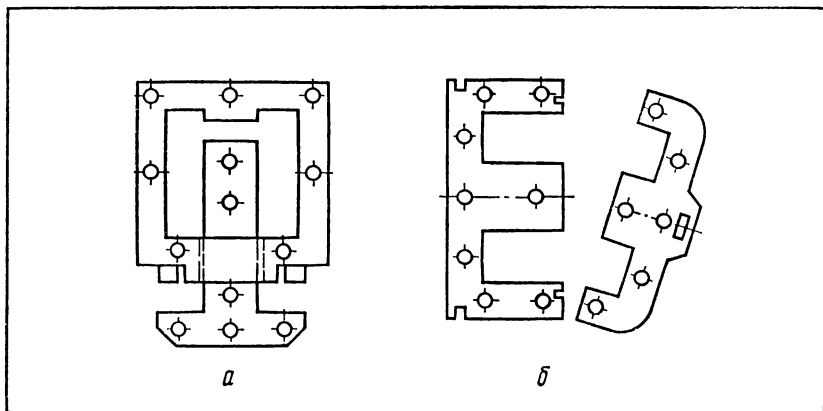


Рис. 28. Шихтованные магнитопроводы: а — с прямоходным якорем; б — с поворотным якорем.

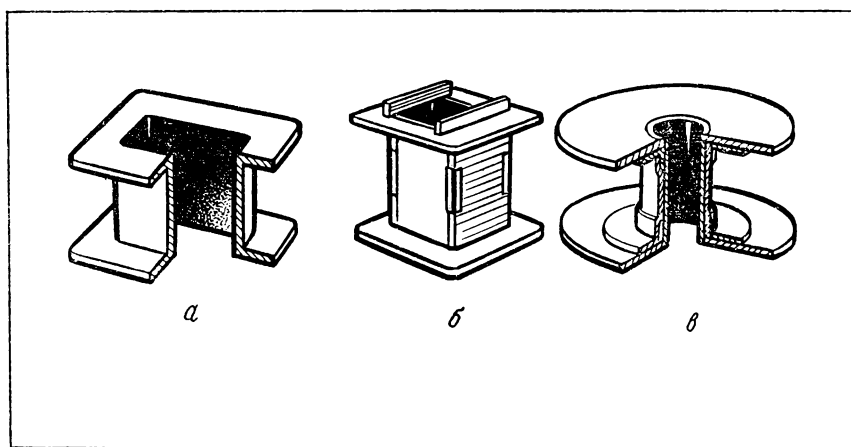


Рис. 29. Каркасы катушек: *а* — прессованный; *б* — сборный; *в* — клееный.

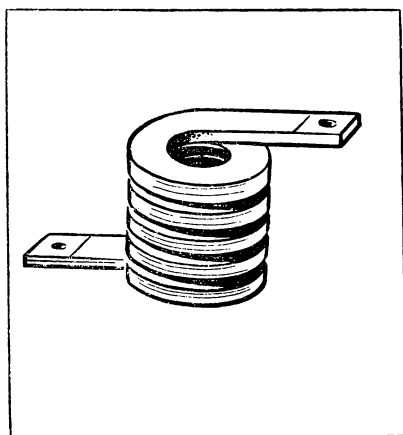


Рис. 30. Бескаркасная катушка, навитая из медной шины.

тические станки, пропиточные установки, калориферные и другие сушильные установки.

После сушки проверяют, нет ли обрыва в обмотке катушки и соответствует ли ее электрическое сопротивление заданным требованиям. Обмотки катушек переменного тока проверяют также на отсутствие замыкания между витками. После этого катушки покрывают лаками и эмалями и сушат на воздухе или в печах.

Электрические контакты, магнитопроводы с катушками и другие детали электрических аппаратов укрепляют на основании; некоторые аппараты закрывают крышкой, соединяемой с основанием. На основании имеются зажимы, служащие для подсоединения аппарата к электрической сети, а через крышку выведены рукоятки, кнопки, с помощью которых замыкают или размыкают контакты вручную.

### Вопросы и упражнения

1. По каким признакам классифицируют электрические аппараты? Назовите их основные классификационные признаки.
2. Какие требования предъявляют к электрическим аппаратам?
3. Из каких основных общих частей состоят различные электрические аппараты?

4. Какие виды электрических контактов применяют в коммутационных аппаратах? Из каких материалов изготавливают контакты? Какими параметрами они характеризуются? Рассмотрите устройство контактов в выключателях и рубильниках. Определите вид контакта. Очистите от пыли, грязи и нагара контакты в электрическом аппарате и отрегулируйте их. Начертите условные обозначения замыкающего и размыкающего контактов (см. табл. 7).

5. Каково назначение электромагнитного механизма в электрическом аппарате? Объясните принцип действия этого механизма.

6. По заданию учителя (мастера) снимите крышку электрического аппарата и рассмотрите устройство и взаимодействие его основных частей. Определите особенности устройства магнитопровода, катушек, пружин, контактов, примененных в данном аппарате.

## § 29. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ

С кнопочными, рычажными, поворотными выключателями вы знакомились в IV—VIII классах.

*Пакетный выключатель* устроен и действует следующим образом (рис. 31). На четырехгранном вале 7, приводимом во вращение ручкой 4, укреплены подвижные контакты 5. Неподвижные контакты 3, к которым присоединяют провода электрической сети, укреплены на электроизоляционных шайбах 2. При повороте ручки в положение «включено» подвижные контакты с двух сторон охватывают неподвижные контакты (см. рис. 31, б); при повороте после этого ручки на угол  $90^\circ$ , т. е. в положение «выключено», происходит размыкание контактов (см. рис. 31, в). Для сокращения времени размыкания используют пружину, помещенную внутри выключателя. Расположенные в одной плоскости с подвижными контактами фибровые шайбы 6 в

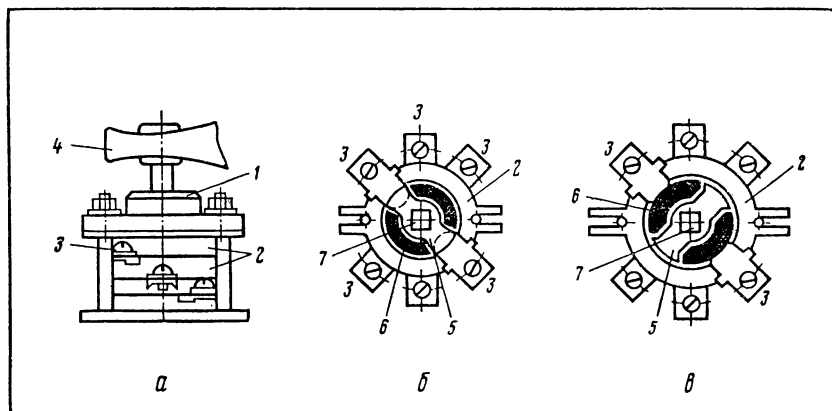


Рис. 31. Устройство пакетного выключателя: а — внешний вид выключателя; б — контактная система в положении «включено»; в — контактная система в положении «выключено»; 1 — крышка; 2 — неподвижные электроизоляционные шайбы; 3 — неподвижный контакт; 4 — ручка управления; 5 — подвижный контакт; 6 — фибровая шайба; 7 — вал.

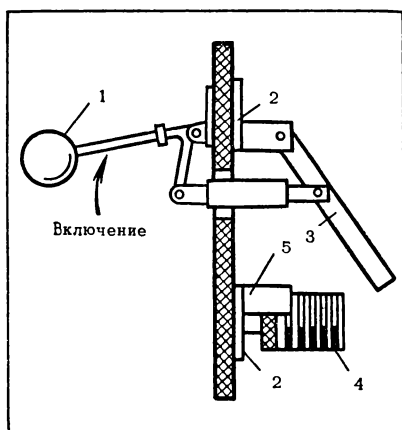


Рис. 32. Однополюсный рубильник: 1— рукоятка; 2— место для присоединения проводов сети; 3— контактный нож; 4— дугогасительное устройство; 5— контактная стойка.

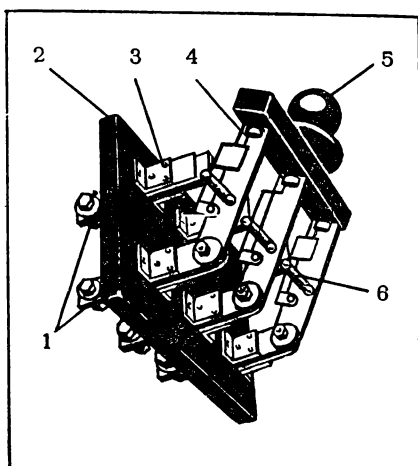


Рис. 33. Трехполюсный рубильник (защитный кожух снят): 1— контакты для присоединения к электрической сети; 2— основание; 3— неподвижная контактная стойка; 4— контактный нож; 5— рукоятка; 6— пружина.

момент отключения охватывают с двух сторон неподвижные контакты и способствуют тем самым гашению электрической дуги, возникающей между контактами при их размыкании.

Тип пакетного выключателя обозначают буквами ПВМ или ПКВ с указанием числа полюсов и номинального значения силы тока отключения. Например, ПВМЗ-100 означает: трехполюсный пакетный выключатель на силу тока до 100 А.

*Рубильники* (рис. 32 и 33) могут быть одно-, двух- и трехполюсными. Промышленность выпускает рубильники с рукояткой типа П, рычажным приводом типа ППЦ и др. Выбирая рубильник, учитывают номинальные значения силы тока и напряжения.

*Электрические предохранители* должны обеспечивать нормальную работу электроприемников при длительном прохождении по ним номинального тока и немедленно отключать их при коротких замыканиях, а также при перегрузках.

Промышленность выпускает предохранители различных типов. Устройство одного из широко применяемых предохранителей показано на рисунке 34.

Выбирая предохранитель, сначала определяют номинальное значение силы тока, который должен длительно проходить на защищенном участке цепи ( $I_n$ ), и максимальный ток, проходящий на этом участке, например, при пуске электродвигателя ( $I_n$ ). Номинальное значение силы тока плавкой вставки ( $I_b$ ) должно удовлетворять следующим требованиям:

$$1) I_b \geq I_n.$$

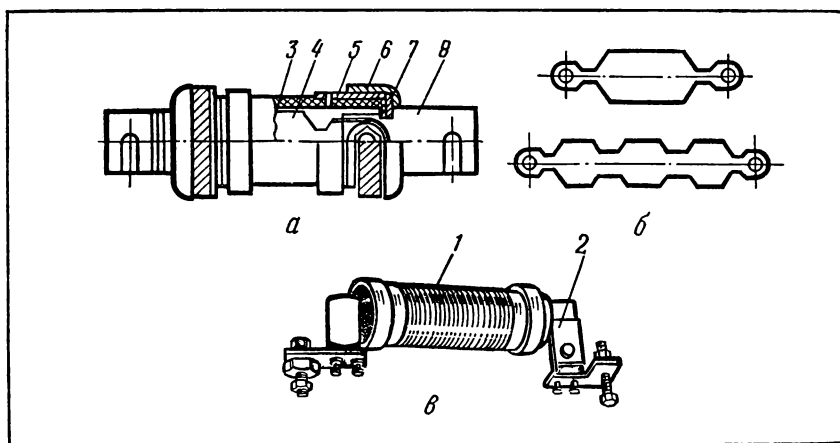


Рис. 34. Электрический предохранитель типа ПР, рассчитанный на ток от 100 до 350 А: *а* — устройство патрона; *б* — плавкие элементы (вставки); *в* — внешний вид; 1 — разборный патрон; 2 — контактная стойка; 3 — фибровая трубка; 4 — плавкий элемент (вставка); 5 — латунная втулка; 6 — латунный колпачок; 7 — фиксирующая шайба; 8 — контактный нож.

2)  $I_{\text{в}} \geq \frac{I_{\text{п}}}{2,5}$  при длительности процесса пуска менее 10 с и

$I_{\text{в}} \geq \frac{I_{\text{п}}}{1,6}$  при длительности процесса пуска более 10 с;

3) предохранитель должен немедленно срабатывать при коротком замыкании на защищаемом участке цепи (избирательность, т. е. селективность работы предохранителя).

Тип предохранителя выбирают на основе вышеуказанных расчетов, руководствуясь при этом данными таблицы 17.

Таблица 17  
Основные данные плавких предохранителей

Тип предохранителя	Напряжение, В	Номинальная сила тока патрона, А	Номинальная сила тока плавкого элемента (вставки), А
ПР-2-15	500	15	6; 10; 15
ПР-2-60	500	60	15; 20; 25; 35; 45; 60
НПН-2-15	500	15	6; 10; 15
НПН-2-60	500	60	20; 25; 35; 45; 60
ПРС-6	380	6	1; 2; 4; 6
ПРС-20	380	20	10; 16; 20
ПК-45	600	5	0,15; 0,25; 0,5; 1
ПН-50	600	5	0,25; 0,5; 1; 2; 3, 4,5

## Практическая работа № 1

### Изучение устройства выключателей и предохранителей

**Оборудование:** выключатели различных видов; электрические предохранители; контрольная лампа; набор инструментов для электромонтажных работ.

#### Порядок выполнения работы<sup>1</sup>

1. Запишите технические данные выключателей; разберите выключатели, изучите их устройство, зачистите контакты; окончите провода и присоедините их к выключателям.

2. Запишите технические данные электрических предохранителей; проверьте с помощью контрольной лампы целостность в предохранителях плавкого элемента (вставки), отремонтируйте неисправные предохранители.

## § 30. РЕЛЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

### РЕЛЕ

Реле — это техническое устройство. Слово «реле» французского происхождения, оно указывает на действие — сменять, заменять. Отсюда становится ясной функция реле как устройства, предназначенного для осуществления по заданной программе (заданному условию) скачкообразных изменений состояния электрической, пневматической и других цепей.

Реле находит широкое применение в различных отраслях народного хозяйства и бытовой технике — электрических холодильниках, нагревательных приборах и т. п. Непосредственно в электротехнике реле служат для дистанционного управления электроустановками, защиты их от токовых перегрузок и коротких замыканий, а также для автоматической сигнализации о режиме их работы.

Реле различают в зависимости от физических явлений, определяющих принцип их действия. С этой точки зрения реле разделяют на электрические (электромагнитные, индукционные, электро-тепловые, полупроводниковые и многие другие), механические (деформационные, инерционные и т. п.), оптические и др.

Реле реагируют на воздействие физических величин: *электрические* — на силу тока, напряжение, частоту электрических колебаний; *механические* — на перемещение, скорость, давление и т. д.; *тепловые* — на температуру и др.; *оптические* — на освещенность и др.; *магнитные* — на магнитную индукцию, магнитный поток и т. п.; *акустические* — на частоту звуковых колебаний.

---

<sup>1</sup> Приступая к данной и каждой последующей практической работе, сначала подготовьте рабочее место, продумайте план и этапы своей деятельности, изучив предложенный в пособии порядок выполнения работы, повторите требующийся теоретический материал, общие правила техники безопасности, а также запомните из приложенных к аппаратам, приборам и т. п. инструкций и паспортов специальные указания по соблюдению техники безопасности, личной гигиены, производственной санитарии и противопожарных мероприятий. Электрические схемы выполняйте, пользуясь таблицей 7, а расчеты делайте, применяя микрокалькулятор.

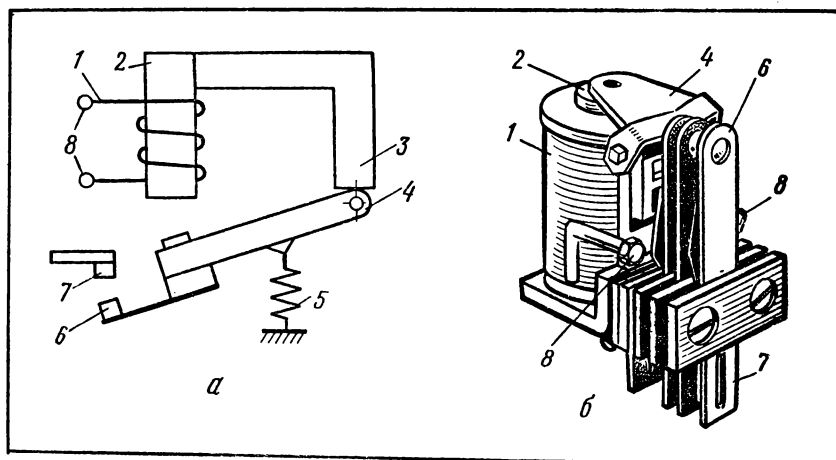


Рис. 35. Электромагнитное реле: а — схема, поясняющая действие реле; б — внешний вид одного из типов реле; 1 — обмотка; 2 — сердечник; 3 — ярмо; 4 — якорь; 5 — возвратная пружина; 6 — подвижный контакт; 7 — контакт управляемой цепи; 8 — зажимы для присоединения к управляющей цепи.

Реле классифицируют также в зависимости от ряда других признаков, например характера изменения (увеличения, уменьшения) физической величины, конкретных выполняемых функций и др. Если реле срабатывает при возрастании соответствующей электрической величины, его называют **максимальным**, если же срабатывание происходит при убывании этой величины — **минимальным**.

Исторически название «реле» было впервые отнесено к электромагнитным реле. Вспомним, как устроено и действует электромагнитное реле. Пусть, например, задано условие: переключение в управляемой цепи должно происходить при замыкании контактов 6 и 7 (рис. 35). Эти контакты замкнутся, если в сердечнике 2 возрастет магнитный поток до значения, при котором ферромагнитный якорь 4, преодолев удерживающее действие пружины 5, притянется к сердечнику (ярмо 3 служит для усиления магнитного потока). Магнитный поток в сердечнике 2 может возрасти лишь при увеличении силы тока в обмотке 1. Таким образом, чтобы с помощью реле осуществить переключение в управляемой цепи, нужно увеличить силу тока в обмотке реле, которая присоединяется к управляющей цепи.

В энергетике, аппаратуре связи и вычислительных машинах, устройствах телемеханики и измерительной техники применяют **магнитоэлектрические реле** (рис. 36). Когда по обмотке 6 идет ток, он взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита 1, вследствие чего рамка вращается, замыкая или размыкая контакты 3 и 4. Изменяя направление и силу тока в обмотке, можно задавать соответственно направле-



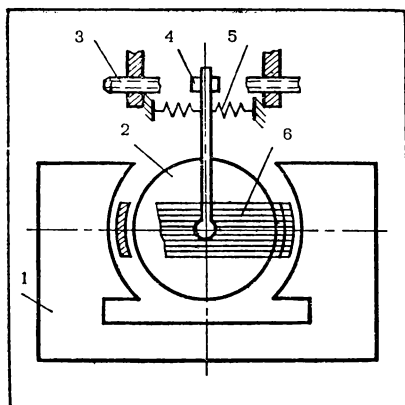


Рис. 36. Схематическое изображение магнитоэлектрического реле: 1— постоянный магнит; 2— барабан; 3— неподвижный контакт; 4— подвижный контакт; 5— противодействующая пружина; 6— рамка с обмоткой.

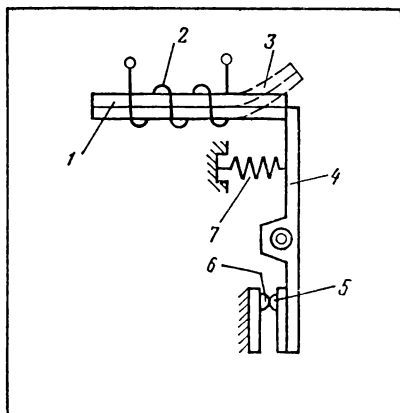


Рис. 37. Схема, поясняющая принцип действия электротеплового реле: 1— биметаллическая пластина в рабочем положении; 2— нагревательный элемент; 3— биметаллическая пластина после изгибания; 4— рычаг; 5— подвижный контакт; 6— неподвижный контакт; 7— пружина.

ние вращения рамки (это дает возможность изменять последовательность замыкания и размыкания контактов) и частоту вращения рамки (это позволяет делать переключения в управляемой цепи с необходимым интервалом времени).

Для отключения электрических установок, чтобы не допустить их перегрева при длительных, но небольших токовых перегрузках, применяют электротепловые реле. Принцип действия электротеплового реле (рис. 37) заключается в следующем. Прохождение по нагревательному элементу 2 электрического тока, превышающего установленное значение, приводит к более значительному нагреванию биметаллической пластины 1. Вследствие этого пластина изгибается и занимает положение 3. При таком положении пластина не препятствует рычагу 4, который под действием пружины 7 поворачивается и размыкает контакты 5 и 6. Размыкание контактов приводит к отключению цепи, которую защищает реле, от источника тока. (В дальнейшем мы ознакомимся с применением электротепловых реле в цепях управления электродвигателями.)

Электротепловые реле срабатывают через некоторое время после превышения номинального тока. При коротких замыканиях электротепловое реле не может мгновенно отключить электрическую цепь. Время срабатывания электротепловых реле в электроустановках устанавливается от 3 до 20 с.

Рассмотрим некоторые общие сведения об устройстве, назначении и параметрах различных реле.

Реле состоит из воспринимающего, исполнительного и промежуточного органов. Воспринимающий орган (например, обмотка реле) принимает сигнал, воздействующий на реле и необходимый для его работы. Исполнительный орган (например, электрические контакты) воздействует на управляемую цепь. Промежуточный орган (например, противодействующие пружины и успокоители) передает воздействие от воспринимающего органа к исполнительному.

Реле подразделяют на первичные, вторичные и промежуточные. Воспринимающий орган первичного реле включают непосредственно в цепь управления электроустановкой или ее частью. В цепь, рассчитанную на большую силу тока, реле включают через измерительный трансформатор (см. § 46). Такие реле называют вторичными. Реле, работающие от исполнительных органов других реле, называют промежуточными.

Реле характеризуют следующими параметрами: *номинальной величиной* — значением силы тока, напряжения или другой величины, на которое рассчитано реле; *величиной срабатывания* — значением силы тока, напряжения или другой величины, при котором реле начинает работать; *уставкой реле* — значением величины срабатывания, на которую отрегулировано данное реле.

Величину срабатывания реле можно регулировать. С этой целью, например, в электромагнитных реле изменяют силу натяжения пружины или толщину диамагнитной прокладки, установленной на якоре (в последнем случае фактически изменяют размер зазора между якорем и сердечником).

## АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Главной частью автоматических выключателей служит реле, поэтому и принцип работы их тот же, что и реле.

Реле с относящимися к нему механизмами отключения называют расцепителем. Автоматические выключатели бывают с электромагнитными, электротепловыми и комбинированными расцепителями.

Устройство и схема действия автоматического выключателя показаны на рисунке 38. Рассмотрим его работу. В цепи, которой управляет автоматический выключатель, может произойти короткое замыкание. Тогда по обмотке 11 пойдет такой ток, который будет достаточен для мгновенного срабатывания электромагнитного расцепителя. В этом случае якорь 10 ударит по рейке 12 с силой  $F_1$ , а рейка в свою очередь с силой  $F$  подействует на механизм подвижного контакта 5 и разомкнет его с неподвижным контактом 3.

При отсутствии короткого замыкания, но при наличии сравнительно длительной (несколько секунд) токовой перегрузки; недостаточной, однако, для срабатывания электромагнитного

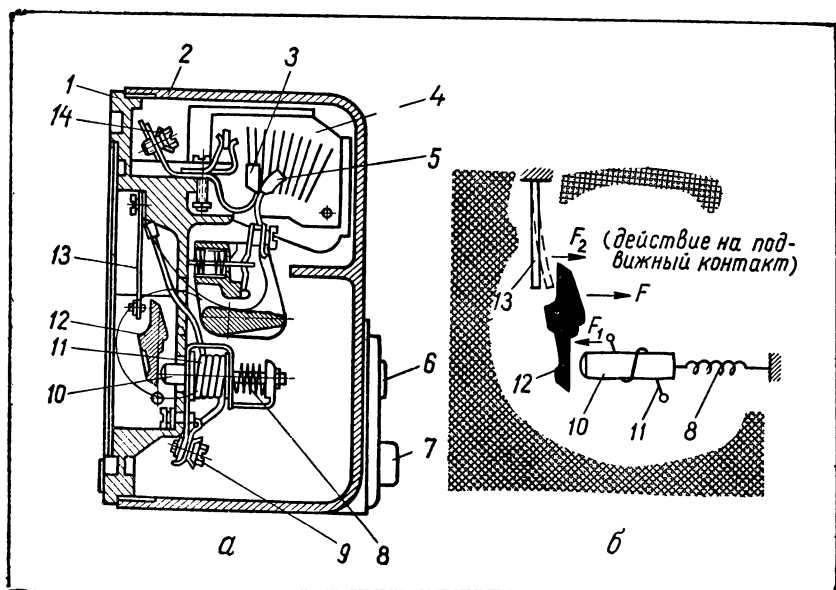


Рис. 38. Автоматический выключатель: *а* — разрез; *б* — упрощенная схема действия; 1— основание; 2— крышка; 3— неподвижный контакт; 4— дугогасящая камера; 5— подвижный контакт; 6— кнопка «включен»; 7— кнопка «отключен»; 8— регулировочная пружина; 9— зажим для присоединения электроприемника; 10— якорь; 11— обмотка; 12— рейка, размыкающая контакты; 13— биметаллическая пластина; 14— зажим для присоединения к сети.

расцепителя, контакты 5 и 3 будут разомкнуты электротепловым расцепителем. Здесь биметаллическая пластина 13 (рис. 38, б), изгибаясь вследствие нагревания, действует на рейку 12 с силой  $F_2$ , а рейка передаст усилие  $F$  механизму подвижного контакта.

Одновременно с размыканием контактов 5 и 3 автоматически выскакивает кнопка 6 («включен»). После устранения короткого замыкания или токовой перегрузки в цепи установку можно включить, нажимая на кнопку 6. Для отключения цепи вручную нажимают кнопку 7 («отключен»). В автоматических выключателях обычно имеется дугогасящая камера.

Автоматические выключатели устанавливают непосредственно на щитке.

Выбирая автоматический выключатель, сначала рассчитывают номинальную силу тока цепи, затем проверяют, чтобы предельное значение силы тока срабатывания теплового расцепителя было больше номинального значения силы тока цепи. Если выключатель применяют для управления электрическим двигателем, то ток срабатывания электромагнитного расцепителя должен быть не менее 125% пускового тока двигателя.

## Упражнения

1. Ознакомьтесь с техническими данными электромагнитного реле. Снимите крышку и изучите устройство электромагнитного реле. Что в данном реле служит воспринимающим, исполнительным и промежуточным органами? Выясните, каким образом реле включают в электрическую цепь. Предложите способ регулирования основных параметров реле. Соберите реле.

2. Ознакомьтесь с техническими данными электротеплового реле и выполните задания, указанные в упражнении 1.

3. Снимите крышку автоматического выключателя, изучите устройство и взаимодействие его частей; соберите выключатель. Выберите автоматический выключатель для управления осветительными электроприемниками общей мощностью 6 кВт. Номинальное напряжение электроприемников равно 220 В.

## § 31. КОНТАКТОРЫ И МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ

### КОНТАКТОРЫ

*Контактором* называют электромагнитный аппарат, предназначенный для дистанционного включения и отключения электрических цепей, рассчитанных, как правило, на сравнительно большое номинальное значение силы тока (например, мощных электродвигателей, электрооборудования кранов, троллейбусов). Различают контакторы переменного и постоянного тока.

Контактор подсоединяют к управляемой цепи через *выключатель кнопочный нажимной* (рис. 39). Этот выключатель находится обычно вдали от контактора и благодаря этому позволяет осуществлять дистанционное управление работой электроприемников из удобного положения.

Контактор (рис. 40 и 41) состоит из двух основных частей: магнитной системы (катушка с магнитопроводом) и контактной системы (главные контакты, помещенные в дугогасящую камеру, и блок-контакты).

Когда по обмотке 8 (см. рис. 40) идет ток, сердечник 7 и якорь 5 намагничиваются. Вследствие этого якорь притягивается к сердечнику, благодаря чему замыкаются контак-

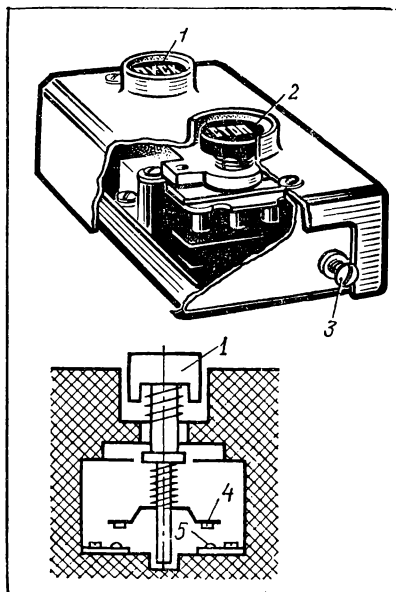


Рис. 39. Выключатель кнопочный нажимной: 1 — кнопка «пуск»; 2 — кнопка «стоп»; 3 — винт для присоединения заземляющего проводника; 4 — подвижный контакт; 5 — неподвижный контакт.

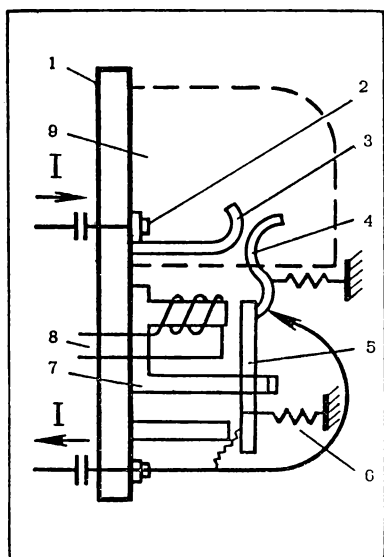


Рис. 40. Схема устройства однополюсного контактора: 1— основание; 2— зажим; 3— неподвижный контакт; 4— подвижный контакт; 5— якорь; 6— пружина; 7— сердечник; 8— обмотка; 9— дугогасящая камера.

ты 3 и 4, а стало быть, и управляемая цепь (на рис. 40 стрелкой указано направление тока).

Аналогичным образом действует и трехполюсный контактор (см. рис. 41). Он имеет главные контакты, к которым присоединяют управляемую цепь, и блок-контакты 7 и 8, срабатывающие при нажатии на кнопки выключателя кнопочно-го нажимного (см. рис. 39).

При нажатии на кнопку «пуск» по обмотке 2 (см. рис. 41) контактора идет электрический ток, который создает магнитное поле. Вследствие этого сердечник 1 намагничивается и притягивает якорь 3. Якорь поворачивает вал 4, так как соединен с ним. С валом соединены также подвижные главные (силовые) контакты 5 и блок-контакты; поэтому при повороте вала замыкают-

ся главные контакты 5 и 10, через которые управляемый контактором электроприемник подключается к электрической сети, и блок-контакты. Благодаря последним по обмотке 2 продолжает проходить ток и после отпускания кнопки «пуск».

При снятии напряжения с обмотки контактора (нажатие на кнопку «стоп») якорь отпадает от сердечника под действием силы тяжести или пружины. Вследствие этого главные контакты и блок-контакты размыкаются, а стало быть, управляемый электроприемник отключается от источника тока.

Контакторы постоянного тока изготавливают с одним или двумя полюсами, а контакторы переменного тока — с двумя, тремя, четырьмя или пятью полюсами. Тип контактора обозначают сочетанием букв:

КП, КН, КПП, или КПД — контакторы постоянного тока; КТ, КТП или КНТ — контакторы переменного тока.

Кроме этого, с помощью дополнительных букв и цифр указывают также следующее:

серию — первая цифра;

исполнение главных контактов — вторая цифра: 1 — один замыкающий контакт, 2 — два замыкающих контакта, 3 — один размыкающий и один замыкающий контакты;

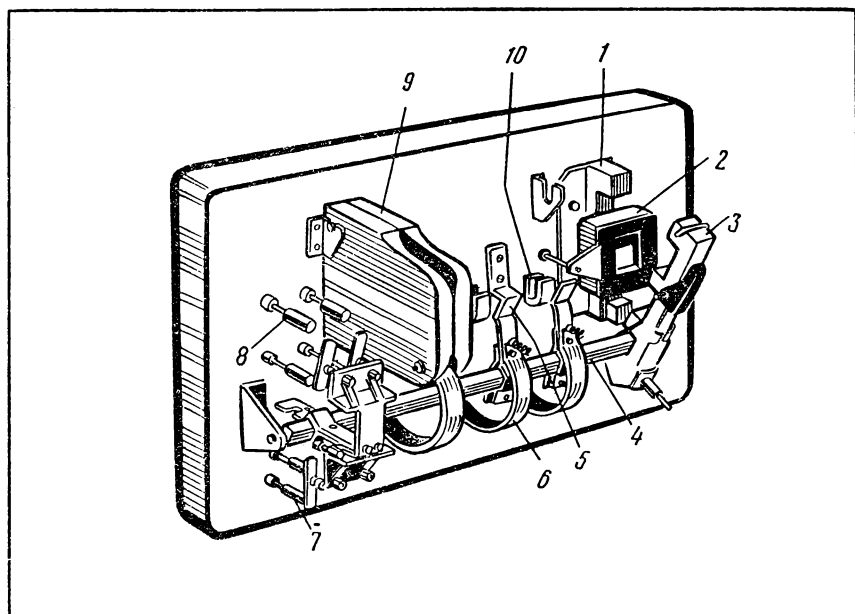


Рис 41. Трехполюсный контактор переменного тока (крышка снята): 1— неподвижный сердечник; 2— обмотка; 3— якорь; 4— вал; 5— подвижные главные контакты; 6— токопроводящие пластины; 7— размыкающие блок-контакты; 8— замыкающие блок-контакты; 9— дугогасящая камера; 10— неподвижные главные контакты.

величину контакта — третья цифра: 1 — до 63 А, 2 — до 100 А, 3 — до 160 А, 4 — до 250 А, 5 — до 630 А;

индекс очередной модификации — первая буква после цифр; климатические условия эксплуатации — вторая буква после цифр;

среду, для работы в которой контактор предназначен, — последняя цифра: 1 — на открытом воздухе, 2 — под навесом, 3 — в помещении.

Рассмотрим пример: КПД-121ЕУЗ — это контактор постоянного тока, предназначен для управления крановым электрооборудованием, серии 100, имеет два замыкающих контакта первой величины, нормально работает в помещении.

### МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ

*Магнитный пускатель* — это электрический аппарат переменного тока, предназначенный для дистанционного пуска, остановки и защиты электроустановок.

Обычно магнитный пускатель состоит из конструктивно объединенных контактора и электротеплового реле. Однако промышленность выпускает магнитные пускатели и без теплового реле.

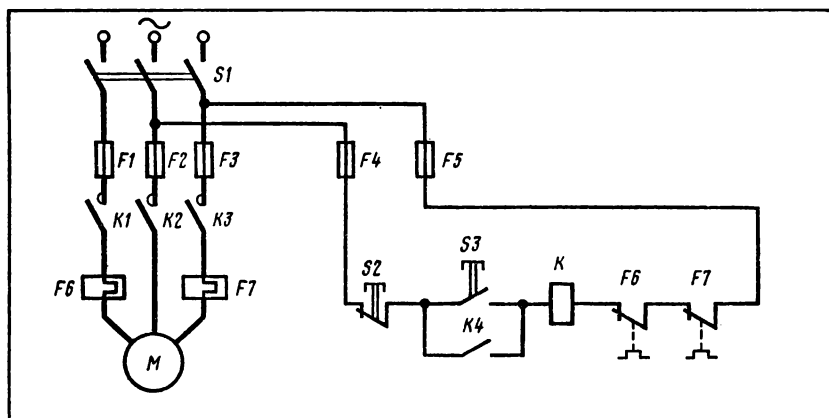


Рис. 42. Принципиальная схема управления двигателем с помощью нереверсивного магнитного пускателя.

Магнитные пускатели часто применяют для управления асинхронными трехфазными электродвигателями с короткозамкнутым ротором (см. § 47).

Магнитные пускатели, позволяющие включать двигатель лишь в одном направлении вращения, называют **нереверсивными**.

Магнитные пускатели, с помощью которых можно изменять направление вращения электродвигателя, называют **реверсивными** (они состоят из двух нереверсивных пускателей, объединенных конструктивно).

Рассмотрим, как действует нереверсивный магнитный пускатель (рис. 42). Сначала включают рубильник  $S1$ . Затем нажимают на кнопку  $S3$ , т. е. замыкают управляющую цепь. Тогда по обмотке  $K$  контактора идет ток, вследствие чего замыкаются главные контакты  $K1$ ,  $K2$  и  $K3$ , присоединяя электродвигатель  $M$  к сети. При отпуске кнопки  $S3$  управляющая цепь остается замкнутой, так как ранее одновременно с главными контактами замкнулись блок-контакты  $K4$ . Для остановки двигателя нажимают на кнопку  $S2$ , вследствие чего размыкается управляющая цепь, а следовательно, главные контакты и блок-контакты. Контакты электротеплового реле  $F6$  и  $F7$  в рабочем состоянии замкнуты. Если же ток в сети превысит номинальное значение, то значительно нагреется нагревательный элемент  $F6$  и  $F7$  и электротепловое реле разомкнет контакты  $F6$  и  $F7$ , т. е. разомкнет управляющую цепь. При коротком замыкании в силовой или управляющей цепи сработают предохранители соответственно  $F1$ ,  $F2$  и  $F3$  или  $F4$  и  $F5$ .

Пускатели серий ПА и ПАЕ используют преимущественно для управления электродвигателями, установленными на металлообрабатывающих и других станках. Пускатели серии ПМЕ

применяют для управления асинхронными трехфазными двигателями с короткозамкнутым ротором.

Тип пускателя обозначают сочетанием букв и цифр. Буквы указывают на серию, а цифры — на величину (габаритные размеры), особенности исполнения, наличие или отсутствие электротеплового реле и на возможность реверсирования:

первая цифра, стоящая после букв, указывает на величину пускателя (чем она больше, тем больше габаритные размеры пускателя); магнитные пускатели серии ПМЕ имеют величину 0, 1 или 2, а серии ПА — 3, 4, 5 или 6;

вторая цифра показывает открытое (1) или защищенное (2) исполнение;

по третьей цифре можно одновременно определить, является ли пускатель нереверсивным (1 или 2) или реверсивным (3 или 4) и имеет ли он электротепловое реле (2 или 4) или нет (1 или 3).

Рассмотрим примеры: ПА-314 — магнитный пускатель третьей величины, открытого исполнения, реверсивный, с электротепловым реле; ПА-621 — магнитный пускатель шестой величины, защищенного исполнения, нереверсивный, без электротеплового реле.

Выбирать магнитный пускатель необходимо по следующим данным: номинальная сила тока, номинальное напряжение и условия эксплуатации — требуется или не требуется защищенное исполнение, есть ли необходимость в реверсировании и наличии электротеплового реле.

## **Практическая работа № 2**

### **Ознакомление с устройством и ремонт магнитного пускателя (контактора)**

*Оборудование:* магнитный пускатель нереверсивный (контактор), выключатель кнопочный нажимной, набор инструментов для электромонтажных работ.

**Порядок выполнения работы<sup>1</sup>**

1. Определите тип магнитного пускателя (контактора) и запишите его технические данные.

2. Снимите крышку магнитного пускателя (контактора) и рассмотрите устройство его основных частей.

3. Проверьте состояние главных контактов и блок-контактов; если требуется, очистите их от пыли, грязи и нагара.

4. Проверьте с помощью омметра (контрольной лампы) целостность обмотки; если она неисправна, отремонтируйте или замените ее.

5. Проверьте исправность нагревательного элемента электротепловых реле; если требуется, устраните неисправность.

6. Очистите и отрегулируйте контакты электротеплового реле.

7. Установите исправный магнитный пускатель (контактор) вертикально на щитке.

8. Разберите выключатель кнопочный нажимной, изучите его устройство; очистите и отрегулируйте контакты, соберите выключатель.

---

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.



## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

### § 32. УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

#### НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Измерить какую-либо величину — это значит сравнить ее с другой однородной величиной, принятой за единицу измерения. Число, полученное при сравнении, называют численным значением измеряемой величины.

Устройство, предназначенное для сравнения величины с ее единицей, называют *измерительным прибором*.

Электроизмерительные приборы служат для измерения электрических величин: силы тока, напряжения, сопротивления, мощности, работы (энергии) тока и др. С помощью электроизмерительных приборов и присоединенных к ним дополнительных устройств измеряют также и неэлектрические величины, например температуру, давление и др.

В СССР и других странах пользуются различными системами единиц физических величин, но в настоящее время основной преимущественно применяемой является Международная система единиц (сокращенно СИ). Некоторые данные об этой системе приведены в таблице 18.

Таблица 18

Единицы некоторых электрических величин  
в Международной системе

Наименование величины	Единица	
	наименование	обозначение
Сила тока	ампер	А
Частота (переменного тока)	герц	Гц
Разность электрических потенциалов, напряжение, электродвижущая сила	вольт	В
Энергия (работа) тока	джоуль	Дж
Мощность тока	ватт	Вт
Электрическое сопротивление	ом	Ом
Удельное электрическое сопротивление	ом-метр	Ом·м
Электрическая емкость	фарада	Ф
Магнитный поток	вебер	Вб
Магнитная индукция	тесла	Т
Индуктивность	генри	Гн

Кроме основных единиц, применяют также кратные и дольные единицы (табл. 19.)

Таблица 19

Значения некоторых электрических величин в единицах СИ

Наименование единиц	Обозначение	Значение в единицах Международной системы
Миллиампер	мА	$10^{-3}$ А
Микроампер	мкА	$10^{-6}$ А
Киловольт	кВ	$10^3$ В
Милливольт	мВ	$10^{-3}$ В
Микровольт	мкВ	$10^{-6}$ В
Мегом	МОм	$10^6$ Ом
Килоом	кОм	$10^3$ Ом
Киловатт	кВт	$10^3$ Вт
Киловатт-час	кВт·ч	$3,6 \cdot 10^6$ Дж
Микрофарада	мкФ	$10^{-6}$ Ф
Пикофарада	пФ	$10^{-12}$ Ф
Мегагерц	МГц	$10^6$ Гц

Электроизмерительные приборы классифицируют по ряду признаков: назначению — амперметры, вольтметры, омметры, частотомеры и т. д.; роду измеряемого тока — постоянный, переменный; принципу действия — магнитоэлектрические, электромагнитные и др.; классу точности; условиям эксплуатации и др.

Отсчитывание показаний в а н а л о г о в ы х электроизмерительных приборах производится по шкале, а в ц и ф р о в ы х — по цифровому отсчетному устройству.

Большинство приборов показывают значение электрической величины, соответствующее моменту измерения. Эти приборы называют п о к а з ы в а ю щ и м и. Приборы, имеющие устройства для записи показаний измерения в виде диаграмм или в цифровой форме, называют р е г и с т р и р у ю щ и м и. Они бывают самопишущими или печатающими. Некоторые приборы, например счетчики электроэнергии, показывают суммарное значение измеряемой величины за определенный промежуток времени, их называют и н т е г р и р у ю щ и м и.

По способу применения и в зависимости от конструкции электроизмерительные приборы делят на щитовые (панельные), переносные и стационарные.

#### ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

У многих приборов есть общие по назначению части. Это корпус, зажимы, шкала, указательная стрелка, ограничители, винт корректора (рис. 43.). На корпусе некоторых приборов расположены переключатель пределов измерения и арретир. Внутри каждого прибора находится его главная часть — *измерительный механизм*. Отдельные приборы, например омметры, снабжены камерой, в которую помещают источник электропитания (галь-

ванический элемент). У интегрирующих приборов, например у электросчетчиков, в отличие от показывающих приборов отсутствует указательная стрелка, но у них есть счетный механизм.

*Корпус* служит для защиты измерительного механизма от механических повреждений, от пыли. В зависимости от способа защиты внутреннего устройства прибора от внешних воздействий корпуса приборов могут быть обыкновенные, водо-, газо- и пылезащищенные, герметические и взрывобезопасные. Изготавливают корпуса приборов из пластмассы, древесины, стали, стекла, алюминия и его сплавов.

К *зажимам* прибора присоединяют провода для включения его в электрическую цепь.

По *шкале* прибора отсчитывают значение измеряемой величины.

Внешний вид шкалы и нанесенные на нее условные обозначения зависят от назначения и конструкции прибора. Большинство приборов, с которыми придется обращаться в школе или учебно-производственном комбинате, имеют шкалы, устройство которых рассмотрено ниже.

Шкалы приборов изготавливают из цинка, стали или электроизоляционных материалов. На шкалу наносят черточки (вертикальные, горизонтальные, наклонные), называемые *отметками*. Отметку шкалы, соответствующую нулевому значению измеряемой величины, называют *нулевой*. Интервал между двумя соседними отметками носит название *деления шкалы*, а значение электрической величины, приходящееся на одно деление шкалы, — *цены деления*. Значение измеряемой величины, соответствующее начальной отметке шкалы, называют *начальным значением шкалы*, а значение измеряемой величины, соответствующее конечной отметке шкалы, — *конечным значением*. Разность между конечным и начальными значениями измеряемой величины является *рабочим диапазоном измерений*. Шкалы бывают *равномерными* (все деления шкалы одинаковые) и *неравномерными* (де-

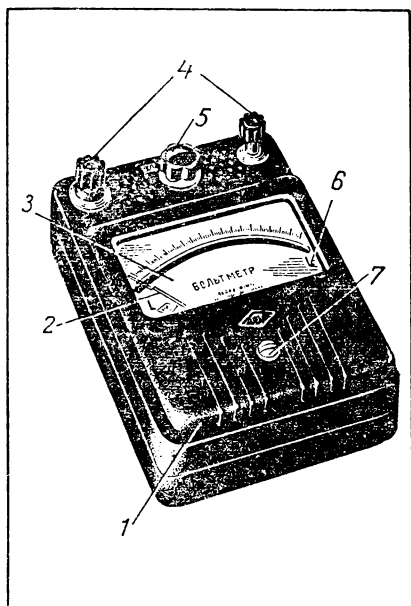


Рис. 43. Электроизмерительный прибор: 1— корпус; 2— указательная стрелка; 3— шкала; 4— зажимы; 5— переключатель пределов измерения; 6— ограничитель движения стрелки; 7— винт корректора.

ления шкалы неодинаковы). На шкале многих приборов параллельно отметкам расположена зеркальная полоса, что позволяет уменьшить ошибки при снятии показаний. Глаз, стрелка и ее отражение в зеркальной полосе должны находиться на одной линии.

*Указательная стрелка* нужна для отсчета по шкале значения измеряемой величины. Стрелку делают из алюминия или его сплавов. Стрелка соединена с измерительным механизмом, под действием которого она отклоняется (перемещается). Чтобы при движении стрелка не касалась корпуса (и в результате не погнулась), на шкале есть амортизирующие *ограничители*.

С помощью *винта корректора* непосредственно перед измерением стрелку устанавливают точно против нулевой отметки шкалы. Для этого винт корректора слегка поворачивают отверткой.

*Переключатели пределов измерения* установлены у тех приборов, которые служат для измерения электрических величин в нескольких пределах. В этом случае перед включением прибора переключатель устанавливают так, чтобы имеющаяся на нем точка (пометка) оказалась против требуемого предела измерения. Переключатель пределов измерения может быть также штепсельного типа.

Переносные приборы снабжены *арретиром*, с помощью которого закрепляют в неподвижном положении измерительный механизм, чтобы при транспортировке прибора он не повредился.

### Вопросы и упражнения

1. Что необходимо знать для правильного использования электроизмерительных приборов в практических целях?

2. Назовите единицы электрических и магнитных величин. Какие из них относятся к Международной системе единиц, а какие являются внесистемными?

3. По каким признакам классифицируют электроизмерительные приборы?

4. Рассмотрите внешний вид электроизмерительных приборов. Назовите части, являющиеся одинаковыми по назначению в различных приборах. Выясните особенности устройства данных частей у различных приборов.

## § 33. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Измерительный преобразователь служит для преобразования измеряемой физической величины в сигнал для последующей передачи, обработки и регистрации. Принцип действия измерительных преобразователей основан на разных физических явлениях.

Различают измерительные преобразователи, предназначенные для преобразования электрических величин в неэлектрические, электрических — в электрические, неэлектрических — в электрические, неэлектрических — в неэлектрические.

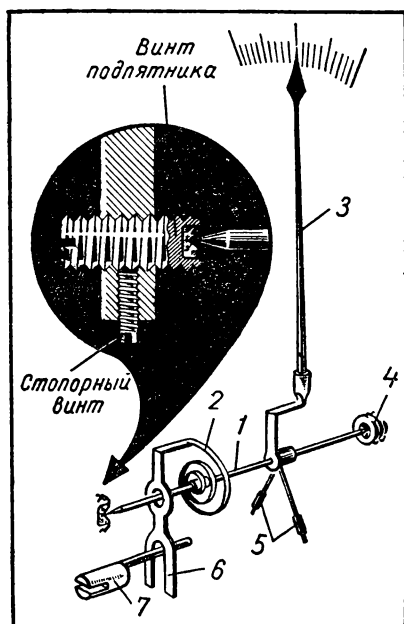


Рис. 44. Устройство подвижной части измерительных механизмов: 1— ось (у некоторых приборов полуось); 2— спиральная пружина; 3— указательная стрелка; 4— подпятник; 5— противовес; 6— вилка корректора; 7— винт корректора.

Рассмотрим измерительные преобразователи, служащие для преобразования электрических величин — силы тока, напряжения и т. д. в неэлектрические — отклонение стрелки, светового луча, работу счетного механизма и т. п. Примером таких измерительных преобразователей служат измерительные механизмы, используемые в устройстве электроизмерительных приборов различных систем — магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической и других.

Каждый измерительный механизм имеет одну или несколько обмоток. По ним при включении прибора в электрическую цепь проходит электрический ток. Кроме обмоток, в измерительном механизме есть постоянный магнит или ферромагнитный сердечник, который намагничивается при прохождении по обмоткам тока. Магнитное поле тока и магнитное поле, создаваемое сердечником,

взаимодействуют друг с другом, вследствие этого создается вращающий момент ( $M_{вр}$ ), действующий на подвижную часть прибора, в результате чего указательная стрелка отклоняется. В приборах, у которых нет сердечника, но есть две обмотки, стрелка отклоняется в результате взаимодействия магнитных полей, создаваемых проходящими по обмоткам токами. В зависимости от вида такого взаимодействия различают системы измерительных механизмов: *магнитоэлектрическую, электромагнитную, электродинамическую, индукционную*.

Широко применяют также измерительные приборы, действие которых основано на других принципах, — это приборы *тепловой, электростатической, вибрационной* и других систем.

Во многих современных приборах для преобразования измеряемых электрических величин применяют электронные, полупроводниковые и другие устройства.

Измерительные механизмы различных систем имеют ряд механических частей, назначение которых в основном одинаково. К таким частям относятся спиральные пружины, оси или полу-

оси с подпятниками, противовесы, корректор (рис. 44). Конструкция этих частей у тех или иных приборов отличается.

Спиральные пружины под действием вращающего момента ( $M_{вр}$ ), испытывая деформацию кручения, создают противодействующий момент ( $M_{пр}$ ). Противодействующий момент пропорционален углу закручивания пружины, или, что то же самое, углу поворота подвижной части измерительного механизма. Этот угол зависит от значения вращающего момента, который, в свою очередь, пропорционален значению измеряемой электрической величины. Таким образом, вращающий и противодействующий моменты находятся в прямо пропорциональной зависимости. При равенстве этих моментов ( $M_{вр} = M_{пр}$ ) указательная стрелка останавливается против определенной отметки шкалы, соответствующей значению измеряемой электрической величины.

Спиральные пружины изготавливают из фосфористой бронзы.

Оси или полуоси служат для укрепления указательной стрелки и подвижной части измерительного механизма. Концы оси или полуосей помещают в подпятники, которые уменьшают трение.

Подпятники изготавливают из камня (рубина, сапфира, агата), а также из твердой стали или фосфористой бронзы.

Противовесы служат для уравнивания подвижной части измерительного механизма.

Корректор нужен для установки стрелки на нулевую отметку шкалы. Винт корректора соединен с рычагом, сделанным в виде вилки, а рычаг — с концом спиральной пружины. При повороте винта корректора рычаг закручивает (или раскручивает) пружину, вследствие чего стрелка слегка отклоняется.

Обычно измерительный механизм снабжают успокоителем. Успокоитель быстро гасит колебания стрелки в тот момент, когда она под действием подвижной части измерительного механизма устанавливается около нужной отметки шкалы. По принципу действия и устройству различают воздушные, магнитоиндукционные и другие успокоители.

Воздушный успокоитель (рис. 45) состоит из закрытого цилиндра, внутри которого размещено легкое крыло, укрепленное на оси подвижной части прибора. Когда ось поворачивается, крыло перемещается в цилиндре; вследствие этого по одну сторону крыла создается сжатие, по другую — разрежение воздуха. Сила, создаваемая разностью давлений воздуха, направлена против движения крыла и оказывает на него, а вместе с ним и на указательную стрелку тормозящее (успокаивающее) действие.

Принцип действия магнитоиндукционного успокоителя (рис. 46) состоит в следующем. Алюминиевая пластина (листочек), закрепленная на оси подвижной части измерительного механизма, находится между полюсами постоянного магнита. При отклонении стрелки алюминиевая пластина тоже движется и в ней индуцируются вихревые токи. Магнитное поле токов (со-

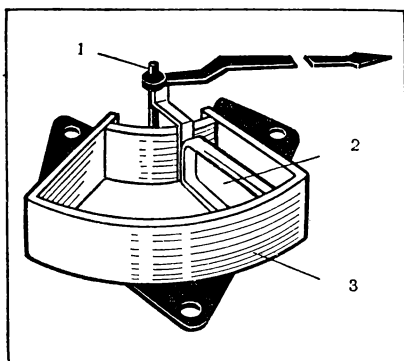


Рис. 45. Воздушный успокоитель: 1— ось; 2— крыло; 3— корпус (цилиндр).

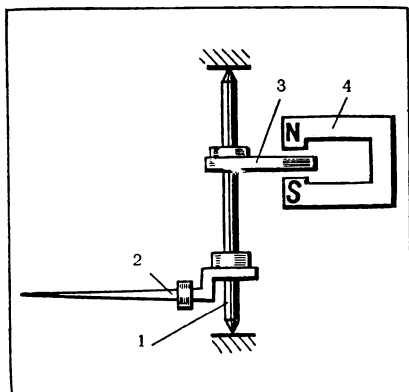


Рис. 46. Магнитоиндукционный успокоитель: 1— ось; 2— указательная стрелка; 3— алюминиевый листочек; 4— постоянный магнит.

гласно правилу Ленца) должно противодействовать изменению магнитного поля, благодаря которому они индуцировались. Такое поле создается постоянным магнитом, а изменение этого поля возможно лишь при движении алюминиевой пластины. Значит, пластина, а вместе с ней и стрелка должны быстро остановиться.

#### Вопросы и упражнения

1. Для чего служат измерительные преобразователи? По каким признакам их классифицируют?
2. Снимите крышку электроизмерительного прибора, рассмотрите устройство основных частей подвижной части измерительного механизма (см. рис. 44). Объясните, для чего служит каждая из этих частей, как они взаимодействуют.
3. Ознакомьтесь с устройством воздушного успокоителя и объясните принцип его действия.
4. Ознакомьтесь с устройством магнитоиндукционного успокоителя и объясните принцип его действия.

### § 34. ПРИБОРЫ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Принцип действия измерительного прибора магнитоэлектрической системы (рис. 47) основан на взаимодействии магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом, с током в обмотке подвижной части. Подвижная часть представляет собой легкую рамку с обмоткой 4 (см. рис. 47). Выводы обмотки соединены с нитями (растяжками) 7, через которые обмотка связана с внешней электрической цепью. На нити укреплена указательная стрелка 9, перемещаемая при повороте рамки. Рамка с обмоткой расположена в воздушном зазоре между полюсными наконечниками 3 и стальным сердечником 5. В указанном воздушном зазоре магнитное поле однородное благодаря конструкции и взаимному расположению магнитной части прибора, состоящей

из постоянного магнита 1, магнитопровода 2, полюсных наконечников и сердечника.

В результате взаимодействия магнитного поля, создаваемого током, проходящим по обмотке рамки, с магнитным полем постоянного магнита на рамку действует пара сил. Каждая из этих сил прямо пропорциональна силе тока, проходящего по обмотке:

$$F = kI,$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от размеров рамки, количества витков провода и конструкции магнитной части механизма.

Пара сил создает вращающий момент, равный:

$$M_{\text{вр}} = k_1 F,$$

где  $k_1$  — коэффициент, зависящий от размеров рамки. Следовательно, подставив в последнюю формулу первую, получим:

$$M_{\text{вр}} = k k_1 I.$$

Под действием вращающего момента подвижная часть механизма поворачивается, причем этому препятствует противодействующий момент, создаваемый пружинами 8 (см. рис. 47) и равный:

$$M_{\text{пр}} = k_2 \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол поворота подвижной части механизма;

$k_2$  — коэффициент, зависящий от упругости пружин.

Установившееся положение подвижной части механизма определяется равенством:

$$M_{\text{вр}} = M_{\text{пр}}, \text{ или } k k_1 I = k_2 \alpha,$$

следовательно,

$$\alpha = \frac{k k_1}{k_2} I = C I,$$

где  $C = \frac{k k_1}{k_2}$  — постоянный коэффициент, зависящий исключительно от конструкции механизма.

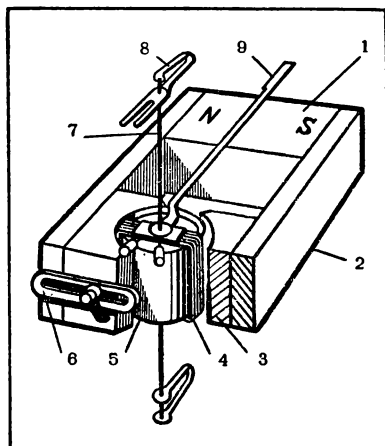


Рис. 47. Схема измерительного механизма магнитоэлектрической системы: 1 — постоянный магнит; 2 — магнитопровод; 3 — полюсный наконечник; 4 — подвижная рамка с обмоткой; 5 — сердечник; 6 — магнитный шунт; 7 — нить; 8 — пружина; 9 — указательная стрелка.



Из последней формулы вытекает, что угол поворота подвижной части механизма, а значит, и указательной стрелки прямо пропорционален силе тока, проходящего по обмотке рамки. Следовательно, данный механизм можно применить для устройства амперметра, шкала которого равномерная.

Так как  $I = \frac{U}{R}$ , а  $R$  (сопротивление обмотки) для данного прибора — величина постоянная, то угол поворота стрелки прямо пропорционален приложенному к обмотке рамки напряжению. Значит, данный механизм можно применить и для устройства вольтметра.

Основные достоинства приборов магнитоэлектрической системы: высокая точность, равномерность шкалы. Основные недостатки — невозможность измерять одним и тем же прибором постоянный и переменный токи (если в приборе нет выпрямительного устройства), сравнительно высокая стоимость приборов.

#### Упражнение

Рассмотрите устройство прибора магнитоэлектрической системы и найдите основные части, пользуясь рисунками 43 и 47.

### § 35. ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ

Принцип действия механизма электромагнитной системы (рис. 48) — взаимодействие магнитного поля тока, проходящего по обмотке катушки, с магнитным полем намагничивающегося ферромагнитного

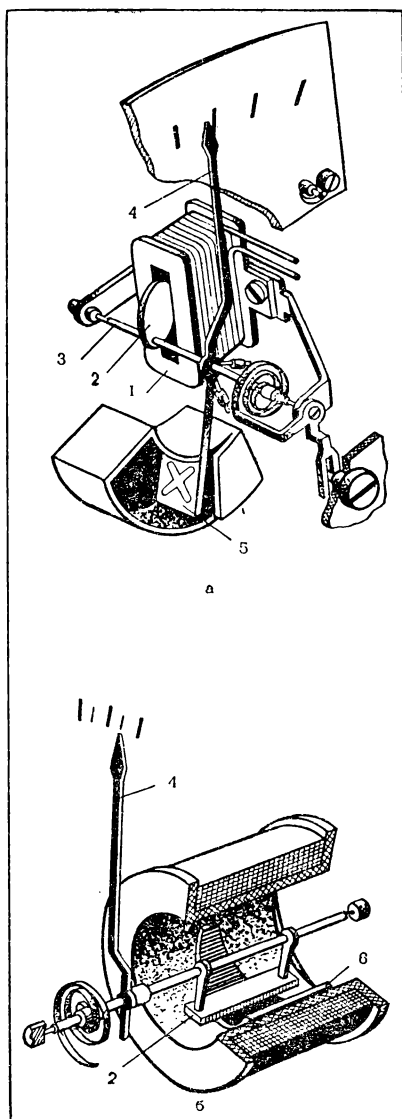


Рис. 48. Схема измерительного механизма электромагнитной системы: а — с плоской катушкой; б — с круглой катушкой; 1 — катушка; 2 — подвижный сердечник из ферромагнитного материала; 3 — ось; 4 — указательная стрелка; 5 — крыло воздушного успокоителя; 6 — неподвижный сердечник

сердечника. Вследствие этого взаимодействия сердечник втягивается внутрь катушки (см. рис. 48, *а*) или поворачивается (см. рис. 48, *б*), благодаря чему отклоняется указательная стрелка.

При изменении направления тока в обмотке меняется и полярность подвижного сердечника. Поэтому при любом направлении тока в обмотке стрелка отклоняется в одну и ту же сторону.

Основные достоинства приборов электромагнитной системы: простота устройства, относительно невысокая стоимость, пригодность для измерения постоянного и переменного токов, устойчивость этих приборов к перегрузкам.

Основные недостатки — невысокая точность, неравномерность шкалы, зависимость точности показаний от влияния внешних магнитных полей, сравнительно большая потребность в электроэнергии.

### Вопросы и упражнения

1. На каком принципе основано действие приборов электромагнитной системы?
2. Рассмотрите внешний вид прибора электромагнитной системы, найдите и выясните особенности устройства основных частей прибора (см. § 32).
3. Снимите крышку прибора электромагнитной системы и ознакомьтесь с устройством измерительного механизма.

## § 36. ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Принцип действия механизма электродинамической системы (рис. 49) — взаимодействие магнитных полей токов, проходящих по двум обмоткам, одна из которых неподвижна, а другая может вращаться. Обмотку неподвижной катушки называют *токовой обмоткой*; ее электрическое сопротивление мало; включается в цепь она последовательно.

Обмотка подвижной катушки имеет большое электрическое сопротивление, включается в цепь параллельно и называется *обмоткой напряжения*.

При включении прибора в цепь электрический ток проходит по обмоткам обеих катушек одновременно. В результате взаимодействия магнит-

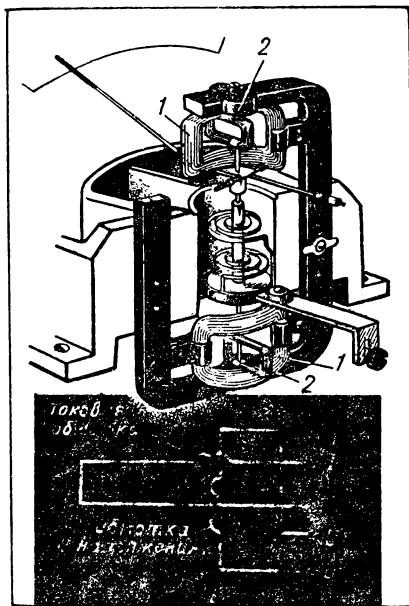


Рис. 49. Измерительный механизм электродинамической системы и его схема: 1 — токовая обмотка; 2 — обмотка напряжения.

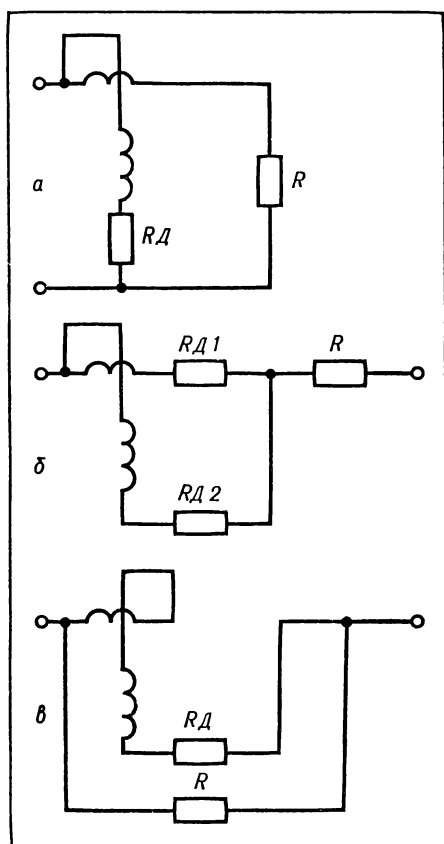


Рис 50. Схемы включения обмоток прибора электродинамической системы для измерения: *а* — мощности; *б* — силы тока; *в* — напряжения.

ных полей токов подвижная катушка поворачивается на угол, значение которого пропорционально произведению токов, проходящих в обмотках катушек. Направление тока в обмотках может изменяться лишь одновременно. Поэтому независимо от направления тока в цепи подвижная катушка, а значит, и стрелка поворачиваются только в одну сторону. Механизм электродинамической системы применяют в амперметрах, вольтметрах и ваттметрах.

Пусть обмотки подсоединены так, как указано на рисунке 50, *а*. Вращающий момент при этом прямо пропорционален произведению токов в обмотках:

$$M_{вр} = k_1 I_1 I_2,$$

где  $k_1$  — коэффициент, зависящий от конструкции обмоток.

Противодействующий момент, как и в механизме магнитоэлектрической системы, создается пружинами и равен:

$$M_{пр} = k_2 \alpha.$$

Подвижная часть механизма уравнивается при равенстве моментов:

$$M_{вр} = M_{пр}, \text{ или } k_1 I_1 I_2 = k_2 \alpha,$$

откуда получаем:

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} I_1 I_2.$$

Выразим по закону Ома  $I_2$ :

$$I_2 = \frac{U}{R_2},$$

где  $R_2$  — сопротивление обмотки напряжения (величина постоянная для данного прибора).

Тогда можем записать:

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} I_1 U.$$

Произведение  $I_1 U$  есть не что иное, как мощность  $P$  электроприемника  $R$ , а  $\frac{k_1}{k_2}$  — постоянный коэффициент  $C$ , величина которого определяется конструкцией прибора.

В итоге получаем  $\alpha = CP$ , т. е. угол поворота подвижной части механизма прямо пропорционален мощности тока. Значит, данный механизм можно применить для устройства ваттметра.

Если обмотки включить в цепь так, как показано на рисунке 50, б и в, то данный механизм можно применить для устройства соответственно амперметра или вольтметра. Наряду с измерительным механизмом электродинамической системы широко применяют механизмы ферродинамической системы. Принцип действия механизмов этих систем одинаков. Конструкция же ферродинамического механизма отличается тем, что его неподвижная обмотка помещена на магнитопроводе, благодаря чему повышается чувствительность прибора.

Основные достоинства приборов электродинамической системы: высокая точность, возможность измерения одним и тем же прибором постоянного и переменного токов. Основные недостатки — сравнительно высокая стоимость, зависимость точности показаний от влияния внешних магнитных полей (особенно у электродинамических), сравнительно малая устойчивость к перегрузкам.

#### Вопросы и упражнения

1. Объясните принцип действия измерительного механизма электродинамической системы. В чем сходство и отличие этого механизма от механизма ферродинамической системы?

2. Начертите схему соединения обмоток прибора электродинамической системы, поясняющую использование его в качестве ваттметра. Докажите, что рассматриваемый прибор может быть ваттметром.

3. Выполните задание согласно п. 2, но применительно к амперметру

4. Выполните задание согласно п. 2, но применительно к вольтметру.

5. Назовите и объясните достоинства и недостатки приборов электродинамической и ферродинамической систем.

## § 37. ПРИБОРЫ ИНДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

### ИНДУКЦИОННАЯ СИСТЕМА

Принцип действия измерительного механизма индукционной системы (рис. 51, а) — взаимодействие магнитных полей, создаваемых токами, проходящими по двум обмоткам, с магнитным полем тока, индуцируемого в алюминиевом диске, находящемся между этими обмотками.

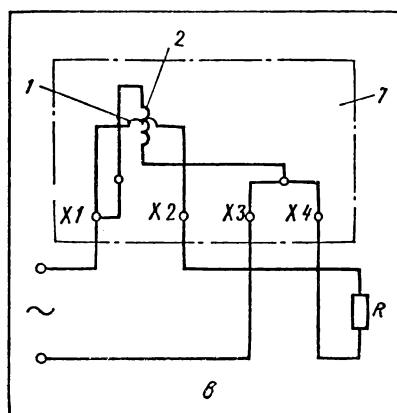
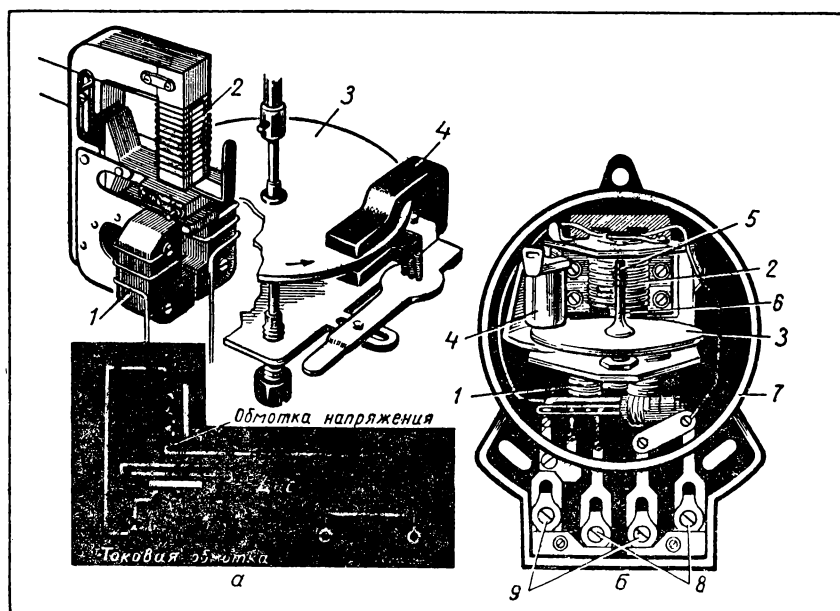


Рис. 51. Электроизмерительный прибор индукционной системы: *а* — измерительный механизм и его схема, *б* — устройство электросчетчика; *в* — схема включения электросчетчика; 1 — токовая обмотка; 2 — обмотка напряжения; 3 — алюминиевый диск; 4 — постоянный магнит; 5 — червячный винт для передачи движения к счетному механизму; 6 — ось; 7 — основание; 8 — зажимы для присоединения электроприемника; 9 — зажимы для присоединения к питающей электрической сети.

Механизмы индукционной системы обычно применяют в интегрирующих приборах. Поэтому ось, на которой укреплен диск, через систему передач соединяют не со стрелкой, а со счетным механизмом. Такой механизм применен, например, в устройстве счетчиков электрической энергии (рис. 51, б).

Каждый из вас еще с детства знает, что с помощью счетчика электрической энергии измеряют расход электроэнергии (работу тока). Главные части счетчика электрической энергии (рис. 51, б) — токовая обмотка 1, обмотка напряжения 2 и алюминиевый диск 3. Внутри счетчика выводы обмоток соединены с за-

жимами 8 и 9 следующим образом (рис. 51, в): к зажиму Х1 присоединены один вывод токовой обмотки и один вывод обмотки напряжения; к зажиму Х2 — второй вывод токовой обмотки; к зажимам Х3 и Х4 — второй вывод обмотки напряжения. Для включения счетчика в цепь его токовую обмотку соединяют с электроприемниками последовательно (см. рис. 51, в), а обмотку напряжения — параллельно. При прохождении по обмоткам счетчика переменного тока в сердечниках обмоток возникают переменные магнитные потоки. Эти переменные магнитные потоки, пронизывая алюминиевый диск, индуцируют в нем вихревые токи. В результате взаимодействия магнитных полей сердечников и магнитных полей вихревых токов в диске создается вращающий момент, который действует на диск и вращает его. Подробное рассмотрение указанных выше физических процессов и выполнение необходимых расчетов (это могут сделать желающие учащиеся с помощью учебников физики и электротехники, например, для техникумов) показывают, что частота вращения диска и потребляемая электрическая энергия находятся в прямой пропорциональной зависимости. Значит, шкалу счетного механизма можно проградуировать в единицах электрической энергии.

В приборах индукционной системы, в частности в счетчиках электрической энергии, успокоитель состоит из постоянного магнита 4 (см. рис. 51) и алюминиевого диска 3. Принцип действия такого успокоителя был рассмотрен выше.

#### **Вопросы и упражнения**

1. В чем заключается принцип действия измерительного механизма индукционной системы? Сравните достоинства и недостатки измерительных механизмов различных систем.

2. Снимите крышку электросчетчика и изучите его устройство.

### **§ 38. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

Основной характеристикой электроизмерительного прибора является степень точности, с которой им можно измерять. По степени точности измерения электроизмерительные приборы делят на *классы точности*. Класс точности определяется в зависимости от предела допустимой погрешности прибора, вызванной устройством прибора. Погрешность может допускаться также неправильными действиями человека при снятии показаний прибора, эта погрешность, естественно, не влияет на класс точности прибора, а является лишь характеристикой степени точности производимых измерений.

Разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины называют *абсолютной погрешностью прибора*:  $\Delta A = A - A_d$ ,

где  $\Delta A$  — абсолютная погрешность прибора;

$A$  — показание прибора;

$A_d$  — действительное значение величины (показание образцового прибора).

Разность между действительным значением измеряемой величины и показанием прибора называют поправкой показаний прибора:

$$\delta A = A_d - A,$$

где  $\delta A$  — поправка показаний прибора.

Поправка прибора равна абсолютной погрешности прибора, взятой с противоположным знаком:

$$\delta A = -\Delta A.$$

Действительное значение величины равно алгебраической сумме показания прибора и поправки его:

$$A_d = A + \delta A.$$

Выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности прибора к значению измеряемой величины, которое соответствует конечной отметке шкалы этого прибора, называют относительной приведенной погрешностью прибора:

$$\gamma_n = \frac{\Delta A}{A_n} \cdot 100\%,$$

где  $\gamma_n$  — приведенная погрешность, %;

$A_n$  — значение величины, которое соответствует конечной отметке шкалы.

Наибольшая основная допустимая приведенная погрешность прибора определяет класс точности этого прибора. Классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Так, приборы класса точности 2,5 имеют допустимую приведенную погрешность 2,5% и т. д. Приборы класса точности 0,05 наиболее точные.


В паспорте прибора и на его шкале указывают сведения, которые позволяют правильно выбрать прибор в зависимости от условий эксплуатации и помогают правильно пользоваться им при выполнении измерений (табл. 20). Для расшифровки условных обозначений на шкале прибора надо пользоваться также указаниями, приведенными в таблицах 7 и 8.

На шкале прибора есть и ряд других условных обозначений, кроме указанных в таблице 20. Например, степень защищенности от внешних магнитных полей обозначают римскими цифрами I, II, III, IV (чем меньше цифра, тем соответственно прибор лучше защищен от действия внешних магнитных полей).




Условия работы прибора при соответствующих температурах и влажности обозначаются на шкале буквами:

A — нормально работает при температуре окружающего воздуха от  $+10$  до  $+35$  °C и относительной влажности до 80%;

**Некоторые условные обозначения  
на шкалах электроизмерительных приборов**

Условное обозначение	Расшифровка условного обозначения
	Магнитоэлектрический прибор
	Электромагнитный прибор
	Электродинамический прибор
	Ферродинамический прибор
	Индукционный прибор
1,5	Класс точности (пример)
	Вертикальное расположение шкалы при измерении
	Горизонтальное расположение шкалы при измерении
	Наклонное расположение шкалы при измерении (пример)



Условное обозначение	Расшифровка условного обозначения
	Общий зажим
	Корректор
<i>Арр</i>	Арретир
	Смотри дополнительные указания в паспорте или инструкции по эксплуатации

**Б** — нормально работает при температуре окружающего воздуха от  $-20$  до  $+50$  °С и относительной влажности до 80%;

**В** — нормально работает при температуре окружающего воздуха от  $-40$  до  $+60$  °С и относительной влажности до 98%.

На шкале прибора указывают также род тока и полярность зажимов (см. табл. 7); предельно допускаемое значение измеряемой величины (например,  $U_{\max} = 1,5U_n$  или  $I_{\max} = 10$  А), характеризующее устойчивость прибора по отношению к перегрузке; устойчивость к механическим воздействиям (например, **ОП** — обыкновенные, **ВП** — вибропрочные, **УП** — ударопрочные и т. п.); защищенность корпуса от воздействий внешней среды (например, **Бз** — брызгозащищенный, **Гм** — герметический, **Пз** — пылезащищенный и т. п.); значение напряжения, при котором испытана изоляция прибора; марку завода-изготовителя, заводской номер, год выпуска и тип прибора.

#### Упражнение

Составьте техническую характеристику электроизмерительного прибора, пользуясь его паспортом и расшифровывая условные обозначения на его шкале.

## § 39. СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### ОБЩИЕ ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Выполняя многие учебные и производственные работы, вам часто нужно будет измерять различные электрические величины. В каждом конкретном случае вы будете выбирать требующийся прибор и производить соответствующие действия по измерению. Однако существует ряд правил, которые нужно хорошо осмыслить, запомнить и применять при выполнении любых работ, связанных с измерением электрических величин. Рассмотрим эти правила.

При измерении электрических величин необходимо строго соблюдать правила техники безопасности (см. § 5).

Подготавливать приборы и выполнять измерения надо в следующем порядке:

1. Выбрать прибор с учетом требуемых условий измерений и степени точности.

2. Установить переключатель (если он есть) на нужный предел измерения.

3. Определить цену деления шкалы.

4. Расположить прибор в требуемом положении.

5. Установить стрелку на нулевую отметку шкалы с помощью корректора.

6. Включить прибор в цепь согласно схеме и с разрешения учителя (мастера).

7. Отсчитать число делений, на которые отклонилась стрелка, таким образом, чтобы линия, соединяющая глаз и конец стрелки, была перпендикулярна к шкале.

8. Получить результат измерения, перемножив цену деления прибора и число делений, на которые отклонилась стрелка.

9. Отключить цепь по окончании работы и, если требуется, отсоединить прибор от других элементов цепи.

### ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА

Силу тока измеряют с помощью амперметра. Его включают в цепь последовательно с электроприемниками. Амперметр обладает электрическим сопротивлением, значительно меньшим сопротивления цепи, в которую его включают, поэтому он заметно не изменяет силу тока в этой цепи.

Одним и тем же амперметром магнитоэлектрической системы, если к нему подключить *шунт* (рис. 52), можно измерять силу тока в различных пределах. Шунт — это проводник, имеющий, как правило, очень малое сопротивление. Шунты могут быть встроены внутрь корпуса амперметра; у таких приборов на корпусе установлен переключатель пределов измерения. Если шунт приложен к прибору, то его присоединяют к зажимам амперметра

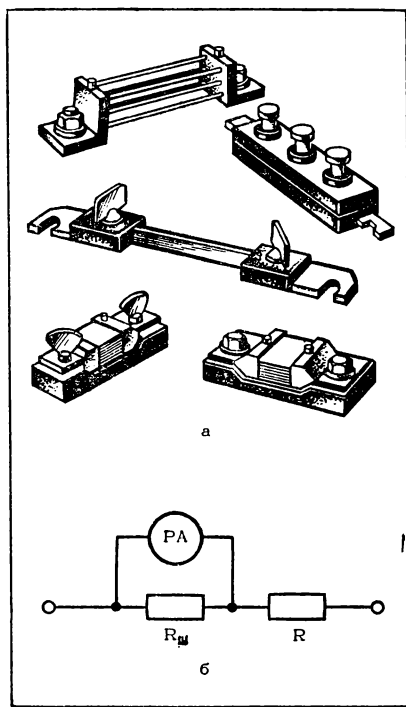


Рис. 52. Шунты к амперметрам; *а* — внешний вид шунтов; *б* — схема присоединения шунта к амперметру.

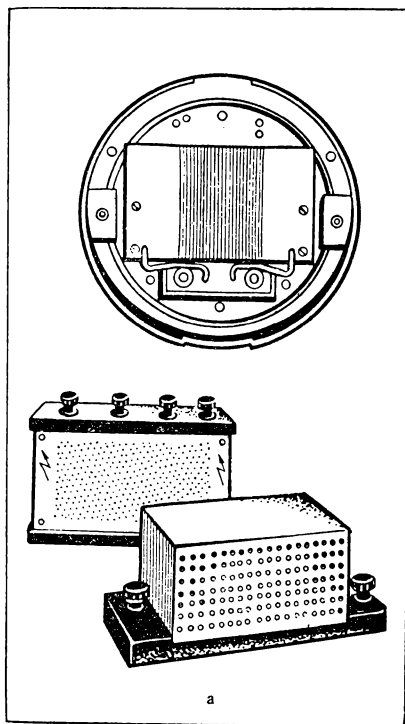


Рис. 53. Добавочные резисторы к вольтметрам: *а* — внешний вид добавочных резисторов; *б* — схема присоединения добавочного резистора к вольтметру.

параллельно. В этом случае для измерения силы тока в цепи вначале нужно определить цену деления шкалы, учитывая значение силы тока, на которую рассчитан шунт.

### ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Напряжение измеряют с помощью вольтметра. Его включают в цепь параллельно тому участку цепи, на котором измеряют напряжение. Вольтметр обладает электрическим сопротивлением, значительно большим сопротивления цепи, в которую его включают, поэтому он заметно не изменяет напряжения в цепи.

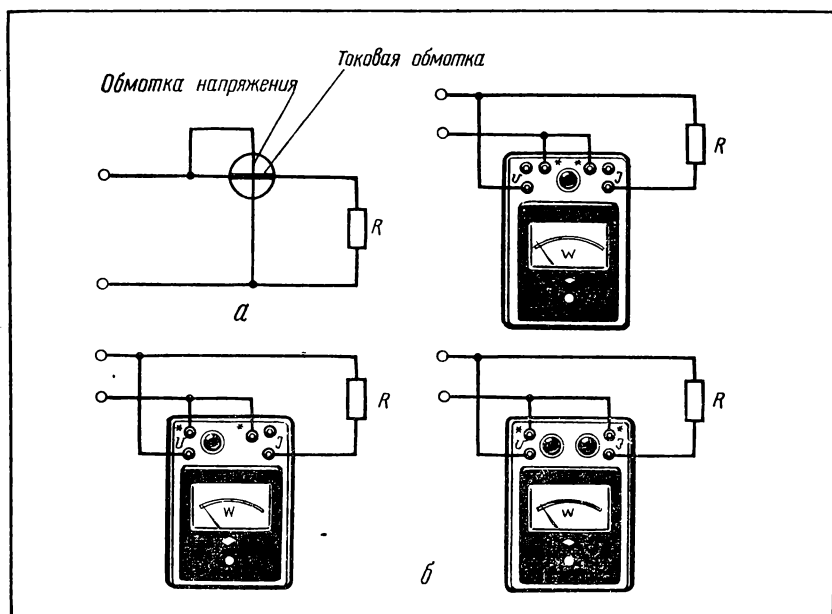


Рис. 54. Схемы включения ваттметров; а — принципиальная схема; б — схемы включения ваттметров различных типов.

Для расширения пределов измерения данным вольтметром применяют *добавочные резисторы* (рис. 53). Добавочный резистор представляет собой проводник, имеющий значительное сопротивление и намотанный в виде катушки. Добавочный резистор может быть помещен внутри корпуса прибора; у таких вольтметров на корпусе имеется переключатель пределов измерения. Если добавочный резистор приложен отдельно к прибору, то его присоединяют к вольтметру последовательно. В этом случае необходимо перед измерением напряжения в цепи определить цену деления шкалы.

### ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Мощность электрического тока измеряют с помощью ваттметра. Схемы включения ваттметров показаны на рисунке 54.

Согласно схеме (рис. 54, а) один из выводов токовой обмотки должен быть соединен с одним из выводов обмотки напряжения. Эти выводы в приборе присоединены к зажимам, обозначенным звездочкой.

Мощность в цепях постоянного тока, а также в цепях переменного тока при отсутствии в них конденсаторов и электрических приемников с обмотками (например, двигателей) можно измерить также косвенным методом: с помощью амперметра и вольтметра.

## ИЗМЕРЕНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

В § 37 говорилось, что расход электрической энергии (работу тока) измеряют с помощью счетчика электрической энергии.

Каждый счетчик электрической энергии рассчитан на номинальные значения напряжения и силы тока, которые указаны на его шкале под крышкой, а также в паспорте. Кроме того, счетчик характеризуется так называемой *номинальной постоянной*. Она численно равна электрической энергии, приходящейся на один оборот диска счетчика. На шкале счетчика написано, например, 1 кВт·ч — 1250 оборотов диска. Это обозначает, что номинальная постоянная данного счетчика электрической энергии равна:

$$K_n = \frac{1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}}{1250 \text{ об}} = \frac{3\,600\,000 \text{ Вт} \cdot \text{с}}{1250 \text{ об}} = 2880 \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{об}},$$

Исправность счетчика проверяют следующим образом:

подключают обмотку напряжения к источнику тока, напряжение которого не более 110% номинального напряжения счетчика, а токовую обмотку оставляют разомкнутой (холостой ход) — диск счетчика при этом вращаться не должен;

определяют чувствительность счетчика: включают его в цепь так, чтобы по токовой обмотке проходил ток (сила тока должна составлять 2% номинальной силы тока) — при этом диск счетчика должен вращаться;

осуществляют проверку счетчика с помощью образцовых приборов: амперметра, вольтметра и секундомера.

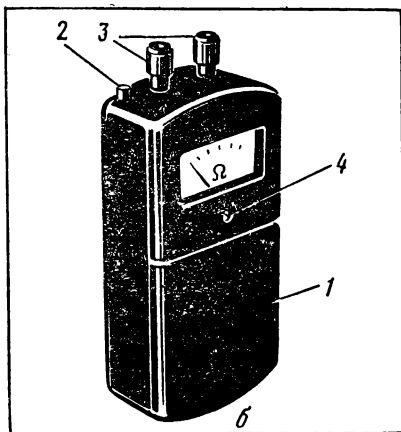
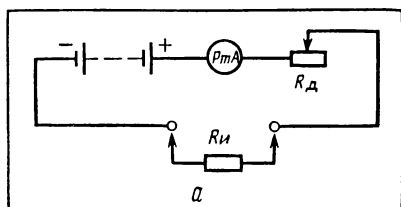


Рис. 55. Омметр: а — схема простейшего омметра; б — карманный омметр: 1 — съемная крышка; 2 — кнопка; 3 — зажимы; 4 — винт корректора.

## ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Для непосредственного измерения электрического сопротивления применяют *омметры* и *мегомметры*. Принцип работы этих приборов одинаков. Рассмотрим его на примере простейшего омметра (рис. 55, а) В качестве непосредственного измерительного прибора в омметре используют миллиамперметр магнитоэлектрической системы. Источником тока слу-

жит сухой гальванический элемент. При замкнутых накоротко между собой зажимах силу тока в цепи определяют по формуле:

$$I = \frac{U}{R_n + R_d};$$

где  $I$  — ток в цепи, А;

$U$  — напряжение источника тока, В;

$R_n$  — сопротивление миллиамперметра, Ом;

$R_d$  — сопротивление добавочного резистора, Ом.

При подключении к зажимам проводника, сопротивление которого  $R_n$  нужно измерить, ток в цепи определяют по формуле:

$$I = \frac{U}{R_n + R_d + R_n}.$$

Из приведенной формулы видно, что о значении измеряемого сопротивления можно судить по значениям силы тока, показываемого миллиамперметром. Поэтому нулевая отметка шкалы у омметра находится не слева, как, например, у амперметра, а справа: ведь при наименьшем сопротивлении (нулевая отметка шкалы омметра) сила тока будет наибольшей (последняя отметка шкалы миллиамперметра). Для измерения сопротивления шкалу миллиамперметра, вмонтированного в корпус омметра, градуируют непосредственно в омах или мегомах.

Промышленность выпускает омметры различных типов. Электромонтеру приходится часто пользоваться карманным омметром (рис. 55, б). Данный омметр работает от батареи 3336Л, помещаемой внутри прибора. Отвернув винт на задней панели прибора, снимают крышку на лицевой панели. В камеру вставляют батарею. Крышку закрывают и закрепляют винтом.

Чтобы омметром измерить сопротивление, необходимо выполнить следующее:

1. Нажав на кнопку, убедиться, что омметр действует — стрелка прибора должна отклониться вправо, на нулевую отметку.

2. Снова нажав на кнопку, с помощью магнитного шунта, находящегося на задней панели прибора, и винта корректора установить стрелку на нулевую отметку шкалы. Затем кнопку отпустить.

3. К зажимам присоединить проводник, сопротивление которого требуется измерить. Стрелка прибора покажет значение сопротивления в омах.

Для измерения электрического сопротивления применяют также омметры типа М371, М372, М4125 и др. В случае необходимости работы с ними можно воспользоваться инструкцией по эксплуатации этих приборов. В лабораторных условиях электрическое сопротивление измеряют также и с помощью более сложных приборов, например *магазинов сопротивлений и измерительных мостов*.

Электрическое сопротивление, как вам известно из физики, можно также измерить с помощью амперметра и вольтметра. Для подсчета сопротивления какого-то участка цепи (или элемента) согласно закону Ома нужно найти отношение показания вольтметра к показанию амперметра, подключенных к этому участку. Этот метод применяют, например, для проверки сопротивления заземляющего устройства (см. § 6).

Мегомметры предназначены для измерения больших значений электрического сопротивления. Мегомметрами обычно пользуются для измерения сопротивления изоляции проводов, например, при проверке обмоток электрических машин и аппаратов или состояния изоляции проводов электрической сети.

В мегомметре в отличие от омметра вместо гальванического элемента установлен генератор постоянного тока с ручным приводом.

Рассмотрим для примера, как с помощью мегомметра измерять сопротивление изоляции проводов электрической сети. Прежде всего в сети снимают напряжение, т. е. отключают все источники тока. Затем жилы проводов сети подсоединяют к зажимам мегомметра и вращают его рукоятку: если мегомметр показывает сопротивление, близкое к нулю, то, значит, между проводами есть короткое замыкание; если мегомметр показывает сопротивление очень большое (порядка  $10^7$  Ом), то это свидетельствует об обрыве провода; при нормальном состоянии проводов мегомметр покажет сопротивление подсоединенных к сети электроприемников.

Аналогичным образом проверяют на обрыв и короткое замыкание обмотки электрических машин и аппаратов. При этом руководствуются паспортными данными о нормальных и допустимых значениях проверяемых величин, например сопротивления проводника обмотки относительно корпуса электродвигателя.

## ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Для измерения частоты переменного тока применяют *частотомеры*. Частотомеры бывают электромагнитной, электродинамической, вибрационной и других систем. Широко применяют как стрелочные частотомеры (рис. 56, а), так и частотомеры вибрационного типа (рис. 56, б). Частотомер включают в цепь параллельно.

Рассмотрим принцип действия частотомера вибрационной системы, схема которого показана на рисунке 56, в. Если пропустить по обмотке 2 переменный ток, то стальная пластина 3 начнет колебаться и передаст движение гибким стальным пружинам 4; каждая из этих пружин заметно колеблется при определенной частоте, поэтому с наибольшей амплитудой будет колебаться лишь та пружина, частота собственных колебаний которой совпадает с частотой переменного тока (рис. 56, г).

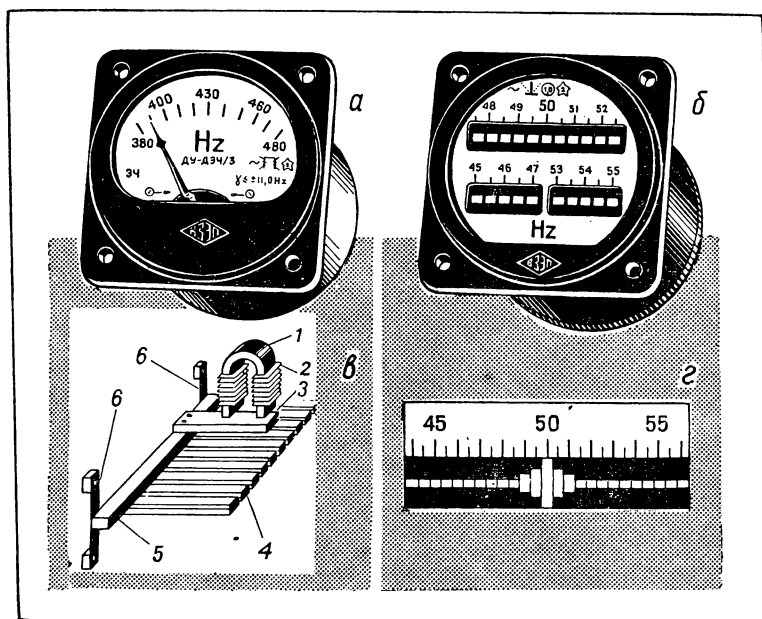


Рис. 56. Частотомер: а — стрелочный; б — вибрационный; в — схема, поясняющая действие частотомера вибрационной системы; г — часть шкалы частотомера вибрационной системы; 1 — постоянный магнит; 2 — обмотка; 3 — стальная пластина; 4 — гибкие стальные пружины пластинчатые; 5 — стальной брусок; 6 — плоские пружины.

\* \* \*

В нашей стране создана мощная приборостроительная промышленность, выпускающая приборы и установки, предназначенные для измерения самых различных величин. Выше были рассмотрены способы измерения очень небольшого количества различных электрических величин. Широко применяют приборы для измерения индуктивности, емкости и других величин. Существует большое количество различных методов, приборов и установок измерения электрических величин. Со многими из них можно ознакомиться, овладевая профессиями, например, слесаря-сборщика электроизмерительных приборов, поверителя измерительных приборов, слесаря по контрольно-измерительным приборам и автоматике.

### Упражнения

1. По заданию учителя (мастера) выберите прибор для измерения электрической величины, дайте его техническую характеристику и подготовьте прибор к работе.

2. Выберите амперметры различных классов точности. Наиболее точный из них примите за образцовый. Составьте схему поверки амперметра и согласуйте ее с учителем (мастером). Соберите цепь для поверки амперметра



и с разрешения учителя (мастера) выполните необходимые опыты. Сделайте вывод о пригодности проверяемых амперметров.

3. Выполните задание, указанное в п. 2, по отношению к вольтметрам.

4. Составьте схему цепи для измерения мощности электрического тока, согласуйте ее с учителем (мастером). Соберите по схеме цепь, с разрешения учителя (мастера) включите ее и измерьте мощность тока. Отключив источник тока, разберите цепь.

5. Измерьте с помощью омметра сопротивление различных проводников.

6. С помощью мегомметра проверьте на обрыв и короткое замыкание обмотку выданного учителем (мастером) электродвигателя (или другого электроприемника с обмоткой).

7. С разрешения учителя (мастера) проверьте частоту тока в сети (частота тока промышленной сети должна быть равна 50 Гц).

## Практическая работа № 3

### Проверка счетчика электрической энергии

**Оборудование:** проверяемый счетчик электрической энергии на вертикальном щитке, образцовые амперметр и вольтметр, реостат сопротивлением 5000—6000 Ом, миллиамперметр, регулятор напряжения школьный, ламповый реостат на 6 ламп, секундомер, соединительные провода.

**Порядок выполнения работы<sup>1</sup>**

1. Изучите схемы для проверки счетчика электрической энергии (рис. 57).  
2. Рассмотрите проверяемый счетчик и выберите образцовые амперметр и вольтметр, учитывая напряжение и силу тока в цепи (расчет ведите для полностью включенного лампового реостата).

3. Запишите основные данные выбранных приборов.

4. Начертите таблицу:

№ п/п	Показания приборов		Результаты отсчета		Результаты вычислений		
	вольтметра: $U$ , В	амперметра: $I$ , А	число оборотов диска: $n$ , с <sup>-1</sup>	время: $t$ , с	номинальная постоянная: $K_n$	действительная постоянная: $K_d = \frac{UIt}{n}$	погрешность счетчика: $\delta = \frac{K_n - K_d}{K_d} \times 100\%$

5. Соберите по схеме (рис. 57, а) цепь и покажите ее учителю (мастеру).

6. С разрешения учителя подключите цепь к источнику переменного тока, установите при помощи регулятора напряжение, равное 110% номинального напряжения, проверьте, вращается ли диск счетчика на холостом ходу, отключите цепь и отсоедините счетчик от регулятора напряжения.

7. Соберите по схеме (рис. 57, б) цепь и покажите ее учителю, установите подвижный контакт реостата в положение, при котором реостат включен полностью.

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.

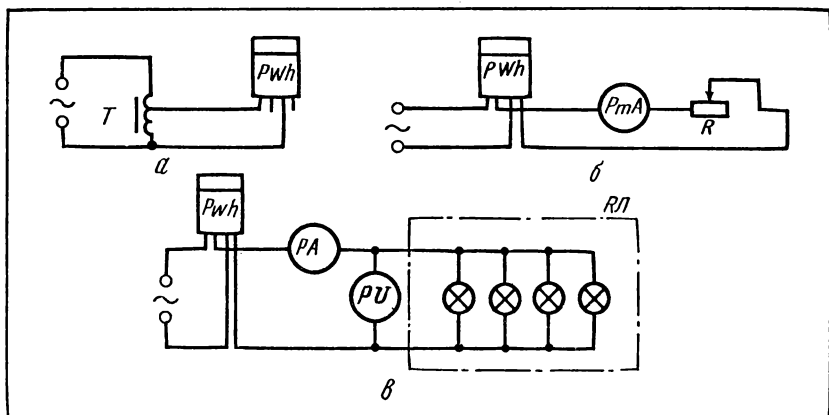


Рис. 57. Схемы цепей для проверки электросчетчика: *а* — для проверки работы счетчика без нагрузки; *б* — для определения чувствительности счетчика; *в* — для определения действительной постоянной счетчика.

8. С разрешения учителя подключите цепь к источнику переменного тока, плавно уменьшите сопротивление (полностью выводить реостат нельзя); заметьте, при каком значении силы тока диск начнет вращаться, т. е. определите чувствительность счетчика, отключите цепь от источника тока, отсоедините реостат и миллиамперметр от счетчика.

9. Соберите по схеме (рис. 57, *в*) цепь и покажите ее учителю; оставьте ввернутой в реостате одну электрическую лампочку (другие лампы полностью вывертывать не следует во избежание случайного прикосновения к токоведущим частям патронов).

10. С разрешения учителя подключите цепь к источнику переменного тока, включите секундомер и одновременно считайте число оборотов диска счетчика (отсчет начинайте в тот момент, когда в окне счетчика покажется красная отметка на диске), примерно через 3—4 мин запишите результаты отсчета (число оборотов должно быть целым) и показания приборов в таблицу; повторите опыт, ввертывая каждый раз дополнительно по одной лампе; отключите цепь от источника тока и разберите ее.

11. Заполните таблицу, сделав необходимые вычисления.

Сделайте вывод о возможности практического применения проверяемого электросчетчика.

#### § 40. КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Комбинированный прибор предназначен для измерения ряда различных электрических величин. Такими приборами часто пользуются рабочие и специалисты электротехнических и радиотехнических профессий. Существует много различных комбинированных приборов, например: ампервольтметр, вольтамперметр, ампервольтваттметр. Ампервольтметр сокращенно называют *авометром*. В электротехнике и особенно в радиоэлектронике часто применяют комбинированные приборы типа АВО5М1, Ц220, Ц4312, Ц434, Ц4340 и др. Способы работы с этими приборами

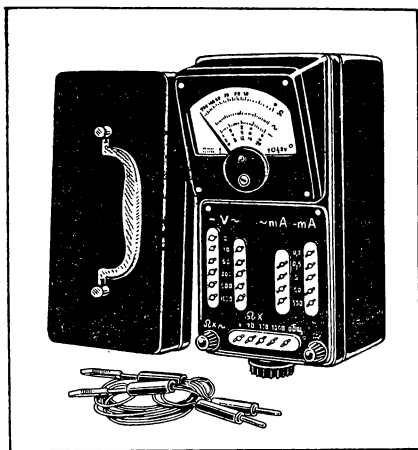


Рис. 58. Внешний вид простейшего авометра.

в основном одинаковы. Они, как правило, четко изложены в инструкции по эксплуатации комбинированного прибора. Поэтому рассмотрим лишь общие правила работы с комбинированными приборами на примере несложного авометра (рис. 58), а в случае необходимости всегда можно воспользоваться прилагаемой к прибору инструкцией по его эксплуатации.

**Измерение силы постоянного тока.** 1. Вставить штекер одного из соединительных проводов в гнездо «общ», а второго — в одно из гнезд в ряду «—mA», соответствующее выбранному пределу измерения.

2. При помощи зажимов на проводах, учитывая полярность, соединить прибор с элементами цепи, в которой требуется измерить силу тока.

3. Подключить цепь к источнику тока. Произвести отсчет по шкале «—».

**Измерение силы переменного тока.** Измерение производят так же, как и в предыдущем случае, но штекер вставляют в гнездо ряда с надписью «~mA», а отсчет производят по шкале, обозначенной отметкой «~».

**Измерение напряжения постоянного и переменного токов.** Измерение производят так же, как и в предыдущих случаях, но штекеры вставляют в гнезда с надписью «—V» или «V~».

**Измерение сопротивления** (измерение сопротивлений можно производить только в цепях, в которых отсутствует напряжение!).

1. Один из штекеров вставить в гнездо «общ» в ряду гнезд с надписью «ΩX».

2. Второй штекер вставить в одно из гнезд этого же ряда, соответствующее выбранному пределу измерения.

3. Замкнуть накоротко зажимы соединительных проводов и поворотом ручки переменного резистора установить стрелку на нулевую отметку шкалы «Ω». Разомкнуть штекеры. Теперь прибор подготовлен к работе.

4. Подсоединить зажимы к проводнику (резистору), сопротивление которого требуется измерить. Произвести отсчет по шкале «Ω».

#### Упражнение

Рассмотрите внешний вид выданного учителем (мастером) авометра. Изучите инструкцию по его эксплуатации. Произведите измерения силы тока, напря-

жения, сопротивления, строго соблюдая правила, указанные в инструкции, а также общие правила техники безопасности (см. § 5) и общие правила выполнения измерений (см. § 39).

## **§ 41. ИЗМЕРЕНИЕ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

В § 33 рассказывалось об измерительных преобразователях. Рассмотрим некоторые способы преобразования неэлектрических величин в электрические, чтобы понять общий принцип измерения неэлектрических величин электрическими методами. Часто такими методами измеряют температуру, давление, частоту вращения, расход жидкостей и газов и др. Приборы, предназначенные для измерения этих величин, имеют преобразователь — датчик, а их шкала отградуирована непосредственно в единицах измеряемых величин.

**Датчик** представляет собой элемент, преобразующий какую-либо физическую величину в сигнал, удобный для измерения, передачи, регистрации, а также для воздействия им на управляемые процессы.

Наиболее широко применяют датчики, действие которых основано на изменении электрического сопротивления, емкости, индуктивности (параметрические датчики) или на возникновении ЭДС вследствие механического, акустического, теплового, магнитного или оптического воздействия (генераторные датчики).

*Параметрические датчики* включают в цепь, содержащую источник тока и чувствительный измерительный прибор, который регистрирует изменение силы тока, вызванное изменением сопротивления датчика.

Реостатные датчики представляют собой специальные резисторы, изменяющие под влиянием механических воздействий на них сопротивление цепи, в которую они включены. При механическом воздействии, например, на подвижный контакт реостата сопротивление цепи и сила тока в ней изменяются, и прибор сигнализирует в итоге о степени неэлектрического воздействия.

**Тензометры** (проволочные датчики) изменяют электрическое сопротивление в результате деформации. Тензометры изготавливают из константана, нихрома или железохромалюминиевого сплава. Проволоку из этих материалов диаметром 0,02 — 0,04 мм закрепляют при помощи специального клея между двумя листами тонкой бумаги. Концы проволоки тензометра прочно соединяют с медными проводниками, с помощью которых тензометр включают в электрическую цепь. Тензометр, воспринимая механическую нагрузку, деформируется, и электрическое сопротивление проволоки изменяется.

**Индуктивные датчики** (рис. 59) при сжатии, растяжении, нагревании или охлаждении их сердечника изменяют свое индуктивное сопротивление. Индуктивные датчики вклю-

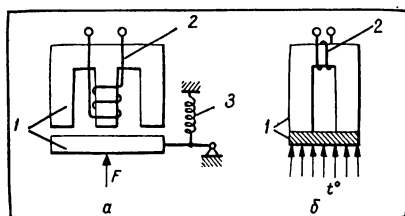


Рис. 59. Схемы устройств индуктивных датчиков: а — микрометрического; б — термометрического; 1 — магнитопровод; 2 — обмотка; 3 — пружина.

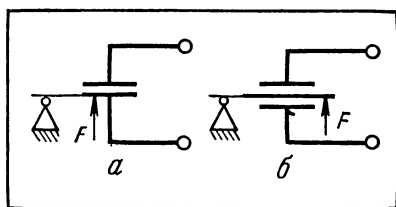


Рис. 60. Схемы устройств емкостных датчиков: а — при механическом воздействии на обкладку конденсатора; б — при механическом воздействии на электрод, расположенный между обкладками конденсатора.

чают в цепь переменного тока. При изменении индуктивного сопротивления датчика соответственно меняется и сила тока в цепи. Например, при действии силы  $F$  на подвижную часть сердечника (рис. 59, а) уменьшается зазор между ней и неподвижной частью сердечника, вследствие этого меняется его индуктивность, а стало быть, и значение индуктивного сопротивления. В итоге в зависимости от силы  $F$  изменяется сила тока в обмотке индуктивного датчика. Таким образом, с помощью индуктивного датчика по изменению силы тока можно судить о значении силы  $F$ .

Емкостный датчик (рис. 60) при механическом воздействии на него изменяет значение емкостного сопротивления, в результате чего соответственно изменяется сила тока в цепи, в которую он включен. Например, при действии силы  $F$  на обкладку конденсатора (рис. 60, а) изменяется расстояние между его обкладками, а значит, и емкость конденсатора. Изменение емкости конденсатора вызывает соответствующее изменение емкостного сопротивления, а в итоге — изменение силы тока в цепи емкостного датчика. Таким образом, по изменению силы тока в цепи, в которую включен емкостный датчик, можно судить о значении силы  $F$ .

К генераторным датчикам относятся термopapa, микромашина постоянного тока (при изменении скорости вращения вала якоря машины постоянного тока изменяется значение ЭДС индукции), фотоэлектрический датчик (под действием падающего на фотоэлемент света возникает электрический ток, регистрируемый чувствительным прибором). Широко применяют также пьезоэлектрические и другие генераторные датчики. Генераторные датчики включают в цепь без самостоятельного источника питания, так как они сами вырабатывают электрическую энергию.

Рабочим электротехнических профессий нередко приходится пользоваться тахометром — прибором, предназначенным для измерения частоты вращения. Рассмотрим устройство и действие

магнитоиндукционного тахометра (рис. 61).

Ось тахометра 5 соединена с постоянным магнитом 7. Если присоединить ось тахометра к валу машины, например электродвигателя, то при вращении вала магнитное поле постоянного магнита будет пересекать алюминиевый колпачок 8. Вследствие этого в колпачке возникнут вихревые токи; значение силы этих токов зависит от частоты вращения оси тахометра, а значит, и от частоты вращения вала машины. Благодаря взаимодействию магнитных полей, создаваемых постоянным магнитом и вихревыми токами, индуцируемыми в алюминиевом колпачке, последний поворачивается и приводит в движение указательную стрелку 10,

соединенную с осью колпачка. Таким образом, угол отклонения стрелки пропорционален частоте вращения вала машины. Магнитоиндукционные тахометры просто устроены и надежны в эксплуатации. Есть также тахометры, внутри которых вмонтирована микромашинка постоянного или переменного тока и чувствительный электроизмерительный прибор, отградуированный непосредственно в единицах частоты вращения. Применяют и более сложные по устройству, но зато и более точные тахометры.

Измерение неэлектрических величин электрическими методами получило широкое распространение в промышленности, на транспорте и во многих других случаях. С применением этих методов связано также осуществление автоматического контроля и управления.

#### Вопросы и упражнения

1. В чем заключаются достоинства измерения неэлектрических величин электрическими методами?
2. Объясните устройство и принцип действия приборов, предназначенных для измерения неэлектрических величин (температуры, давления и т. п.) электрическими методами.
3. Как устроен и действует магнитоиндукционный тахометр? Какими еще способами можно измерить частоту вращения?
4. Измерьте тахометром частоту вращения электрического двигателя, соблюдая указания, данные в инструкции по эксплуатации прибора.
5. Ознакомьтесь на экскурсии или при просмотре учебного кинофильма с приборами и установками, предназначенными для измерения неэлектрических величин электрическими методами.

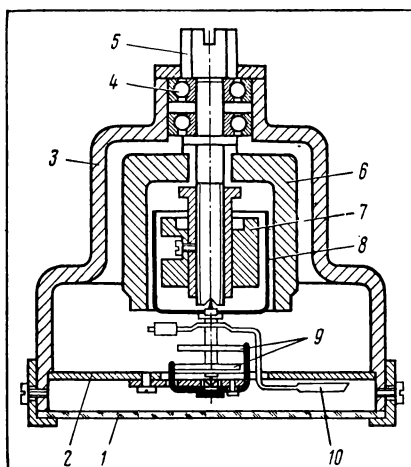


Рис. 61. Устройство магнитоиндукционного тахометра: 1— защитное стекло; 2— шкала; 3— корпус; 4— подшипники; 5— ось тахометра; 6— магнитопровод; 7— постоянный магнит; 8— цилиндрический алюминиевый колпачок; 9— противодействующие пружины; 10— указательная стрелка.

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

## § 42. НАЗНАЧЕНИЕ, ПРИНЦИП РАБОТЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Электрические машины предназначены для преобразования энергии. Для преобразования механической энергии в электрическую служат *электрические генераторы*. Электрическая энергия преобразуется в механическую при помощи *электрических двигателей*. Машины, применяющиеся для преобразования рода тока (переменного в постоянный или наоборот), а также частоты или числа фаз переменного тока, называют *электромашиными преобразователями*.

Принцип работы и устройство различных электрических машин основаны на использовании ряда физических явлений, важнейшие из которых — электромагнитная индукция и взаимодействие магнитных (электромагнитных) полей. Эти явления изучают на уроках физики.

Вспомните такой опыт: провод, соединенный с чувствительным измерительным прибором (гальванометром), перемещают между полюсами подковообразного магнита, при этом стрелка гальванометра отклоняется. Опыт свидетельствует о том, что в проводнике при его движении в магнитном поле возникает электродвижущая сила (ЭДС). Ее называют ЭДС электромагнитной индукции или просто ЭДС индукции, а направление этой ЭДС определяют, пользуясь **правилом правой руки**: ладонь правой руки располагают так, чтобы линии магнитной индукции входили в нее, отогнутый под прямым углом большой палец совпадал с направлением движения проводника, тогда вытянутые четыре пальца руки указывают ЭДС индукции.

ЭДС индукции возникает и в том случае, если проводник неподвижен, но находится в переменном магнитном поле.

Таким образом, явление электромагнитной индукции заключается в следующем: в проводящем контуре, находящемся в переменном магнитном поле (или пересекающем линии магнитной индукции постоянного магнитного поля), возникает электродвижущая сила индукции.

Вспомним другой опыт: по проводнику, помещенному между полюсами подковообразного магнита, пропускают электрический ток — проводник перемещается перпендикулярно линиям магнитной индукции. Из опыта следует вывод: на проводник с током,

находящийся в магнитном поле, действует сила, направление которой определяют, пользуясь **правилом левой руки**: ладонь левой руки располагают так, чтобы линии магнитной индукции входили в нее, четыре вытянутых пальца совпадали с направлением тока в проводнике, тогда отогнутый под прямым углом большой палец указывает направление силы, действующей на проводник. Сила будет действовать на проводник с током, если в опыте постоянный подковообразный магнит заменить электромагнитом. Проводнику можно придать форму рамки; если рамку поместить в магнитное поле и пропустить по ней ток, то она повернется вокруг своей оси. Поворот рамки обусловлен тем, что на ее стороны действуют силы в противоположных направлениях, а такие силы, как известно из физики, создают вращающий момент. Рассмотренное явление лежит в основе устройства и работы электрических двигателей, ряда электрических приборов, аппаратов. В каждом из рассмотренных выше случаев и аналогичных им (например, при прохождении тока по двум параллельным проводам) возникновение силы можно объяснить взаимодействием магнитных (электромагнитных) полей: магнитного поля постоянного подковообразного магнита и магнитного поля, создаваемого током, проходящим по проводнику; магнитного поля постоянного подковообразного магнита (или электромагнита) и магнитного поля, создаваемого проходящим по рамке током; магнитных полей, создаваемых токами, проходящими по каждому из параллельно расположенных проводов.

По роду тока различают машины переменного и машины постоянного тока.

Электрические машины переменного тока разделяются, кроме того, на две группы — синхронные и асинхронные машины. Чтобы уяснить признак данной классификации, рассмотрим устройство электрических машин.

Электрическая машина имеет неподвижную часть — **статор** и подвижную — **ротор** (якорь); он неподвижно соединен с валом машины. Каждая из этих частей может выполнять любую из двух функций: служить для создания магнитного поля или для получения ЭДС индукции. Термин «ротор» обычно употребляют, говоря о машинах переменного тока, а термин «якорь» — применительно к машинам постоянного тока.

Число оборотов ротора (вала машины) за единицу времени называют *частотой вращения* электрической машины.

Магнитное поле, создаваемое статором, в большинстве электрических машин изменяется периодически; часто оно является вращающимся магнитным полем. Если частота вращения магнитного поля и частота вращения вала электрической машины одинаковы, то такие машины называют **синхронными**. У **асинхронных** машин частота вращения ротора меньше частоты вращения магнитного поля.



Электрические машины эксплуатируют в различных условиях. Поэтому в зависимости от формы исполнения различают открытые и защищенные электрические машины, причем последние могут быть брызгозащищенные, водозащищенные, пылезащищенные, взрывозащищенные и др.

Во время работы электрические машины нагреваются. Это вредно сказывается на состоянии изоляции и других частей. Поэтому большинство машин имеют вентиляционные устройства.

#### Вопросы и упражнения

1. Сделайте опыт, поясняющий возникновение ЭДС индукции. По какому правилу определяют ее направление? В основе работы каких электрических машин лежит это явление?

2. Сделайте опыт, поясняющий взаимодействие тока, проходящего по проводнику, с магнитным полем. По какому правилу определяют направление силы, действующей на проводник? В основе работы каких электрических машин лежит это явление?

3. Что называют частотой вращения электрической машины? В каких единицах ее измеряют?

4. В чем заключается сходство и различие синхронных и асинхронных электрических машин?

### § 43. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

#### УСТРОЙСТВО МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Одна и та же машина постоянного тока (рис. 62) в принципе может работать и как генератор, и как двигатель. (Это свойство машины постоянного тока, называемое *обратимостью*, дает возможность не рассматривать отдельно устройство генератора или двигателя.) Однако каждую электрическую машину завод выпускает для определенного назначения — работать только в качестве генератора или только в качестве двигателя. Очень редко используют машины постоянного тока, предназначенные для работы как генератором, так и двигателем.

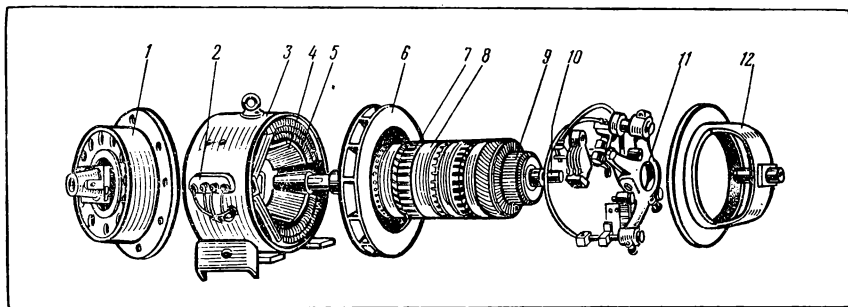


Рис. 62. Устройство машины постоянного тока: 1— задний подшипниковый щит; 2— зажимы; 3— станина; 4— главный полюс; 5— обмотка главного полюса; 6— вентилятор; 7— обмотка якоря; 8— сердечник якоря; 9— коллектор; 10— вал; 11— traversa со щеточным механизмом; 12— передний подшипниковый щит

Генераторы постоянного тока применяют тогда, когда требуется самостоятельный источник тока, например для питания некоторых видов электромагнитов, электромагнитных муфт, электродвигателей, электролизных ванн, сварочных установок и т. п.

Электродвигатели постоянного тока применяют в тех случаях, когда требуется плавная регулировка скорости, например в троллейбусах, электровозах, некоторых типах подъемных кранов, в устройствах автоматики.

Статор машины постоянного тока состоит из *станины* (см. рис. 62) и *сердечника*. Станину изготавливают из малоуглеродистой стали, обладающей значительной магнитной проницаемостью. Поэтому станина служит и магнитопроводом. Одновременно она является основной деталью, объединяющей другие детали и сборочные единицы (узлы) машины в одно целое. Так, к станине изнутри прикрепляют болтами *полюсы*, состоящие из *сердечника*, *полюсного наконечника* и *катушки*.

Различают главные и дополнительные полюсы. Главные полюсы служат для возбуждения магнитного поля; поэтому обмотку их катушек называют обмоткой возбуждения. Дополнительные полюсы устанавливают в машинах повышенной мощности (более 1 кВт) для улучшения работы машины; обмотку дополнительных полюсов соединяют последовательно с обмоткой ротора (якоря).

Ротор (якорь) (рис. 63) машины постоянного тока состоит из *сердечника* и *обмотки*. Сердечник якоря набирают из тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга лаковым покрытием, что уменьшает потери

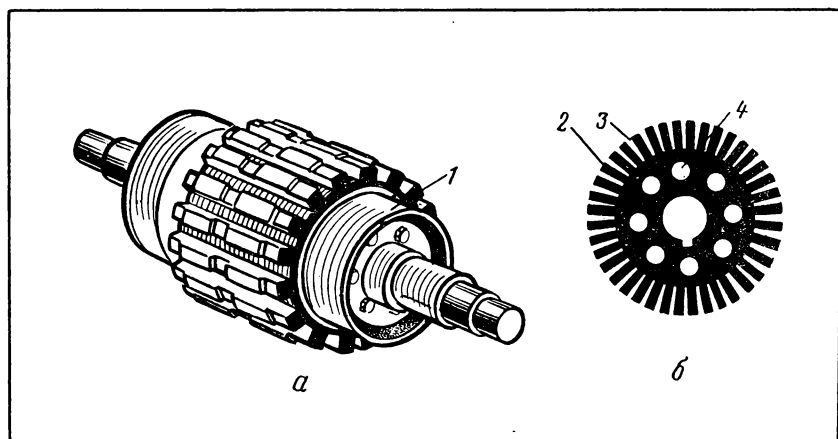


Рис. 63. Якорь машины постоянного тока: *а* — якорь без обмотки; *б* — стальной лист сердечника якоря; 1 — нажимные шайбы; 2 — зубец; 3 — паз; 4 — вентиляционное отверстие.

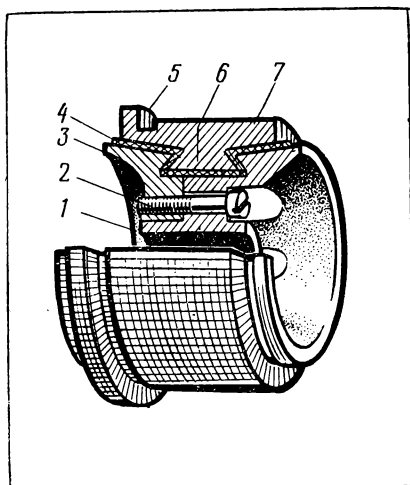


Рис. 64. Устройство коллектора: 1—корпус; 2—болт; 3—нажимное кольцо; 4—миканитовая прокладка; 5—«петушок»; 6—«ласточкин хвост»; 7—коллекторная пластина.

на вихревые токи. В пазы сердечника укладывают обмотку якоря. В сердечнике якоря делают вентиляционные каналы.

Чтобы ток от обмотки якоря во внешнюю цепь (в генераторе) или из внешней цепи к обмотке якоря (в двигателе) проходил в одном и том же направлении, в машине постоянного тока устанавливают коллектор (рис. 64). Коллектор набирают из медных пластин, изолированных друг от друга миканитовыми прокладками. Каждую пластину коллектора присоединяют к одному или нескольким виткам обмотки якоря. Сердечник якоря и коллектор крепят на одном и том же валу (см. рис. 62). Таким образом, коллектор представляет собой устройство, кон-

структивно объединенное с якорем (ротором) электрической машины и являющееся механическим преобразователем частоты. По изолированным друг от друга и присоединенным к виткам обмотки якоря пластинам, составляющим коллектор, скользят токосъемные щетки (рис. 65). Через эти

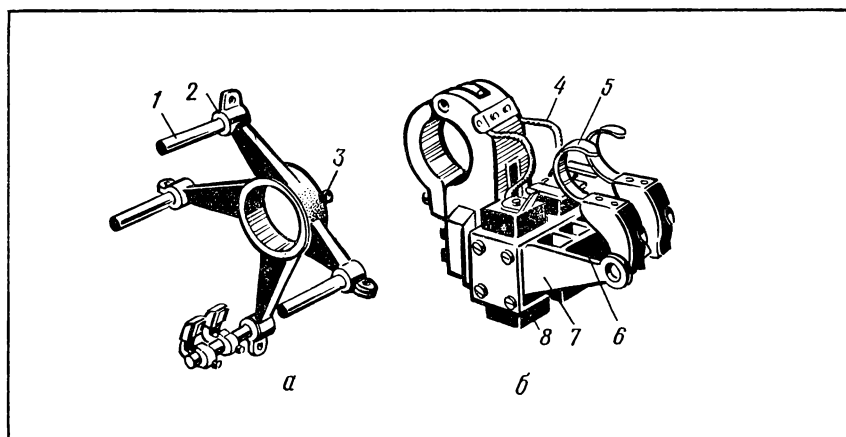


Рис. 65. Щеточный механизм машины постоянного тока: а — траверса; б — щеткодержатель; 1—щеточный палец; 2—изоляция кольца от траверсы; 3—стопорный болт; 4—медный провод; 5—нажимные пластины; 6—место расположения пружины; 7—обойма; 8—щетка.

щетки и коллектор обмотка якоря подключается к внешней электрической цепи. Щетки вставляют в обоймы *щеткодержателя* и прижимают к коллектору пружинами.

При работе машины щетки скользят по коллектору. Крепят щеткодержатели в траверсе.

### ТИПЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Машины постоянного тока различают по способу возбуждения.

В машинах с *независимым возбуждением* обмотка возбуждения питается от постороннего источника тока (рис. 66, а).

Если обмотка возбуждения получает питание от зажимов якоря и присоединена к ним параллельно, то такую машину называют машиной с *параллельным возбуждением* (рис. 66, б).

Подобную же машину, но с последовательным соединением обмотки возбуждения с зажимами якоря называют машиной с *последовательным возбуждением* (рис. 66, в). В машинах со *смешанным возбуждением* имеются две обмотки возбуждения, одна из которых соединена с зажимами якоря последовательно, а другая параллельно (рис. 66, г).

Характеристики машины постоянного тока показывают ее рабочие свойства. Характеристику генератора, выражающую зависимость между напряжением на его зажимах и силой тока в обмотке якоря, называют *внешней характеристикой* (рис. 67). На рисунке видно, что в зависимости от способа возбуждения генератора можно получать как стабильные, так и регулируемые напряжения.

Характеристики двигателей постоянного тока выражают также зависимость вращающего момента от силы тока в обмотке якоря (рис. 68) и частоты вращения от вращающего момента (рис. 69). Последнюю называют *механической характеристикой* двигателя. Эти характеристики показывают, что в зависимости от способа питания обмотки возбуждения можно в широких пределах регулировать как значение вращающего момента, так и частоту вращения двигателя постоянного тока.

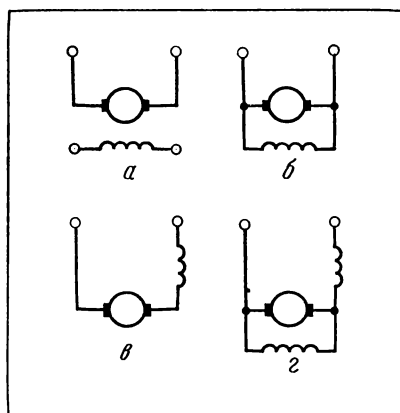


Рис. 66. Схемы машин постоянного тока (пусковые и регулировочные реостаты не показаны): а — с независимым возбуждением; б — с параллельным возбуждением; в — с последовательным возбуждением; г — со смешанным возбуждением.

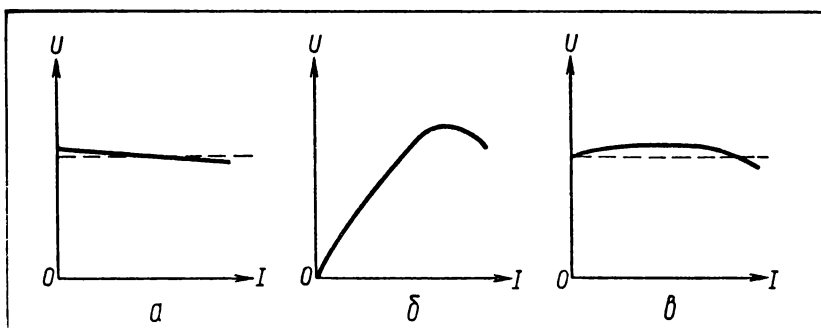


Рис. 67. Внешняя характеристика генератора постоянного тока: *a* — с независимым и параллельным возбуждением; *б* — с последовательным возбуждением; *в* — со смешанным возбуждением.

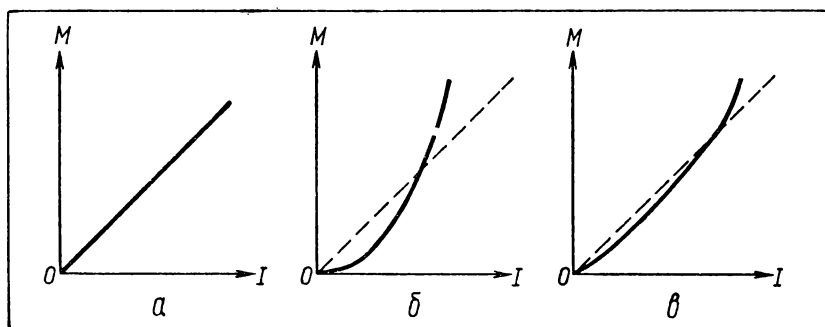


Рис. 68. Зависимость вращающего момента на валу электродвигателя постоянного тока от силы тока в обмотке якоря: *a* — с независимым и параллельным возбуждением; *б* — с последовательным возбуждением; *в* — со смешанным возбуждением.

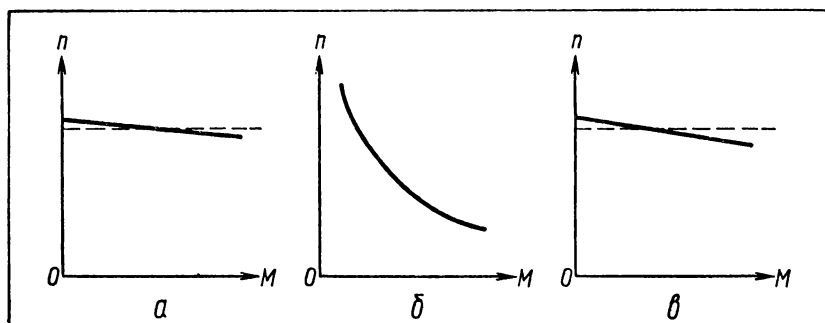


Рис. 69. Механическая характеристика электродвигателя постоянного тока: *a* — с независимым и параллельным возбуждением; *б* — с последовательным возбуждением; *в* — со смешанным возбуждением.

## СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Потребность в специальных машинах постоянного тока возникла главным образом в связи с автоматизацией производства и развитием электрифицированного транспорта.

В § 41 рассказывалось о генераторных датчиках — микромашинах постоянного тока, применяемых для преобразования частоты вращения вала двигателя в электрический сигнал. Такую микромашину с независимым возбуждением, встроенную в тахометр, называют *тахогенератором*.

В системах автоматического управления и регулирования применяют *исполнительные двигатели*. Они предназначены для преобразования электрического сигнала в механическое перемещение, например во вращение вала. Мощность исполнительных двигателей обычно бывает 500—600 Вт. Они должны отвечать таким требованиям, как быстродействие, высокая надежность, точность регулирования частоты вращения. В качестве исполнительных двигателей применяют двигатели постоянного тока с печатной обмоткой якоря. Якорь делают в виде тонкого диска из текстолита, стекла или другого немагнитного материала, на обе стороны которого печатным способом наносят проводники обмотки якоря. Магнитное поле статора создается постоянными магнитами и усиливается с помощью кольца из ферромагнитного материала. В последние годы применяют также машины постоянного тока с гладким якорем. У него обмотка расположена не в пазах, а непосредственно на сердечнике. Эти машины имеют улучшенные характеристики, что обеспечивается меньшей индуктивностью обмотки якоря и повышенной магнитной индукцией в воздушном зазоре между якорем и статором.

В автоматических системах обычно требуется усиливать электрические сигналы. Для этой цели нередко применяют усилители, в которых энергия преобразуется с помощью электронных ламп или транзисторов. Распространены также *электромашинные усилители* — ЭМУ.

Такой усилитель представляет собой машину постоянного тока, на обмотку возбуждения которой может подаваться сигнал, подлежащий усилению. Усиление достигается за счет использования энергии первичного двигателя, как правило, электрического. С помощью ЭМУ достигается усиление мощности сигнала в  $10^4$ — $10^5$  раз.

Устройство электромашинного усилителя довольно сложное, а для объяснения принципа его работы надо иметь специальные знания. Поэтому в данном пособии эти вопросы не рассматриваются.

На различных видах электрифицированного транспорта применяют *тяговые электрические двигатели*. Обычно это двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением.

Однако условия их работы отличаются от условий работы электрических двигателей, используемых в стационарных установках. Тяговые двигатели работают в условиях частого пуска, резких изменений напряжения, силы тока, частоты вращения. Следовательно, тяговые двигатели должны обладать большим пусковым вращающим моментом (это обеспечивается благодаря последовательному возбуждению) и возможностью регулирования в широких пределах частоты вращения. Все это обуславливает особенности конструкции тяговых двигателей в отличие от электрических машин общего назначения.

### **Вопросы и упражнения**

1. В чем состоит физическая сущность явлений, на использовании которых основаны устройство и работа электрических машин постоянного тока?
2. В чем состоит принцип обратимости электрических машин?
3. По заданию учителя (мастера) произведите частичную разборку машины постоянного тока и ознакомьтесь с устройством ее основных частей — статора, якоря, коллектора, щеточного механизма. Выясните способы соединения деталей в них. Соберите машину.
4. Чем обусловлена необходимость создания специальных машин постоянного тока? Где чаще всего их применяют?
5. Ознакомьтесь с устройством различных двигателей, применяемых в автоматических системах. Выявите особенности их конструкции по сравнению с машинами постоянного тока общего назначения.
6. Для какой цели применяют электромашинные усилители?
7. Почему в качестве тяговых двигателей обычно применяют машины с последовательным возбуждением? Каков характер коммутационного, механического и теплового режимов работы тяговых двигателей?

## **Практическая работа № 4**

### **Определение внешней характеристики генератора постоянного тока**

*Оборудование:* генераторы постоянного тока с независимым, параллельным, последовательным и смешанным возбуждением; электрический двигатель для привода генератора; амперметр, вольтметр; реостат, коммутационные аппараты; соединительные провода.

*Порядок выполнения работы*<sup>1</sup>

1. Начертите схему испытания генератора с независимым возбуждением, предусмотрев включение в цепь реостата, амперметра и вольтметра. Покажите схему учителю (мастеру).
2. Соберите цепь. С разрешения учителя (мастера) включите электрический двигатель и выключатель цепи якоря. Измените с помощью реостата силу тока в цепи якоря и запишите показания амперметра и вольтметра (опыт повторите 8—10 раз, увеличивая силу тока). Отключите цепь.
3. Начертите график зависимости напряжения от силы тока в обмотке якоря.
4. Выполните задания, указанные в п. 1, 2 и 3, применяя генераторы с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением.
5. Сравните внешние характеристики генераторов с различным возбуждением и сделайте вывод о возможности практического применения этих генераторов.

---

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.

## Практическая работа № 5

### Определение механической характеристики двигателя постоянного тока

**Оборудование:** двигатели постоянного тока с независимым, параллельным, последовательным и смешанным возбуждением; ленточный тормоз; тахометр; соединительные провода.

**Порядок выполнения работы**<sup>1</sup>

1. Изучите устройство ленточного тормоза (по прилагаемой к нему инструкции) и правила пользования тахометром.

2. Присоедините ленточный тормоз к валу двигателя с независимым возбуждением и подготовьте двигатель для включения.

3. С разрешения учителя (мастера) включите двигатель. Измерьте частоту его вращения. Выключите двигатель. Вычислите по показанию ленточного тормоза и радиусу его шкива вращающий момент. Запишите полученные результаты. Изменяя силу натяжения ленты тормоза, повторите опыт 6—8 раз. Каждый раз получайте разрешение учителя (мастера) на включение двигателя. Постройте график зависимости частоты вращения двигателя от вращающего момента на его валу.

4. Выполните задания, указанные в п. 3 и 4, применяя двигатели с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением.

5. Сравните полученные характеристики двигателей и сделайте выводы о возможности практического применения этих двигателей.

## § 44. ТРЕХФАЗНЫЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

Принцип обратимости (см. § 43) распространяется не только на машины постоянного тока, но и на машины переменного тока. Последние бывают синхронными или асинхронными.

*Синхронные электрические машины* применяют главным образом в качестве генераторов.

Из курса физики известно, что если вращать ротор-электромагнит (на рис. 70 обмотка ротора для простоты не показана), то в обмотке статора будет индуцироваться переменная электродвижущая сила. Это явление лежит в основе устройства однофазного генератора переменного тока (рис. 70, а).

Изменяя конструкцию ротора, можно увеличить число пар полюсов. Например, если сделать генератор с восьмиполюсным ротором (четыре пары полюсов), то при частоте вращения ротора 3000 об/мин в обмотке статора будет индуцироваться переменная ЭДС частоты 200 Гц. Так, варьируя число пар полюсов ротора и частоту его вращения, можно получить переменную ЭДС требуемой частоты.

В общем случае частоту ЭДС определяют по формуле:

$$f = \frac{pn}{60},$$

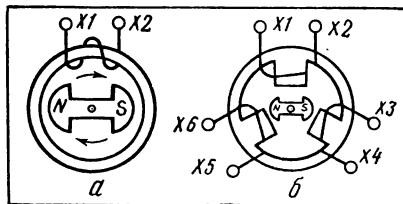


Рис. 70. Схемы, поясняющие принцип работы синхронного генератора: а — однофазного; б — трехфазного.

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.



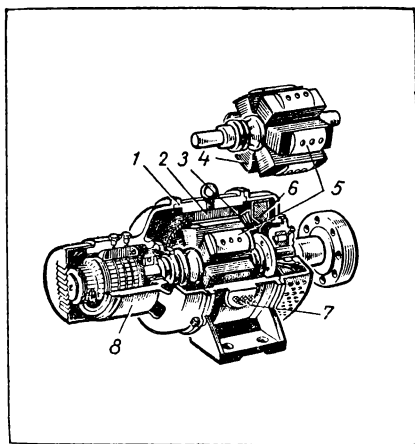


Рис. 71. Устройство трехфазного синхронного генератора: 1— корпус; 2— стальной цилиндр; 3— обмотка статора; 4— обмотка ротора; 5— полюсы ротора; 6— вентилятор; 7— зажимы обмотки статора; 8— генератор постоянного тока, предназначенный для питания обмотки ротора.

На рисунке 71 показано устройство синхронного трехфазного генератора. Его ротор представляет собой электромагнит, укрепленный на валу; для питания обмотки ротора служит генератор постоянного тока, установленный на этом же валу. Когда вал вращается с помощью, например, турбины, генератор постоянного тока вырабатывает электрическую энергию, которой питается обмотка ротора. Благодаря этому ротор становится электромагнитом и, вращаясь вместе с валом, создает вращающееся магнитное поле. При этом в трех фазах обмотки статора будут индуцироваться три ЭДС.

Условно принято различать начало и конец фазы. Например (см. рис. 70, б):  $X_1$ ,  $X_3$  и  $X_5$  можно назвать началами фаз, тогда  $X_2$ ,  $X_4$  и  $X_6$  будут концами фаз.

Преобладающая часть электрической энергии производится с помощью синхронных трехфазных турбо- и гидрогенераторов.

Синхронные машины применяют также в качестве электрических двигателей, особенно в установках мощностью свыше 50 кВт. Для работы синхронной машины в режиме двигателя обмотку статора подключают к трехфазной сети, а обмотку ротора — к источнику постоянного тока. Синхронные электродвигатели малой мощности — от долей до нескольких десятков ватт — применяют в устройствах автоматического управления.

где  $f$  — частота переменной ЭДС, Гц;

$p$  — число пар полюсов;

$n$  — частота вращения ротора, об/мин.

Обмотку статора можно тоже сделать многофазной. На практике наибольшее распространение получила трехфазная система переменного тока (рис. 70, б). Вращающийся электромагнит создает переменный магнитный поток, который пересекает три фазы обмотки статора, расположенные под углом  $120^\circ$  одна по отношению к другой. Вследствие этого в фазах обмотки возникает переменная ЭДС одинаковой частоты, но с углом сдвига фаз (см. в курсе физики понятие о переменном токе), равным  $1/3$  периода вращения магнитного поля.

## Вопросы

1. В чем состоит принцип работы синхронных электрических машин?
2. Каким образом можно изменять частоту вырабатываемого переменного тока?
3. Где применяют синхронные электрические машины?
4. Как устроен и работает трехфазный генератор?
5. Что понимают под терминами «начало фазы» и «конец фазы»?

## § 45. СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ

Для передачи электрической энергии от однофазного генератора (см. рис. 70, а) к электроприемнику требуются два провода. В трехфазном генераторе, как указывалось в предыдущем параграфе, в каждой фазе обмотки статора индуцируется однофазная ЭДС. Следовательно, в принципе для передачи электрической энергии от трехфазного генератора к электроприемникам нужно шесть проводов. Однако если фазы трехфазного генератора соединить между собой определенным образом — звездой или треугольником, то передать электрическую энергию от него можно более экономичным способом, применяя не шесть, а только четыре или три провода. Названия «звездой» и «треугольником» условны.

Сущность рассматриваемых способов соединения обмоток трехфазных генераторов заключается в следующем. Если концы фаз генератора соединить между собой в общую точку (эту точку называют *нейтральной*), то получится *соединение звездой* (рис. 72, а); если же конец первой фазы соединить с началом второй фазы, конец второй фазы — с началом третьей фазы, а конец третьей фазы — с началом первой фазы, то получится *соединение треугольником* (рис. 73, а).

Провода, которые присоединены к началам фаз (при соединении звездой) или общим точкам начал и концов фаз (при соединении треугольником), называют *линейными* проводами. Провод, присоединенный к нейтральной точке, называют *нейтральным* проводом.

Напряжение между началом и концом фазы, т. е. между линейным и нейтральным проводами, называют *фазным* нап-

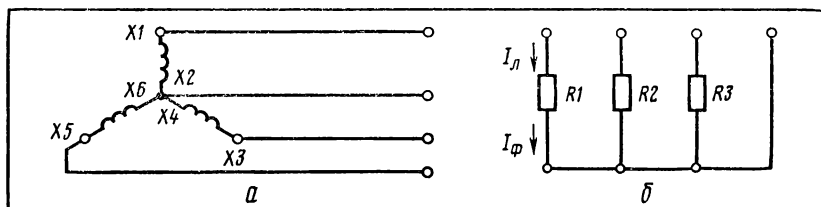


Рис. 72. Принципиальная схема соединения звездой: а — фаз генератора; б — электроприемников.

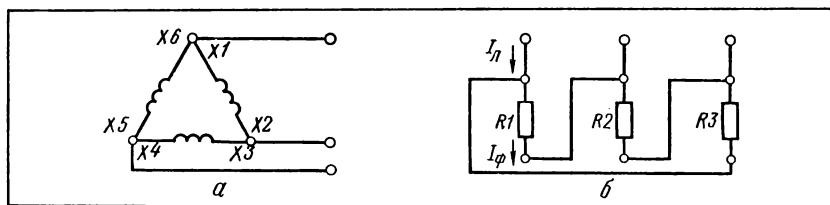


Рис. 73. Принципиальная схема соединения треугольником: а — фаз генератора; б — электроприемников.

ряжением и обозначают  $U_{\phi}$ . Напряжение между началами фаз, т. е. между линейными проводами, носит название линейного напряжения. Его обозначают  $U_{\text{л}}$ .

Соотношение между линейными и фазными напряжениями выражается следующими формулами:

при соединении звездой  $U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\phi}$ ;

при соединении треугольником  $U_{\text{л}} = U_{\phi}$ .

Электроприемники также соединяют звездой (рис. 72, б) или треугольником (рис. 73, б).

Токи, проходящие по линейным проводам, называют линейными токами и обозначают  $I_{\text{л}}$ . Токи, проходящие в каждой фазе, носят название фазных токов ( $I_{\phi}$ ).

По возможности добиваются, чтобы фазные нагрузки (а следовательно, и токи) были одинаковы. Это особенно важно при соединении треугольником. При неодинаковых нагрузках в случае соединения звездой необходим нейтральный провод, но он не нужен, если нагрузки одинаковы.

Соотношение между линейными и фазными токами при одинаковых нагрузках выражается формулами:

при соединении звездой  $I_{\text{л}} = I_{\phi}$ ;

при соединении треугольником  $I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\phi}$ .

В § 6 говорилось, что в соответствующих случаях вместо защитного заземления делают зануление. Зануляют прежде всего нейтраль генератора (трансформатора), т. е. электрически соединяют с землей общую точку фаз генератора X2, X4 и X6 (см. рис. 72, а). В электрических сетях, идущих от генератора (трансформатора) с заземленной нейтралью, нейтральный провод называют нулевым проводом и его используют для зануления электрооборудования. Для примера на рисунке 74 показано, как выполняется зануление арматуры светильников.

### Вопросы и упражнения

1. В чем состоят преимущества трехфазных цепей перед однофазными?
2. Линейное напряжение равно 380 В. Чему равно фазное напряжение при соединении звездой? треугольником?
3. К чему может привести обрыв нулевого провода? линейного провода? двух линейных проводов?

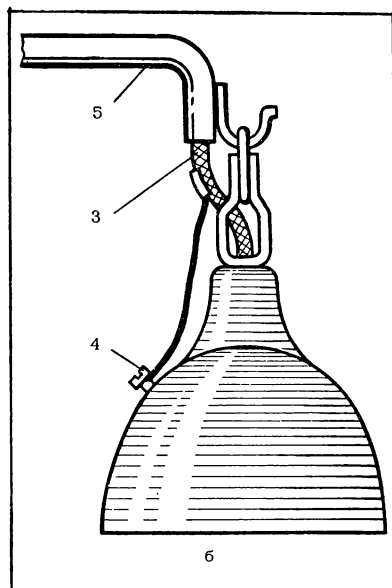
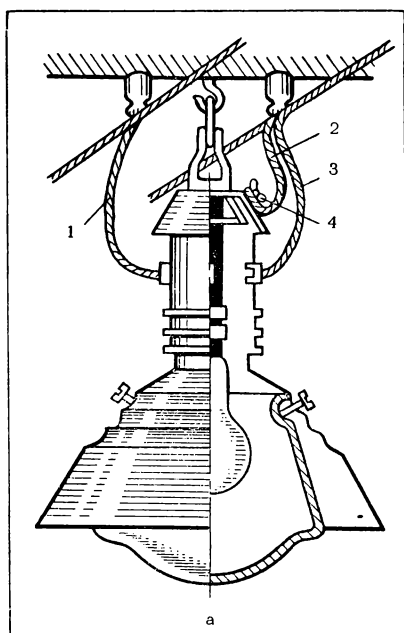


Рис. 74. Зануление арматуры светильников: *а* — при открытой прокладке проводов в сетях с заземленной нейтралью; *б* — присоединением к нулевому проводу; 1 — фазный провод; 2 — зануляющий проводник; 3 — нулевой провод; 4 — винт зануления (заземления); 5 — труба.

## Практическая работа № 6

### Включение электроприемников звездой, проверка соотношения между линейными и фазными токами и напряжениями

*Оборудование:* ламповый реостат из трех отдельных групп (фаз) ламп, амперметр (6 шт.), авометр, соединительные провода.

*Порядок выполнения работы*<sup>1</sup>

1. Начертите схему соединения фаз лампового реостата звездой и включения амперметров для измерения фазных и линейных токов, согласуйте схему с учителем (мастером).

2. Соберите по схеме цепь — в каждую фазу реостата введите одинаковое количество ламп одной и той же мощности (равномерная нагрузка).

3. С разрешения учителя (мастера) включите цепь в сеть и запишите показания амперметров. Измерьте авометром, соблюдая осторожность, фазные и линейные напряжения и запишите результаты.

4. Отключите цепь от сети; отсоедините нулевой провод. С разрешения учителя (мастера) включите цепь в сеть; результаты измерения амперметрами и авометром запишите; отключите цепь.

5. Сделайте нагрузку в фазах неравномерной, выполните необходимые измерения согласно указаниям в п. 3 и 4.

6. Сделайте вывод о соотношении линейных и фазных токов и напряжений при равномерной нагрузке. Объясните роль нулевого провода.

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.

## Практическая работа № 7

### Включение электроприемников треугольником, проверка соотношения между линейными и фазными токами и напряжениями

**Оборудование:** ламповый реостат из трех отдельных групп (фаз) ламп, амперметры (6 шт.), авометр, соединительные провода.

Порядок выполнения работы<sup>1</sup>

1. Начертите схему соединения фаз лампового реостата треугольником и включения амперметров для измерения линейных и фазных токов, согласуйте ее с учителем (мастером).

2. Соберите по схеме цепь (нагрузка в каждой фазе одинакова).

3. С разрешения учителя (мастера) включите цепь в сеть, запишите показания амперметров. Измерьте авометром, соблюдая осторожность, линейные и фазные напряжения и запишите результаты.

4. Отключите цепь, отсоедините один линейный провод. С разрешения учителя (мастера) включите цепь в сеть, сделайте необходимые измерения согласно п. 3 и запишите результаты. Отключите цепь; измените нагрузку. С разрешения учителя (мастера) включите цепь в сеть, сделайте измерения согласно п. 3, запишите результаты. Отключите цепь и разберите ее.

5. Сделайте вывод о соотношении линейных и фазных токов и напряжений при равномерной нагрузке. Объясните, к каким последствиям приводит обрыв линейного провода при равномерной и неравномерной нагрузках.

## § 46. ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### УСТРОЙСТВО И РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРА

*Трансформатор* — это статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной системы переменного тока в другую систему переменного тока (без изменения частоты). Трансформатор (рис. 75) состоит из магнитной системы и обмоток.

**Магнитная система** (магнитопровод) трансформатора представляет собой комплект пластин из ферромагнитного материала (из электротехнической стали), собранных в определенной геометрической форме. Эта система служит для сосредоточения в магнитопроводе магнитного поля. Магнитопроводы трансформаторов мощностью до 1,5 кВ·А имеют прямоугольную форму, причем соотношение высоты стержня и длины ярма находится в пределах от 1,2 до 2. Их изготавливают из листов электротехнической стали толщиной от 0,35 до 0,5 мм.

**Обмотка** трансформатора состоит из определенного количества витков медного или алюминиевого изолированных проводов, намотанных в форме катушки. В трансформаторе может быть две или несколько обмоток.

---

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.

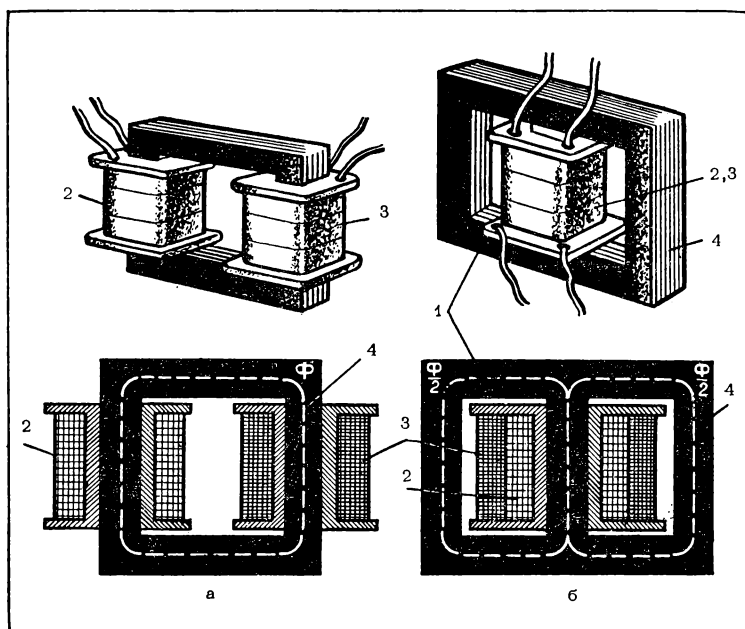


Рис. 75. Устройство однофазного трансформатора: а — стержневой; б — броневой; 1 — ярмо; 2 и 3 — обмотки; 4 — стержень;  $\Phi$  — магнитный поток.

В трехфазном трансформаторе (рис. 76) под обмотками подразумевают совокупность трех фаз, соединенных звездой или треугольником.

Когда одну из обмоток (ее называют первичной) подключают к источнику переменного тока, тогда в этой обмотке возникает ЭДС самоиндукции  $E_1$ , а в другой (ее называют вторичной) — ЭДС индукции  $E_2$ .

Если не учитывать падение напряжения в обмотках трансформатора, значение которого очень мало, то формулы можно записать так:

$$E_1 = U_1 \text{ и } E_2 = U_2,$$

где  $U_1$  — напряжение на первичной обмотке;

$U_2$  — напряжение на вторичной обмотке.

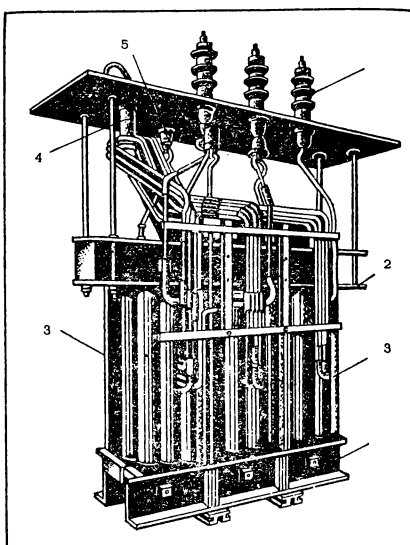


Рис. 76. Внутренняя часть трехфазного трансформатора: 1 — ввод высокого напряжения (ВН); 2 — ярмовая балка; 3 — обмотка; 4 — переключатель ответвлений обмотки; 5 — ввод низкого напряжения (НН).

Из курса физики известно, что  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$ ,

где  $w_1$  — число витков в первичной обмотке;

$w_2$  — число витков во вторичной обмотке.

Отношение  $\frac{E_1}{E_2}$  для данного трансформатора — величина постоянная, и ее называют *коэффициентом трансформации* ( $k$ ).

Если  $U_1 > U_2$ , то трансформатор *понижающий*, если  $U_1 < U_2$ , то — *повышающий*. Один и тот же трансформатор можно использовать как для понижения, так и для повышения напряжения.

Из опыта и путем расчетов можно убедиться, что если пренебречь (из-за незначительности по значению) потерями энергии в самом трансформаторе, то можно записать:

$$P_1 = P_2,$$

где  $P_1$  — мощность тока в первичной обмотке;

$P_2$  — мощность тока во вторичной обмотке.

Тогда соотношение силы токов и напряжений в обмотках трансформатора можно выразить формулой:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}.$$

Мощности тока в первичной и во вторичной обмотках одинаковы лишь в идеальном случае. Практически же часть электрической энергии бесполезно расходуется на нагревание обмоток и магнитопровода. В этом случае обычно говорят о потере энергии, хотя энергия, конечно, не теряется, а бесполезно расходуется на нагревание трансформатора. Потери энергии в обмотках, которые согласно закону Джоуля — Ленца зависят от электрического сопротивления (активного сопротивления) обмоток и силы тока, проходящего по ним, называют *потерями в меди*. Принято говорить о мощности потерь в меди —  $P_m$ . В процессе работы трансформатора его сердечник перемагничивается (явление гистерезиса), на что также расходуется энергия. Кроме того, в сердечнике индуцируются вихревые токи, нагревающие сердечник. Расход энергии на перемагничивание сердечника (потери на гистерезис) и на нагревание сердечника вихревыми токами (потери на вихревые токи) называют *потерями в стали*. Принято говорить о мощности потерь в стали —  $P_{ст}$ . Вследствие того что часть энергии в трансформаторе теряется, мощность тока во вторичной обмотке меньше мощности тока в первичной обмотке.

Отношение мощности тока во вторичной обмотке к мощности тока в первичной обмотке называют *коэффициентом полезного действия трансформатора*. КПД трансформатора большой — примерно 99—99,5%. КПД трансформатора определяют опытным путем, измеряя мощности тока в обмотках или мощности потерь энергии в обмотках и магнитопроводе. Поэтому

формула для нахождения КПД трансформатора ( $\eta$ ) выглядит так:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_m + P_{ст}} \cdot 100\%.$$

Различают два режима работы трансформатора: холостой ход и работу под нагрузкой.

*Холостым ходом* трансформатора называют такой режим его работы, при котором первичная обмотка находится под номинальным напряжением, а вторичная — разомкнута, т. е. сила тока и мощность в ней равны нулю. Сила тока в первичной обмотке при холостом ходе в десятки раз меньше номинальной. Поэтому очень малы и потери энергии в меди. Так как напряжение на первичной обмотке номинальное, то при холостом ходе потери в стали такие же, как и при номинальном режиме работы трансформатора под нагрузкой.

При *работе трансформатора под нагрузкой*, т. е. при включении электроприемника в цепь вторичной обмотки, напряжение на первичной обмотке остается почти неизменным, а сила тока в ней изменяется пропорционально изменению силы тока во вторичной обмотке. Следовательно, например, при увеличении силы тока во вторичной обмотке увеличивается потребляемая электроприемником энергия, а значит, увеличивается и мощность, потребляемая трансформатором от источника тока, т. е. от электрической сети, в которую включена первичная обмотка трансформатора (проявление закона сохранения энергии). Данное явление объясняют следующим: абсолютное значение суммарного магнитного потока в сердечнике — постоянная величина; ток, проходящий по вторичной обмотке, создает магнитный поток, который согласно правилу Ленца направлен против магнитного потока, создаваемого током первичной обмотки; если, например, увеличится сила тока во вторичной обмотке, то увеличится и магнитный поток в ней, а значит, должен увеличиться и магнитный поток, создаваемый током первичной обмотки; последнее возможно лишь при увеличении силы тока в первичной обмотке.

### КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Трансформатор называют *силовым*, если он предназначен для преобразования электрической энергии в электрических сетях или для непосредственного питания электроприемников.

Силовые трехфазные трансформаторы (см. рис. 76) применяют при передаче электрической энергии на большие расстояния. Такие трансформаторы устанавливают на электрических подстанциях, в распределительных устройствах, на трансформаторных пунктах. Силовые однофазные и трехфазные трансформаторы небольшой мощности применяют для питания отдельных электроприемников или их групп.



Существуют также *специальные трансформаторы* сварочные, измерительные и др.

В зависимости от количества обмоток различают двух-, трех- и многообмоточные трансформаторы. По форме магнитной системы трансформаторы бывают стержневыми и броневыми (см. рис. 75)

Во время работы, как отмечалось выше, обмотки и магнитопровод трансформатора нагреваются. Это вредно для трансформатора. Поэтому трансформаторы снабжают системой охлаждения: естественной (воздушная, масляная) или искусственной (принудительная циркуляция масла).

При пользовании трансформаторами нужно строго соблюдать правила техники безопасности. Необходимо также учитывать специфические требования, предъявляемые в данном случае: надо следить, чтобы мощность подключаемых электроприемников не превышала номинальной мощности трансформатора; при включении надо сначала подключить трансформатор к сети, а затем уже к нему подключать с помощью выключателя заранее присоединенный электроприемник; отключать (выключателем) надо сначала электроприемник от трансформатора, а затем трансформатор от сети.

#### ПРОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРА

Трансформатор проверяют омметром (авометром) на обрыв и короткое замыкание обмоток. Если обмотки исправны, то трансформатор проверяют под напряжением, определяя коэффициент трансформации, мощность потерь в меди, мощность потерь в стали и КПД при различных нагрузках во вторичной цепи.

Коэффициент трансформации определяют, сравнивая показания вольтметров, включенных в первичную и вторичную цепи при холостом ходе (рис. 77)

Мощность потерь в стали определяют при отсутствии нагрузки во вторичной цепи трансформатора (см. рис. 77). При холостом ходе, как отмечалось выше, напряжения на первичной и вторичной обмотках равны номинальным напряжениям трансформатора; сила же тока во вторичной обмотке равна нулю, а в первичной — очень мала, поэтому потерями в меди можно пренебречь (они прямо пропорциональны квадрату силы тока)

Ваттметр, включенный в первичную цепь (см. рис. 77), покажет мощность потерь в стали

Мощность потерь в меди зависит от силы тока и не зависит от напряжения на обмотках. Поэтому ее определяют при номинальной силе тока в обмотках. Для этого напряжение на

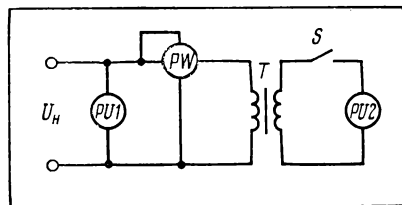


Рис. 77 Принципиальная схема цепи для определения коэффициента трансформации и мощности потерь в стали.

первичной обмотке снижают до 5—12% от номинального напряжения с таким расчетом, чтобы при коротком замыкании вторичной обмотки (опыт короткого замыкания) сила тока в первичной обмотке была равна номинальной силе тока (рис. 78). Снижение напряжения необходимо для того, чтобы уменьшить силу тока короткого замыкания трансформатора, что очень опасно для него. При соблюдении указанных выше условий проведения опыта ваттметр, включенный в первичную цепь, покажет мощность потерь в меди.

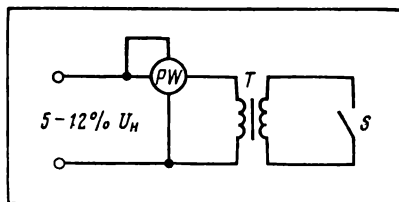


Рис. 78. Принципиальная схема цепи для определения мощности потерь в меди.

Для определения КПД трансформатора при различных нагрузках во вторичной цепи в нее включают электроприемник, позволяющий изменять нагрузку (рис. 79). На опыте убеждаются, что при возрастании (снижении) нагрузки во вторичной цепи увеличивается (уменьшается) нагрузка и в первичной цепи (проявление закона сохранения энергии). Сравнивая показания ваттметров, определяют зависимость КПД трансформатора от нагрузки во вторичной цепи.

### СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

*Автотрансформатор* (см. обозначение автотрансформатора в табл. 7) в отличие от трансформатора имеет не две, а одну обмотку. Эта обмотка служит первичной обмоткой, а часть ее одновременно используется в качестве вторичной (и наоборот). Благодаря этому при изготовлении автотрансформаторов расходуется меньше проводов, чем для изготовления обычного трансформатора той же мощности. Однако это преимущество автотрансформатора можно использовать при небольших значениях коэффициента трансформации — от 1,2 до 2. Автотрансформаторы применяют для регулирования напряжения при пуске электрических двигателей, для питания некоторых выпрямителей, различных лабораторных установок. Автотрансформаторы широко применяют и в качестве бытовых электроаппаратов, пред-

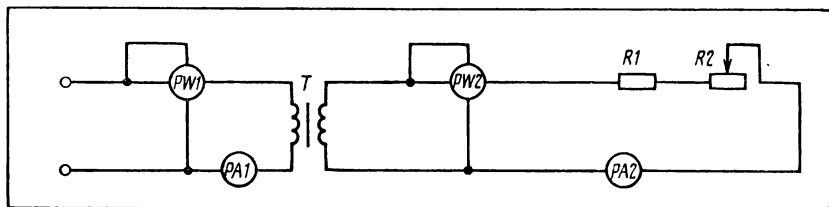


Рис. 79. Принципиальная схема цепи для определения КПД трансформатора.

назначенных для повышения напряжения от 127 до 220 В или понижения его от 220 до 127 В. Есть бытовые трансформаторы, рассчитанные на несколько ступеней понижения напряжения.

*Сварочный трансформатор* предназначен для понижения напряжения от 220 или 380 В до 60—70 В (дуговая электросварка) или до 14 В (контактная сварка). Сварочные трансформаторы рассчитаны на работу при больших силах тока — порядка 300 А, а также и при режиме короткого замыкания. Все это обуславливает главную особенность их устройства, позволяющую ограничивать силу тока короткого замыкания путем увеличения индуктивного сопротивления обмотки. Последнее достигается благодаря использованию магнитных шунтов, включаемых в магнитопровод, или изменению воздушного зазора в магнитопроводе индуктивной катушки, соединенной последовательно с вторичной обмоткой трансформатора.

*Измерительные трансформаторы* применяют для включения измерительных приборов и реле в цепи высокого напряжения. Измерительные трансформаторы, как правило, являются понижающими трансформаторами. Поэтому они позволяют применять обычные приборы для измерения больших напряжений, токов, мощностей и при этом повышают безопасность работы обслуживающего персонала. Первичную обмотку измерительного трансформатора включают в высоковольтную цепь; измерительные приборы и реле соединяют с вторичной обмоткой, которую обязательно заземляют, чтобы исключить поражение током при пробое изоляции и переходе вследствие этого высокого напряжения на вторичную обмотку.

Различают измерительные трансформаторы напряжения (рис. 80) и измерительные трансформаторы тока (рис. 81). Измерительные трансформаторы напряжения служат для включения вольтметров и обмоток напряжения других измерительных приборов и реле, измерительные трансформаторы тока — для включения амперметров и токовых катушек других измерительных приборов.

Рабочие многих электротехнических профессий, связанных прежде всего с монтажом, ремонтом и обслуживанием линий электропередачи, распределительных устройств, трансформаторных пунктов и подстанций, для выполнения измерений нередко пользуются *электроизмерительными клещами* (см. рис. 7, б). Электроизмерительные клещи представляют собой переносный электроизмерительный прибор, сочетающий в себе измерительный трансформатор и измерительный прибор (амперметр, вольтметр и т. п.). Электроизмерительными клещами можно выполнять измерения без разрыва цепи. Для этого с помощью рукояток разводят магнитопровод с первичной обмоткой измерительного трансформатора и охватывают им провод цепи; при сжатии рукояток части магнитопровода замыкаются между собой и встроенный в клещи измерительный прибор показывает значение измеряемой

величины. Например, с помощью электроизмерительных клещей типа Д90 можно измерять мощность без разрыва цепи в пределах 25—75 кВт при напряжении 220 В и 50—150 кВт при напряжении 380 В.

### Вопросы и упражнения

1. Что называется трансформатором? На каком принципе основаны его устройство и работа?

2. Что такое коэффициент трансформации? Как его определяют?

3. На что в трансформаторе бесполезно расходуется энергия? Что называют потерями в стали и потерями в меди?

4. Объясните физическую сущность процессов, происходящих в трансформаторе при режимах холостого хода и работы под нагрузкой.

5. Расскажите о классификации трансформаторов.

6. Объясните принцип работы автотрансформатора. Почему для изготовления автотрансформатора расходуется меньше проводов, чем для изготовления обычного трансформатора той же мощности?

7. По заданию учителя (мастера) ознакомьтесь с устройством автотрансформатора и инструкцией по его эксплуатации. С разрешения учителя (мастера) произведите регулировку напряжения на зажимах электроприемника с помощью автотрансформатора.

8. Почему сварочные трансформаторы должны быть рассчитаны на работу при больших силах тока и коротких замыканиях? Каким образом можно ограничить значение силы тока короткого замыкания в сварочных трансформаторах? Какими способами регулируют значение силы тока электро-сварки? Ознакомьтесь с устройством сварочного трансформатора, выяснив особенности конструкции его обмоток и магнитопровода.

9. Каково назначение измерительных трансформаторов? Чем отличаются устройство и схема включения измерительных трансформаторов тока и измерительных трансформаторов напряжения?

10. Ознакомьтесь с устройством электроизмерительных клещей и инструкцией по обращению с ними. В присутствии учителя (мастера) произведите измерения с помощью электроизмерительных клещей.

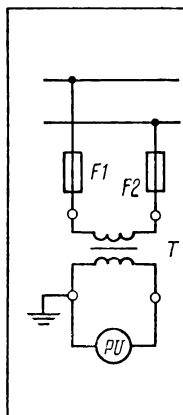


Рис. 80. Схема включения измерительного трансформатора напряжения.

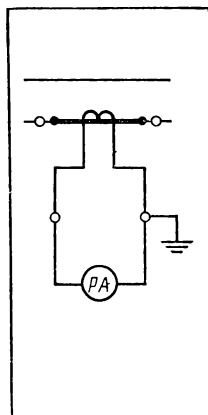


Рис. 81. Схема включения измерительного трансформатора тока.

## Практическая работа № 8

### Определение коэффициента трансформации и потерь энергии в трансформаторе

**Оборудование:** трансформатор понижающий, ваттметр, вольтметр (2 шт.), омметр, соединительные провода.

### Порядок выполнения работы<sup>1</sup>

1. Изучите устройство трансформатора.
  2. Проверьте при помощи омметра исправность обмоток трансформатора.
  3. Выберите приборы, необходимые для проверки трансформатора.
  4. Соберите цепь для определения коэффициента трансформации и покажите учителю (мастеру). С разрешения учителя (мастера) включите ее в сеть и запишите показания вольтметров. Отключите цепь и вычислите коэффициент трансформации.
  5. Соберите цепь для определения мощности потерь в стали. С разрешения учителя (мастера) включите ее в сеть, запишите показание ваттметра. Отключите цепь.
  6. Соберите цепь для определения мощности потерь в меди. С разрешения учителя (мастера) включите ее в сеть, запишите показания ваттметра. Отключите цепь и разберите ее.
- Сделайте вывод о возможности практического применения проверяемого трансформатора.

## Практическая работа № 9

### Определение коэффициента полезного действия трансформатора

*Оборудование:* трансформатор понижающий, ваттметры (2 шт.), амперметры (2 шт.), реостаты (2 шт.), омметр, соединительные провода.

*Порядок выполнения работы*

1. Проверьте при помощи омметра исправность обмоток трансформатора, выберите приборы, необходимые для определения КПД трансформатора.
2. Начертите таблицу:

Показания приборов				Результат вычисления
$I_1$ , А	$I_2$ , А	$P_1$ , Вт	$P_2$ , Вт	$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$

3. Соберите по схеме цепь (см. рис. 79). С разрешения учителя (мастера) включите ее в сеть.
  4. Установите во вторичной цепи наименьшую нагрузку (ток) и запишите показания приборов в таблицу.
  5. Увеличивайте плавно нагрузку во вторичной цепи, записывая каждый раз показания приборов в таблицу.
  6. Отключите цепь и разберите ее.
  7. Сделайте необходимые вычисления и постройте график зависимости КПД трансформатора от нагрузки во вторичной цепи.
- Укажите возможности практического применения проверяемого трансформатора.

---

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.

## § 47. ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ДВИГАТЕЛЯ

*Асинхронные машины* используют в основном в качестве электрических двигателей и крайне редко в качестве генераторов.

Рассмотрим принцип действия асинхронного трехфазного электрического двигателя.

При вращении магнита (рис. 82, *а*) в направлении, указанном стрелками, короткозамкнутый виток *аб* (показан в разрезе) пересекается магнитным потоком. В витке возбуждается индукционный ток, направление которого определяют по правилу правой руки (учитывается относительное движение витка). В результате взаимодействия индукционного тока и магнитного поля вращающегося магнита возникает пара сил  $F_1$  и  $F_2$  (их направление определяют по правилу левой руки), приводящая виток во вращение. Вращается виток в том же направлении, что и магнитное поле, но со скоростью, меньшей скорости вращения магнитного поля (иначе магнитный поток, пересекающий виток, не был бы переменным, и в витке не возник бы индукционный ток). Поэтому вращение витка относительно поля является асинхронным.

В асинхронном трехфазном двигателе (рис. 82, *б*) вращающееся магнитное поле создается в результате прохождения тока

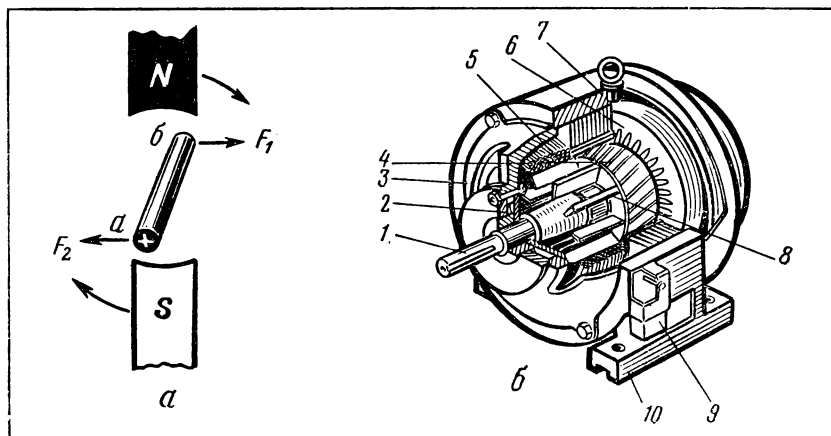


Рис. 82. Трехфазный асинхронный двигатель: *а* — схема, поясняющая принцип действия асинхронного электродвигателя; *б* — устройство асинхронного трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором; 1 — вал; 2 — шариковый подшипник; 3 — подшипниковый щит; 4 — ротор; 5 — обмотка статора; 6 — сердечник статора; 7 — станина; 8 — лопасти вентилятора; 9 — коробка с зажимами; 10 — лапа с отверстиями для крепления двигателя к фундаменту.

по трем фазам обмотки статора, расположенным под углом  $120^\circ$  по отношению друг к другу. Ротор у данного двигателя короткозамкнутый. Эти трехфазные асинхронные электрические двигатели широко применяют в промышленности и сельском хозяйстве для приведения в действие станков, машин и механизмов.

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ

К основным техническим характеристикам трехфазного асинхронного электрического двигателя относятся мощность, частота вращения, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ ), масса. Есть и другие важные характеристики двигателя, о которых будет сказано ниже.

Относительное отставание ротора от вращающегося магнитного поля характеризуется *скольжением*, которое определяется по формуле:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1},$$

где  $s$  — скольжение;

$n_1$  — частота вращения магнитного поля статора;

$n$  — частота вращения ротора.

Учитывая, что частота вращения магнитного поля  $n_1 = \frac{60f}{p}$ , можно определить частоту вращения двигателя по формуле:

$$n = \frac{60f}{p} (1 - s).$$

Скольжение измеряют также в процентах.

Меняя число пар полюсов обмотки статора, можно регулировать частоту вращения магнитного поля, а следовательно, и частоту вращения асинхронного двигателя.

Важной характеристикой асинхронного двигателя служит *вращающий момент*. Он создается благодаря действию сил, обусловленных взаимодействием магнитных полей статора и ротора. Значение вращающего момента зависит от скольжения (рис. 83). Устойчивая работа двигателя возможна лишь при скольжении, которому соответствует возрастание вращающего момента, например, при скольжении  $s_A$  и вращающем моменте  $M_A$ . При скольжении же  $s_B$  и моменте  $M_B$  частота вращения двигателя станет уменьшаться и может дойти до нуля.

При пуске асинхронного электродвигателя вращающееся магнитное поле пересекает обмотку ротора с большей скоростью, чем при работе двигателя, так как в момент его пуска ротор неподвижен. Вследствие этого в обмотке ротора индуцируется большая по сравнению с номинальной ЭДС, а значит, по обмотке проходит и больший ток. Увеличение силы тока в

обмотке ротора вызывает соответствующее увеличение силы тока в обмотке статора (это можно объяснить, опираясь на правило Ленца и закон сохранения энергии). Таким образом, при пуске асинхронного двигателя по обмотке статора проходит ток, в 5—7 раз превышающий номинальный. Поэтому пусковой вращающий момент больше номинального. Номинальный вращающий момент, как было сказано выше, меньше максимального вращающего момента. Вследствие этого используются следующими тремя характеристиками двигателя: *кратность пускового тока, кратность пускового момента и кратность максимального момента.*

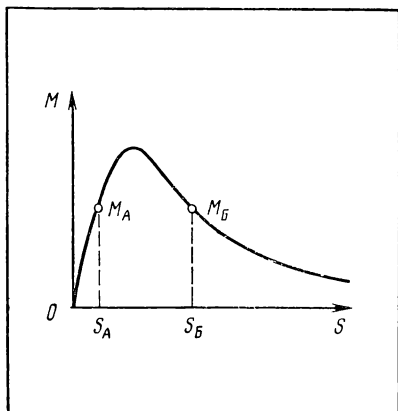


Рис. 83. График, выражающий зависимость вращающего момента асинхронного двигателя от скольжения.

Более подробные сведения об указанных характеристиках трехфазного асинхронного электродвигателя нужны высококвалифицированным рабочим, техникам, инженерам. В случае необходимости эти сведения можно взять из специальных справочников и учебников для профтехучилищ.

До середины 70-х гг. у нас в стране выпускали трехфазные асинхронные электрические двигатели серии А2 (защищенное исполнение) и А02 (закрытое обдуваемое исполнение). Эти двигатели и сейчас широко распространены в различных отраслях народного хозяйства. В обозначении типа двигателей данной серии число, стоящее после дефиса (черточки) за буквами, условно указывает габаритные размеры (длину и ширину) двигателя, после второго дефиса ставят цифру, указывающую число полюсов, например А2-61-8, А2-92-8, А02-52-4. В паспорте данных двигателей указываются и другие сведения, которые нужно учитывать при эксплуатации двигателей.

На базе двигателей серии А2 и А02 созданы и выпускаются в настоящее время двигатели единой серии 4А. Они рассчитаны на номинальные напряжения 220, 380, 660 В и мощность от 0,12 до 400 кВт (при частоте вращения 1500 об/мин). Двигатели серии 4А отличаются от серии А2 и А02 главным образом следующим: меньшие габаритные размеры, повышенная нагревостойкость и механическая прочность изоляции, меньший уровень шума и вибраций, большее удобство монтажа и эксплуатации, повышенная надежность.

Выбирая электродвигатель, учитывают условия эксплуатации и его техническую характеристику (см. табл. 21).



**Основные технические данные трехфазных асинхронных  
электрических двигателей серии 4А (мощность от 0,12 до 11 кВт)**

Тип	Мощность, кВт	КПД, %	cos φ	Кратность			Масса, кг
				пуско- вого тока	пуско- вого мо- мента	макси- мального момента	
4AA56A4	0,12	64,0	0,68	3,4	2,1	2,3	4,0
4AA56B4	0,18	66,0	0,66	3,1	2,1	2,2	4,5
4AA63A4	0,25	71,0	0,67	3,7	2,2	2,3	5,5
4AA63B4	0,37	70,0	0,70	3,5	2,0	2,2	6,0
4A71A4	0,55	70,5	0,70	4,5	2,2	2,2	13,5
4A71B4	0,75	72,0	0,73	4,5	2,2	2,2	14,5
4A80A4	1,10	74,5	0,81	5,0	2,0	2,2	17,0
4A80B4	1,50	76,9	0,83	5,0	2,0	2,2	20,0
4A90S4	2,20	80,0	0,85	6,0	2,0	2,2	26,0
4A100S4	3,00	82,0	0,84	6,5	2,0	2,5	33,5
4A100M4	4,00	84,0	0,85	6,5	2,0	2,5	40,5
4A112M4	5,50	85,5	0,85	7,5	2,0	2,2	55,0
4A132S4	7,50	87,5	0,86	7,5	2,0	2,2	78,0
4A132M4	11,0	88,0	0,87	7,5	2,0	2,2	95,0

### ВКЛЮЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ

Выводы обмотки статора, предназначенные для присоединения к электрической сети, соединены с зажимами, расположенными в коробке на станине двигателя (см. рис. 82). Можно встретить различные конструкции коробки зажимов. Например, коробка может иметь три зажима; это значит, что фазы обмотки статора уже соединены между собой звездой или треугольником, а указанные три зажима предназначены для присоединения проводов или кабеля, с помощью которых через коммутационные и защитные аппараты (см. главу 4) двигатель подключают к питающей электрической сети. В коробке может быть шесть зажимов; это значит, что начала и концы фаз обмотки статора соединены с указанными зажимами, причем у каждого зажима обозначено начало или конец соответствующей фазы обмотки. В этом случае нужно подготовить двигатель для включения в сеть, т. е. зажимы соединить между собой таким образом, чтобы фазы обмоток статора были соединены звездой или треугольником.

Если начала и концы фаз на коробке зажимов не обозначены (нет их маркировки), то выполняют следующее:

определяют выводы, принадлежащие одной и той же фазе (с помощью омметра, авометра или контрольной лампы), выводы маркируют;

определяют начала и концы фаз (рис. 84): если при включении фазы  $X1, X2$  в сеть вольтметр не покажет наличия напряжения, то  $X4$  и  $X5$  являются либо началами, либо концами фаз (принимается условно); если же вольтметр покажет наличие напряжения, то вывод  $X5$  является, например, началом, а вывод  $X4$  — концом; выводы маркируют.

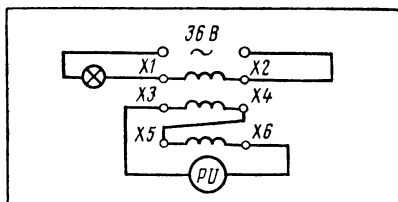


Рис. 84. Схема цепи для определения начал и концов фаз обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя.

Физическая сущность данного опыта заключается в следующем. При изготовлении обмотки провода наматывают в определенном направлении, например, по часовой стрелке. Если фазы  $X3, X4$  и  $X5, X6$  (см. рис. 84) соединены таким образом, чтобы совпадали направления намотки их витков, то при прохождении переменного тока по фазе  $X1, X2$  индуцирующиеся в фазах  $X3, X4$  и  $X5, X6$  ЭДС будут складываться, а значит, вольтметр покажет наличие напряжения. В данном случае можно считать, что  $X3$  и  $X5$  — начала фаз, а  $X4$  и  $X6$  — концы (принимается условно, так как  $X3$  и  $X5$  можно назвать концами фаз, а  $X4$  и  $X6$  — началами). Если же фазы  $X3, X4$  и  $X5, X6$  соединены так, что направления намотки их витков противоположны, то индуцирующиеся в них ЭДС будут противодействовать, а значит, напряжение на участке  $X3—X6$  в целом окажется равным нулю. В этом случае, если принять  $X3$  за начало фазы,  $X5$  является концом фазы. Определив указанным способом начала и концы фаз  $X3, X4$  и  $X5, X6$ , меняют местами фазы  $X1, X2$  и  $X3, X4$ , а затем повторяют опыт. Однако в последнем опыте уже известны начало и конец фазы  $X5, X6$ , поэтому в зависимости от показания вольтметра определяют начало и конец фазы  $X1, X2$ .

Для изменения направления вращения вала двигателя (реверсирования) нужно поменять местами два линейных провода, с помощью которых двигатель подключают к сети.

## Практическая работа № 10

### Подготовка электрического двигателя к включению

**Оборудование:** трехфазные асинхронные электрические двигатели для разборки и сборки и для монтажа (2 шт.), омметр (авометр), уровень, контрольная лампа, вольтметр, набор инструментов для электромонтажных работ.

**Порядок выполнения работы**<sup>1</sup>

1. Снимите с двигателя, предназначенного для разборки и сборки, подшипниковые щиты и изучите его устройство. Соберите двигатель.

2. Определите выводы, принадлежащие каждой фазе статора, и замаркируйте их (если это требуется).

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.

3. Определите начала и концы фаз статора (см. рис. 84) и замаркируйте их (перед каждым включением в сеть получайте разрешение учителя, мастера).
4. Отремонтируйте (если требуется) коробку зажимов.
5. Установите двигатель на фундамент (бруски, подставку) и закрепите его с помощью болтов; проверьте горизонтальность расположения двигателя и, если требуется, подложите под лапы металлические прокладки.

## **Практическая работа № 11**

### **Включение асинхронного электрического двигателя в сеть при помощи рубильника**

*Оборудование:* асинхронный двигатель (начала и концы фаз обмоток статора не должны быть соединены между собой), рубильник на щитке, амперметр, набор инструментов для электромонтажных работ.

*Порядок выполнения работы*<sup>1</sup>

1. Начертите схему включения электрического двигателя при соединении фаз статора звездой, предусмотрев амперметр для измерения силы тока; покажите схему учителю (мастеру). Подготовьте двигатель для включения. С разрешения учителя (мастера) включите его в сеть и запишите показание амперметра. Обратите внимание на направление вращения вала ротора. Отключите двигатель. Поменяйте местами два линейных провода. С разрешения учителя (мастера) включите двигатель в сеть и обратите внимание теперь на направление вращения вала ротора. Отключите двигатель.

2. Начертите схему включения двигателя при соединении фаз обмотки статора треугольником, предусмотрев амперметр для измерения силы линейного тока. Покажите ее учителю (мастеру). Подготовьте двигатель для включения. С разрешения учителя (мастера) включите двигатель в сеть и запишите показание амперметра. Отключите двигатель.

3. Сделайте вывод о соотношении пусковых токов при включении двигателя звездой и треугольником.

## **Практическая работа № 12**

### **Включение электрического двигателя в сеть при помощи магнитного пускателя**

*Оборудование:* трехфазный асинхронный электрический двигатель, магнитный пускатель на щитке, электрические предохранители, выключатель кнопочный нажимной, набор инструментов для электромонтажных работ.

*Порядок выполнения работы*<sup>1</sup>

1. Определите тип электрического двигателя и его номинальные данные.
2. Рассчитайте номинальное значение силы тока по формуле:

$$I_n = \frac{P_n \cdot 1000}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi},$$

где  $I_n$  — номинальная сила тока, А;  
 $P_n$  — номинальная мощность, кВт;  
 $U_n$  — номинальное напряжение, В;  
 $\cos \varphi$  — коэффициент мощности двигателя.

3. Соедините двигатель с сетью (при отключенном напряжении!) при помощи магнитного пускателя и нажимного кнопочного выключателя (см. рис. 42); установите предохранители на щитке с рубильником.

4. С разрешения учителя (мастера) произведите несколько включений и отключений двигателя.

5. Отключите цепь от источника тока и разберите ее.

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.

## § 48. ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Трехфазные асинхронные электрические двигатели с короткозамкнутым ротором широко применяют в народном хозяйстве, но они имеют ряд недостатков: невозможность плавного регулирования частоты вращения, большой пусковой ток и др. Этих недостатков можно избежать, если вместо короткозамкнутого ротора применить *фазный ротор*.

Фазный ротор устроен следующим образом: в пазах ротора размещена трехфазная обмотка, подобная обмотке статора; фазы обмотки ротора соединены звездой; начала фаз соединены соответственно с тремя контактными кольцами, которые изготовлены из меди или латуни и укреплены на одном валу с ротором. Контактные кольца изолированы друг от друга и от вала. К контактным кольцам прижаты угольные или металлографитные щетки, установленные на щеткодержателе, укрепленном на подшипниковом щите.

Для пуска двигателя с фазным ротором щетки соединяют с пусковыми или регулировочными реостатами. Эти реостаты позволяют уменьшить пусковой ток, так как благодаря им увеличивается общее сопротивление обмотки ротора. Реостаты используют также для плавного регулирования частоты вращения двигателя и изменения других рабочих характеристик. На

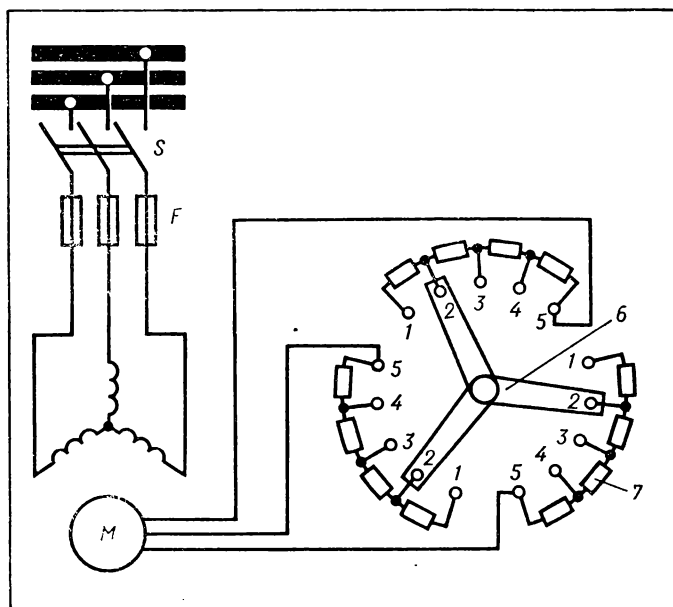


Рис. 85. Схема пуска трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором: 1—5— контакты; 6— переключатель; 7— резистор (реостат).

рисунке 85 показан один из способов пуска трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором.

### Вопросы и упражнения

1. Почему возникла необходимость в создании трехфазных асинхронных двигателей с фазным ротором (контактными кольцами)?

2. Рассмотрите трехфазные асинхронные электрические двигатели с короткозамкнутыми и фазными роторами. Выясните, в чем заключается сходство и различие в устройстве этих двигателей.

3. Во время экскурсии на предприятие выясните, где наиболее часто применяют трехфазные асинхронные электрические двигатели с фазным ротором.

## § 49. ОДНОФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ

Однофазный асинхронный электрический двигатель отличается от трехфазного (см. § 47) тем, что на его статоре помещена однофазная обмотка (рис. 86). Эту обмотку называют *главной*, или *рабочей обмоткой*. Ротор рассматриваемого двигателя устроен так же, как и у трехфазного асинхронного двигателя. Широкое применение находят однофазные асинхронные электрические двигатели небольшой мощности — до 2 кВт. В бытовых электрических устройствах применяют однофазные асинхронные электрические двигатели мощностью до 500 Вт.

У однофазных асинхронных электрических двигателей отсутствует начальный (пусковой) вращающий момент. Поэтому при включении рабочей обмотки двигателя в однофазную сеть его ротор вращаться не может. Чтобы обеспечить пуск однофазного двигателя, на статоре помещают еще одну обмотку — *пусковую* (см. рис. 86). Она расположена под углом  $90^\circ$  относительно рабочей обмотки и соединена последовательно с катуш-

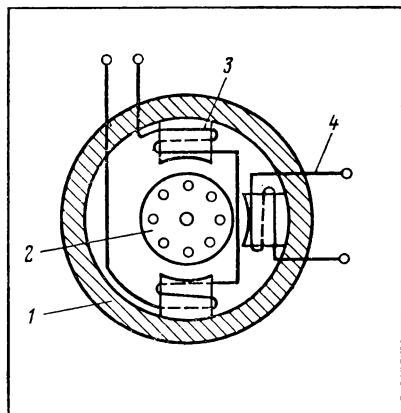


Рис. 86. Схематическое изображение однофазного асинхронного электродвигателя: 1 — статор; 2 — ротор; 3 — рабочая (главная) обмотка; 4 — пусковая обмотка.

кой индуктивности или конденсатором. При включении в сеть рабочей и пусковой обмоток создаваемые ими магнитные потоки образуют вращающееся магнитное поле. Вследствие этого в роторе возникает индукционный ток. Благодаря взаимодействию магнитного поля, создаваемого индукционным током в роторе, и вращающегося магнитного поля, создаваемого токами в обмотках статора, ротор приходит во вращение. После того как ротор начнет вращаться, появляется скольжение (см. § 47). Поэтому теперь пусковая обмотка не нужна, и она отключается с помо-

щью инерционного (центробежного) выключателя или специального реле.

В качестве однофазного можно использовать и трехфазный асинхронный двигатель. Включение трехфазного двигателя в однофазную сеть показано на рисунке 87. Недостаток этого способа — потребность в дорогостоящих конденсаторах большой емкости, так как на каждые 100 Вт мощности нужен конденсатор емкостью примерно 10 мкФ.

### Вопросы и упражнения

1. В чем заключается сходство и различие в принципе действия и устройстве однофазного и трехфазного асинхронных электрических двигателей?

2. Каким образом обеспечивается пуск однофазного асинхронного электрического двигателя? Какую роль играют катушка индуктивности или конденсатор, включенные последовательно с пусковой обмоткой однофазного асинхронного двигателя?

3. Разберите однофазный асинхронный двигатель и ознакомьтесь с его устройством. Выясните, где применяют однофазные асинхронные электрические двигатели.

4. Подготовьте трехфазный асинхронный двигатель к включению в однофазную сеть. С разрешения учителя (мастера) включите двигатель, убедитесь, что он работает нормально, затем отключите его.

## § 50. ВЫПРЯМИТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Электрическая энергия в промышленных масштабах производится генераторами переменного тока. Однако 25—30% электроэнергии используется в устройствах, работающих на постоянном токе. Для преобразования переменного тока в постоянный служат *выпрямители*.

Основным блоком выпрямителя (рис. 88) является *вентиль* — прибор, проводящий ток только в одном направлении.

Ранее для выпрямления переменного тока чаще всего использовались электромашины

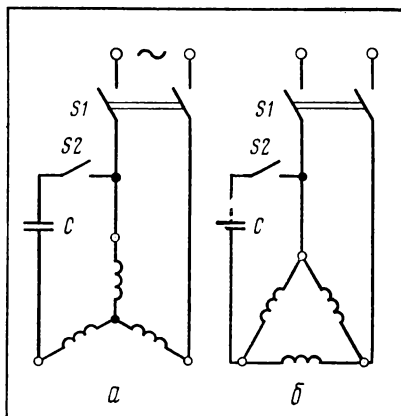


Рис. 87. Схемы включения трехфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть: а — при соединении фаз обмотки статора звездой; б — при соединении фаз обмотки статора треугольником.

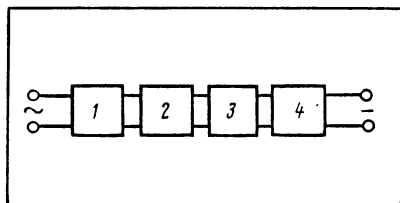


Рис. 88. Структурная схема выпрямителя: 1 — трансформатор; 2 — вентиль; 3 — блок фильтров; 4 — блок стабилизации напряжения.

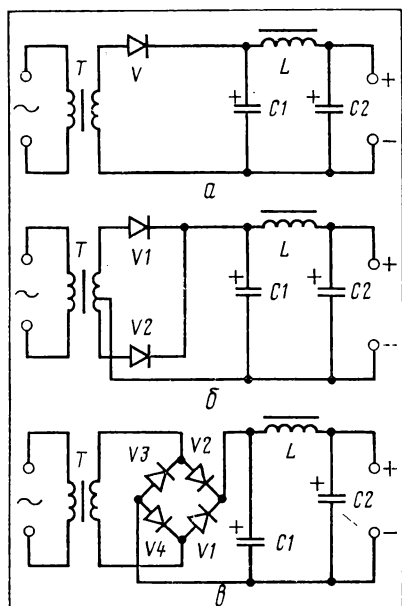


Рис. 89. Схемы выпрямителя: а — однополупериодная; б — двухполупериодная; в — мостовая.

преобразователи, а также выпрямительные устройства с ртутными вентилями. В настоящее время широкое распространение получили выпрямители с полупроводниковыми вентилями (см. § 20). Эти выпрямители по сравнению с электромашиными и ртутными меньше по размерам, проще по конструкции, имеют большую эксплуатационную надежность и высокий КПД; обслуживание их удобнее и легче.

Сущность процесса выпрямления переменного тока вы изучали на уроках физики. Вспомните, например, какой вид имеет график токов, выпрямленных при помощи одного диода (рис. 89, а) и двух диодов (рис. 89, б). В этих случаях направление тока постоянно, но периодически изменяется значение силы тока (пульсирующий ток). Чтобы уменьшить

(сгладить) пульсацию тока, последовательно с диодом включают дроссель, а параллельно — конденсаторы большой емкости. Дроссель, как известно из курса физики, оказывает большое индуктивное сопротивление переменному току (в данном случае пульсирующему); поэтому постоянный по значению силы тока и направлению электрический ток будет проходить по дросселю, не встречая заметного сопротивления (сопротивление постоянному току будет только активным, а у дросселя оно мало). Конденсатор, как это тоже известно из курса физики, к тому же имеющий большую емкость, будет почти беспрепятственно пропускать переменный ток, но через конденсатор не может проходить постоянный ток. Таким образом, благодаря дросселю и конденсаторам по электроприемнику, присоединенному к выходным зажимам выпрямителя, будет проходить постоянный ток.

Выпрямители могут быть собраны по однополупериодной, двухполупериодной или мостовой схемам (см. рис. 89). Качественное выпрямление тока обеспечивает выпрямитель, работающий по двухполупериодной или мостовой схеме и имеющий блок фильтров. (На рис. 89, в, в отличие от ГОСТ, выпрямительный мост изображен в развернутом виде, что позволяет проследить вентильное действие диодов и правильно их соединить между собой при выполнении практических работ.)

## Практическая работа № 13

### Исследование работы полупроводникового выпрямителя

*Оборудование:* стенд с основными частями полупроводникового выпрямителя, осциллограф, соединительные провода.

*Порядок выполнения работы*<sup>1</sup>

1. Изучите инструкцию по использованию осциллографа.
  2. Соберите цепь по однополупериодной схеме без фильтров, присоедините к зажимам на выходе этого выпрямителя осциллограф.
  3. С разрешения учителя (мастера) включите цепь, настройте осциллограф и зарисуйте картину, наблюдаемую на его экране. Отключите цепь.
  4. Соберите цепь по двухполупериодной схеме без фильтров и выполните задание, указанное в п. 3.
  5. Повторите опыты согласно указаниям в п. 2 и 3, включая дополнительно дроссель, а затем дроссель и конденсаторы. Все соединения производите только при отключенном напряжении! На включение цепи каждый раз получайте разрешение учителя (мастера).
- Сделайте выводы об особенностях работы выпрямителя, собранного по однополупериодной и двухполупериодной схемам. Объясните роль фильтров.

## § 51. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

### ПОНЯТИЕ ОБ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

*Электрический привод* (электропривод) служит для создания вращающего момента на валу рабочих машин и механизмов.

Электрическая часть электропривода состоит из одного или нескольких электродвигателей и электрической аппаратуры. Механическая часть электропривода в своем составе имеет редукторные передачи, преобразователи движения, коробки скоростей и т. п. и служит для передачи вращающего момента вала электродвигателя рабочим машинам, например станкам, насосам, подъемно-транспортным устройствам и т. п.

Различают три группы электроприводов: однодвигательный, групповой и многодвигательный. При однодвигательном электроприводе каждая машина в целом имеет отдельный двигатель.

От группового электропривода действует группа рабочих машин.

При многодвигательном электроприводе отдельные машины и механизмы одного и того же агрегата, например прокатного стана, имеют свой электродвигатель. Многодвигательный электропривод получил широкое распространение в связи с механизацией и автоматизацией производственных процессов.

---

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.



## ПРИМЕНЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Электрические двигатели составляют основу электрического привода. Потребляя наибольшую часть всей вырабатываемой электрической энергии, электродвигатели определяют уровень электрификации, механизации и автоматизации на любом промышленном предприятии, транспорте, в строительстве, сельском хозяйстве и т. д. Тип электропривода определяют в зависимости от применяемого в нем электрического двигателя (табл. 22).

Т а б л и ц а 22

Данные о применении электрических двигателей  
в электроприводах

Область применения	Тип двигателя	Регулирование электропривода
Центробежные насосы, вентиляторы, мукомольные мельницы, агрегатные станки, транспортные устройства	Трехфазный асинхронный с короткозамкнутым ротором; синхронный	Не регулируется
Поршневые насосы и компрессоры, шаровые мельницы, дробильные барабаны	Трехфазный асинхронный с короткозамкнутым и фазным роторами	Не регулируется
Ковочные машины, молоты, прессы, прокатные станы	Трехфазные асинхронные	Не регулируется
Прядильные машины, центрифуги, роликовые транспортеры	Трехфазный асинхронный с короткозамкнутым ротором	Плавное
Металлорежущие станки, прессы	То же	Ступенчатое
Краны, дымососы, насосы (требующие регулирования)	Трехфазный асинхронный с фазным ротором	Плавное
Металлорежущие станки, прокатные станы	Постоянного тока с независимым возбуждением	Плавное
Электрическая тяга, краны	Постоянного тока с последовательным возбуждением	Плавное

В настоящее время наиболее распространено автоматическое управление электроприводами (человек осуществляет лишь первоначальное включение). В таких электроприводах, кроме электрической аппаратуры, применяют трансформаторы, выпрямители, электронные и другие устройства.

## ЗАЩИТА, БЛОКИРОВКА И СИГНАЛИЗАЦИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

В цепях автоматического управления электроприводами применяют различные способы защиты от токовых перегрузок и коротких замыканий, повышенного или пониженного напря-

жения, недопустимой частоты вращения и т. п. С этой целью используют электрические предохранители, электромагнитные и электротепловые реле, контакторы, которые автоматически отключают электропривод от сети при ненормальном режиме его работы.

Блокировки служат для повышения надежности работы электропривода, обеспечения требуемого порядка включения электрических двигателей и для исключения ошибочного включения двигателей.

Блокировка замыкающего контакта выключателя кнопочного нажимного (см. рис. 39 и 42) обеспечивает питание обмоток контактора или магнитного пускателя после отпускания кнопки «пуск».

Блокировки реверсивных контактов (рис. 90, а) исключают одновременное включение контакторов  $K1$  («вперед») и  $K2$  («назад»). При нажатии на кнопку  $S1$  («вперед») замыкаются ее блок-контакты  $K1$ , но одновременно размыкается контакт  $K1$  в цепи контактора  $K2$ . Вследствие этого контактор  $K2$  не может работать, когда работает контактор  $K1$ , и наоборот. Кроме того, применяют механическую блокировку (см. рис. 90, а). При нажатии на кнопку  $S1$  происходит размыкание механическим способом контакта  $S2$  в цепи контактора  $K2$  (на схеме механическая связь показана пунктирной линией); аналогично при нажатии на кнопку  $S2$  размыкается контакт  $S1$  в цепи контактора  $K1$ . Ясно, что ни тот, ни другой контакторы не смогут работать, если одновременно (например, по ошибке, случайно) нажать на обе кнопки  $S1$  и  $S2$ .

Для обеспечения включения двигателей в заданной последовательности применяют блокировку последующего контактора замыкающим контактом, находящимся в цепи предыдущего контактора. Двигатель, включающийся от контактора  $K2$  (рис. 90, б), начнет работать лишь при условии, что работает контактор  $K1$ , так как только в этом случае контакты  $K1$ , находящиеся в цепи контактора  $K2$ , окажутся замкнутыми.

В тех случаях, когда требуется ограничить ход рабочего органа машины или механизма, например кабины лифта, применяют блокировку, работающую от конечного (путевого) выключателя.

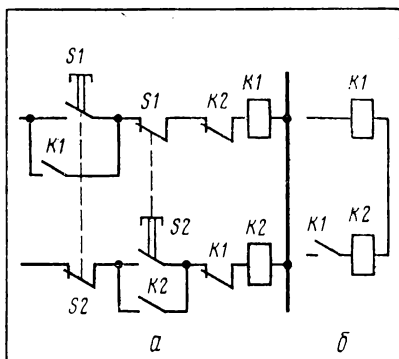


Рис. 90. Схемы блокировок: а — реверсивного контактора и магнитного пускателя (пунктиром обозначены линии механической связи), б — для обеспечения заданной последовательности работы элементов цепи.

Для контроля за режимом работы электропривода применяют световую (лампы), звуковую (звонок, сирена) или визуальную (указательные реле) *сигнализацию*.

### НЕКОТОРЫЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Существует множество различных схем управления электрическими двигателями. Рассмотрим лишь некоторые типовые схемы, дающие представление о цепях электропривода и о применении защиты и блокировок.

**Управление электродвигателем с помощью реверсивного магнитного пускателя** (рис. 91). Для пуска двигателя с вращением ротора в одном из направлений нажимают на кнопку *SB* («вперед»). В результате этого замыкается цепь питания катушки *KB* и одновременно размыкается контакт *KB* в цепи катушки *KH* (электрическая блокировка). Главные (силовые) контакты *KB*, срабатывая, подключают двигатель к сети с вращением ротора в определенную сторону. Когда нажимают на кнопку *SC* («стоп»), цепь катушки *KB* разрывается, двигатель отключается от сети.

При нажатии на кнопку *SH* («назад») замыкается цепь катушки *KH*. В результате этого главные (силовые) контакты

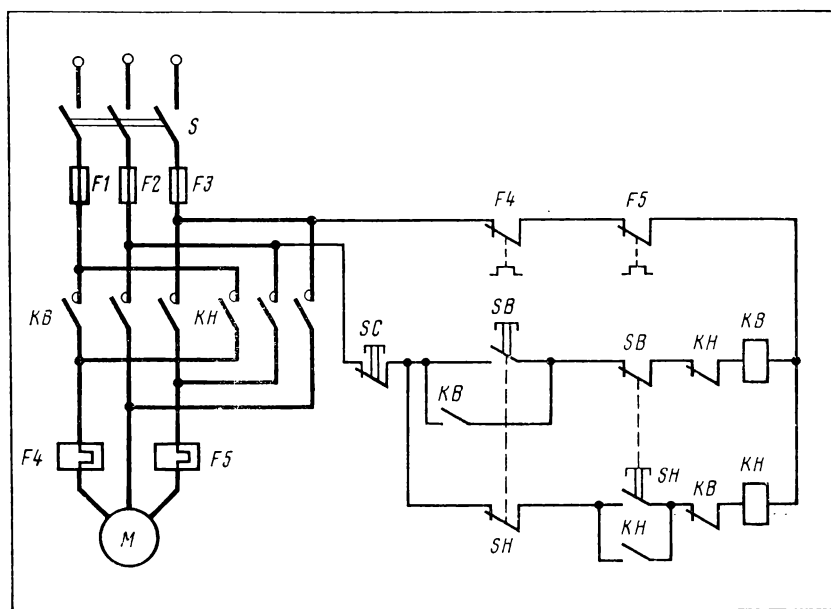


Рис. 91. Принципиальная схема управления электродвигателем с помощью реверсивного магнитного пускателя.

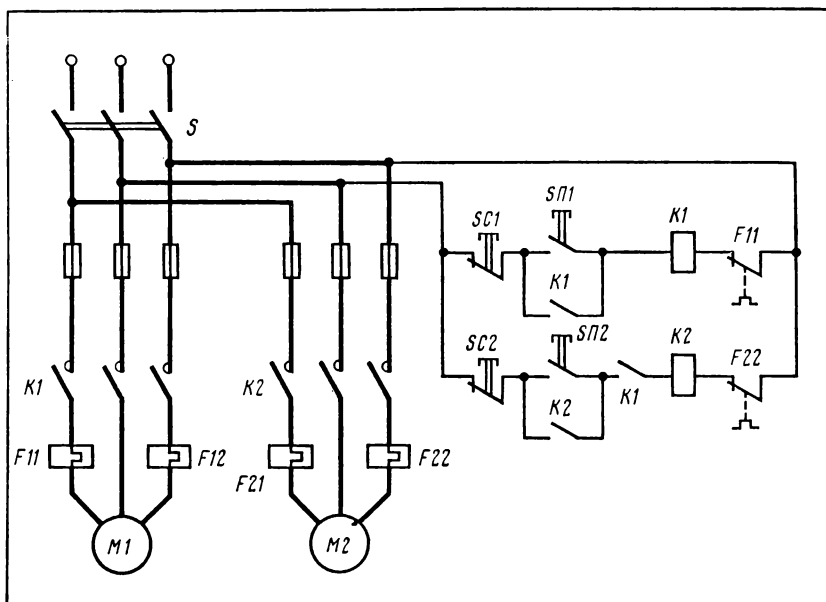


Рис. 92. Принципиальная схема управления электродвигателями в заданной последовательности.

*КН* замыкаются, и двигатель подключается к сети, но с вращением ротора в противоположную сторону, так как поменялись местами два линейных провода, присоединенных к обмотке статора (см. рис. 91).

При ошибочном нажатии одновременно на обе кнопки цепи питания катушек *КН* и *КВ* они окажутся взаимно разомкнутыми (одновременному включению катушек *КВ* и *КН* препятствуют механическая и электрическая блокировки).

В случае перегрузки сработают электротепловые реле: разомкнутся контакты *F4* и *F5* и цепь питания обмоток *КВ* и *КН* отключится от сети. При коротком замыкании сработают электрические предохранители *F1*, *F2* и *F3*.

**Включение электрических двигателей в заданной последовательности** (рис. 92). Для включения двигателя *M1* достаточно нажать на кнопку *СП1* (рубильник *S* должен быть замкнут). При нажатии на кнопку *СП2* двигатель *M2* включается только тогда, когда контакты *K1*, соединенные последовательно с катушкой *K2*, будут замкнуты. Контакты *K1* замыкаются только в случае, если проходит ток по катушке *K1*. Таким образом, двигатель *M2* может быть пущен лишь при работающем двигателе *M1* и автоматически останавливается в случае прекращения работы первого двигателя.

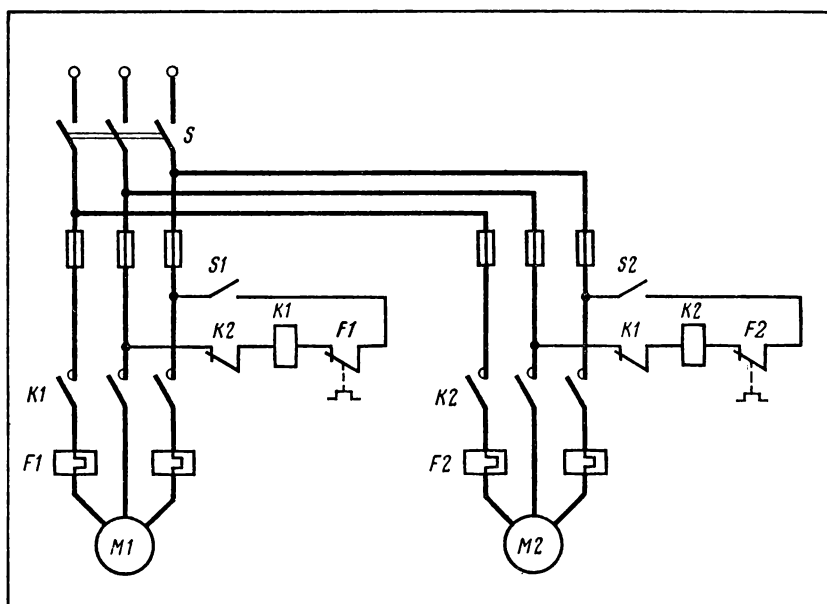


Рис. 93. Принципиальная схема автоматического включения резервного двигателя.

**Автоматическое включение резервного двигателя** (рис. 93). Двигатель  $M1$  является рабочим, а  $M2$  — резервным. Рубильники замыкают в следующей последовательности:  $S$ ,  $S1$ ,  $S2$ . В результате этого начинает работать двигатель  $M1$ . Одновременно размыкаются контакты  $K1$ , соединенные последовательно с катушкой  $K2$ . Таким образом, двигатель  $M2$  подготовлен к пуску. При отсутствии тока в катушке  $K1$ , т. е. при остановке первого двигателя контакты  $K1$  в цепи управления вторым двигателем замыкаются. Теперь по катушке  $K2$  проходит ток, в результате чего двигатель  $M2$  начинает работать.

**Управление электроприводом с применением тириستоров.** Тиристоры (см. § 20) применяют в электроприводе для различных целей: для бесконтактной коммутации цепей переменного тока, включения и реверсирования двигателей, регулирования их частоты вращения и др.

Для коммутации цепей переменного тока и обеспечения различных режимов работы асинхронных электродвигателей широко используют статические переключатели (рис. 94), основную часть в устройстве которых составляют тиристоры. Статические переключатели в сочетании с трансформаторами, конденсаторами и другими устройствами позволяют получать большое число режимов работы управления электроприводом. Например, для пуска, реверсирования, торможения и защиты асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором промышленность вы-

пускает комплектные тиристорные станции управления (КТСУ).

Одна из схем тиристорного управления работой асинхронного трехфазного двигателя приведена на рисунке 95. Требуемый режим работы при пуске двигателя «вперед» обеспечивается с помощью тириستоров  $V1, V2, V5, V6$  и при пуске «назад» — тиристорами  $V3, V4, V7, V8$ . Тиристоры  $V9$  и  $V10$  и резистор  $R$  предназначены для изменения тока в статоре только в режиме динамического торможения двигателя.

### Вопросы

1. Для каких целей служат блокировки в электроприводах?
2. К каким последствиям в работе электродвигателя (см. рис. 91) приводит неисправность блок-контактов?
3. Как изменится работа цепи (см. рис. 92), если контакты  $K1$  или  $F22$  в цепи обмотки  $K2$  окислятся или будут сильно загрязнены?
4. Какие изменения произойдут в работе цепи (см. рис. 93), если в цепях управления ошибочно поменять местами контакты  $K1$  и  $K2$ ?
5. Какими достоинствами обладает тиристорное управление электроприводом?

## § 52. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

*Распределительное устройство (РУ)* — это электроустановка, служащая для приема и распределения электрической энергии. РУ состоит из коммутационных аппаратов, устройств защиты и автоматики, измерительных приборов, токопроводящих шин и вспомогательных устройств.

В открытом распределительном устройстве оборудование расположено на открытом воздухе, а в закрытом — в здании. Широко применяют комплектные распределительные устройства (КРУ). Их собирают на предприятия

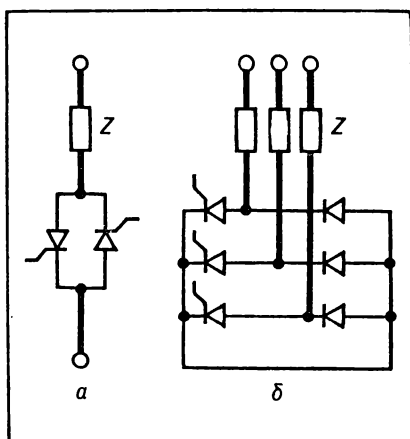


Рис. 94. Схема статических переключателей: а — для включения в однофазную сеть; б — для включения в трехфазную сеть.

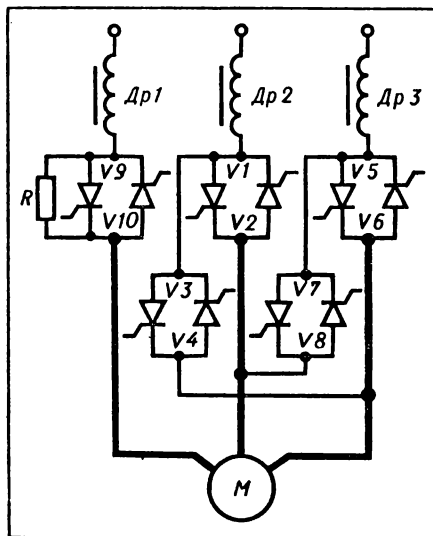


Рис. 95. Одна из схем тиристорного управления асинхронным трехфазным двигателем.

тиях или в специализированных мастерских и поставляют для монтажа в виде шкафов и блоков с встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, измерительными приборами.

Распределительное устройство входит составной частью в *электрическую подстанцию*, которая служит не только для распределения, но и преобразования электрической энергии. Подстанцию, на которой электрическая энергия преобразуется с помощью трансформаторов, называют *трансформаторной подстанцией* (ТП). Подстанция, на которой электрическая энергия преобразуется с помощью выпрямителей, электромашинных преобразователей и т. п. устройств, носит название *преобразовательной подстанции* (ПП).

Монтаж аппаратуры, проводов, кабелей РУ напряжением до 1000 В производят в соответствии с требованиями, изложенными в главе 7.

Электрические схемы некоторых РУ будут рассмотрены в следующих параграфах.

Обслуживание и уход за РУ напряжением до 1000 В заключается в следующем: периодическое измерение сопротивления изоляции и испытание ее на электрическую прочность; осмотр и чистка не реже раза в 3 месяца шин, коммутационных аппаратов, реле, измерительных приборов и других частей РУ; текущий ремонт не реже раза в год. Все указанные работы необходимо выполнять только при отключенном напряжении!

В состав РУ напряжением выше 1000 В (10, 35, 220 кВ) входят воздушные и масляные выключатели, разъединители, разрядники, электрические реакторы. Монтажом и эксплуатацией этих РУ занимаются квалифицированные рабочие — электромонтеры, электромонтажники, электрослесари.

#### **Вопросы и упражнения**

1. Для чего предназначены и как классифицируют распределительные устройства? электрические подстанции?
2. Каким образом можно проверить состояние изоляции распределительного устройства?
3. В чем заключаются преимущества применения комплектных распределительных устройств?
4. Ознакомьтесь на экскурсии с устройством РУ, ТП, а также обязанностями обслуживающего их персонала.
5. По заданию учителя (мастера) произведите осмотр, чистку и испытание изоляции распределительного устройства напряжением до 1000 В.

### **§ 53. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**

Осветительная электрическая установка состоит из осветительной арматуры с источниками света (светильников), коммутационной аппаратуры, распределительных щитов, магистральных и распределительных сетей. Для питания осветительных

электрических установок применяют ток напряжением не выше 220 В. Если же в качестве светильника используют газоразрядные лампы, то допускается напряжение 380/220 В.

Для монтажа осветительных электрических установок выбирают соответствующие условиям эксплуатации электроизоляционные материалы, вспомогательные электротехнические материалы и конструкционные изделия, установочные провода, монтажные и контрольные кабели, а также электрические аппараты и светильники. Технология монтажа этих установок рассмотрена в главе 7.

Некоторые часто применяемые схемы питания осветительных электрических установок показаны на рисунках 96 и 97, а схемы включения электрических ламп — на рисунке 98.

В осветительных электроустановках широко применяют *газоразрядные источники света*. В газоразрядных источниках света невидимое ультрафиолетовое излучение паров металла и газа преобразуется с помощью люминофора в излучение, видимое глазом.

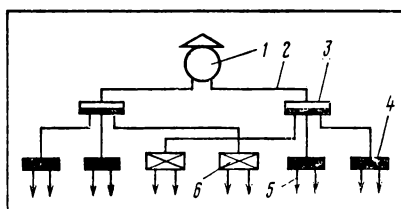


Рис. 96. Схема распределения электроэнергии для питания осветительной электроустановки: 1— трансформаторная подстанция; 2— питающая линия; 3— магистральный щиток (распределительный пункт); 4— щиток группового рабочего освещения; 5— линия групповой сети освещения; 6— щиток группового аварийного освещения.

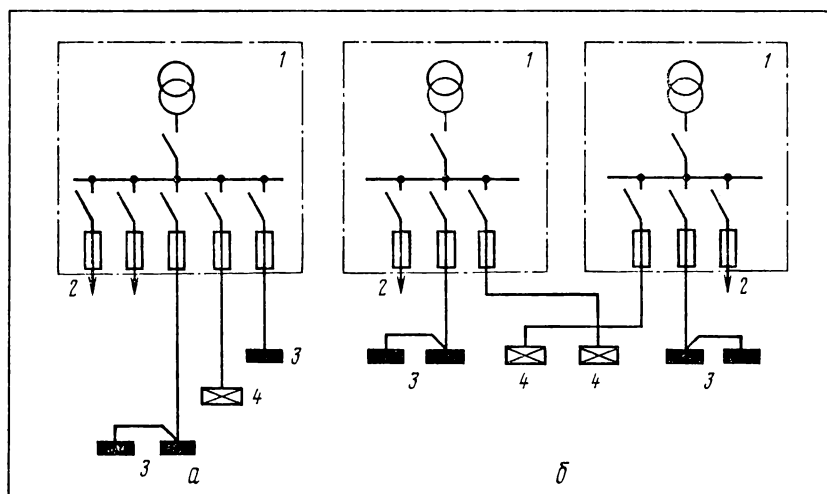


Рис. 97. Схемы питания силовых и осветительных электроустановок: а — от одной трансформаторной подстанции; б — от двух однотрансформаторных подстанций; 1— трансформаторная подстанция; 2— линия для питания силовой электроустановки; 3— щит рабочего освещения; 4— щит аварийного освещения.



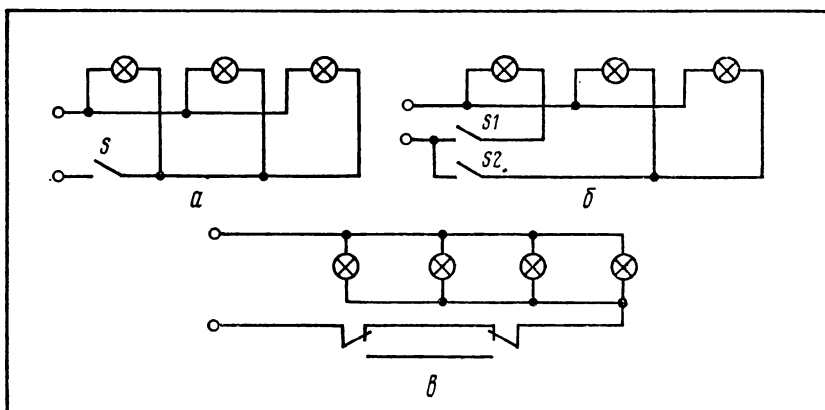


Рис. 98. Принципиальные схемы включения электрических ламп: а — одним выключателем; б — двумя выключателями; в — переключателями независимо из двух разных мест.

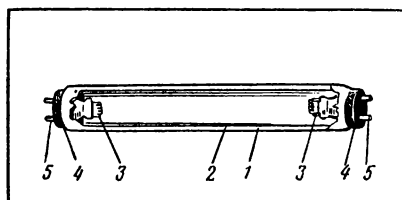


Рис. 99. Устройство люминесцентной лампы: 1—стеклянный баллон; 2—слой люминофора внутри баллона; 3—биспиральные вольфрамовые электроды (катоды); 4—цоколь; 5—контактные штырьки.

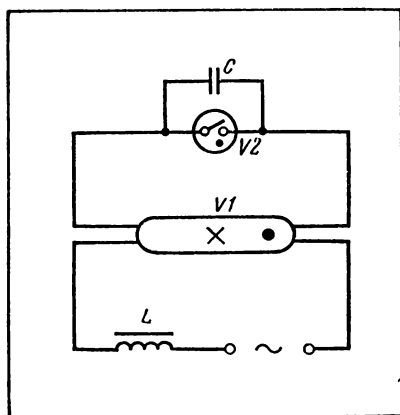


Рис. 100. Схема включения люминесцентной лампы.

Рассмотрим один из широко распространенных газоразрядных источников света — люминесцентную лампу (рис. 99). Внутри стеклянного баллона этой лампы находятся пары ртути, в которых при определенных условиях (между предварительно нагретыми электрическим током катодами необходимо создать импульс высокого напряжения) происходит электрический разряд. В результате разряда испускаются ультрафиолетовые лучи. Они поглощаются слоем люминофора, которым покрыты внутренние стенки лампового баллона. В итоге люминофорный слой начинает излучать видимый свет, близкий по спектральному составу к солнечному.

Чтобы обеспечить зажигание люминесцентной лампы, ее включают в сеть (рис. 100) при помощи стартера (рис. 101) и дросселя. При включении в сеть нагреваются катоды люминесцентной лампы, а также возникает тлеющий электрический

разряд в газе (неоне), которым наполнен баллон стартера, вследствие чего нагревается биметаллическая пластина стартера. Эта пластина, изгибаясь под действием нагрева, замыкает между собой электроды стартера, и поэтому тлеющий разряд прекращается. Теперь пластина охлаждается и вновь размыкает электроды стартера. В момент размыкания электродов (в результате самоиндукции в дросселе) между катодами лампы создается импульс высокого напряжения. В итоге в парах ртути между катодами лампы возникает электрический разряд. Конденсатор, включенный параллельно стартеру, снижает радиопомехи при работе лампы.

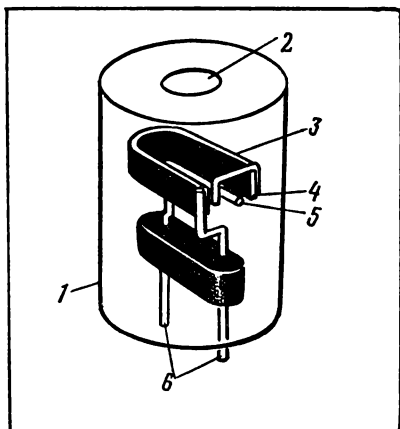


Рис. 101. Устройство стартера: 1—металлический колпачок, внутри которого находится стеклянный баллон; 2—отверстие в колпачке; 3—биметаллическая пластина; 4—подвижный электрод; 5—неподвижный электрод; 6—контактные штырьки.

Дроссель, конденсатор (служит для повышения коэффициента мощности —  $\cos \phi$ ) и резистор объединены в пускорегулирующий аппарат (ПРА). На рисунке 102 показана схема включения люминесцентной лампы при помощи пускорегулирующего аппарата.

При монтаже люминесцентную лампу вставляют в специальный светильник (арматуру).

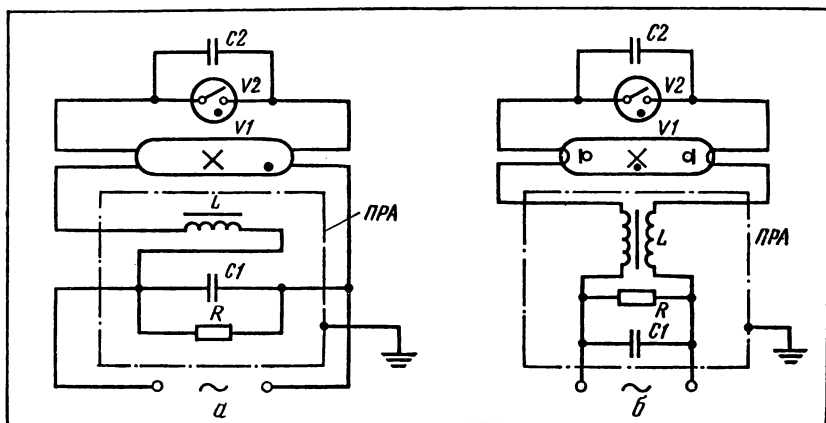


Рис. 102. Схема включения люминесцентной лампы при помощи пускорегулирующего аппарата: а — допускаемая; б — рекомендуемая.

Люминесцентные трубчатые лампы низкого давления с дуговым разрядом в парах ртути делятся на лампы белого света (ЛБ), холодно-белого света (ЛХБ), тепло-белого света (ЛТБ), дневного света (ЛД). Наиболее широко применяют лампы типа ЛБ.

В ртутно-кварцевых лампах высокого давления (тип ДРЛ) люминофор, поглощая ультрафиолетовое излучение, возникающее при электрическом разряде, превращает его в видимое красное излучение. Эти лампы включают в сеть также при помощи ПРА.

Для освещения больших по площади территорий используют мощные (5, 10, 20 кВт) ксеноновые трубчатые лампы типа ДКсТ. Их включают при помощи высоковольтного пускового устройства (до 30 кВ).

Обслуживание осветительных электроустановок заключается в периодическом осмотре их с целью своевременного выявления и устранения неисправностей. При осмотре электропроводок обращают внимание на качество соединений и ответвлений проводов и кабелей, прочность их присоединения к светильникам и коммутационным аппаратам, целостность заземляющих проводников, состояние открыто проложенных проводов и кабелей.

Обслуживая групповые щитки, проверяют соответствие плавких вставок предохранителей току в защищаемых цепях, нормальную работу расцепителей автоматических выключателей. Светильники и коммутационные аппараты и другие электроустановочные изделия очищают от пыли и грязи, проверяют состояние контактных частей, целостность корпусов и крышек, наличие заземляющих проводников, прочность крепления светильников и аппаратуры. Выполнение работ по осмотру, очистке и ремонту осветительных электроустановок отмечают в журнале по обслуживанию электроустановки.

### **Вопросы**

1. В соответствии с какими требованиями выбирают провода, кабели, светильники, коммутационные аппараты и другие установочные изделия, необходимые для монтажа осветительной электроустановки?
2. Расскажите об общей технологии монтажа осветительных электроустановок.
3. Объясните процесс работы газоразрядных источников света.
4. Какие работы выполняют при обслуживании осветительной электроустановки?

## **Практическая работа № 14**

### **Включение и налаживание люминесцентной лампы**

*Оборудование:* люминесцентная лампа, светильник для люминесцентной лампы, пускорегулирующий аппарат (ПРА), стартер, омметр, электромонтажный инструмент, провода.

Порядок выполнения работы<sup>1</sup>

1. Запишите технические данные лампы, ПРА и стартера.
2. Рассмотрите устройство лампы; разберите ПРА и ознакомьтесь с его устройством. Проверьте исправность дросселя и конденсатора, соберите ПРА.
3. Укрепите светильник, вставьте в него лампу; установите ПРА и стартер.
4. Соберите цепь по схеме (см. рис. 102).
5. С разрешения учителя (мастера) включите лампу в сеть. Если лампа работает ненормально (плохо зажигается, сильно гудит и т. п.), отключите ее от сети и установите причины неисправностей. Наладьте работу лампы на нормальный режим.

## § 54. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Производственные предприятия — основные потребители энергетических ресурсов. Их потребность в энергии возрастает, так как научно-технический прогресс обуславливает повышение энерговооруженности труда.

Энергетическое хозяйство предприятия — это совокупность установок, предназначенных для преобразования и передачи энергии, и соответствующих служб, обеспечивающих бесперебойное снабжение предприятия всеми видами энергии и энергоносителей.

В состав энергетического хозяйства предприятия входят электрические подстанции, электрические, тепловые и газовые сети, кислородная и ацетиленовая станции, холодильные установки, а также ремонтная служба и топливное хозяйство. Кроме того, к энергетическому хозяйству предприятия относят сети и установки сигнализации и автоматическую телефонную станцию.

Система электроснабжения — важная часть энергетического хозяйства предприятия. Она должна быть надежной, удобной и безопасной в обслуживании и обеспечивать качественное и бесперебойное снабжение предприятия электроэнергией.

Электроснабжение предприятия (рис. 103) осуществляется с помощью электрических подстанций, кабельных и воздушных электрических сетей, токопроводов высокого и низкого напряжения. Оно может осуществляться от районных энергосистем или собственной электростанции. Последняя сооружается на крупных предприятиях, на которых производственный процесс связан с весьма большим потреблением электрической энергии и тепла, например, на крупных территориально-производственных комплексах.

Потребность в электроэнергии с каждым годом возрастает, и хотя в нашей стране ежегодно производится огромное количество электроэнергии, на каждом предприятии ведется борьба за экономию топлива и энергии. С этой целью совершенствуют

---

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.

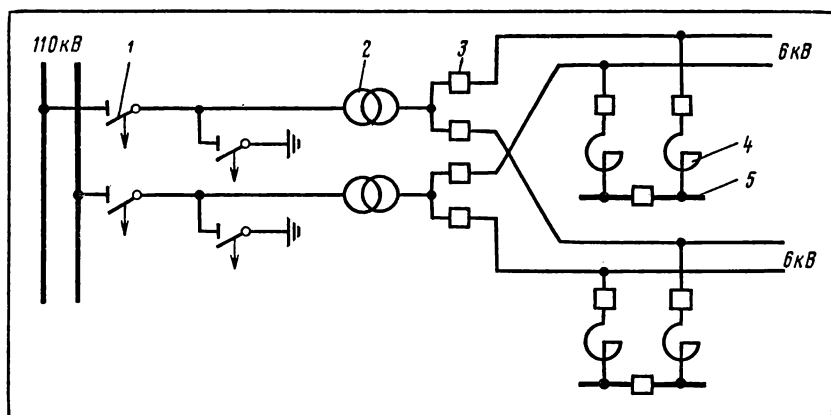


Рис. 103. Пример схемы электроснабжения: 1— высоковольтный выключатель; 2— трансформатор; 3— устройство автоматического включения резервного источника питания (АВР); 4— реактор; 5— распределительное устройство.

технологический процесс и организацию производства, находят наиболее эффективные режимы работы оборудования, организуют социалистическое соревнование.

#### Вопросы и упражнения

1. Из чего состоит энергетическое хозяйство предприятия?
2. Объясните, как осуществляется электроснабжение предприятия (см. рис. 103).
3. Во время экскурсии ознакомьтесь с энергетическим хозяйством предприятия, выясните способы экономии энергетических ресурсов.
4. Предложите пути и способы экономии электрической энергии в школе, учебно-производственном комбинате, в быту.

### ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

#### § 55. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Технология (технологический процесс) — основная часть производственного процесса (см. § 2). В этом значении под технологией понимают сами операции добычи, обработки, переработки, транспортировки и т. д., технический контроль производства, а нередко — и описание производственных процессов и инструкции по их выполнению.

В широком смысле слова под технологией понимают совокупность приемов и способов получения, обработки или переработки сырья, материалов, а также изготовления полуфабрикатов или изделий. Технологией называют также научную дисциплину, которая разрабатывает и совершенствует указанные выше приемы и способы.

Обычно технологию рассматривают в связи с конкретной отраслью производства, например технология производства электротехнических материалов, технология изготовления электрических машин, технология электромонтажных работ и т. п. Существует множество различных технологических процессов, каждый из которых имеет свою структуру и особенности в способах воздействия на предметы труда. Однако можно выделить ряд способов, являющихся общими для многих различных технологических процессов. К таким общим способам (иногда их называют базовыми способами) относят механические, химические, биологические и энергетические способы.

*Механический* (физико-механический) способ охватывает такие технологические процессы, которые совершаются благодаря механическому воздействию на предмет труда, например резание, рубка материалов, соединение деталей винтами, заклепками, прессование и т. п. Данный способ широко применяют при выполнении различных электротехнических работ — изготовление деталей, сборочных единиц (узлов) электрических машин и аппаратов, сборка этих изделий, монтаж электропроводок.

*Химическим способом* осуществляют технологические процессы изменения предметов труда за счет химических реакций. Этот способ широко применяют не только непосредственно в химическом производстве, но и в электротехнической про-

мышленности, например, при получении некоторых электроизоляционных и проводниковых материалов. Химические способы частично используют при выполнении отдельных электромонтажных работ, связанных с пайкой, сваркой, с клеевыми соединениями.

*Биологические способы* характеризуются тем, что предмет труда изменяется под воздействием микроорганизмов. Биологические способы, широко распространенные в ряде отраслей промышленности, например в пищевой, не находят пока применения в электротехнике.

*Энергетические способы* охватывают такие технологические процессы, которые осуществляются благодаря непосредственному использованию электрической, ядерной и других видов энергии для воздействия на предмет труда. Например, медь и алюминий как проводниковые материалы получают путем электролиза, многие детали закаляют токами высокой частоты, окраску деталей и некоторых электротехнических изделий осуществляют электростатическим способом; инфракрасную технику применяют для сушки изделий и помещений, в которых выполняют электротехнические работы.

На одном и том же предприятии, например, на крупном электромашиностроительном заводе, указанные выше технологические способы применяют в совокупности. Так, для изготовления электрических машин и аппаратов осуществляют такие технологические процессы, как литье, обработка давлением, сварка, пайка, резание, термообработка, лакокрасочные покрытия, ультразвуковая, электрохимическая и электрофизическая обработка, механический и электрический монтаж, сборка, отделка, настройка, регулирование.

*Технологический процесс* состоит из совокупности последовательных операций. *Технологическая операция* — это законченная часть технологического процесса, выполняемого на одном и том же рабочем месте. Например, при изготовлении электрических машин и выполнении различных электромонтажных и электроремонтных работ часто осуществляют такую операцию, как пайка. Эта операция выполняется на рабочем месте, оснащенном паяльным агрегатом или электропаяльником и соответствующими приспособлениями и материалами (см. § 23).

Технологическая операция состоит из переходов. *Технологический переход* — это законченная часть технологической операции, при выполнении которой применяют один и тот же инструмент, а поверхность детали, образуемая при обработке, или поверхности деталей, соединяемых при сборке, остаются постоянными. Например, пайка как технологическая операция состоит из ряда переходов: снятие изоляции с проводов, зачистка жил проводов, облуживание жил и т. д.

Часто технологическую операцию делят не только на пере-

ходы, но и на более мелкие элементы. Однако основные части технологического процесса — это операции и переходы. Их указывают в технологической документации (см. главу 2), на их выполнение устанавливают норму времени.

В настоящее время технологические процессы осуществляют в основном с помощью технических устройств (техники) — машин, механизмов, инструментов, приспособлений, аппаратов, оборудования. Техника как совокупность орудий и других средств труда дополняет и усиливает естественные органы человека в процессе присвоения и переработки продуктов природы с целью создания материальных благ.

Ученые, инженерно-технические работники, высококвалифицированные рабочие постоянно заботятся о совершенствовании технологии и техники. Главные направления развития современной технологии следующие: переход от прерывистых технологических процессов к непрерывным процессам — это позволяет резко увеличить объем производства продукции и эффективнее использовать производственную технику; сведение к минимуму или полная ликвидация отходов производства (внедрение малоотходной и безотходной технологии) — это позволяет наиболее полно использовать сырье, материалы, энергию и способствует оздоровлению окружающей среды; более широкое применение малооперационной технологии; замена технологических процессов, основанных на резании металлов, экономичными методами формообразования деталей.

В электротехническом производстве, при создании и эксплуатации различных электроустановок осуществляют многие различные технологические процессы. В дальнейшем мы более подробно рассмотрим технологию электромонтажных работ и технологию производства электрических машин и аппаратов.

### **Вопросы и упражнения**

1. В чем состоит сущность понятия «технология» («технологический процесс»)?
2. Объясните сущность механического, химического и энергетического способов технологии.
3. Выясните во время экскурсии на предприятие (стройку), какие технологические процессы там осуществляются при выполнении электротехнических работ.
4. Какую роль играет техника в выполнении современных технологических процессов? В каком взаимодействии находятся технология и техника?
5. Каковы главные направления научно-технического прогресса в области технологии?

## **§ 56. ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ**

Электромонтажные работы выполняют при возведении и реконструкции зданий и сооружений с целью монтажа электрических сетей и электрооборудования. К электромонтажным ра-



ботам относятся также некоторые работы, связанные с изготовлением электрических машин и аппаратов, например: соединение частей обмоток электрических машин, присоединение обмоток электрических машин и аппаратов к зажимам, укладка и крепление гибких токопроводов и т. п. Электромонтажные работы производят и при ремонте электроустановок или их частей.

В большинстве случаев технологический процесс осуществляют в такой последовательности:

1. Знакомятся с рабочими чертежами проекта электроустановки и монтажными схемами.

2. Размечают места установки электрооборудования, светильников, арматуры, коммутационных аппаратов, электрических щитков, линий прокладки проводов. Разметку делают по монтажным схемам и картам, разработанным на основе чертежей проекта электроустановки.

3. Пробивают (если требуется) в конструктивных элементах здания отверстия и гнезда, сверлят проходы, фрезеруют борозды.

4. Устанавливают крепежные детали, опорные конструкции, изоляторы и т. п.

5. Устанавливают и крепят электрооборудование, щитки, арматуру, коммутационные аппараты. Обычно монтируют щитки и арматуру, к которым заранее присоединены провода.

6. Отмеряют, отрезают, правят, прокладывают и крепят провода.

7. Соединяют между собой смонтированные провода и присоединяют их к щиткам, аппаратуре и т. д.

8. Проверяют правильность монтажа и соответствие его проекту электроустановки.

9. Проверяют работу электроустановки под напряжением, устраняют неисправности (при отключенном напряжении!) и сдают электроустановку в эксплуатацию.

Один из решающих факторов повышения производительности труда при выполнении электромонтажных работ — их механизация. Уровень механизации электромонтажных работ за последние годы значительно вырос благодаря применению разнообразных машин, механизмов, инструментов, приспособлений, служащих для заготовки и крепления проводов, кабелей и других частей электроустановок. Важное направление в механизации электромонтажных работ — создание технологических линий по заготовке частей электропроводок в стационарных и передвижных специализированных мастерских.

### Вопросы и упражнения

1. Какие работы относятся к электромонтажным работам? Как электромонтажные работы связаны с общестроительными, ремонтными и другими работами?

2. На экскурсии ознакомьтесь с технологическим процессом электро-монтажных работ. Выясните, в чем заключается основное содержание труда электромонтеров, электромонтажников, электрослесарей.

3. Какие операции, входящие в состав электромонтажных работ, механизуют в первую очередь? Благодаря чему повышается уровень механизации электромонтажных работ?

## **§ 57. СЛЕСАРНЫЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

В процессе монтажа или ремонта электроустановок и их частей нередко приходится выполнять следующие слесарные работы: разметку, рубку, резание, опилование, нарезание резьбы, сверление, гибку, правку и др. Эти работы выполняют также с целью ремонта и регулирования электрических машин, аппаратов, электрооборудования.

Механическая обработка материалов, прежде всего сортового металла, листовой стали и труб, применяемых для изготовления конструктивных частей и монтажа электроустановок, в настоящее время в основном механизирована. Ее выполняют в специализированных мастерских на технологических линиях, что позволяет значительно повысить производительность труда рабочих.

Однако в ряде случаев приходится указанные выше работы выполнять и непосредственно на месте монтажа электроустановок, применяя механизированный инструмент и приспособления. Рассмотрим, например, устройство и действие *трубогиба* (рис. 104). Заготовку 1 (рис. 104, а), например отрезок трубы, крепят с помощью прижима 2 к шаблону 3, установленному на столе гибочной машины; к заготовке подводят нажимной ролик 4; когда шаблон вращается, заготовка сгибается. Тонкостенные трубы сгибают с помощью трубогиба (рис. 104, б) следующим образом: стержень смазывают солидолом и надевают на него трубу; эксцентриковым устройством и планкой трубу плотно прижимают к изгибающему ролику; рычагом поворачивают изгибающий ролик, в результате чего труба изгибается. Универсальный шинотрубогиб (рис. 104, в) приводится в действие электродвигателем, это позволяет механизировать и облегчить работу по изгибанию шин и труб.

Слесарные работы выполняют также с целью механического соединения (разъединения — при ремонте) деталей и сборочных единиц электрооборудования и частей электроустановок, прочного закрепления электрических машин, аппаратов, щитов, электроарматуры на поверхностях стен и перекрытий, стойках, фундаментах и т. д. При выполнении электромонтажных работ производят неподвижные разъемные (винтовые, болтовые) и неразъемные (сварные, паяные) соединения деталей. Болтовые соединения при выполнении электротехнических работ делают с целью достижения прочной механической связи между

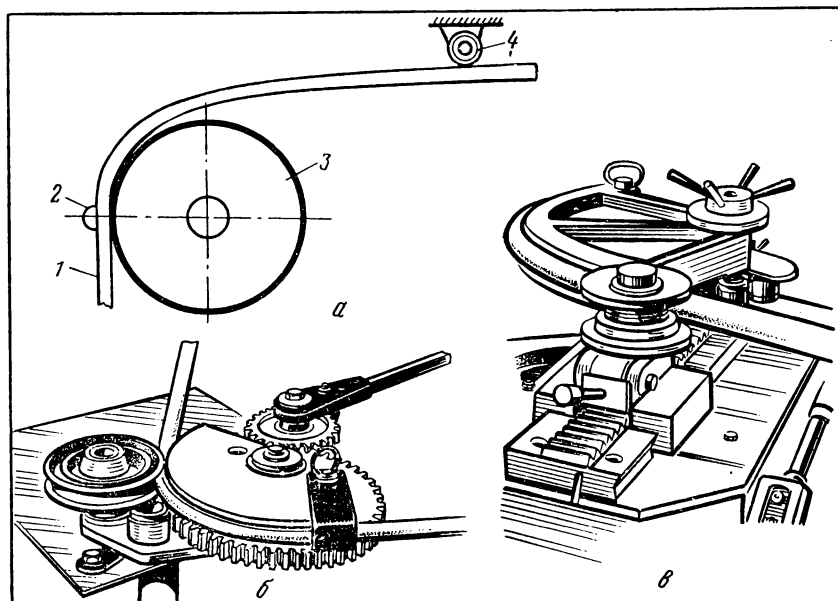


Рис. 104. Трубогиб: а—принципиальная схема гибки по шаблону; б—ручной трубогиб типа ТРТ-24; в—универсальный шинотрубогиб типа УШТМ-2; 1—заготовка (труба); 2—прижим; 3—шаблон сменный; 4—нажимной ролик.

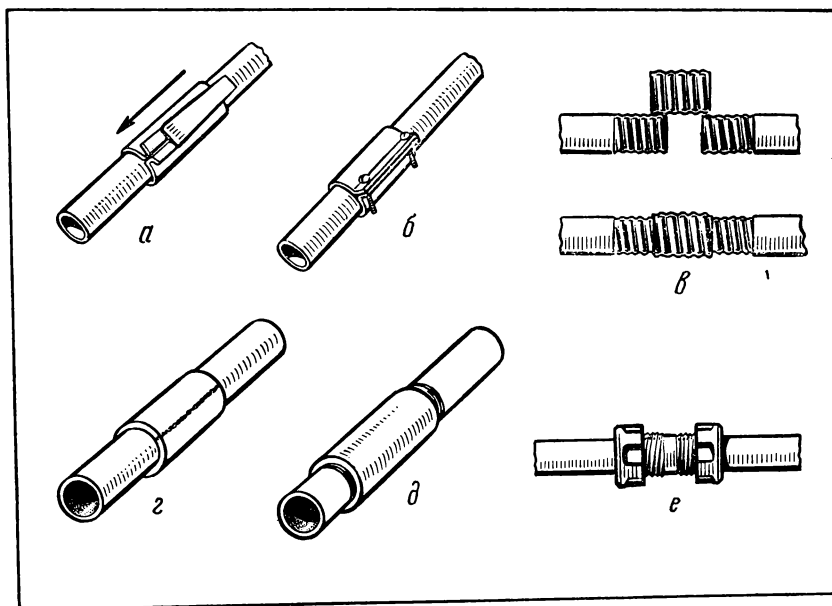


Рис. 105. Соединение стальных тонкостенных труб: а — клиновой манжетой; б — манжетой, стягиваемой винтами; в — муфтой с выдавленной резьбой; г — манжетой, привариваемой к трубам; д — муфтой на резьбе; е — муфтой с зажимными кольцами и накладными гайками.

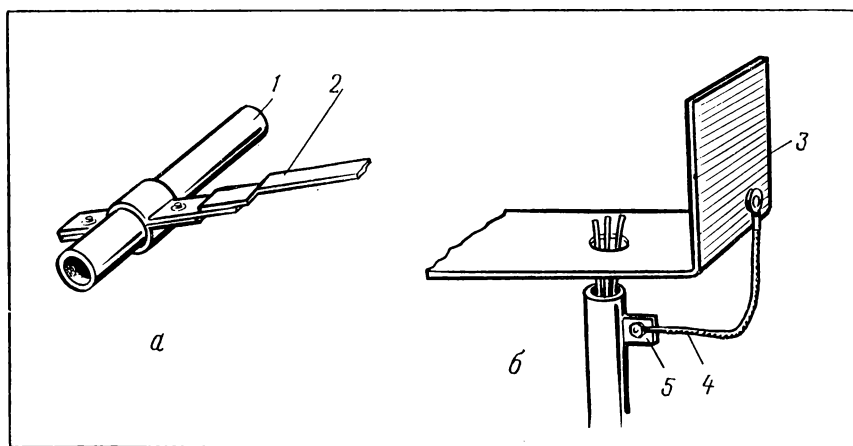


Рис. 106. Некоторые способы использования трубопроводов для заземления электрооборудования: *а* — соединение заземляющего проводника с трубопроводом при помощи хомута; *б* — соединение заземляемого оборудования с трубой электропроводки гибкой перемычкой: 1 — трубопровод; 2 — заземляющий проводник (стальная полоса); 3 — корпус заземляемого оборудования; 4 — гибкая токопроводящая перемычка (заземляющий проводник); 5 — металлический фланец, приваренный к трубе электропроводки.

конструктивными частями электрического устройства, крепления его к основаниям, фундаментам и т. п., образования электрического контакта между проводами и токоведущими частями электрических устройств. Делают разъемные и неразъемные соединения стальных труб, в которых прокладывают провода (рис. 105), а также при использовании труб в качестве заземлителей (рис. 106). С помощью сварки соединяют конструктивные части электроустановок, например, при изготовлении кронштейнов, каркасов, а также жилы проводов и кабелей. В последнем случае соединение осуществляют также и путем пайки.

### Вопросы и упражнения

1. В чем заключается специфика слесарных работ при монтаже электроустановок?
2. В каких направлениях осуществляется механизация и индустриализация работ при монтаже электроустановок?
3. Выполните по заданию учителя (мастера) операции по заготовке отверстий, гнезд и борозд, предназначенных для установки электроарматуры, электрических щитков, прокладки проводов.
4. Ознакомьтесь с устройством гибочных машин и приспособлений. По заданию учителя (мастера) произведите гибку тонкостенных стальных труб.
5. По заданию учителя (мастера) выполните монтажные и ремонтные работы, связанные с разъемными соединениями деталей электрооборудования и частей электроустановок.

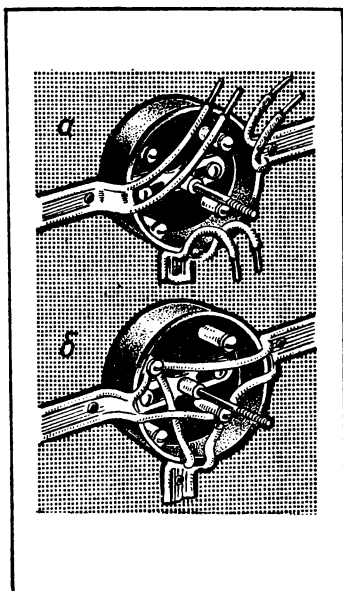
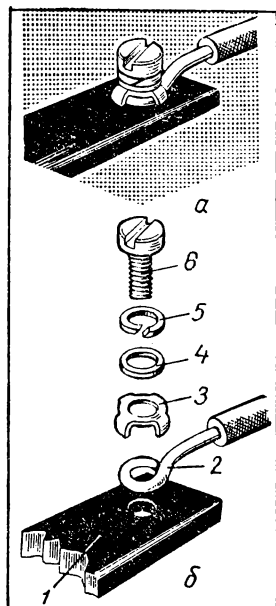


Рис. 107. Соединение проводов в ответительной коробке (крышка снята): а — ввод концов проводов в коробку; б — соединение проводов с зажимами.



## § 58. СОЕДИНЕНИЕ И ОКОНЧАНИЕ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ

В процессе монтажа и ремонта электроустановок, сборки электрических машин и аппаратов жилы проводов и кабелей соединяют между собой, а также делают от них ответвления, присоединяют к зажимам различных электрических устройств. Место соединения проводников должно иметь малое электрическое сопротивление и высокую механическую прочность.

Допускаемое значение электрического сопротивления контакта не должно превышать сопротивления целого проводника более чем в 1,2 раза.

Контактные соединения выполняют разборными и неразборными. Разборные соединения делают с помощью болтов, винтов и т. п. (рис. 107 и 108).

Неразборные соединения делают сваркой, пайкой или опрессованием. Поэтому их можно разъединить, только разрушив контактирующие поверхности.

Соединяемые между собой или присоединяемые к зажимам жилы проводов и кабелей предварительно должны быть очищены от изоляции. С этой целью применяют электромонтажные клещи (рис. 109). В заводских условиях, а также в специализированных мастерских концы проводов зачищают на станке,

Рис. 108. Винтовое контактное соединение: а — в готовом виде; б — в разобранном виде; 1 — контактирующая поверхность (пластина); 2 — жила провода с кольцом на конце (контактирующая поверхность); 3 — ограничивающая шайба; 4 — плоская шайба; 5 — пружинная шайба; 6 — винт.

работающем с высокой производительностью. Если изготавливают единичное изделие или их небольшую серию, то на станке зачищают только один конец провода, а второй — непосредственно на месте монтажа. В последнем случае применяют приспособление, напоминающее по устройству острогубцы (кусачки), но в отличие от них имеющее двойные губки: одни из них острые (в виде полуокружностей) при нажатии на рукоятки прорезают изоляцию до жилы, а вторые служат для сжатия и снятия отрезанной части изоляции. Если такого приспособления нет, то в порядке исключения изоляцию снимают с помощью монтерского ножа.

Соединение жил опрессованием применяют уже многие годы, но и в настоящее время оно остается прогрессивным способом, так как позволяет получить хороший электрический контакт и сравнительно легко поддается механизации. Для соединения жил опрессованием применяют пресс-клещи (рис. 110) и металлические гильзы. В очищенную изнутри гильзу вводят в стык зачищенные концы соединяемых проводов и обжимают пресс-клещами (рис. 111).

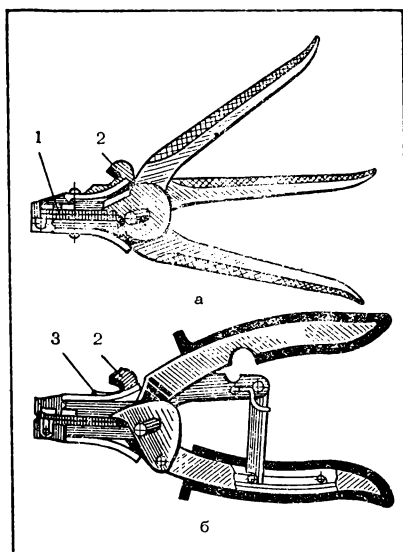


Рис. 109. Электромонтажные клещи: а — типа КСИ-1М; б — типа КСИ-2М; 1 — нож для надрезания изоляции; 2 и 3 — ножи для откусывания провода.

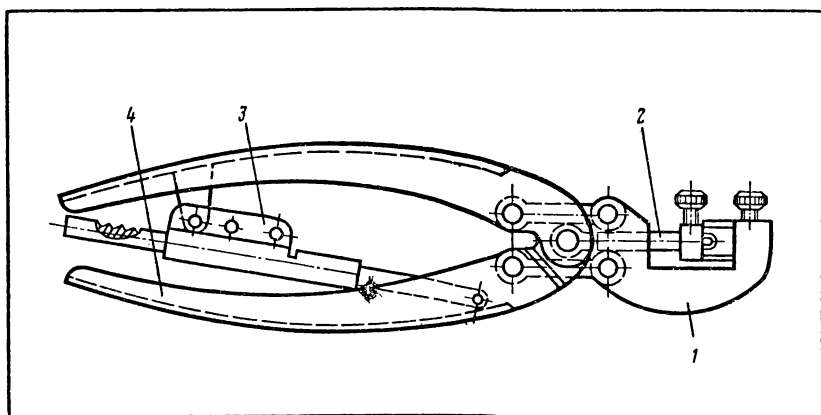


Рис. 110. Пресс-клещи типа ПК-2М: 1 — головка; 2 — шток; 3 — блокировочное устройство; 4 — рычаги.

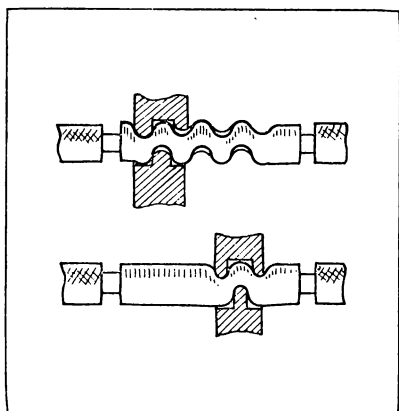


Рис. 111. Соединение жил опрессованием.

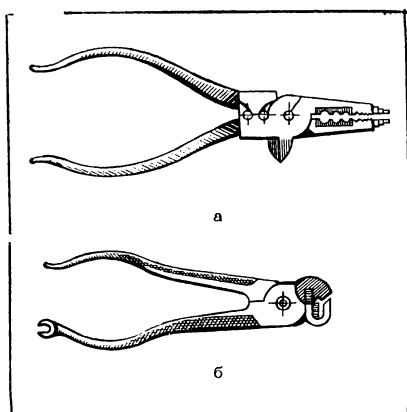


Рис. 112. Многооперационные электро-монтажные клещи: *a* — типа КУ-1; *б* — типа КН-5.

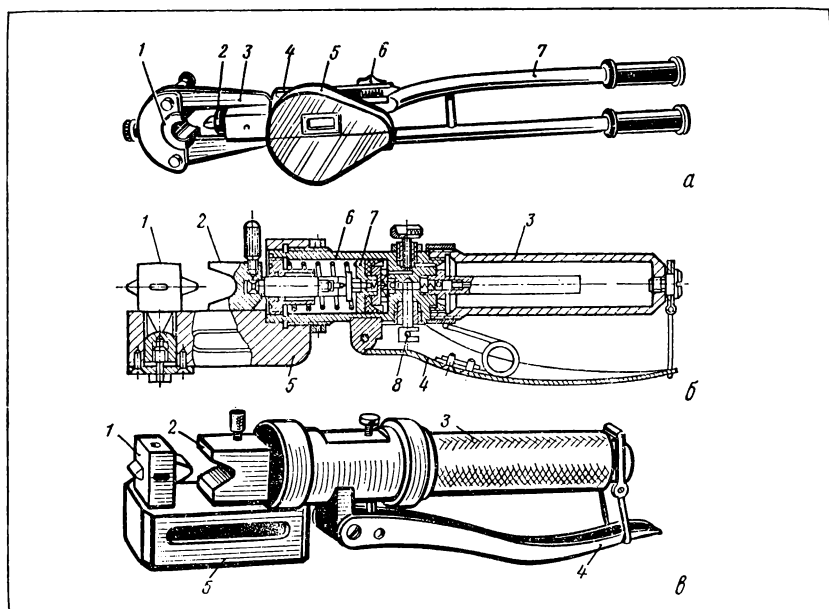


Рис. 113. Прессы, применяемые для соединения проводов и кабелей: *a* — механический пресс типа ПМ-7: 1 — матрица; 2 — пуансон; 3 — вилка; 4 — корпус; 5 — кожух; 6 — маховик; 7 — рукоятка; *б* — монтажные гидравлические клещи типа ГKM: 1 — матрица; 2 — пуансон; 3 — резервуар; 4 — рукоятка; 5 — бугель; 6 — корпус; 7 — поршень; 8 — насос; *в* — внешний вид монтажных гидравлических клещей.

Для снятия изоляции и соединения жил опрессованием применяют многооперационные клещи (рис. 112).

Кроме пресс-клещей, применяют другие инструменты и приспособления, которые также значительно облегчают труд рабочего и позволяют повысить производительность труда по сравнению с соединением проводов и кабелей механической скруткой и пайкой. Так, ручной механический пресс типа ПМ-7 (рис. 113, а) используют для соединения жил проводов площадью сечения от 16 до 240 мм<sup>2</sup>; к прессу приложен набор инструментов — матриц и пуансонов. Монтажные гидравлические клещи типа ГKM (рис. 113, б и в) применяют для опрессования наконечников площадью сечения до 25 мм<sup>2</sup> и гильз площадью сечения до 10 мм<sup>2</sup>. Для соединения проводов и кабелей, используемых при сооружении воздушных и кабельных линий электропередачи, применяют более мощные гидравлические прессы с электроприводом, пороховые прессы и другие средства механизации труда.

Оконцевание жил выполняют различными способами: или на конце жилы закрепляют наконечник, или концу жилы придают форму кольца. Наконечник закрепляют на однопроволочные жилы площадью сечения более 10 мм<sup>2</sup> и многопроволочные — более 2,5 мм<sup>2</sup>. Подбирают наконечник, однородный по материалу с жилой. Способы оконцевания проводов марок ППВ и АППВ показаны на рисунке 114.

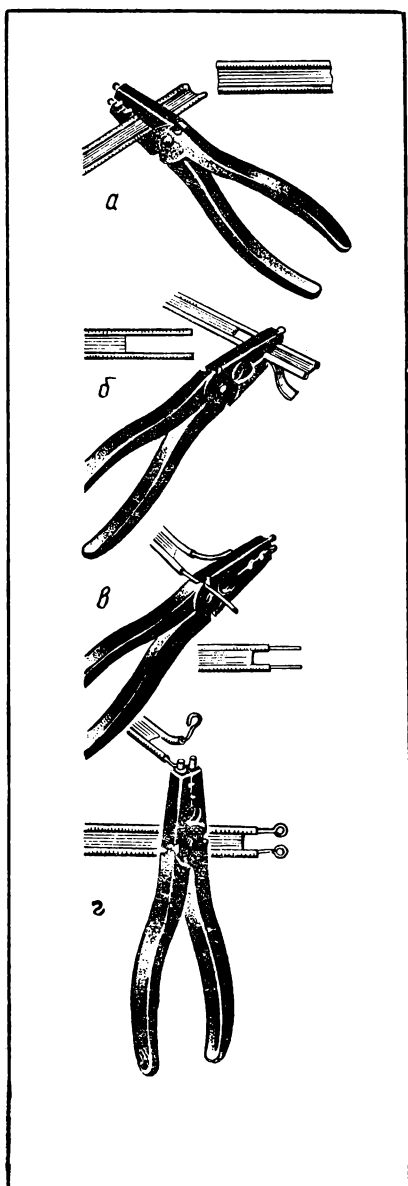


Рис. 114. Оконцевание плоских проводов при помощи специальных клещей: а — откусывание провода; б — снятие изоляционного слоя между жилами; в — снятие изоляции с концов жил; г — изготовление колец на концах жил.



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 15

### Соединение и оконцевание проводов пайкой

*Материалы и инструменты:* провода, наконечники для проводов, набор инструментов для выполнения электромонтажных работ, электропаяльник, ванночка с припоем и флюсом.

#### Порядок выполнения работы<sup>1</sup>

1. Снимите изоляцию с концов соединяемых однопроволочных медных проводов на длине 20 мм при площади сечения не больше 4 мм<sup>2</sup> и на длине 30 мм при площади сечения 6 или 10 мм<sup>2</sup>; стеклянной пилкой зачистите жилы до блеска. Соедините жилы скруткой.

2. Подготовьте однопроволочные провода для соединения так, как указано в п. 1; соедините жилы скруткой и пайкой.

3. Подготовьте для соединения многопроволочные провода; соедините их между собой скруткой и пайкой.

4. Снимите изоляцию на длине 25 мм с участка однопроволочного провода, от которого нужно сделать ответвление, а с конца ответвляемого провода снимите изоляцию на длине 20—30 мм, выполните ответвление проводов с помощью скрутки.

5. Подготовьте для ответвления многопроволочные провода; сделайте ответвление этих проводов.

6. Подготовьте для оконцевания провода; сделайте с помощью круглогубцев кольца на концах жил проводов.

7. Выберите наконечники для оконцевания проводов; подготовьте провода для оконцевания; укрепите с помощью плоскогубцев наконечники на концах жил проводов.

8. Сделайте оконцевание проводов марок ППВ и АППВ (см. рис. 114).

## Практическая работа № 16

### Соединение и оконцевание проводов опрессованием

*Материалы и инструменты:* провода для соединения и оконцевания, наконечники для проводов, медная или латунная лента, пресс-клещи, набор инструментов для выполнения электромонтажных работ.

#### Порядок выполнения работы<sup>1</sup>

1. Изучите устройство и действие пресс-клещей и подготовьте их к работе.

2. Снимите с концов проводов изоляцию и зачистите жилы до блеска.

3. Выполните опрессование жил проводов в трубчатой гильзе.

4. Подготовьте провод для оконцевания и выберите к нему наконечник. Наденьте наконечник на жилу и соедините их при помощи пресс-клещей.

5. Оберните места соединения и оконцевания в три-четыре слоя изоляционной лентой.

## § 59. МОНТАЖ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ

*Электропроводкой* называют совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями.

Электропроводки бывают наружные и внутренние. Н а р у ж -

---

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.

ную электропроводку прокладывают по наружным стенам зданий и сооружений, между ними, под навесами, а также на опорах с тремя-четырьмя пролетами, по 25 м каждый, вне улиц, дорог и т. п. Внутреннюю электропроводку прокладывают внутри зданий. Электропроводку, соединяющую наружную электропроводку с внутренней, называют в в о д о м.

По способу выполнения электропроводки бывают открытые и скрытые.

Открытые электропроводки монтируют непосредственно на поверхностях конструктивных элементов зданий и помещений или прокладывают в трубах, предварительно укрепленных на этих поверхностях.

Скрытые электропроводки прокладывают в пустотах перекрытий, в специальных каналах, бороздах и канавках, вырубая их предварительно в стенах, а также в изоляционных и стальных трубах, расположенных внутри конструктивных частей зданий.

Способы прокладки проводов и кабелей выбирают в зависимости от вида электропроводки и характеристики помещения или среды, в которых электропроводка будет эксплуатироваться (табл. 23).

Т а б л и ц а 23

Некоторые способы прокладки проводов и кабелей

Характеристика помещения	Вид электропроводки	Способ прокладки проводов и кабелей
Сухое	Открытая	Непосредственно по конструкциям и поверхностям на роликах и изоляторах, в стальных и изоляционных трубах, коробах, лотках, гибких металлических рукавах
	Скрытая	В стальных и изоляционных трубах, глухих коробах, замкнутых каналах строительных конструкций
Влажное	Открытая	Непосредственно по конструкциям и поверхностям на роликах и изоляторах, в стальных трубах и коробах, кабелями, защищенными и специальными проводами
	Скрытая	В стальных и влагостойких изоляционных трубах, глухих коробах

Монтаж электропроводок выполняют, пользуясь чертежами и монтажными схемами, как правило, в следующей последовательности:

разметка мест установки электроарматуры, электрооборудования, щитков и т. п., линий прокладки проводов и кабелей;

пробивка (если требуется) отверстий, гнезд и борозд;  
установка крепежных деталей и опорных конструкций, уста-

новка и крепление электрооборудования, электроарматуры, электрических щитков, аппаратов и т. п.;

отмеривание, отрезание, правка проводов, кабелей;

прокладка и крепление проводов и кабелей;

соединение проводов, кабелей между собой (выполнение ответвлений) и присоединение их к другим частям электроустановки;

проверка правильности монтажа и соответствие его чертежам и схемам;

испытание электропроводки.

Прежде всего размечают места расположения светильников, коммутационных и защитных аппаратов, ответвительных коробок и т. п., центры отверстий, предназначенных для прохода крепежных деталей электрических щитков, а затем линии, по которым будут прокладывать провода или кабели. Для выполнения разметки применяют разметочные циркуль, шест, рейку, рулетку, а также складную метровую линейку, измерительную рулетку и некоторые приспособления. В последние годы во многих случаях надобность в разметке отпадает, так как места установки электрической арматуры, аппаратов и других частей, а также линии прокладки проводов и кабелей намечают одновременно с изготовлением строительных конструкций.

При монтаже электрических проводок и электрооборудования большой объем занимают работы по заготовке отверстий, гнезд и борозд в строительных конструкциях. Некоторые из рассматриваемых работ выполняют вручную, применяя зубила, проройники, шлямбуры. В настоящее время эти работы выполняют в большинстве случаев с помощью электрифицированных, пневматических и пороховых инструментов, механизмов и приспособлений. К работе с ними допускаются квалифицированные рабочие-электромонтеры в возрасте не менее 18 лет.

Крепежные детали (штыри, спирали, скобы) и изолирующие опоры устанавливают в заранее заготовленные отверстия и гнезда и закрепляют вмазкой, забиванием или приклеиванием. Для закрепления деталей вмазкой приготавливают раствор строительного гипса (алебаstra): в гипсовку насыпают алебастр и, подливая воду, перемешивают, пока смесь не станет сметанообразной. Раствор затвердевает в течение 5—8 мин, поэтому его приготавливают в небольшом количестве и непосредственно перед использованием. Процесс закрепления деталей вмазкой следующий: очищают поверхность гнезда от пыли и смачивают ее водой; приготавливают алебастровый раствор; заполняют гнездо раствором с помощью мастерка; вводят в гнездо закрепляемую деталь нажатием руки и легким постукиванием молотка; дают раствору застыть, после чего место около детали очищают.

Приклеиванием закрепляют стальные или пластмассовые детали, предназначенные для крепления проводов и легких ка-

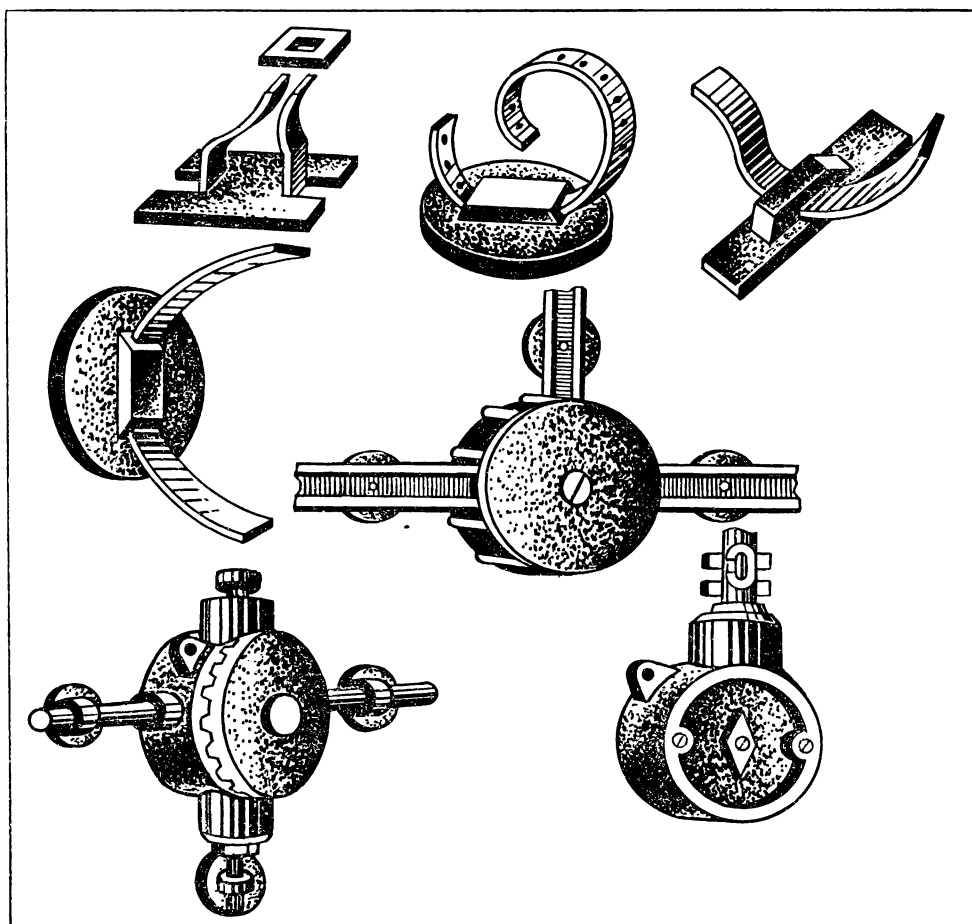


Рис. 115. Электромонтажные изделия, приклеиваемые к строительным конструкциям.

белей, ответвительные коробки, деревянные подрозетники и другие детали и изделия (рис. 115).

Подготовленные к прокладке провода и кабели размещают вдоль намеченных линий и закрепляют. На рисунке 116 для примера показано крепление проводов марки АППВ.

При монтаже электропроводок в трубах сначала прокладывают и закрепляют трубы, а затем затягивают в них провода или кабель. Во избежание повреждения изоляции провода о края трубы их оконцовывают изолирующими втулками. Через трубу продевают стальную проволоку, один конец которой соединен с прокладываемым проводом или кабелем. Провода небольшой площади сечения затягивают вручную, а большой — с помощью лебедки.

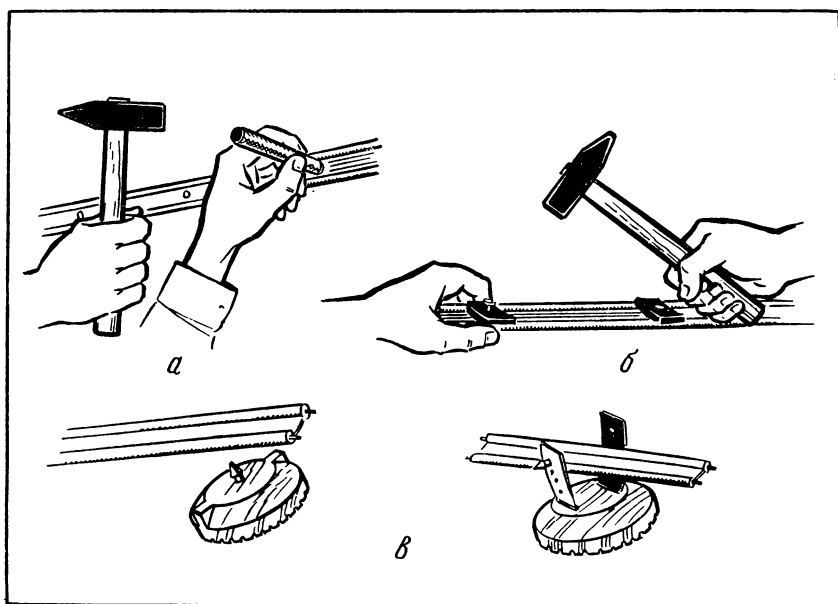


Рис. 116. Крепление ленточных проводов: *а* — гвоздями при помощи деревянной оправки; *б* — гвоздями при помощи накладок; *в* — к пластмассовым крепежным изделиям, приклеиваемым к несущему основанию.

### Вопросы и упражнения

1. Как классифицируют электропроводки? В зависимости от чего выбирают способ прокладки проводов и кабелей?
2. По заданию учителя (мастера) приготовьте алебастровый раствор и закрепите детали в гнезде вмазкой.
3. По заданию учителя (мастера) произведите монтаж электропроводки, строго соблюдая технологический цикл операций.

## § 60. МОНТАЖ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Монтаж электропривода производят в последовательности:

- выбор электродвигателя, коммутационной и защитной аппаратуры, внешний осмотр, доставка к месту монтажа;
- установка и выверка фундамента (рамы, салазок);
- установка двигателя на подготовленное основание, выверка горизонтального (вертикального) положения двигателя;
- укрепление двигателя на основании;
- промывка, смазка подшипников;
- проверка сопротивления изоляции;
- монтаж аппаратуры управления;
- присоединение к двигателю проводов (кабелей) питающей и управляющей цепей и заземляющего провода;
- пробная эксплуатация двигателя, устранение неисправностей в работе двигателя и цепи управления;
- сдача в эксплуатацию.

В обслуживание электропривода входит периодический технический осмотр электродвигателей и аппаратуры и уход за ними: чистка, смазка, замена изношенных деталей, выверка и регулировка отдельных частей.

При внешнем осмотре проверяют отсутствие механических повреждений корпуса, коробки зажимов, проводов и т. д., наличие заземляющих проводников, правильность соединения обмоток.

Монтаж электрической аппаратуры производят в следующей последовательности:

- ознакомление с рабочими чертежами и схемами;
- выбор аппаратуры;
- разметка мест установки опорных конструкций, крепежных деталей и аппаратов;
- подготовка гнезд, отверстий, ниш;
- установка конструкций и крепежных деталей;
- установка аппаратов, присоединение к ним проводов и кабелей сети и заземления;
- проверка правильности монтажа и соответствия его рабочим чертежам;
- испытание работы аппаратуры под напряжением;
- устранение неисправностей и регулировка;
- сдача в эксплуатацию.

Обслуживание электрической аппаратуры заключается в выполнении следующих работ:

- систематический профилактический осмотр;
- чистка (устранение пыли, грязи и т. п.);
- смена перегоревших плавких вставок и изношенных деталей;
- проверка надежности заземления;
- чистка и регулировка контактов;
- испытание (измерение тока срабатывания, напряжения срабатывания, сопротивления изоляции).

Чистить и ремонтировать аппараты, заменять плавкие вставки предохранителей можно только при снятом напряжении.

## **Практическая работа № 17.**

### **Монтаж электродвигателя и магнитного пускателя**

*Оборудование:* электродвигатель, магнитный пускатель, кнопочный нажимной выключатель, провода или кабель, набор электромонтажных инструментов и приспособлений.

Порядок выполнения работы<sup>1</sup>

1. Изучите принципиальную схему (см. рис. 42) включения электродвигателя с помощью магнитного пускателя.

2. Ознакомьтесь с техническими данными электродвигателя, магнитного пускателя и нажимного кнопочного выключателя. Составьте монтажную схему применительно к конкретным условиям. Покажите схему учителю (мастеру).

<sup>1</sup> См. общее указание на с. 100.

3. Разработайте план выполнения монтажа и согласуйте его с учителем (мастером).

4. Подготовьте необходимые материалы, инструменты и т. п. и разместите их на рабочем месте в требуемом порядке. Установите и закрепите электродвигатель, магнитный пускатель, нажимной кнопочный выключатель.

5. Проложите провода (кабель) и соедините их согласно схеме.

6. С разрешения учителя (мастера) включите и выключите электродвигатель; убедитесь, что он работает нормально — нет гудения, пуск и остановка происходят четко и т. п. В случае необходимости по указанию учителя (мастера) отключите электродвигатель от сети и при снятом напряжении обнаружьте и устраните неисправности. После этого с разрешения учителя (мастера) повторно включите и выключите электродвигатель.

## **§ 61. СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

В условиях массового и крупносерийного производства электрических аппаратов применяют поточные методы их сборки, что позволяет улучшить условия труда рабочих, повысить производительность труда и технологическую дисциплину.

При мелкосерийном производстве сборку большинства электрических аппаратов ведут на одном и том же рабочем месте. На сборку при этом приходится примерно 35—45% всей работы, связанной с технологическим процессом изготовления электрического аппарата.

Детали электрических аппаратов должны быть полностью готовы к сборке, т. е. они должны соответствовать чертежам, не иметь заусениц, повреждений поверхности и т. п. На рабочем месте детали должны быть расположены в таре, обитой мягкими материалами, чтобы не допустить повреждения деталей, особенно тех, что покрыты лаками и эмалями. При сборке особое внимание обращают на взаимозаменяемость деталей, особенно таких, которые во время работы аппарата подвергаются большому износу — контактов, пружин, гибких токопроводов и др.

Сборку аппаратов выполняют в строгом соответствии с технологической картой, пользуясь теми инструментами, приспособлениями, оборудованием и выполняя операции в той последовательности, как это указано в технологической карте. При сборке не разрешается подгибать детали аппаратов.

В процессе сборки сложных аппаратов выполняют слесарно-сборочные и электромонтажные операции — винтовые и болтовые соединения, запрессовку, склеивание, клепку и т. п., монтаж и маркировку проводов и обозначение зажимов, предназначенных для присоединения к электрической сети, регулировку, технический контроль и испытание, окраску поврежденных поверхностей, консервацию и упаковку.

При сборке особое внимание обращают на правильную установку и надежное крепление контактного механизма. При этом необходимо проверить, соответствует ли чертежу расстояние между неподвижными и подвижными контактами (раствор, провал), одновременность касания контактов в многополюсных

аппаратах, начальное и конечное давление на контактах, напряжение (или ток) срабатывания аппарата, качество резьбовых соединений, соответствие чертежу маркировки на аппарате.

Долговечность работы многих аппаратов зависит от качества установки в них дугогасящих камер. Они должны быть надежно закреплены, а стенки, перегородки и другие части не должны касаться подвижных деталей аппарата.

При сборке электромагнитного механизма надо тщательно выдерживать заданные на чертеже размеры воздушных зазоров, добиваться того, чтобы якорь перемещался свободно на указанное в чертеже расстояние, а катушки прочно закрепить на магнитопроводе.

### **Вопросы и упражнения**

1. Что собой представляет процесс сборки электрического аппарата? Объясните технологический процесс изготовления деталей, сборочных единиц электрических аппаратов и их общей сборки.

2. На экскурсии или при просмотре учебного кинофильма выясните, какие инструменты, приспособления, оборудование применяют при изготовлении электрических аппаратов, в чем заключается основное содержание работы слесаря-сборщика электрических аппаратов?

3. На что необходимо обратить особое внимание при сборке контактного механизма? дугогасящей камеры? электромагнитного механизма?

4. По заданию учителя (мастера) соберите электрический аппарат из готовых деталей и сборочных единиц.

## **§ 62. СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

### **ПОНЯТИЕ О СБОРКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

Сборка электрической машины — один из основных технологических процессов, осуществляемых на электромашиностроительных предприятиях. В целом же изготовление электрической машины представляет собой совокупность следующих технологических процессов:

получение заготовок деталей машины — литье, сварка,ковка и т. п.;

механическая обработка деталей — обработка на металло-режущих станках заготовок станин, валов, подшипниковых щитов и других деталей электрических машин;

штамповка деталей — изготовление на высокопроизводительных прессах (все чаще на прессах-автоматах) листов сердечников магнитопроводов, медных пластин и изоляционных прокладок коллектора и др.;

изготовление и укладка обмоток — этот процесс осуществляют на специальном технологическом оборудовании, которым оснащены обмоточно-изоляционные цехи электромашиностроительного завода; с каждым годом все более повышается



уровень механизации и автоматизации процесса изготовления и укладки обмоток;

сборка машины — соединение в определенной последовательности и закрепление деталей и сборочных единиц для получения машины; деталь или сборочная единица, с которой начинают сборку машины, носит название *базового элемента*;

контроль и испытание машины — прежде всего контролируют и испытывают обмотки электрической машины (делают это как при изготовлении, так и после сборки машины); данный процесс осуществляют на испытательных станциях завода, оснащенных различными электротехническими установками.

Различают узловую и общую сборку машины. При узловой сборке отдельные детали соединяют в сборочные единицы — узлы, которые передают на склад. Узловая сборка тесно связана с изготовлением самих деталей. Она позволяет расчленить весь процесс сборки машины на ряд законченных циклов с небольшим количеством операций. Это облегчает осуществление механизации и автоматизации процессов сборки.

Общая сборка — это процесс соединения всех сборочных единиц в готовую машину. После общей сборки производят наладку и испытание машины.

## **ИЗГОТОВЛЕНИЕ И СБОРКА СЕРДЕЧНИКОВ**

Процесс сборки сердечников состоит из следующих операций: шихтовка — укладка листов в пакет, прессовка и скрепление пакета.

Сердечники статоров, роторов и полюсов собирают из стальных листов. Листы изготавливают из электротехнической стали путем штамповки. С целью уменьшения потерь энергии на вихревые токи поверхность листов покрывают лаком. Для этого листы погружают в ванну с лаком и пропускают между вращающимися валками. В других случаях поверхность листов покрывают тонкой пленкой оксида железа, обладающего электроизоляционными свойствами. Для этого листы нагревают до температуры 560—700°С в окислительной среде.

Вырубленные штампом листы имеют одинаковые размеры, но пазы и расстояния между ними у разных листов могут отличаться в пределах допуска на изготовление штампа. Поэтому один и тот же сердечник собирают из листов, вырубленных одним и тем же штампом. Чтобы правильно осуществить сборку листов в пакет, на листах выштамповывают шихтовочный знак в виде канавки; листы укладывают так, чтобы шихтовочные знаки совпадали. Эту операцию при массовом производстве выполняют на специальных станках.

Прессуют сердечник для того, чтобы уменьшить размер зазоров между его листами. Благодаря прессовке улучшаются магнит-

ные свойства сердечника. Эту операцию выполняют на гидравлических прессах.

Скрепляют листы с помощью шпилек и гаек. Шпильки, с одной стороны которых накручены гайки, вбивают в пакет, с другой стороны на них также накручивают гайки до упора их в листы. Далее пакет прессуют и под прессом окончательно затягивают гайки.

Из-за неточности штамповки и смещения листов при укладке поверхность пазов в собранном сердечнике может оказаться неровной. В такие пазы укладывать обмотку нельзя, чтобы не повредить ее изоляцию. Поэтому выступы на поверхности пазов опиливают вручную напильником или на специальных станках. Ручное опиление пазов выполняют редко, так как на него затрачивается много времени, а качество оказывается, как правило, низким. Высокой производительности труда и требуемого качества достигают при опиливании пазов на специальных станках.

### СБОРКА КОЛЛЕКТОРА

Сборка коллектора — трудоемкая и сложная операция, выполнять которую можно только после специального обучения. От сборщика коллектора требуется особая тщательность и точность в выполнении действий, а к чистоте рабочего места предъявляются повышенные требования. Рассмотрим лишь некоторые элементы процесса сборки коллекторов.

Основные детали, из которых собирают коллектор, — это токопроводящие и изолирующие пластины. Токопроводящие пластины изготавливают из полосовой меди путем штамповки на прессах. Чтобы не допустить замыкания между пластинами, заусеницы на гранях пластины снимают, помещая пластины во вращающийся барабан с древесными опилками; перекатываясь, пластины трутся поверхностями, и в результате этого удаляются заусеницы. Для устранения кривизны пластины правят с помощью специального приспособления (рис. 117). Этот способ правки возможен лишь при единичном или мелкосерийном производстве, так как ручная правка — тяжелая и малопродук-

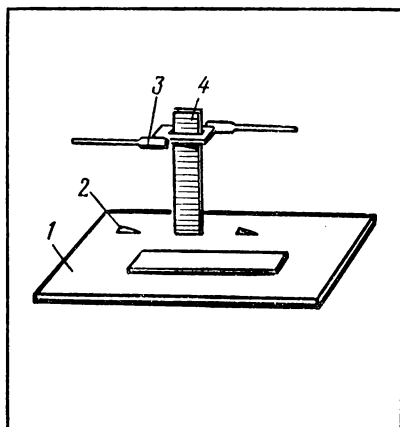


Рис. 117. Приспособление для правки коллекторных пластин: 1 — плита; 2 — отверстие для установки коллекторной пластины; 3 — вороток; 4 — коллекторная пластина.

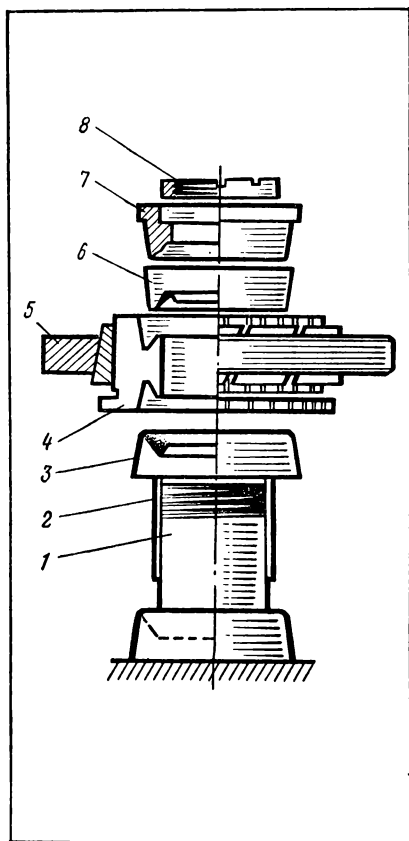


Рис. 118. Сборка коллектора: 1— втулка; 2— изоляционный цилиндр; 3— манжета; 4— комплект опрессованных пластин; 5— опрессовочное кольцо; 6— манжета; 7— нажимной конус; 8— гайка.

изводительная операция. В массовом же производстве пластины правят в штампах.

Изолирующие пластины, называемые прокладками, штампуют из специального (коллекторного) миканита. Другие изолирующие детали — манжеты и изоляционный цилиндр — изготавливают из формовочного миканита. Для этого заготовки складывают стопкой, сверху кладут шаблон в виде части кольца с зубцами по внутреннему диаметру, стопку заготовок зажимают струбцинами, размечают по шаблону и вырезают детали на ленточной пиле.

Представление о процессе общей сборки коллектора можно получить с помощью рисунка 118. На втулку 1 надевают изоляционный цилиндр 2 и манжету 3; «петушком» (см. рис. 64) вниз устанавливают комплект опрессованных пластин 4, находящихся в опрессовочном кольце 5; вставляют манжету 6 и нажимной конус 7; предварительно затягивают гайку 8. Рейсмусом проверяют горизонтальность расположения пластин и подтягивают гайку 8.

Собранный коллектор нагревают в печи до температуры 130—140 °С и в горячем виде

прессуют. Изготовленный коллектор испытывают, проверяя электрическую прочность изоляции и отсутствие замыканий между пластинами. После этого снимают опрессовочное кольцо 5.

В настоящее время токопроводящие пластины коллектора для электродвигателей небольших габаритов опрессовывают с применением пластмассы. Это ускоряет процесс производства коллекторов.

#### СБОРКА ОБМОТОК

Процесс сборки обмоток электрических машин состоит из изготовления обмотки, укладки ее в пазы статора и ротора

(якоря), крепления полюсных катушек, а также соединения секций обмотки согласно схеме с пластинами коллектора и контактными зажимами, предназначенными для подключения к электрической сети.

Обмотку статоров и якорей изготавливают, наматывая изолированный провод рядами на шаблоны. Готовую обмотку или ее части укладывают в пазы. Обмотку статоров и якорей машин небольшой мощности наматывают непосредственно в пазы сердечников. Закрепляют обмотку бандажными или клиньями. Для улучшения электрической прочности обмотки ее пропитывают изоляционными жидкостями, а затем сушат.

Часть обмотки якоря, подсоединенная к двум коллекторным пластинам, носит название *секции*. Секция может состоять из одного или нескольких витков.

В современных машинах применяют двухслойные обмотки якоря. В каждый его паз укладывают две стороны двух различных секций.

Схема построения простой петлевой обмотки показана на рисунке 119. Петлевые обмотки делают в машинах, рассчитанных на большую силу тока.

В машинах, предназначенных для работы при высоком напряжении, применяют волновую обмотку (рис. 120).

Для увеличения числа параллельных витков делают сложные петлевые и сложные волновые обмотки.

Обмотку полюсов изготавливают, наматывая на шаблоны изолированный провод. Делают это на намоточных станках, имеющих счетчики числа витков.

Выше были рассмотрены лишь некоторые способы изготовления деталей и сборочных единиц электрических машин. Произ-

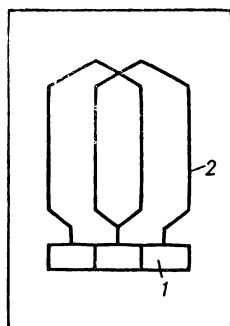


Рис. 119. Схема простой петлевой обмотки: 1 — пластина коллектора; 2 — секция обмотки.

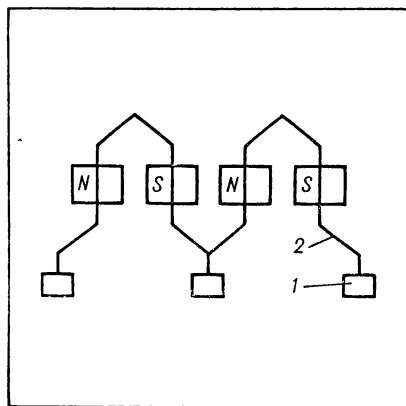


Рис. 120. Схема простой волновой обмотки: 1 — пластина коллектора; 2 — секция обмотки.

водство электрических машин — сложный процесс. В настоящее время для его осуществления применяют различные станки, приспособления, оборудование, в том числе полуавтоматическое и автоматическое.

### **Вопросы и упражнения**

1. Что собой представляет процесс сборки машины?
2. На экскурсиях или при просмотре учебных кинофильмов ознакомьтесь с технологическим процессом изготовления электрических машин. Выясните устройство и действие применяемых для этих целей станков, приспособлений и другого оборудования.
3. По заданию учителя (мастера) частично разберите электрическую машину. Рассмотрите устройство деталей и сборочных единиц машины и расскажите о процессе их изготовления. Проверьте исправность изоляции обмоток, измерьте электрическое сопротивление изоляции, сделайте вывод о пригодности обмотки. Проверьте, нет ли замыканий между токопроводящими пластинами коллектора, сделайте вывод о его пригодности. Соберите машину.
4. Во время экскурсий и производительного труда на предприятии ознакомьтесь с изготавливаемой на нем продукцией, особенностями осуществляемых технологических процессов, содержанием и условиями труда электромонтера-обмотчика и изолировщика и слесаря-сборщика электрических машин.

## **§ 63. КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ**

Комплексная механизация трудоемких работ — одно из главных направлений научно-технического прогресса.

На современном электротехническом предприятии уже механизировано большинство трудоемких работ, а на многих предприятиях осуществляется комплексная механизация. Это стало возможным благодаря созданию и применению различных машин, механизмов, оборудования, работающих от электрических двигателей. Например, при изготовлении электрических машин применяют различное металлообрабатывающее оборудование общего назначения, а также специализированные станки и приспособления.

Механизацию электромонтажных работ, выполняемых при сооружении линий электропередач, новых зданий, при ремонте электрооборудования и электрических сетей, осуществляют благодаря использованию электрифицированных инструментов, пневматических и пороховых инструментов и механизмов, грузоподъемных устройств, сварочного оборудования и т. п. Особенно широкое распространение получили специализированные инструменты, приспособления и механизмы, например, для монтажа кабельных линий электропередачи, оконцевания и соединения проводов и кабелей, монтажа воздушных линий электропередачи, подстанций, распределительных устройств, заготовки отверстий, гнезд и борозд в строительных конструкциях, предназначенных для установки электроарматуры и укладки проводов. Усилия ученых, инженеров, квалифицированных рабочих направлены на

то, чтобы модернизировать имеющиеся средства механизации, повысить их производительность.

Многие виды электромонтажных работ с целью их механизации, в том числе комплексной, выполняют в *специализированных мастерских* и на *станциях механизации*, оборудованных на автомобилях и автоприцепах. Например, есть специализированные мастерские для монтажа кабельных линий, закрытых распределительных устройств и подстанций, осветительного и силового электрооборудования. Такие мастерские оборудованы слесарными верстаками, необходимыми инструментами и приспособлениями, автономными источниками питания электроэнергией. Например, мастерская типа МЭ-АП, предназначенная для монтажа электрооборудования промышленных предприятий, оборудована на автомобиле ГАЗ-53А и двухосном прицепе. В ней имеются необходимые средства малой механизации, сверлильный станок, электроточило, электросверлильная машина, гидравлический и механический прессы, трубогиб и т. д. Мастерская оснащена комплектом инструментов и приспособлений, требующихся для выполнения электромонтажных работ. Помещение (кузов) мастерской утепленное, отапливаемое. Таким образом, данная мастерская позволяет в хороших условиях высокопроизводительно трудиться рабочим-электрикам. Аналогично оборудованы и оснащены другие специализированные мастерские. В дальнейшем оснащение таких мастерских будет совершенствоваться.

Важное направление комплексной механизации электротехнических работ — создание *технологических линий*. На таких линиях осуществляется обработка и заготовка проводов, кабелей, элементов электропроводки. Дальнейшее развитие технологических линий, предназначенных для механизированного выполнения самых различных электротехнических работ, совершенствование оборудования этих линий, уменьшение времени, затрачиваемого на осуществление технологического процесса, — перспективный путь комплексной механизации электромонтажных работ.

#### **Вопросы и упражнения**

1. Какое значение для повышения эффективности общественного производства и труда человека имеет комплексная механизация трудоемких работ?
2. По каким основным направлениям осуществляют механизацию электротехнических работ?
3. Во время экскурсии на базовое предприятие выясните, какие средства механизации внедрены за последние годы.
4. Внесите предложения по дальнейшему внедрению средств механизации на учебно-производственном комбинате, базовом предприятии.

### **§ 64. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Автоматизацию на электротехнических предприятиях, в том числе комплексную автоматизацию, осуществляют в основном аналогично тому, как это делают на предприятиях многих

других отраслей промышленности. Поэтому, не останавливаясь на конкретных примерах автоматизации электротехнического производства, рассмотрим вопросы о работе автоматических систем вообще.

Изучая свойства материалов и способы их обработки, устройство и принцип действия механизмов, приборов, аппаратов, машин, наблюдая за ними в процессе их работы, человек получает информацию, на основе которой управляет оборудованием, регулирует ход производственных процессов, совершает требующиеся трудовые действия.

Не все функции по обслуживанию и управлению техникой и технологическими процессами непосредственно доступны человеку, например, из-за ограниченности его физических возможностей. Человек использует приборы, механизмы, аппараты, машины: выполняя действия по управлению, регулированию и контролю оборудования и протекания производственных процессов, они заменяют его труд. Технические устройства, действующие целесообразно без непосредственного участия человека, называют *автоматами*.

Автоматы создаются человеком и работают по заданной программе. Операторы, обслуживающие автоматы, настраивают их на нужный режим, включают, осуществляют общий надзор и в случае необходимости производят ремонт и наладку.

В каждом автомате есть управляемая система и управляющая система.

Управляющая система по заданной человеком программе воздействует на управляемую систему. В результате этого управляемая система совершает требующиеся действия. Обычно управляемая система представляет собой рабочую машину. Таким образом, управляющая система выполняет функции, которые при отсутствии ее выполнял бы человек.

Отрасль науки и техники, охватывающую теорию и принципы построения управляющих систем, действующих без непосредственного участия человека, называют *автоматикой*.

В настоящее время широко применяют различные автоматические системы. Они состоят из следующих основных элементов: датчиков (преобразователей сигналов), дистанционных передатчиков сигналов, усилителей сигналов, исполнительных устройств.

Принципы действия и устройство датчиков рассмотрены в § 41.

Электрические сигналы датчика можно передавать к другим элементам автоматического устройства по проводам. Однако слабый сигнал можно передать по проводам лишь на небольшое расстояние. Кроме того, сигнал переменного тока может быть искажен из-за влияния индуктивности и емкости линии, по которой он передается. Поэтому передачу сигналов датчиков по проводам осуществляют на сравнительно небольшие расстояния.

Для надежной передачи сигналов на большие расстояния используют системы телемеханики.

Система телемеханики состоит из следующих частей: передающее устройство, на которое поступает сигнал; линии радиосвязи — короткие и ультракороткие радиоволны или линии электросвязи — воздушные, кабельные, телефонные и телеграфные линии, высоковольтные линии электропередачи; приемное устройство. В автоматических системах применяют и другие способы передачи сигналов.

Мощность поступающего от датчика сигнала очень мала. Нередко она в несколько сотен и тысяч раз меньше мощности тех устройств, работой которых должны управлять датчики. Поэтому в автоматических системах для увеличения мощности сигнала датчиков применяют усилители.

Исполнительные устройства автоматических систем предназначены для непосредственного воздействия на управляемую систему.

В автоматических системах применяют различные реле: электромагнитные, электротепловые, электронные. Исполнительными органами реле являются размыкающие и замыкающие контакты.

Если части управляемой системы должны совершить значительные перемещения, то в качестве исполнительных органов используют электродвигательный и соленоидный приводы.

Принцип работы соленоидного привода основан на втягивании стального сердечника внутрь катушки, по обмотке которой проходит ток. Для увеличения силы втягивания сердечник делают небольшой длины, а катушку помещают в стальной цилиндрический корпус.

Во многих автоматических системах в качестве исполнительных устройств служат пневматические и гидравлические приводы.

Различают системы автоматического контроля и защиты, автоматического управления и регулирования.

*Автоматический контроль* освобождает человека от ряда утомительных операций, позволяет производить измерение различных величин в условиях, малодоступных или опасных для непосредственного труда человека, повышает точность и увеличивает быстроту выполнения контрольно-измерительных операций.

Системы автоматического контроля основаны на применении методов и средств измерения неэлектрических величин электрическими методами (см. § 41). Устройство, предназначенное для осуществления автоматического контроля, представляет собой разомкнутую автоматическую систему.

*Системы автоматического управления* осуществляют совокупность действий, направленных на поддержание или улучшение



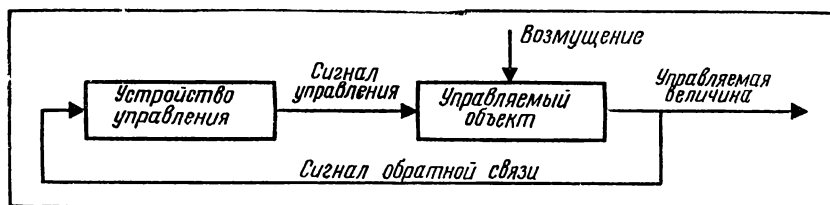


Рис. 121. Структурная схема системы автоматического управления.

ние функционирования управляемого объекта в соответствии с заданной целью управления без непосредственного участия человека.

Человек производит лишь первоначальное включение, а дальнейшие функции по управлению объектом выполняет автоматическая система.

Системы автоматического управления могут поддерживать требуемый режим работы производственных объектов или технологических процессов, например заданную скорость, температуру, напряжение, уровень жидкости и т. п. Примеры автоматического управления электрическими двигателями приведены в § 51

Устройство, предназначенное для осуществления автоматического управления, представляет собой замкнутую автоматическую систему (рис. 121). Машину, аппарат или процесс, который подвергается управлению, называют управляемым объектом. Для осуществления цели управления управляющим устройством производится воздействие на управляемый объект (прямая связь). При работе управляемый объект испытывает также внешние воздействия, называемые возмущениями. В результате возмущения изменяется управляемая величина, о чем получает информацию устройство управления (осуществляется обратная связь). Устройство управления вырабатывает новый сигнал управления, учитывающий характер возмущения.

### Вопросы

1. Из каких основных элементов состоят автоматические системы?
2. Как устроены и действуют датчики?
3. Какими способами осуществляется дистанционная передача сигналов?
4. Зачем в автоматических системах используют усилители сигналов? Как работает усилитель электрических сигналов?
5. Какие функции выполняют системы автоматического контроля? автоматического управления?
6. Как осуществляется процесс автоматического контроля? автоматического управления?
7. В чем заключается сходство и различие систем автоматического контроля и управления?
8. Какие вы можете назвать примеры систем автоматического контроля и управления, применяемые в промышленности, на транспорте и т. п.?

### **ОСНОВЫ ЭКОНОМИКИ, ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ**

#### **§ 65. ЗАДАЧИ И СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Коммунистическая партия Советского Союза выработала и осуществляет программу ускорения социально-экономического развития, всемерной интенсификации и повышения эффективности производства на базе научно-технического прогресса. Высшей целью экономической стратегии партии был и остается неуклонный подъем материального и культурного уровня жизни народа.

Ответственные задачи призвана решать электротехническая промышленность. Она, прежде всего, увеличивает выпуск турбогенераторов повышенной мощности (до 800 тыс. кВт) и надежности, электродвигателей переменного тока мощностью до 400 кВт, энергоэкономичных источников света. Опережающими темпами наращивается выпуск автоматизированного электропривода. Получает развитие производство аккумуляторных батарей, бесконтактной электрической аппаратуры, силовых полупроводниковых приборов и других электротехнических изделий. В текущей пятилетке и в последующие годы электротехническая промышленность должна освоить серийный выпуск лазерных технологических установок, необходимых изделий для гибких производственных систем, промышленных роботов и средств автоматизации.

Кроме того, электротехническая промышленность расширяет производство теплостойких эмаль-проводов, малогабаритных энергоемких аккумуляторных батарей, тонких фольгированных диэлектриков, новых типов электрических двигателей, кабелей связи.

Электротехническое предприятие, как и любое социалистическое государственное производственное предприятие, представляет собой самостоятельную хозяйственную единицу.

Ряд родственных предприятий с целью внедрения более прогрессивных форм централизации производства входят в состав *производственного объединения*. Например, широко известно в стране Ленинградское производственное объединение «Электросила».

Получили широкое распространение *территориально-производственные комплексы*. Например, Саянский территориально-производственный комплекс состоит из Саянской ГЭС, алюминиевого и вагоностроительного заводов, крупного завода стального литья, предприятий по переработке цветных металлов, предприятий электротехнической, легкой, пищевой промышленности. Братско-Усть-Илимский территориально-производственный комплекс включает в себя Усть-Илимскую ГЭС и крупный целлюлозный завод, в создании которого приняли участие страны — члены СЭВ. Производственно-территориальные комплексы позволяют наиболее эффективно использовать материальные, финансовые и трудовые ресурсы, дают огромную экономию народному хозяйству, создают благоприятные условия для использования природных богатств, развития межотраслевых специализированных производств и благоустроенных жилищных и культурно-бытовых объектов.

Основные задачи социалистического производственного предприятия — обеспечение выпуска нужной обществу высококачественной продукции, повышение эффективности производства путем систематического его совершенствования, прежде всего внедрения достижений научно-технического прогресса, технического перевооружения и реконструкции, экономного использования всех видов ресурсов, создания наилучших условий труда и охраны здоровья своих работников.

Структура электротехнического предприятия зависит от выпускаемой продукции. Главной частью в *структуре электротехнического предприятия* являются цехи и основного производства, где происходит производственный процесс по изготовлению продукции. Деятельность цехов основного производства обеспечивается работой вспомогательных цехов, складов, а также различных отделов.

*Руководство* деятельностью социалистического государственного производственного предприятия осуществляют директор и его заместители, главный инженер, главный экономист. В производственной и общественной жизни предприятия активно участвуют рабочие и служащие под руководством партийной, профсоюзной и комсомольской организаций.

### **Вопросы и упражнения**

1. Какие основные задачи решают предприятия электротехнической промышленности?
2. Как образуются и какие основные функции выполняют производственные предприятия, производственные объединения, территориально-производственные комплексы?
3. Составьте во время экскурсии на электротехническое предприятие его структурную схему.

## **§ 66. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФОНДЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Различают основные и оборотные производственные фонды предприятия. *Основные фонды* — это материально-вещественные ценности, которые участвуют в процессе труда, сохраняя свою натуральную форму. К ним относятся здания, сооружения, машины и оборудование, транспортные средства, инструменты, производственный инвентарь и т. п. Они переносят свою стоимость на готовый продукт постепенно, частями и служат, как правило, в течение многих лет.

К *оборотным фондам* относятся предметы труда, используемые в производстве, — сырье, материалы, топливо, запасные части для ремонта оборудования и т. п. Их потребляют в каждом производственном цикле при изготовлении готового продукта. Новые оборотные фонды приобретают за счет средств предприятия.

Например, при изготовлении электрических машин используют, кроме зданий, сооружений, транспорта и т. п., основные производственные фонды — металлообрабатывающие станки, оборудование дляковки и штамповки, лакокрасочные ванны и т. д., а также оборотные фонды — проводниковые и электроизоляционные материалы, электротехническую сталь, крепежные изделия, лаки, краски и др.

Эффективность использования основных фондов характеризуется показателем, называемым *фондоотдачей*. Фондоотдача определяется отношением количества продукции к среднегодовой стоимости основных производственных фондов. На каждом предприятии борются за повышение фондоотдачи. С этой целью внедряют новую технику, механизмируют тяжелые и трудоемкие работы, например, широко внедряют индустриальные методы производства электромонтажных работ, полуавтоматические и автоматические намоточные станки и другое прогрессивное оборудование, совершенствуют технологию производства. Улучшают также организацию производства и труда, например, все более широко применяют новую форму бригадной организации труда. На предприятиях стараются рационально использовать все производственные площади и оборудование, сократить его простой.

### **Вопросы и упражнения**

1. Что собой представляют производственные фонды предприятия? Как их классифицируют?
2. Перечислите основные и оборотные фонды электротехнического предприятия.
3. Чем характеризуется эффективность использования основных производственных фондов? Каким образом добиваются ее повышения?
4. Внесите предложения по повышению эффективности использования производственных фондов учебно-производственного комбината, базового предприятия.

## **§ 67. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

### **ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА**

Основные формы организации общественного производства — концентрация, специализация, кооперирование и комбинирование. Эти формы применяют и на электротехнических предприятиях.

*Концентрация производства* — это сосредоточение большей части средств производства, рабочей силы и выпуска продукции на крупных предприятиях. Электротехническая промышленность относится к отраслям, характеризующимся высокой степенью концентрации производства. Широко известны в стране такие крупные электротехнические предприятия и объединения, как «Динамо» в Москве, «Электросила» в Ленинграде, «Уралэлектротяжмаш» и многие другие.

*Специализация производства* — это прежде всего важнейшая форма общественного разделения труда по различным отраслям производства. Специализация производства внутри отрасли предполагает более детальное расчленение производственного процесса, связанного с изготовлением однородной продукции. Различают предметную, поддетальную и технологическую специализацию производства. Например: заводы по изготовлению готового продукта — турбогенераторов, силовых трансформаторов, электрических двигателей и т. п. — характеризуются предметной специализацией; предприятия, на которых изготавливают отдельные части или детали — детали и сборочные единицы электрических машин и аппаратов, электроугольные, электрокерамические и т. п. изделия, — характеризуются поддетальной специализацией производства; технологическая специализация характерна для заводов сварных конструкций для электрических двигателей, штампованных изделий для электротехнического оборудования и т. п. Поддетальная и технологическая специализация как формы организации производства имеют большое сходство.

*Кооперирование производства* — постоянная производственная связь между отраслями и предприятиями на базе их специализации. Эта форма организации производства широко развита в электротехнической промышленности, так как выпускаемая ею продукция отличается большой сложностью.

В сочетании со специализацией кооперирование дает возможность более рационально использовать производственные мощности, повышать производительность труда, снижать себестоимость продукции, а в целом представляет собой важнейшее направление повышения экономической эффективности производства.

*Комбинирование производства* заключается в создании производственных объединений.

Одна из наиболее прогрессивных и экономически эффективных форм организации производства — *массовое производство*. Эту форму применяют на специализированных предприятиях, выпускающих однотипную продукцию с помощью специализированного оборудования, в том числе автоматических машин и линий.

Массовое производство позволяет широко применять поточные методы изготовления продукции, внедрять автоматические линии, что в итоге способствует резкому повышению производительности труда и снижению себестоимости продукции.

Кроме массового, есть *серийное производство*. Это такая организация производства, при которой изделия выпускают партиями (сериями). Различают мелко-, средне- и крупносерийное производство. Если мелкосерийное производство осуществляют с применением универсального оборудования и нацелено оно на изготовление продукции в небольшом количестве, то крупносерийное производство имеет большое сходство с массовым производством.

#### **СТРУКТУРА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА**

Процесс производства продукции на большинстве промышленных предприятий различного профиля состоит из трех следующих стадий:

заготовительная — отливка заготовок, изготовление поковок и т. п.;

обрабатывающая — разметка, механическая обработка, сварка, пайка и т. п.;

сборочная — сборка, монтаж, испытание, регулировка, настройка.

Рассмотрим производственный процесс, осуществляемый на электротехнических предприятиях на примере крупного электромашиностроительного завода.

Производственный процесс начинается с технологической подготовки: разрабатывают рабочие чертежи, маршрутные и технологические карты и другую технологическую документацию (см. § 8).

Непосредственное изготовление продукции начинается в цехах горячей обработки металлов. К ним относятся чугунолитейный, сталелитейный цехи, цех термической обработки металлов. Иногда все эти цехи являются участками одного большого цеха горячей обработки металлов. Здесь отливают из металла корпуса (станины) будущих электрических машин.

Станина с помощью транспортных средств (электрокары, краны, железнодорожные пути) поступает в цех механической обработки. В этом цехе имеются два основных участка: станоч-

ной и слесарной обработки. Задача рабочих этого цеха — расточить внутреннее отверстие статора до нужного размера и обточить лапы станины.

Параллельной ветвью производства служит штамповочный цех, в котором из тонких полос электротехнической стали штампуют (вырубают) листы сердечников роторов, статоров и полюсных катушек. После вырубки листы зачищают на шлифовальных кругах.

Листы сердечников покрывают тонким слоем изоляции. Чаще всего с этой целью листы лакируют. На большинстве предприятий данная операция механизирована: ванна с лаком и вращающимися валками, между которыми пропускают листы, соединена с сушильными печами.

Один из основных цехов электромашиностроительного завода — это намоточно-изоляционный цех. Основное оборудование его — различные по конструкции намоточные станки. В этом же цехе обмотку для улучшения ее электрических свойств и повышения механической прочности пропитывают лаками. Для этого обмотку погружают в ванну с лаком, а затем сушат в печи.

Готовую обмотку укладывают в пазы ротора, после чего ротор балансируют, так как в собранном роторе могут быть неуравновешенные части, которые являются причиной смещения центра тяжести, что при работе машины может привести к ее разрушению.

Сердце любого машиностроительного завода — сборочный цех. Сюда из всех цехов направляют детали и сборочные единицы будущей машины. Сборку машин небольшой мощности производят обычно поточным методом. При этом каждый сборщик выполняет одну операцию: монтирует подшипники или устанавливает полюсы, насаживает подшипниковый щит или вводит ротор в статор.

Производство машин малой и средней мощности — массовое или крупносерийное. При таком производстве все детали и узлы рассчитаны на полную взаимозаменяемость.

Крупные машины большой мощности делают по специальному заказу или небольшими сериями.

Испытательная станция — последняя ступень технологического процесса. Во время испытаний измеряют сопротивление изоляции, электрическую прочность, способность выдерживать большую частоту вращения, а также производят обкатку машины на холостом ходу. С испытательной станции машину отправляют в тарный цех для упаковки или непосредственно на склад готовой продукции.

Такие процессы, как механическая обработка металлов, изолирование, намотка, сборка, испытание, производят на большинстве различных предприятий электротехнической промышленности.

## Вопросы и упражнения

1. В чем заключается сущность концентрации, специализации, кооперирования, комбинирования производства? Какие преимущества имеют эти формы организации производства при социалистической системе хозяйствования?

2. Приведите примеры использования различных форм организации производства на предприятиях электротехнической промышленности.

3. Проследите во время экскурсии на электротехническое предприятие производственные процессы, осуществляемые на нем.

4. Составьте примерную структурную схему производственного процесса, осуществляемого на электромашиностроительном заводе.

5. Сравните организацию учебно-производственных работ на учебно-производственном комбинате с производственным процессом на электротехническом предприятии.

## § 68. ПЛАНИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Плановое ведение хозяйства — одно из решающих преимуществ социалистической системы перед капиталистической. Чтобы рационально хозяйствовать, каждый трудящийся должен обладать необходимыми экономическими знаниями и уметь применять их, участвуя в планировании, организации производства и управлении им.

В составлении планов предприятия должны проявлять большую инициативу и самостоятельность общественные организации, широко привлекая к этому делу трудящихся. Министерство утверждает соответствующим предприятиям и производственным объединениям систему показателей и экономических нормативов, на основе которых составляют перспективные планы.

В число таких показателей входят: прежде всего, рост чистой продукции, выпуск основных видов продукции в натуральном выражении, рост производительности труда, задания по внедрению новой техники и экономический эффект от проведения научно-технических мероприятий, объем поставок важнейших видов материально-технических ресурсов и другие показатели. Все эти показатели и нормативы утверждаются с распределением по годам. На основе утвержденных показателей и нормативов составляют пятилетние и годовые планы предприятий. Однако министерство конкретизирует и уточняет утвержденные задания на соответствующий год пятилетки.

В планах предприятий имеются сводные разделы, предусматривающие комплекс мероприятий по экономическому и социальному развитию. В соответствии с этим и на основе утвержденных заданий в плане деятельности предприятия (объединения) имеются крупные разделы, например: объем, номенклатура и сроки выпуска продукции, показатели ее качества; пути и сроки внедрения новой техники и технологии, механизации и автоматизации производственных процессов; мероприятия по улучшению условий труда, повышению квалификации и профессионального мастерства работников, улучшению жилищных и



культурно-бытовых условий жизни, медицинского обслуживания и др.

На основе годового плана и с учетом организационно-технических мероприятий на предприятии составляют квартальные, месячные планы, а также суточные, сменные и часовые графики выполнения плана.

Вся производственная деятельность предприятия осуществляется на основе хозяйственного расчета (хозрасчета). Принцип хозрасчета заключается в том, чтобы затраты на выпуск продукции возмещались доходами от ее реализации, а предприятие в результате этого получало прибыль. Такой контроль рублем требует от предприятия ритмичного выполнения и перевыполнения плана по всем его показателям.

#### Вопросы и упражнения

1. Какой порядок составления планов экономического и социального развития установлен для производственных объединений (предприятий)? Какова роль трудового коллектива предприятия в этом деле?

2. Выясните, какие основные показатели и экономические нормативы установлены для базового предприятия и как они отражены в планах его деятельности.

3. Что способствует и что мешает эффективному выполнению плана выпуска продукции учебно-производственным комбинатом?

4. Какой вклад в экономику вносит учебно-производственный комбинат? Каким образом можно повысить экономическую эффективность его деятельности?

### § 69. СОЗДАНИЕ НОВЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

О современных электротехнических материалах, в том числе полученных и начавших применяться сравнительно недавно, говорилось в главе 3. Рассмотрим дополнительно некоторые направления в создании новых электротехнических материалов.

Одно из главных таких направлений — создание материалов, обладающих свойством *сверхпроводимости*.

Большой интерес в этом отношении представляет использование металлического водорода. Водород, являющийся превосходным изолятором, при определенных условиях может стать идеальным проводником (сверхпроводником) электрического тока.

Благодаря бурному развитию химии и химической промышленности стало возможным получать многие материалы, *заранее задавая свойства*, которыми они должны обладать. Такие материалы нужны для различных отраслей народного хозяйства, в том числе для энергетики и электротехнической промышленности. Большое внимание уделяется, например, созданию синтетического латекса. Он представляет собой легкую, эластичную, прочную губчатую резину. Для его получения микроскопически малые частицы синтетического каучука,

находящиеся в воде во взвешенном состоянии, вспенивают воздухом и подвергают вулканизации. Синтетический латекс будут широко применять не только в электротехнической промышленности, но и в автомобилестроении, бумажной, строительной и других отраслях промышленности.

В электротехнике очень широко применяют различные изделия из *пластмасс*. Однако постоянно ведутся работы по созданию новых видов пластмасс. Создан, например, пенопласт изолан-1, который является прекрасным изолятором, легко поглощает звук, не горит.

Прогрессивно применение *композиционных материалов*. Например, в энергетике, как и в ряде других отраслей народного хозяйства, стали применять *м а с л я н и т*. Он представляет собой композицию металлов и высокополимеров и обладает высокой износостойкостью, антифрикционным свойством (смазка органически входит в его состав), не боится коррозии.

Представляет интерес и возможность применения *натрия* вместо меди для изготовления силовых кабелей. При этом 1 кг натрия может заменить 3,5 кг меди или 1,75 кг алюминия, к тому же натрий примерно в 8 раз дешевле меди. Использование натрия в сочетании с полиэтиленовой изоляцией дает возможность изготовить более гибкий кабель, чем кабель с медными или алюминиевыми жилами.

В различных переключателях, реле и других аналогичных устройствах применяют *гибкие магниты*. Для их изготовления в резиновую смесь добавляют до 80% ферритовых частичек и пропускают ее через формовочную машину. Резиновые магниты прибивают также к дверям, приклеивают к дверцам холодильников и т. д.

Одно из магистральных направлений в работе по созданию новых материалов, применяемых в электротехнике, — *синтез термостойких, жаропрочных и ограниченно горючих волокон*. В результате этого получают материалы, обладающие повышенной термостойкостью, эластичностью, электроизоляционными свойствами, прочностью, химической инертностью. Например, из полиэпоксидных полимеров и борных волокон созданы слоистые пластики, обладающие вышеуказанными свойствами.

Создание и использование новых, более совершенных материалов — одно из ведущих направлений научно-технического прогресса во всех отраслях народного хозяйства.

#### Вопросы и упражнения.

1. По каким главным направлениям осуществляется создание новых электротехнических материалов? Характерны ли эти направления для других отраслей промышленности?

2. Объясните физическую сущность явления сверхпроводимости материалов. Какой эффект дает применение сверхпроводников?

3. Выясните, какие новые материалы стали применять в последние годы на базовом предприятии.

## § 70. ПРОГРЕССИВНЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

На многих предприятиях различных отраслей промышленности широко применяют электротехнологические процессы. Их осуществляют на основе использования электронных и ионных пучков, электрических и электромагнитных полей в целях обработки и преобразования материалов. Примером их могут служить производство чугуна и стали в электрических печах электродуговым способом, получение алюминия, меди путем электролиза, закалка металлов токами высокой частоты, электрофизические способы обработки материалов и т. п.

В последние годы появился ряд новых электротехнологических процессов. Например, в промышленности стали широко использовать электрофильтры для очистки газов, электростатическую окраску, электроэмалирование, электроформирование абразивных изделий и другие аналогичные процессы. Они по сравнению с ранее осуществлявшимися электротехнологическими процессами отличаются значительными технико-экономическими преимуществами.

Сохраняет свое значение и бурно развивается *электротермия*. Электropечи, в которых осуществляются электротермические технологические процессы, позволяют получать высококачественные стали и сплавы, титан, полупроводниковые материалы. В электropечах нет необходимости сжигать твердое, жидкое или газообразное топливо, благодаря чему удается получать сверхчистые материалы и не допускать загрязнения окружающей среды.

С помощью *электронного луча* путем его фокусировки можно достигать удельной мощности от единиц до миллионов киловатт на квадратный сантиметр. Благодаря этому электронный луч используют для плавления практически любых материалов, в том числе в вакууме. Металл, переплавленный в вакууме, резко изменяет свои свойства. Например, из обработанного таким образом тугоплавкого металла — ниобия получают пластичный материал, из которого методом холодной прокатки изготавливают фольгу толщиной  $10^{-6}$  м.

Для обработки металлов, диэлектриков и полупроводников стали применять *электронно-лучевые станки*. Их действие основано на применении потока электронов, ускоренных напряжением до 150 кВ и сфокусированных в узкий луч диаметром около микрометра. Если такой луч направить на любой материал, то он мгновенно испарится. Таким образом можно с очень большой степенью точности (до микрометров) резать, сверлить, фрезеровать любой материал.

В промышленности и сельском хозяйстве часто бывает необходимо очищать газы, сепарировать твердые частицы, разделять на отдельные компоненты жидкости и т. п. В этих целях

все более широко стали применять электротехнологию. Указанные процессы осуществляют благодаря использованию *сильных электрических полей*. Под влиянием этих полей частицы вещества, которым сообщают электрический заряд, перемещаются в заданном направлении.

С каждым годом все труднее перечислить области применения электротехнологических процессов. Они проникают в самые различные отрасли народного хозяйства. Повышение урожайности зерновых культур за счет предварительной обработки семян в сильном электрическом поле, производство волокнистых и ворсовых материалов путем ориентирования заряженных частиц, помещенных в электрическое поле, в нужном направлении, использование электростатического поля для копирования чертежей в полиграфии, удлинение сроков сохранения овощей, молока, мяса и других скоропортящихся продуктов благодаря их электронно-ионной обработке, применение токов высокой частоты для шитья обуви и в кулинарной промышленности — эти и многие другие примеры далеко не исчерпывают всех возможностей электротехнологии.

#### **Вопросы**

1. Какие физические явления лежат в основе электротехнологических процессов?

2. Приведите примеры применения в различных отраслях народного хозяйства электротехнологических процессов. Какие из них внедрены на базовом предприятии, в учебно-производственном комбинате?

### **§ 71. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ**

Повышение эффективности общественного производства — это стремление при наименьших трудовых, материальных и финансовых затратах получить как можно больше продукции, материальных благ, необходимых для удовлетворения потребностей всех членов социалистического общества.

Борьба за повышение эффективности и качества работы пронизывает собой всю деятельность любого предприятия, в том числе электротехнического. Пути и методы этой борьбы, применяемые на различных предприятиях, в большинстве своем сходные. Среди них планирование, организация, управление деятельностью предприятия, осуществляемые на строго научной основе, строжайшее соблюдение норм и требований технологии, соблюдение плановой, трудовой и технологической дисциплины.

Повышению эффективности и качества электротехнических работ способствуют единые для всех отраслей производства условия, факторы и мероприятия:

концентрация, специализация, кооперирование и комбинирование производства;

электрификация, комплексная механизация, автоматизация и химизация производственных процессов;

применение промышленных роботов, электронно-вычислительных машин (ЭВМ) и микропроцессорной техники;

стандартизация и унификация выпускаемых изделий, повышение их прочности, надежности и долговечности; улучшение внешнего оформления изделия;

применение Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП), Единой системы конструкторской документации (ЕСКД);

использование технического нормирования, выполнение требований научной организации труда (НОТ), широкое применение прогрессивных бригадных форм организации труда, развитие социалистического соревнования;

широкое внедрение системы бездефектного изготовления продукции и сдачи ее с первого предъявления, системы управления качеством продукции;

внедрение новейших достижений науки и техники, новых материалов, прогрессивных технологических процессов;

создание и все более широкое применение управляющих машин, способных вести управление как отдельным технологическим процессом, так и их сложной совокупностью;

увеличение мощности, скорости работы, повышение надежности и экономичности рабочих машин, переход от применения отдельных машин к автоматической системе машин;

совершенствование планирования и управления предприятием на основе осуществления в этом деле единых принципов и выполнения требований, сформулированных в партийных и правительственных документах.

В основе *системы бездефектного изготовления продукции* и сдачи ее с первого предъявления лежит строгая ответственность каждого рабочего и всего коллектива предприятия за высокое качество изготавливаемой продукции. Продукцию сдают в отдел технического контроля (ОТК) только после того, когда непосредственные исполнители и руководители сами проконтролируют качество продукции. Если же ОТК обнаружит дефект в этой продукции, то вторично сдать ее в ОТК после устранения брака может разрешить лишь начальник цеха, а сдачу в третий раз — только директор предприятия.

Рассматриваемая система стимулирует качественный выпуск продукции: за продукцию, сданную с первого предъявления, работникам выплачивают премию; применяются и другие методы стимулирования выпуска продукции высокого качества.

На предприятиях страны внедряется *комплексная система управления качеством продукции*. В ее основе лежит применение комплекса стандартов. Она охватывает такие элементы, факторы

и показатели, как степень прогрессивности оборудования и технологии, соблюдение производственной и технологической дисциплины, качество работы отдельных исполнителей, подбор и расстановка кадров, организация труда и производства, создание благоприятного психологического климата в коллективе.

### **Вопросы и упражнения**

1. Какое значение для нашей страны имеет борьба за повышение эффективности и качества общественного производства?

2. В чем состоит основная работа на предприятиях по повышению эффективности производства и качества продукции?

3. Изучите на примере учебно-производственного комбината и базового предприятия конкретные способы борьбы за повышение эффективности производства и качества выпускаемой продукции. Предложите пути дальнейшего совершенствования этой работы.

4. В чем состоит и на что направлена система бездефектного изготовления продукции и сдачи ее с первого предъявления? Выясните, какой эффект дает внедрение этой системы на окружающих школу предприятиях.

5. В чем состоит и на что направлена комплексная система управления качеством продукции? Выясните, какой эффект дает внедрение этой системы на окружающих школу предприятиях.

## **§ 72. ЭНЕРГЕТИКА И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

### **НЕОБХОДИМОСТЬ И ЗАДАЧИ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

В процессе производства материальных благ человек воздействует на природу главным образом с помощью орудий труда (средств производства). По мере бурного развития экономики это воздействие наряду с пользой для человека может вызвать отрицательные последствия для окружающей среды. С целью исключения или уменьшения неблагоприятного для окружающей среды действия указанных факторов необходимо осуществлять производственные процессы таким образом, чтобы природа сохранялась, а ее богатства приумножались.

Охрана природы и окружающей среды стала делом всего прогрессивного человечества. Окружающая среда в широком смысле слова — это социальные, природные и искусственно создаваемые явления и объекты, с которыми связаны труд, быт и отдых людей. В СССР в отличие от капиталистических стран планомерно и целенаправленно осуществляется использование и охрана окружающей среды. Возможность этого обеспечивается преимуществами социалистического строя, прежде всего государственной собственностью на природные богатства.

Коммунистическая партия и Советское правительство проявляют постоянную заботу об охране окружающей среды и защите человека от вредного влияния экологических факторов.

С этой целью намечены и осуществляются комплексные мероприятия государственного, политического, экономического, планового, технологического, управленческого порядка. Например, **уделяется большое внимание** широкому внедрению прогрессивных технологических процессов, развитию комбинированных производств, обеспечивающих полное и комплексное использование природных ресурсов, сырья и материалов, исключающих или существенно снижающих вредное воздействие на окружающую среду. В СССР проводят работы по проектированию крупных народнохозяйственных систем с учетом их широких связей с окружающей средой (биоэкономическое проектирование).

К охране природы еще шире будет привлекаться общественность и одновременно с этим станут более совершенными государственное управление и контроль в области природоиспользования и охраны окружающей среды.

При изучении биологии, химии, физики и других предметов мы получили общее понятие об экологии. Среди круга вопросов, касающихся охраны окружающей среды, важное место занимают такие, как изменение природы человеком в процессе труда.

Важно не только знать о том, что к окружающей среде надо относиться бережно и ответственно, необходимо своими практическими действиями в отношении к окружающей среде проявить взгляды, убеждения, умения.

#### **ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

Бурное развитие энергетики в нашей стране осуществляется в тесном единстве с мероприятиями по охране окружающей среды. Последние необходимы потому, что в энергетических установках, например на тепловых электрических станциях, широко используют твердое, жидкое и газообразное топливо. Однако прежде чем сжигать топливо, нужно извлечь из него ценную промышленную продукцию. Поэтому разрабатывают и применяют такие энерготехнологические процессы, которые позволяют комплексно перерабатывать и использовать топливо. Например, газ перед сжиганием подвергают термическому разложению, получая при этом ацетилен, этилен, водород, сажу, графит. Эти продукты используют в различных отраслях промышленности (например, графит — в электротехнической промышленности) для получения полезных изделий, а водород — в качестве топлива, которое при сжигании не загрязняет природу.

При работе тепловых электрических станций в атмосферу выделяется дым, образующийся в процессе сгорания топлива. В дыме содержатся продукты сгорания топлива (оксиды серы,

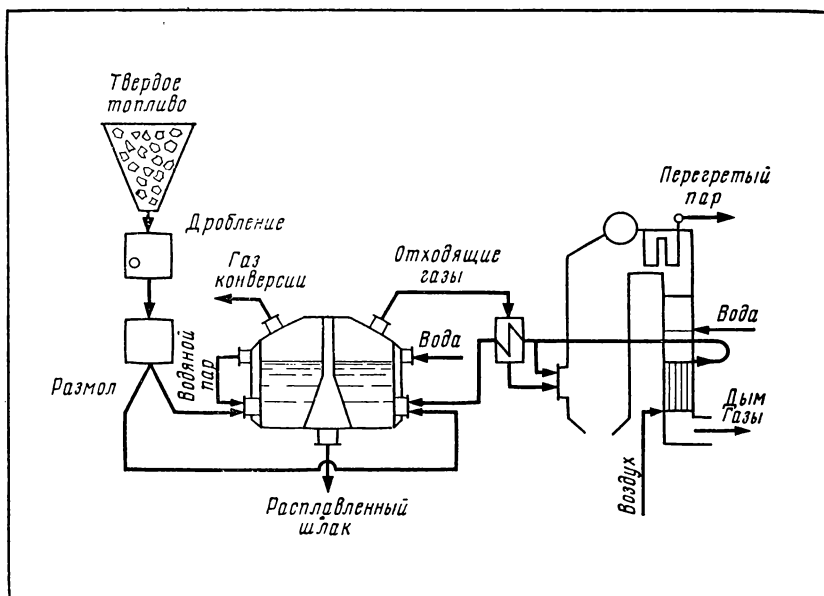


Рис. 122. Схема топливopереработки в энерготехнологическом комплексе на базе тепловой электростанции.

углерода, сажа, углеводороды и т. п.), которые загрязняют атмосферу. Чтобы уменьшить степень загрязнения атмосферы, на электростанциях устанавливают золоуловители, а также используют крупные агрегаты, в которых достигается практически полное сгорание топлива (КПД работы современных агрегатов достигает 95—99%).

Для примера на рисунке 122 показана схема переработки топлива в энерготехнологическом комплексе на базе тепловой электрической станции. В данном случае решается комплексная задача: использование топлива для получения пара, приводящего в действие турбогенератор (производство электрической энергии); получение водорода, серы и изделий из расплавленного шлака; исключение выброса в атмосферу оксидов серы и других вредных продуктов сгорания топлива. Достигается это следующим образом.

Конвертор и парогенератор (см. рис. 122) связаны общими газо-, воздухо- и паропроводами и образуют единый энерготехнологический комплекс. Твердое топливо после дробления и размола поступает одновременно в две камеры конвертора. Одна из них служит для сжигания топлива с целью нагревания воды и получения пара; продукты сгорания топлива в виде газов при температуре выше 1500 °С из этой камеры поступают в парогенератор, где при сгорании выделяют в меньшем коли-



честве продукты отхода. Такой двухступенчатый режим сжигания топлива снижает количество загрязняющих атмосферу оксидов азота. В другую камеру конвертора поступает пылевидное топливо путем его вдувания паром и горячим воздухом; в ней происходит конверсия (изменение, переработка) твердого топлива: из него получается газообразное топливо (газ конверсии), из которого в последующем выделяют водород (топливо, не дающее вредных отходов) и серу. Необходимая для осуществления этого процесса энергия выделяется горячей водой, нагреваемой в камере конвертора, в которой сжигается твердое топливо.

На тепловых электростанциях, а также на многих предприятиях машиностроения, металлообработки, химической промышленности и других в большом количестве применяют воду для охлаждения оборудования, сырья, готовой продукции. В результате вода загрязняется механическими примесями и растворимыми химическими веществами. Сток такой воды в водоемы загрязняет их. Наиболее радикальный путь предотвращения загрязнения водоемов сточными водами — применение *безотходной технологии*, т. е. таких технологических процессов и мер, которые позволяют получать не только готовую продукцию, но и перерабатывать отходы производства и исключать сток загрязненной воды. Более успешно эта проблема решается при создании территориально-производственных комплексов.

Для уменьшения степени загрязнения окружающей среды отходами различных промышленных предприятий широко применяют *электрофилтры*. Они служат главным образом для очистки газов и воздуха от пыли. Рассмотрим устройство и действие одного из видов электрофилтров. В камере располагают коронирующие и осадительные электроды. Коронирующие электроды сделаны из проволоки или металлической ленты, а осадительные — в виде металлических пластин или цилиндров.

На коронирующие электроды подают отрицательный потенциал до 100 кВ, а осадительные — соединяют с положительным полюсом источника тока. При этом возникает коронный разряд, вследствие чего происходит направленное движение электронов и отрицательных ионов от коронирующих к осадительным электродам. Взвешенные в газе (воздухе) частицы пыли, двигаясь с небольшой скоростью в камере электрофилтра, адсорбируют ионы, заряжаются и начинают двигаться по направлению к осадительным электродам. Осевшая на осадительных электродах пыль удаляется путем встряхивания электродов или смыванием с помощью специальных приспособлений. Для питания электрофилтров используют специальную выпрямительную подстанцию, оборудованную средствами автоматической защиты от коротких замыканий.

Электромагнитное поле, создаваемое линиями электропередачи, электросетями электрифицированного транспорта, радио-

передающими устройствами, в определенной мере отрицательно влияет на состояние здоровья человека. Поэтому новые линии электропередачи высокого напряжения, мощные радиостанции размещают вдали от населенных пунктов, а вокруг них создают санитарно-защитные зоны. Однако это требование не всегда соблюдалось раньше. Поэтому в порядке санитарного надзора периодически измеряют напряженность электромагнитного поля на территории жилых районов и зон, расположенных вблизи от указанных выше источников электромагнитного излучения. Если напряженность поля превышает допустимый уровень, то для защиты населения от отрицательного воздействия излучения экранируют жилые помещения, снижают мощность передатчиков, изменяют направление антенн и т. п., а при строительстве в этой зоне новых жилых зданий применяют специальные строительные конструкции, поглощающие электромагнитные волны.

Сильно загрязняется атмосфера в результате работы автотранспорта. Поэтому, кроме других мер, направленных на уменьшение степени загрязнения атмосферы, все большее внимание уделяют электромобилям. Электромобиль в отличие от автомобиля приводится в движение электрическим двигателем, питающимся от аккумуляторов. В связи с развитием выпуска электромобилей приходится решать сложные проблемы: создание компактных, недорогостоящих аккумуляторов, быстродействующих зарядных устройств. Одновременно ведутся работы по созданию новых топливных элементов.

### **Вопросы и упражнения**

1. Вследствие чего происходит истощение, загрязнение, разрушение природных ресурсов и окружающей среды?
2. В чем заключаются основные задачи работы по охране окружающей среды?
3. Какие мероприятия осуществляют в нашей стране с целью рационального использования и охраны природы и окружающей среды?
4. Какими способами добиваются охраны окружающей среды при производстве электроэнергии?
5. Объясните принцип действия электрофилтра.
6. Какие меры применяют для защиты населения от электромагнитного излучения?
7. Ознакомьтесь во время экскурсии на электротехническое предприятие с тем, как на нем осуществляется защита окружающей среды от загрязнения.
8. Внесите предложения по улучшению работы школы, учебно-производственного комбината, базового предприятия по охране окружающей среды. Примите в этой работе непосредственное участие.

## **§ 73. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ**

Энергетический потенциал народного хозяйства неуклонно возрастает. Это достигается благодаря концентрации мощностей на электростанциях и в линиях электропередачи, централизации электроснабжения, комплексному и экономному использованию энергетических ресурсов, разработке и использо-

ванию новых источников энергии. Благодаря опережающему развитию энергетики создается хорошая база для прогресса во всех отраслях промышленности, сельского хозяйства, строительства, транспорта, а также в области повышения культурного уровня и благосостояния советских людей.

По многим важным показателям советская энергетика занимает передовые позиции в мире. Например: введены в эксплуатацию энергоблоки мощностью по 500 и 800 тыс. кВт; один агрегат Костромской ГРЭС мощностью 1200 тыс. кВт способен дать столько электрической энергии, сколько ее вырабатывали все электростанции дореволюционной России.

Тем не менее увеличивающаяся потребность в различных видах энергии требует осуществления крупных мероприятий по повышению эффективности работы энергетических предприятий и установок и поиску путей создания и использования новых источников энергии.

КПСС и Советское правительство проявляют большую заботу о своевременном и досрочном вводе в действие крупных энергетических объектов, более эффективной эксплуатации имеющихся электростанций, ускорении строительства линий электропередачи, бесперебойном снабжении энергией народного хозяйства и населения страны.

С целью более рационального использования энергетических ресурсов снижают долю нефти как топлива, заменяют ее газом и углем, быстро развивается атомная энергетика, продолжается поиск принципиально новых источников энергии.

Планами партии и государства предусмотрено развитие топливно-энергетического комплекса страны. Его основная задача — обеспечить потребности страны во всех видах энергии и топлива, осуществлять целенаправленную энергосберегающую политику.

В нашей стране высокого уровня развития достигли все отрасли энергетики — теплоэнергетика, гидроэнергетика, электроэнергетика, ветроэнергетика, атомная и ядерная энергетика. Ученые, инженеры, техники, передовые рабочие разрабатывают и осваивают новые способы получения и использования энергии.

*Атомная энергетика* родилась на основе открытий в области ядерной физики. Возникновение новой, перспективной отрасли народного хозяйства — ядерной энергетики — было ознаменовано 27 июня 1954 г. пуском в СССР первой в мире атомной электростанции мощностью 5 тыс. кВт, построенной в Обнинске Калужской области. В течение последующих 20 лет в разных странах было введено в действие более 100 атомных электростанций общей мощностью примерно 40 млн. кВт. Среди них начали действовать в СССР Ленинградская и Кольская атомные электростанции и др. В последующие годы продолжалось строительство еще ряда атомных электростанций. По мнению ведущих специалистов, в перспективе половина всех электростанций будет работать благодаря использованию атомной

энергии. Развитие техники использования ядерного деления привело к созданию новых типов реакторов — реакторов на быстрых нейтронах. Кроме производства электроэнергии, в этих реакторах осуществляется воспроизводство ядерного горючего. Постройка реакторов на быстрых нейтронах делает атомные электростанции более экономичными.

Исследования свойств атомных ядер натолкнули ученых на открытие способа получения ядерной энергии, в основе которого лежит синтез легких элементов. Например, при слиянии ядер изотопов водорода (дейтерия и трития) образуется ядро атома гелия и при этом выделяется огромная энергия. Однако на пути промышленного использования энергии ядерного синтеза лежат определенные трудности: необходима высокая температура (порядка 100 млн. °С); требуется осуществить управление процессом ядерного синтеза. Этими проблемами занимаются ученые в различных странах, но наибольших успехов достигли в СССР.

Дальнейшее совершенствование процесса производства электроэнергии на тепловых электростанциях характеризуется внедрением *бинарных энергетических агрегатов*. Например, в ртутно-водяных энергетических установках теплота, выделяющаяся при сгорании топлива, передается парам ртути, которые совершают полезную работу в ртутной турбине. После этого пары ртути поступают в конденсатор-испаритель и всю оставшуюся энергию отдают пару, совершающему работу в паровой турбине.

В развитии *гидроэнергетики* наша страна достигла гигантских успехов. Дальнейшее совершенствование гидроэнергетической техники направлено на разработку более мощных гидротурбин, повышение их КПД, рациональное использование энергии воды и снижение затрат на строительство гидротехнических сооружений. Большое внимание уделяется комплексному использованию гидроэнергетических ресурсов с целью получения электроэнергии, осуществления работ по орошению земель, созданию условий для повышения эффективности рыбоводства с обязательным применением мер по охране окружающей среды. Перспективна и разработка новых гидроресурсов — энергии приливов и отливов. Первым шагом на этом пути является приливная электростанция на Кольском полуострове мощностью 1 тыс. кВт.

В процессе преобразования теплоты в механическую энергию, а затем механической энергии в электрическую теряется много энергии. Поэтому перспективен путь получения электрической энергии путем непосредственного преобразования теплоты в электрическую энергию. Это осуществляется в *магнито-гидродинамических генераторах* (МГД-генераторах), *термо-электрических и термоэлектронных элементах*.

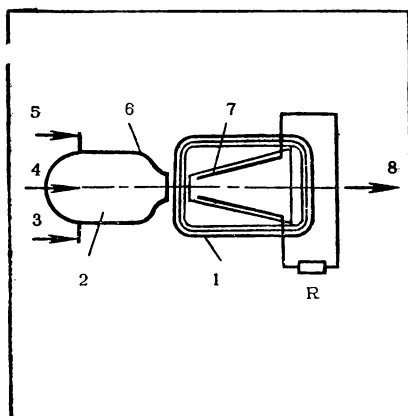


Рис. 123. Схема магнитогидродинамического генератора: 1 — обмотка электромагнита; 2 — камера сгорания; 3 — присадка; 4 — воздух; 5 — топливо; 6 — сопло; 7 — канал; 8 — выход газов.

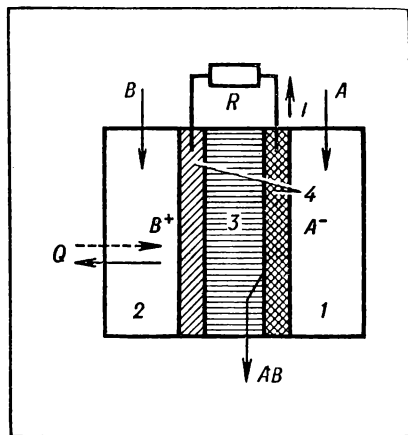


Рис. 124. Схема топливного элемента: 1 и 2 — полости с реагентами; 3 — электролит; 4 — электроды; A — окислитель; B — топливо; AB — продукты реакции; R — нагрузка; I — электрический ток; Q — теплота, выделяемая (поглощаемая) в результате реакции.

Из курса физики известно, что при высоких температурах происходит ионизация газов, некоторые газы при этом превращаются в плазму.

Если пропустить плазму с большой скоростью в узком канале между полюсами магнита, то на противоположных стенках канала возникнет электрическое напряжение. Таким образом получается МГД-генератор (рис. 123). В СССР в 1971 г. впервые в мире пущен МГД-генератор У-25 мощностью 25 МВт, пригодный для промышленного использования.

Создаются и более мощные МГД-генераторы, но на пути их промышленного использования стоит решение проблем по созданию недорогостоящих материалов, выдерживающих температуру до 3000 °С, и получению сильных магнитных полей.

Прогрессивны новые способы получения электроэнергии за счет непосредственного преобразования энергии химических связей.

Гальванические элементы и аккумуляторы, где происходит такое преобразование, применяют давно. Однако их не используют в качестве энергетических установок, так как они не обеспечивают непрерывное получение электроэнергии и имеют слишком ограниченный запас химического горючего.

Более прогрессивными в этом отношении являются *топливные элементы* как важные части *электрохимических генераторов*. В топливном элементе (рис. 124) электрическая энергия получается за

счет окислительно-восстановительной реакции топлива и окислителя в присутствии катализатора. Например, в качестве топлива может быть водород, окислителя — кислород, катализатора — платина, серебро; тогда получается кислородно-водородный топливный элемент. В кислородно-водородных топливных элементах запас химического горючего непрерывно пополняется: в растворе электролита помещены металлические пластины, пропускающие кислород и водород; в этом растворе происходит реакция соединения кислорода с водородом, в результате чего на пластинах возникает электрическое напряжение.

Батареи таких топливных элементов достигают мощности примерно 5 кВт при КПД 80%. Ученые работают над их дальнейшим совершенствованием: заменой водорода природным газом, повышением мощности элементов и их КПД.

Перспективным в энергетических целях является использование полупроводниковых материалов при термоэлектрическом способе получения электроэнергии, преобразование солнечной энергии в электроэнергию.

Ученые и инженеры продолжают поиск новых источников энергии, более эффективных способов ее получения, передачи и использования.

### **Вопросы**

1. Каковы главные направления прогресса в современном топливно-энергетическом комплексе?

2. Какие физические явления используют для создания атомных электростанций? Почему атомную энергетику называют энергетикой будущего?

3. Объясните принцип работы бинарных энергетических установок. Каковы их преимущества по сравнению с другими установками?

4. Как работает МГД-генератор? Можно ли построить МГД-генератор переменного тока?

5. Как работают топливные элементы? Каковы перспективы их промышленного использования?

6. Объясните принцип получения электроэнергии за счет использования энергии солнца, приливов и отливов, геотермальных вод.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Авометр** 135  
**Автоматический выключатель** 92, 103  
**Автотрансформатор** 43, 159  
**Алюминий** 51, 52  
**Асинхронный электродвигатель** одно-  
фазный 170  
— трехфазный с короткозамкнутым ро-  
тором 163  
— трехфазный с фазным ротором 169  
**Блокировка электрическая** 175  
**Бронза** 51, 52  
**Вентиль полупроводниковый** 68, 172  
**Выбор автоматического выключае-  
ля** 104  
— контактора 106  
— магнитного пускателя 109  
— предохранителей электрических 98  
— проводов 84, 85, 87, 89  
— электродвигателя 165, 168, 174  
— электроизмерительных приборов 124  
— электротехнических материалов 48,  
50, 52, 57, 59, 79  
**Выпрямление переменного тока** 67, 70,  
171  
**Гетинакс** 61, 63  
**Гистерезис** 75, 156  
**Датчик** 137  
**Добавочный резистор** 129  
**Дугогасящая камера** 92, 104, 106, 205  
**Дырочная проводимость** 65  
**Единицы электрических величин** 110,  
111  
**Заземление** 22, 25, 40, 160  
**Заземлитель** 25, 26, 193  
**Заземляющее устройство** 25  
**Заземляющий проводник** 25, 26  
**Зануление** 27, 152  
**Защитные средства от поражения эле-  
ктрическим током** 18, 20  
**Измерение мощности электрического  
тока** 129  
— напряжения 128, 136  
— неэлектрических величин 137  
— работы электрического тока 122, 130,  
134  
— силы тока 127, 136  
— сопротивления заземляющего уст-  
ройства 26, 132  
— сопротивления изоляции прово-  
дов 132  
— частоты вращения 138  
— частоты электрического тока 132  
— электрического сопротивления 130,  
136  
**Измерительный трансформатор** 160  
**Канифоль** 60, 80  
**Катушка электромеханического устрой-  
ства** 42, 95  
**Класс точности** 111, 123  
**Клеевое соединение** 80, 201  
**Контактор** 92, 105  
**Контакты электрические** 40, 41, 52, 93,  
204  
**Корректор** 111, 113, 115  
**Латунь** 51, 52  
**Лента электроизоляционная** 63  
**Линейное напряжение** 152  
**Линейный провод** 151  
**Линейный ток** 152  
**Люминесцентная лампа** 182  
**Магнитный пускатель** 92, 107  
**Магнитопровод** 42, 94, 154  
**Медь** 51, 52  
**Миканит** 62, 144, 208  
**Монтажная схема** 36  
**Монтаж электрической аппаратуры** 203  
— электропривода 202  
— электропроводки 199  
— электроустановок 14  
**Нейтраль** 151  
**Нейтральный провод** 151  
**Номинальная мощность** 13

- Номинальная сила тока 13  
Номинальное напряжение 13  
Номинальный режим 13  
Нулевой провод 152
- Обмотка 44, 95, 143, 155, 220  
— напряжения 44, 119, 122  
— токовая 44, 119, 122
- Обратимость электрических машин 142, 149
- Опрессование 195
- Пайка 52, 80, 188
- Пермаллой 78
- Помощь пострадавшему от электрического тока 22
- Полимерные материалы 62
- Полупроводниковый диод 46, 70
- Поражение электрическим током 17, 18
- Правила выполнения электрических схем 36, 37  
— измерений 127  
— левой руки 141  
— отделения пострадавшего от токоведущих частей 22  
— поведения на рабочем месте 16  
— правой руки 140  
— техники электробезопасности 20, 24, 158, 203
- Принципиальная схема 35
- Припой 80, 81
- Проверка наличия напряжения 22, 24
- Расцепитель 103
- Реверсирование 108, 167, 176
- Реле классификация 100  
— магнитоэлектрическое 101  
— регулирование 103  
— электромагнитное 101  
— электротепловое 42, 102
- Сборка коллектора 207  
— обмоток 205, 208  
— сердечников статоров, роторов, полюсов 206  
— электрических аппаратов 204  
— электрической машины 205
- Сверхпроводимость 50, 222
- Скольжение 164
- Соединение звездой 151  
— проводов 194  
— треугольником 151
- Сталь электротехническая 51, 52, 77
- Структурная схема 35
- Тахометр 138
- Текстолит 61, 63
- Тиристор 46, 72
- Транзистор 46, 71
- Трансформаторов классификация 157, 159  
— проверка 158  
— работа под нагрузкой 157  
— холостой ход 157
- Трехфазная система 150
- Трубогиб 191
- Уголь электротехнический 53
- Успокоитель 115, 123
- Фазное напряжение 151
- Фазный ток 152
- Ферриты 78, 223
- Ферромагнитные материалы 74
- Фибра 61, 63
- Частота вращения 68, 92, 141, 145, 164
- Шихтовочный знак 206
- Шунт 44, 127
- Щетки электрические 53, 144
- Экономия материалов 52, 88, 189, 223  
— электроэнергии 8, 11, 185, 206
- Электрическая прочность диэлектрика 55, 58, 59
- Электрические предохранители 40, 98  
— схемы 30, 31, 37
- Электронизмерительные приборы вибрационной системы 114, 132  
— индукционной системы 114, 121, 125  
— магнитоэлектрической системы 111, 114, 116, 125  
— ферродинамической системы 121, 125  
— электродинамической системы 114, 119, 125  
— электромагнитной системы 111, 114, 118, 125
- Электромонтажный инструмент 15, 16
- Электронная проводимость 65
- Электронно-дырочный переход 66
- Электроприемник 12
- Электропроводка 198
- Электротехника 3
- Электротравма 17
- Электроустановка 12
- Энергосистема 8



# О Г Л А В Л Е Н И Е

<b>В в е д е н и е . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. Основные сведения об электротехническом производстве и технике безопасности . . . . .</b>	<b>7</b>
§ 1. Энергетика . . . . .	—
§ 2. Электротехническое производство . . . . .	10
§ 3. Общие сведения об электроустановках . . . . .	11
§ 4. Рабочее место . . . . .	14
§ 5. Правила техники безопасности при выполнении электротехнических работ . . . . .	17
§ 6. Заземляющее устройство . . . . .	24
<b>Глава 2. Стандарты и техническая документация . . . . .</b>	<b>28</b>
§ 7. Общие сведения о стандартах . . . . .	—
§ 8. Понятие о технологической документации . . . . .	30
§ 9. Основные сведения об электрических схемах . . . . .	31
§ 10. Условные графические обозначения в электрических схемах . . . . .	37
§ 11. Буквенно-цифровые условные обозначения на электрических схемах . . . . .	—
<b>Глава 3. Электротехнические материалы . . . . .</b>	<b>48</b>
§ 12. Классификация электротехнических материалов . . . . .	—
§ 13. Свойства проводниковых материалов . . . . .	49
§ 14. Характеристики проводниковых материалов . . . . .	50
§ 15. Свойства электроизоляционных материалов . . . . .	54
§ 16. Характеристики газообразных и жидких электроизоляционных материалов . . . . .	58
§ 17. Характеристики твердых электроизоляционных материалов . . . . .	59
§ 18. Свойства полупроводниковых материалов . . . . .	64
§ 19. Виды полупроводниковых материалов . . . . .	67
§ 20. Полупроводниковые приборы . . . . .	69
§ 21. Свойства магнитных материалов . . . . .	74
§ 22. Характеристики магнитных материалов . . . . .	77
§ 23. Вспомогательные электротехнические материалы и конструктивные изделия . . . . .	79
§ 24. Установочные провода . . . . .	83
§ 25. Монтажные провода . . . . .	86
§ 26. Обмоточные провода . . . . .	88
§ 27. Кабели . . . . .	90
<b>Глава 4. Аппаратура управления электроустановками . . . . .</b>	<b>92</b>
§ 28. Общие сведения об электрических аппаратах . . . . .	—
§ 29. Электрические аппараты ручного управления . . . . .	97
§ 30. Реле и автоматические выключатели . . . . .	100
§ 31. Контактные и магнитные пускатели . . . . .	105

<b>Глава 5. Электрические измерения . . . . .</b>	<b>110</b>
§ 32. Устройство электроизмерительных приборов . . . . .	—
§ 33. Измерительные преобразователи . . . . .	113
§ 34. Приборы магнитоэлектрической системы . . . . .	116
§ 35. Приборы электромагнитной системы . . . . .	118
§ 36. Приборы электродинамической системы . . . . .	119
§ 37. Приборы индукционной системы . . . . .	121
§ 38. Техническая характеристика электроизмерительных приборов	123
§ 39. Способы измерения электрических величин . . . . .	127
§ 40. Комбинированные электроизмерительные приборы . . . . .	135
§ 41. Измерение неэлектрических величин электрическими методами	137
<b>Глава 6. Электрические машины и оборудование . . . . .</b>	<b>140</b>
§ 42. Назначение, принцип работы и классификация электрических машин . . . . .	—
§ 43. Электрические машины постоянного тока . . . . .	142
§ 44. Трехфазный синхронный генератор . . . . .	149
§ 45. Способы соединения трехфазных цепей . . . . .	151
§ 46. Виды и характеристики трансформаторов . . . . .	154
§ 47. Трехфазный асинхронный электрический двигатель с короткозамкнутым ротором . . . . .	163
§ 48. Трехфазный асинхронный электрический двигатель с фазным ротором . . . . .	169
§ 49. Однофазный асинхронный электрический двигатель . . . . .	170
§ 50. Выпрямители переменного тока . . . . .	171
§ 51. Управление электроприводом . . . . .	173
§ 52. Распределительные устройства . . . . .	179
§ 53. Осветительные электрические установки . . . . .	180
§ 54. Электроснабжение предприятия . . . . .	185
<b>Глава 7. Технология электротехнических работ . . . . .</b>	<b>187</b>
§ 55. Основные сведения о технологическом процессе . . . . .	—
§ 56. Общая технология электромонтажных работ . . . . .	189
§ 57. Слесарные работы при монтаже электроустановок . . . . .	191
§ 58. Соединение и оконцевание проводов и кабелей . . . . .	194
§ 59. Монтаж электропроводок . . . . .	198
§ 60. Монтаж и обслуживание электропривода . . . . .	202
§ 61. Сборка электрических аппаратов . . . . .	204
§ 62. Сборка электрических машин . . . . .	205
§ 63. Комплексная механизация электротехнических работ . . . . .	210
§ 64. Автоматизация электротехнического производства . . . . .	211
<b>Глава 8. Основы экономики, организация производства и перспективы его развития . . . . .</b>	<b>215</b>
§ 65. Задачи и структура электротехнического предприятия . . . . .	—
§ 66. Производственные фонды электротехнического предприятия	217
§ 67. Организация производства на электротехнических предприятиях . . . . .	218
§ 68. Планирование деятельности предприятия . . . . .	221
§ 69. Создание новых электротехнических материалов . . . . .	222
§ 70. Прогрессивные электротехнологические процессы . . . . .	224
§ 71. Повышение эффективности и качества электротехнических работ . . . . .	225
§ 72. Энергетика и охрана окружающей среды . . . . .	227
§ 73. Перспективы развития энергетики . . . . .	231
<b>Предметный указатель . . . . .</b>	<b>236</b>

*Валерий Алексеевич ПОЛЯКОВ*

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

Зав. редакцией *Т. С. Дагаева*

Редактор *А. Ф. Раева*

Младшие редакторы *Т. Н. Ключева, И. А. Шукина*

Художники *Т. Я. Демина, Ю. В. Назаров, Э. М. Фрам*

Художественный редактор *К. Д. Хлестова*

Технический редактор *М. М. Широкова*

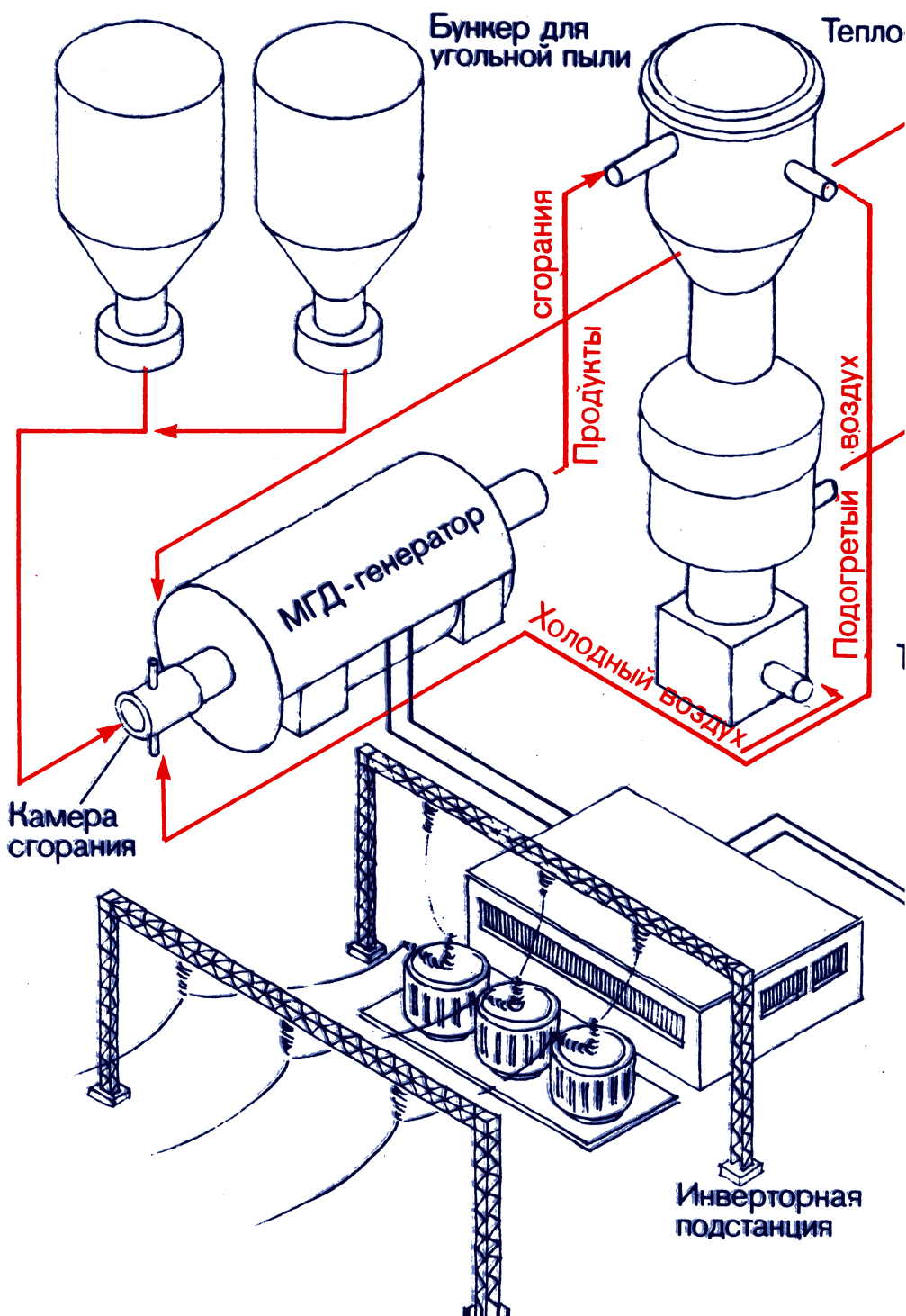
Корректор *Л. А. Ежова*

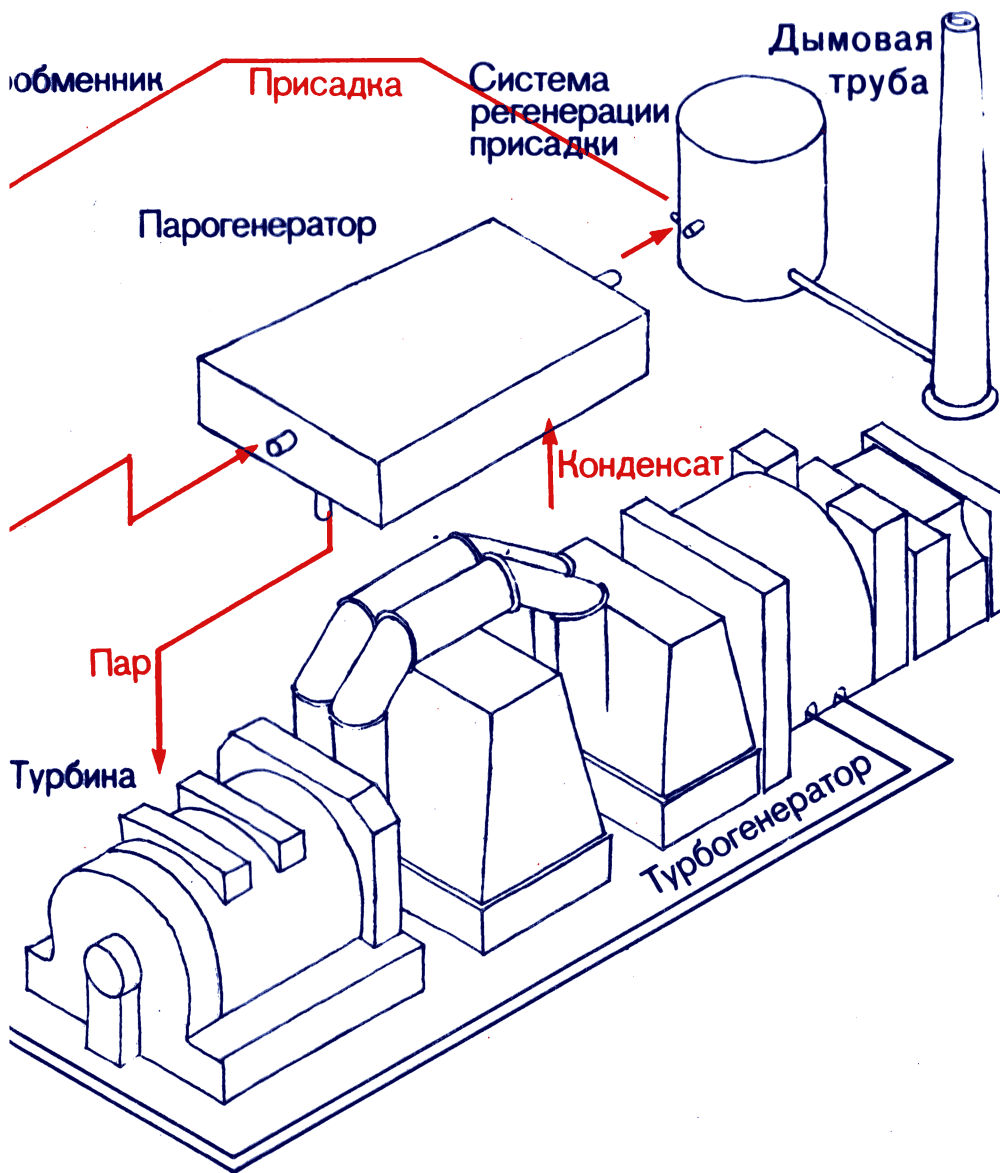
ИБ № 9121

Сдано в набор 12.06.85. Подписано к печати 06.02.86. Формат  $60 \times 90^{1/16}$ . Бумага типограф. № 1. Гарнит. литер. Печать высокая. Усл. печ. л. 15 + 0,25 форзац. Усл. кр.-отт. 15,75. Уч.-изд. л. 15,92 + 0,52 форзац. Тираж 354 000 экз. Заказ № 157. Цена 30 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 129846, Москва, 3-й проезд Марьиной роши, 41.

Саратовский ордена Трудового Красного Знамени полиграфический комбинат Росглавполиграфпрома Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Саратов, ул. Чернышевского, 59.





**ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ  
С МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ  
ГЕНЕРАТОРОМ**

30 к.

