

ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

9·10

КЛАССЫ

В. А. ПОЛЯКОВ

ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
для учащихся IX и X классов**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОСВЕЩЕНИЕ» • МОСКВА 1968

*Одобрено Учебно-методическим советом
Министерства просвещения РСФСР*

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Настоящее учебное пособие предназначено для учащихся IX и X классов общеобразовательной трудовой политехнической школы. Оно содержит краткие теоретические и справочные сведения по электротехнике, а также инструктивные указания по выполнению практических работ, предусмотренных учебной программой трудового политехнического практикума по электротехнике.

Издательство просит учителей и методистов дать свои замечания по книге, в какой степени она удовлетворяет учащихся при выполнении практических работ по электротехнике.

Замечания и предложения по книге направлять по адресу: Москва, И-18, 3-й проезд Марьиной рощи, д. 41, редакция литературы по трудовому обучению.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие народного хозяйства, удовлетворение растущих материальных и духовных потребностей советского человека было бы невозможным без широкого применения электрической энергии во всех отраслях промышленности, в сельском хозяйстве, на транспорте, в строительстве, быту. Для этого ежедневно требуется примерно полтора миллиарда киловатт-часов электроэнергии. Вот почему в нашей стране уделяется такое внимание постоянному росту производства электроэнергии.

В дореволюционной России в 1913 г. производилось всего лишь 2 млрд. *квт · ч* электроэнергии. Теперь только одна Братская ГЭС имени 50-летия Великого Октября вырабатывает в два раза больше электроэнергии.

В 1920 г. по инициативе В. И. Ленина был принят план государственной электрификации России — ГОЭЛРО. Комиссией ГОЭЛРО руководил видный советский ученый-энергетик академик Г. М. Кржижановский. По плану ГОЭЛРО намечалось в течение 10—15 лет построить 30 крупных районных электростанций общей мощностью 1,5 млн. *квт*. Ленинская формула «Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны» начала осуществляться в жизни. В 1931 г. план ГОЭЛРО в основном был выполнен, а к 1936 г. перевыполнен в три раза. В 1940 г. в СССР было произведено 48,3 млрд. *квт · ч* электроэнергии.

В годы Великой Отечественной войны фашисты уничтожили много электростанций. Однако благодаря самоотверженному труду советских людей на Урале и в Сибири быстро создавалась новая мощная электроэнергетическая база. Огромное внимание строительству электростанций и линий электропередач было уделено в послевоенный период. В результате в 1950 г. Советский Союз по производству

электроэнергии вышел на первое место в Европе и на второе место в мире. В последующие годы советскими людьми было построено много тепловых и гидроэлектростанций. В 1954 г. дала промышленный ток первая в мире атомная электростанция, построенная в СССР, в г. Обнинске.

В Программе КПСС, принятой на XXII съезде партии, записано, что стержнем строительства экономики коммунистического общества является электрификация. Коммунистическая партия поставила перед советским народом задачу осуществить к 1980 г. сплошную электрификацию страны. Эта задача успешно выполняется. Строятся сотни новых тепловых, в том числе и атомных, и гидроэлектростанций, создаются энергетические системы. В 1967 г. в СССР было выработано 589 млрд. *квт · ч* электроэнергии, а в 1970 г. производство электроэнергии составит 830—850 млрд. *квт · ч*.

Для производства электроэнергии требуются мощные турбины и электрические генераторы. Их создают на многочисленных предприятиях электротехнической промышленности. На этих же предприятиях выпускают электрические двигатели, электронагревательные печи и приборы, осветительные аппараты, электротехнологические установки и т. п. устройства, в которых электрическая энергия преобразуется в механическую, тепловую, световую, химическую и другие виды энергии. Для передачи электроэнергии на большие расстояния и распределения ее между потребителями — заводами, шахтами, стройками, жилыми домами и т. д. — строят электрические подстанции, сооружают линии электропередач.

Отрасль науки и техники, занимающаяся вопросами производства, преобразования, распределения и применения электрической энергии, называется *электротехникой*.

Развитие электротехники обязано многим выдающимся ученым, изобретателям и инженерам.

В разработку теоретических основ электротехники большой вклад внесли русские ученые М. В. Ломоносов, В. В. Петров, Б. С. Якоби, Э. Х. Ленц, француз А. Ампер, немецкие физики Г. Ом и Г. Кирхгоф, английские ученые Д. Джоуль и М. Фарадей и другие. Теорию электротехники значительно обогатили и обогащают своими трудами многие советские ученые.

М. В. Ломоносов провел большие исследования в области атмосферного электричества. В. В. Петров получил

электрическую дугу и своими опытами показал возможность ее практического использования. Э. Х. Ленц доказал обратимость электрических машин — генераторов и двигателей, установил правило о направлении индукционного тока, разработал оригинальные методы электрических и магнитных измерений, открыл независимо от Д. Джоуля закон теплового действия тока. А. Ампер, изучив электрические явления, выяснил сущность понятий электрического тока, электродвижущей силы, электрического сопротивления. Закон, устанавливающий зависимость между этими величинами, открыл Г. Ом. Методы расчета электрических цепей предложил Г. Кирхгоф. М. Фарадей открыл и изучил связь между электрическими и магнитными явлениями.

Начало использованию электрических машин положил Б. С. Якоби. В дальнейшем другой русский электротехник М. О. Доливо-Добровольский изобрел генератор трехфазного тока и трехфазный асинхронный электродвигатель. Значительную роль в развитии электромашиностроения сыграли труды нашего академика К. И. Шенфера.

Позднее венгерские инженеры-электротехники О. Блати, М. Дери, К. Циперновский создали броневые и стержневые трансформаторы и предложили термин «трансформатор».

Появлению электрического освещения мы обязаны П. Н. Яблочкову, изобретшему дуговую лампу, и А. Н. Лодыгину, создавшему электрическую лампу накаливания. Электрическую лампу с угольной нитью создал известный американский изобретатель Т. Эдисон. Он же изобрел щелочной аккумулятор, угольный микрофон и многие другие устройства в области телеграфии, измерительной техники и электромашиностроения.

Впервые применили электрическую дугу для сварки и резания металлов русские инженеры Н. Н. Бенардос и Н. Г. Славянов. Они разработали также методы электрической плавки металлов.

Советские ученые и инженеры разработали методы строительства промышленных атомных электростанций, сверхмощных электрических генераторов, сверхдальних линий электропередач и успешно ведут исследования по практическому использованию электрохимических и магнитогидродинамических генераторов электрической энергии.

В разработку методов и практическое осуществление строительства линий электропередач промышленного назначения значительный вклад внесли советские инженеры Р. Э. Классон, Г. О. Графтио, Б. Е. Веденеев и другие.

Электротехника дала возможность создать радио. Изобретение радио связано с именем русского ученого А. С. Попова.

В настоящее время электричество прочно вошло в народное хозяйство и быт. Знать основы электротехники теперь необходимо каждому человеку: и рабочему, и инженеру, и врачу, и сельскому механизатору. Все люди в той или иной мере сталкиваются с электротехническими приборами и машинами, используют электрическую энергию.

Выбор и обработка электротехнических материалов, выполнение электрических измерений, монтаж и обслуживание электрической аппаратуры, трансформаторов и электрических машин, обращение с аккумуляторами и выпрямителями электрического тока — вот лишь небольшой круг работ, которые нужно научиться выполнять, изучая электротехнику. Все эти вопросы рассматриваются в данной книге. Здесь кратко изложены основные законы электротехники, приведены необходимые расчеты. Вопросы и упражнения составлены с таким расчетом, чтобы была возможность проявить больше самостоятельности в нахождении ответов и выполнении практических работ.

Раздел первый

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ И ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Устройства, в которых производится, преобразуется, распределяется или потребляется электрическая энергия, называются *электроустановками*. К ним относятся, например, электрические генераторы со вспомогательными и обслуживающими устройствами, электрические подстанции, линии электропередачи.

Электроустановки, предназначенные для создания искусственного освещения, называются *осветительными* и *электроустановками*. Электроустановки, которые приводят в действие машины, станки и другое технологическое оборудование, называются *силовыми* и *электроустановками*. Электроустановки, предназначенные для передачи и распределения электроэнергии, называются *электрическими сетями*.

Устройства, в которых электрическая энергия преобразуется в механическую, тепловую, химическую или световую энергию, называются *электроприемниками*. К электроприемникам относятся, например, электродвигатели, светильники, электронагревательные приборы.

Монтаж, ремонт и обслуживание электроустановок производится в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» («ПУЭ») и «Правилами технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок на промышленных предприятиях».

2. НОМИНАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЕ, МОЩНОСТЬ И ТОК

Каждый электроприемник рассчитан на работу при определенном напряжении электрического тока. Это напряжение указывается в паспорте электроприемника и называется *номинальным*.

В СССР выпускаются электроприемники, рассчитанные на стандартные номинальные напряжения: 6, 12, 24, 36, 110, 127, 220, 380 в. Специальные электродвигатели и некоторые другие электроприемники изготавливаются на номинальное напряжение 500, 3600, 10 000 в. Многие электроприемники могут работать при различных номинальных напряжениях, например при 127 или 220 в. В таких электроприемниках установлены специальные переключатели.

Номинальное напряжение, на которое рассчитан электроприемник, и напряжение в электрической сети, к которой подключают этот электроприемник, должны быть одинаковыми.

Каждый электроприемник рассчитан на определенную номинальную мощность, значение которой также указывается в паспорте электроприемника.

Ток, который должен проходить через работающий при номинальном напряжении электроприемник, называется номинальным током. Номинальный ток определяется по формуле:

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}}},$$

где $I_{\text{н}}$ — номинальный ток, а;
 $P_{\text{н}}$ — номинальная мощность, вт;
 $U_{\text{н}}$ — номинальное напряжение, в.

Вопросы и упражнения

1. Каким образом можно узнать номинальное напряжение и номинальную мощность электроприемника?

2. Определите, на какие номинальные напряжение и мощность рассчитаны электроприемники, имеющиеся у вас дома.

3. На что важно обратить внимание перед включением электроприемника в электрическую сеть?

4. Сравните номинальные токи, проходящие через электролампы, рассчитанные на номинальные напряжение и мощность: 220 в и 75 вт; 127 в и 75 вт.

О т в е т: ≈ 58 .

3. ТЕХНИКА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Причины электротравматизма

Ток силой 0,1 а, проходящий через организм человека, опасен для жизни. Электрическое сопротивление человеческого организма, находящегося в нормальном состоянии,

равно нескольким десяткам тысяч *ом*. Оно зависит от физического состояния человека. В особо неблагоприятных случаях (болезненное состояние, сильное потение и т. п.) электрическое сопротивление человека равно лишь 400—1000 *ом*. Пользуясь формулой закона Ома, нетрудно подсчитать, что напряжение 40 *в* уже опасно.

Поражение людей током случается чаще всего вследствие:

а) прикосновения к токоведущим частям; оголенным проводам; контактам электрических машин, рубильников, ламповых патронов, предохранителей и других приборов и аппаратов, находящихся под напряжением;

б) прикосновения к частям электроустановки, нормально не находящимся под напряжением, но в результате повреждения изоляции оказывающимся под напряжением;

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

г) нахождения вблизи места соединения с землей оборванного провода электросети.

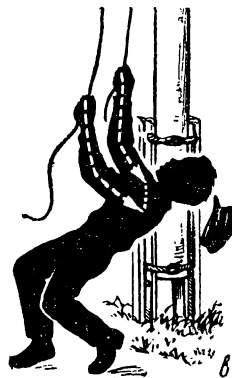
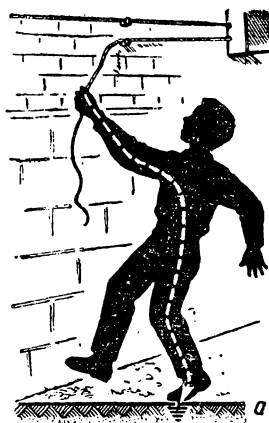
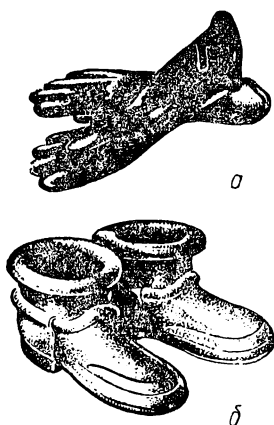


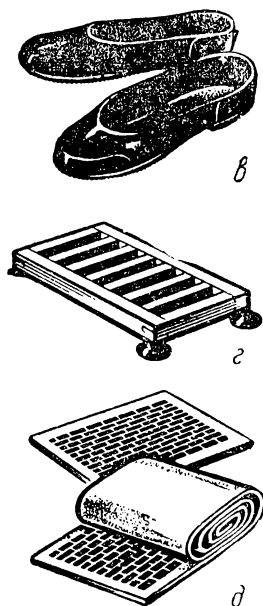
Рис. 1. Возможные случаи поражения электрическим током при одновременном прикосновении:

а — к одному проводу и земле; *б* — к одному зажиму на щите и металлической трубе, соединенной с землей; *в* — к двум проводам.



Опасность поражения электрическим током возникает тогда, когда человек стоит на земле и одновременно касается одного из проводов или другой токоведущей части (рис. 1, а). Опасно также прикосновение к одному из проводов и мокрой стене или металлической конструкции, соединенной с землей (рис. 1, б). Наиболее опасно одновременное прикосновение к двум проводам или другим токоведущим частям, находящимся под напряжением (рис. 1, в).

Предупреждение электротравматизма



Для предупреждения электротравматизма применяют защитные средства (рис. 2): резиновые перчатки, боты и коврики, изолирующие штанги и т. п. На металлические ручки инструментов, используемых при выполнении электромонтажных работ, надевают резиновые трубки (рис. 3).

Об опасности поражения электрическим током предупреждают также плакаты: «Не входи — опас-

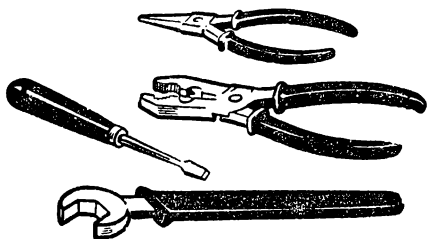


Рис. 2. Защитные средства

а — резиновые перчатки; б — резиновые боты; в — резиновые галоши; г — изолирующая подставка; д — изолирующая дорожка и коврик.

Рис. 3. Инструмент с изолирующими ручками.

но для жизни», «Не включать. Работают люди» и др. Плакаты обычно 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.

Монтаж и ремонт электроустановок производится в соответствии с рядом требований:

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;

б) металлические части электрооборудования, не предназначенные для прохождения по ним тока, должны быть заземлены, т. е. соединены с землей с помощью медных проводов, чтобы устранить опасность поражения током людей, прикоснувшихся к нетоковедущим частям, которые оказались под напряжением; сопротивление заземляющих проводов должно быть не более 4 ом;

в) во избежание опасности поражения электрическим током не разрешается производить монтаж или ремонт электроустановок, если они находятся под напряжением. Нужно с помощью контрольной лампы (рис. 4, а) или указателя напряжения (рис. 4, б) убедиться, что напряжение отсутствует.

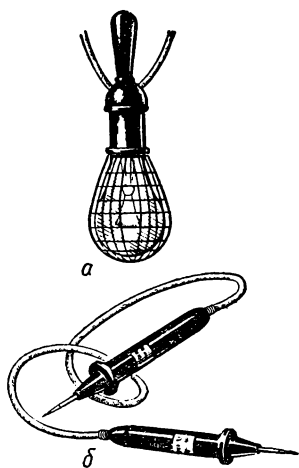


Рис. 4. Приборы для проверки наличия или отсутствия напряжения:

а — контрольная лампа; б — указатель напряжения.

Первая помощь при поражении электрическим током

Если пострадавший потерял сознание или у него отсутствуют признаки жизни, то необходимо срочно вызвать врача и одновременно делать искусственное дыхание. Когда дыхание у пострадавшего восстановится, его до прихода вра-

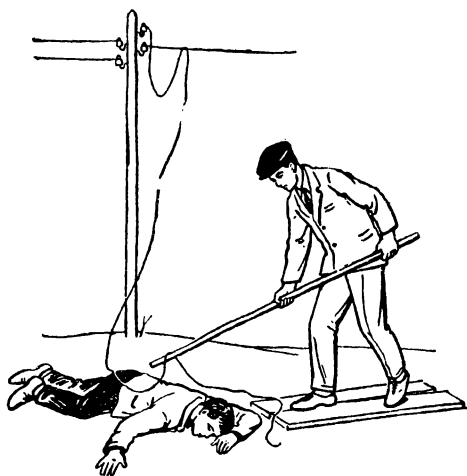
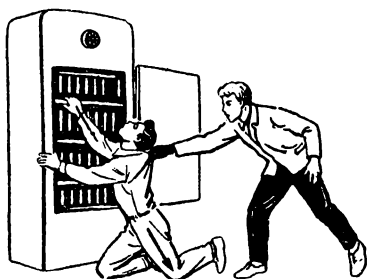
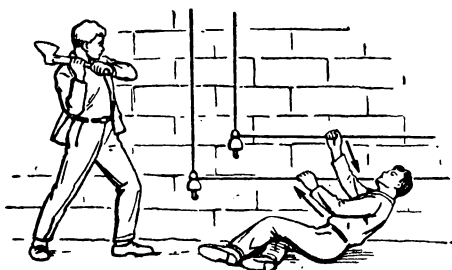


Рис. 5. Способы освобождения пострадавшего от действия тока.

ча нужно укрыть теплой одеждой, так как охлаждение вредно для организма.

В ряде случаев пострадавший не может самостоятельно освободиться от действия тока, так как ток вызывает судороги мышц. Чтобы помочь пострадавшему, нужно немедленно отключить электроустановку или соответствующую ее часть. Если же этого сделать невозможно (далеко расположен рубильник, доступ к нему оказался опасным), то пострадавшего нужно отделить от токоведущих частей следующим образом (рис. 5):

надев резиновые галоши и перчатки или обмотав руку сухой тканью, оторвать человека, попавшего под напряжение, от токоведущих частей; встав на сухую доску или подсунув ее под пострадавшего, оторвать его от токоведущих частей;

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

перерубить один за другим провода сети (при напряжении не выше 250 в!) с помощью топора, имеющего деревянную ручку.

Правила техники безопасности при работах в школьном электротехническом кабинете

Общие правила.

1. Будьте внимательны, дисциплинированы, осторожны; точно выполняйте устные и письменные указания учителя.
2. Не оставляйте рабочее место без разрешения учителя.
3. Располагайте на рабочем месте приборы, инструменты, материалы, оборудование в порядке, указанном учителем.
4. Не держите на рабочем месте предметы, не требующиеся при выполнении задания.

Правила техники электробезопасности.

1. Не включайте источники электропитания без разрешения учителя.
2. Производите сборку электрических цепей, переключения в них, монтаж и ремонт электрических устройств только при отключенном источнике электропитания.
3. Проверяйте наличие напряжения на источнике электропитания или других частях электроустановки с помощью контрольной лампы или указателя напряжения.
4. Следите, чтобы изоляция проводов была исправна, а на концах проводов были наконечники; при сборке электрической цепи провода располагайте аккуратно, а наконечники плотно зажимайте клеммами.
5. Выполняйте наблюдения и измерения, соблюдая осторожность, чтобы случайно не прикоснуться к оголенным токоведущим частям, находящимся под напряжением.
6. Не прикасайтесь к конденсаторам даже после отключения электрической цепи от источника электропитания; их сначала нужно разрядить.
7. По окончании работы или очередного наблюдения отключите источник электропитания, после чего разберите электрическую цепь.
8. Заменяйте предохранители в щитках, приборах, аппаратах и других электрических устройствах только с разрешения учителя и при отключенном источнике электропитания.
9. Обнаружив неисправность в электрических устройствах, находящихся под напряжением, немедленно отключите источник электропитания и сообщите об этом учителю.

4. СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Схемой электрических соединений (электросхемой) называется графическое изображение электроустановки с помощью условных знаков. Электросхемы позволяют наглядно представить себе составные элементы электроустановки и способы соединения их между собой. Если чертеж является языком техники, то электросхема представляет собой язык электротехники.

Принципиальные схемы показывают электрическую связь и взаимодействие элементов электроустановки без указания их территориального расположения.

На *многолинейных* электросхемах (рис. 6, а) каждый провод обозначается отдельной линией, а на *однoliнейных* (рис. 6, б) любое количество проводов обозначается одной линией.

Монтажные схемы представляют собой рабочий чертеж, на котором указаны все электрические соединения элементов электроустановки и расположение их относительно конструктивных частей данной установки (рис. 7).

По действующему ГОСТу определены условные графические обозначения для электрических схем. Они приведены в таблице 1.

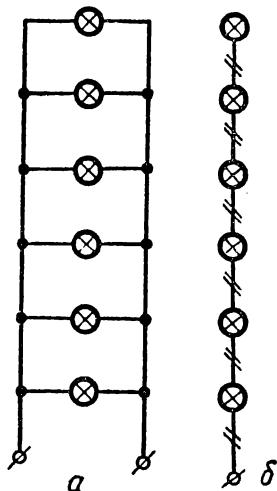


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема лампового реостата на шесть ламп: а—многолинейная; б—однoliнейная.

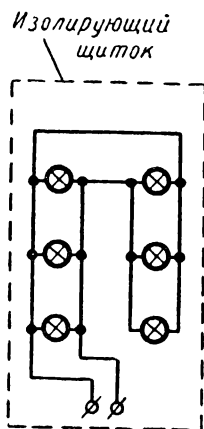
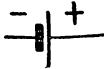

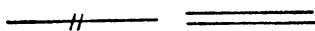








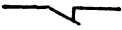




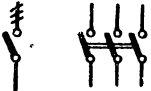

Рис. 7. Монтажная электрическая схема лампового реостата на шесть ламп, смонтированного на изолирующем щитке.

Таблица 1


**Условные графические обозначения
для электрических схем**












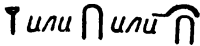



Наименование	Обозначение на схемах
Род тока и напряжения	
Ток постоянный. Напряжение постоянное	—
Ток переменный. Напряжение переменное	~
Ток постоянный и переменный	≈
Ток переменный трехфазный	3~
Провод нулевой	N
Фазы сети трехфазного тока: напряжение ниже 1000 в	a, b, c, o
напряжение выше 1000 в	A, B, C, O
Источники электрического тока	
Элемент гальванический или аккумулятор	
Батарея из гальванических или аккумуляторных элементов	
Генератор электрический (общее обозначение)	
Провода и кабели	
Провод, кабель (общее обозначение)	—
Провод гибкий	
Цепь из двух проводов (кабелей)	







Наименование	Обозначение на схемах
Цепь из трех проводов (кабелей)	
Цепь из n проводов (кабелей)	
Провода (кабели) пересекающиеся, электрически не соединенные	
Провода (кабели) пересекающиеся, электрически соединенные	
Ответвления провода (кабеля)	
Изгиб провода (кабеля)	
Провод (кабель) экранированный	
Провод скрученный (шнур)	
Повреждение изоляции (пробой):	
между проводами	
между проводами и корпусом машины, аппарата	
между проводом и землей	
Соединение провода (кабеля), корпуса машины (аппарата) с землей	
Защитные и коммутационные аппараты	
Предохранитель плавкий	
Неразъемное электрическое соединение	

Наименование	Обозначение на схемах
Разъемное электрическое соединение	
Разъемное электрическое соединение источников питания	
Контакт выключателя и переключателя:	
закрывающий	
размыкающий	
переключающий	
Контакт реле:	
закрывающий	
размыкающий	
переключающий	
Контакт магнитного пускателя, контактора:	
закрывающий	
размыкающий	
Выключатель однополюсный	
Выключатель трехполюсный	
Переключатель	

Наименование	Обозначение на схемах
Путевой, конечный выключатель: замыкающий размыкающий	
Соединение штепсельное разъ- емное	
Штепсель	
Гнездо	
Кнопка с самовозвратом: с замыкающим контактом	
с размыкающим контактом	
с одним замыкающим и одним размыкающим контактами	
Обмотка реле, контактора, магнитного пускателя	
Сопротивление, конденсаторы, трансформаторы	
Сопротивление нерегулируемое (резистор постоянный)	
Сопротивление регулируемое (реостат):	
с разрывом цепи	
без разрыва цепи	
Сопротивление регулируемое (потенциометр)	

Наименование	Обозначение на схемах
Конденсатор постоянной емкости	
Конденсатор электролитический	
Конденсатор переменной емкости	
Обмотка трансформатора	
Сердечник (магнитопровод) ферромагнитный	
Катушка индуктивности (дроссель):	
без сердечника	
с сердечником	
Трансформатор	
Автотрансформатор	
Приборы электроизмерительные	
Прибор измерительный (общее обозначение)	
Обмотка напряжения измерительного прибора	
Обмотка токовая измерительного прибора	
Шунт	

Наименование	Обозначение на схемах
Электрические машины	
Электрическая машина (общее обозначение)	
Обмотка независимого и последовательного возбуждения	
Обмотка параллельного возбуждения	
Статор (общее обозначение)	
Ротор короткозамкнутый	
Ротор с обмоткой, коллектором и щетками	
Электровакuumные и полупроводниковые приборы	
Баллон электронного электровакуумного прибора	 или 
Баллон ионного электровакuumного прибора	 или 
Анод электронной лампы и ионного прибора	
Катод электронной лампы и ионного прибора	 или 
Сетка электронной лампы и ионного прибора	
Пускатель (для люминесцентных ламп)	

Наименование	Обозначение на схемах
Лампа осветительная	
Лампа сигнальная	
Лампа газоразрядная осветительная	
Диод полупроводниковый	
Транзистор типа <i>p-n-p</i>	
Транзистор типа <i>n-p-n</i>	

Раздел второй

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ И РАБОТЫ С НИМИ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Материалы, которые применяются для изготовления электроустановок, называются *электротехническими материалами*. В зависимости от способности проводить электрический ток их разделяют на три группы: *проводниковые*, *электроизоляционные* (диэлектрики), *полупроводниковые*. К первым относят те, по которым может проходить электрический ток. К ним относятся все металлы, уголь, растворы солей, кислот и щелочей. Из проводниковых материалов изготавливают токоведущие части электроустановок. Из некоторых видов проводников выполняют конструктивные части электроустановок, например: из стали — корпуса электрических машин, щиты, конструкции, на которые крепятся токоведущие части, из алюминия и свинца — оболочки кабелей и др.

По электроизоляционным материалам не может проходить электрический ток. К ним относят воздух, водород, инертные газы, минеральное масло, смолы, парафин, сухую древесину, ткани, бумагу, пластмассы, резину, слюду, стекло, керамику. Электроизоляционные материалы применяют для изоляции токоведущих частей друг от друга и от конструктивных частей электроустановки. Из электроизоляционных материалов изготавливают также конструктивные части электроустановок, например: из пластмассы — корпуса электроизмерительных приборов и электроаппаратуры, щитки, рукоятки рубильников, из керамики — основания реостатов и электронагревательных приборов и др.

Материалы, по которым электрический ток может проходить лишь при определенных условиях, например при освещении, нагревании, охлаждении их, относят к полупроводниковым материалам. О свойствах и применении

полупроводниковых материалов подробнее рассказывается в седьмом разделе данной книги.

Материалы, способные хорошо намагничиваться, называются **магнитными**. К ним относятся: железо, сталь и некоторые сплавы, в состав которых входит железо. Из магнитных материалов изготовляют сердечники трансформаторов, дросселей, статоров и роторов электрических машин и др. О применении магнитных материалов для изготовления электроустановок подробнее рассказывается в пятом, шестом и седьмом разделах данной книги.

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

2. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Проводниковые металлические материалы

Для правильного выбора проводниковых металлических материалов и использования их нужно знать электрические, физико-механические и химические свойства этих материалов.

Важнейшим *электрическим свойством* проводниковых материалов является способность оказывать сопротивление прохождению по ним электрического тока. Это свойство характеризуется **удельным электрическим сопротивлением**. В зависимости от удельного электрического сопротивления определяется цель применения тех или иных проводниковых материалов. Например, для изготовления проводов, кабелей, наконечников к проводам и кабелям, контактов аппаратуры и приборов применяются проводниковые материалы низкого удельного электрического сопротивления. Для изготовления же обмоток реостатов, нагревательных элементов электрических печей и бытовых электронагревательных приборов применяются проводниковые материалы высокого удельного электрического сопротивления.

Важнейшие *физические свойства* проводниковых металлических материалов характеризуются **плотностью и точкой плавления**.

Проводниковые материалы различают также по их *механическим свойствам*, которые учитывают при конструи-

ровании и проектировании электроустановок, например линий электропередач.

При выборе и применении проводниковых металлических материалов учитываются их следующие *химические свойства*: стойкость против коррозии и способность соединяться сваркой и пайкой. Если, например, металлические проводники требуется применить в условиях повышенной влажности, то их защищают антикоррозийными покрытиями и даже помещают в герметические оболочки.

Соединяют металлические проводники между собой чаще всего путем сварки или пайки, которые для каждого металла имеют свои особенности.

Характеристика некоторых свойств проводниковых металлических материалов и сведения о применении их приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

**Характеристика важнейших свойств проводниковых
металлических материалов**

Наименование материала	Удельное электрическое сопротивление, $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Плотность $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Точка плавления, °С	Изделия, для изготовления которых применяется материал
Медь (примесей не более 0,1 %)	0,0172—0,0175	8,92	1083	Провода, кабели, контактные зажимы
Алюминий (примесей не более 0,5 %)	0,0262	2,7	660,1	То же; корпуса электромашин, детали приборов, оболочки кабелей
Сталь (содержание углерода от 0,1 до 0,15 %)	0,10—0,14	7,7—7,9	1400—1530	Провода, конструктивные части электроустановок
Свинец (примесей не более 0,14 %)	0,221	11,34	327,3	Припой, аккумуляторные пластины, оболочки кабелей
Олово	0,143	7,29	231,85	Припой, фольга для конденсаторов

Наименование материала	Удельное электрическое сопротивление, $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Плотность, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Точка плавления, °С	Изделия, для изготовления которых применяется материал
Цинк	0,062	7,1	419,5	Антикоррозийные покрытия, припой, электроды гальванических элементов, металлизированная бумага для конденсаторов
Бронза кадмиевая (содержание кадмия до 1 %)	0,02—0,05	8,5—8,9	885—1050	Провода для контактных линий, скользящие и штепсельные контакты
Бронза фосфористая (содержание фосфора до 0,13 %)	0,02—0,05	8,5—8,9	885—1050	Пружины электроизмерительных приборов
Латунь (сплав меди и цинка)	0,031—0,079	8,5—9,7	900—960	Контактные зажимы, контактные ножи рубильников, колпачки радиоламп
Манганин (сплав меди, марганца и никеля)	0,48	8,5	1000	Эталоны и магазины сопротивления, шунты и добавочные сопротивления, термопары
Константан (сплав меди и никеля)	0,52	8,9	1275	Реостаты, термопары
Нихром (сплав хрома, никеля, марганца и железа)	1,1	8,1 8,4	1400	Нагревательные элементы промышленных электронагревательных приборов
Фехраль (сплав железа, алюминия, хрома, кремния, марганца)	1,3	6,9—7,5	1450	Нагревательные элементы бытовых и промышленных электронагревательных приборов, реостаты

Упражнения

1. Рассмотрите материалы: медь, алюминий, сталь, цинк, латунь, бронзу. Укажите отличительные внешние признаки каждого материала.

2. Дайте сравнительную характеристику свойств проводниковых материалов, применяемых для изготовления проводов.

3. Назовите имеющиеся в школьном кабинете и дома электрические устройства, в которых применены сплавы высокого удельного электрического сопротивления: манганин, константан, нихром, фехраль. Дайте сравнительную характеристику свойств этих сплавов.

Припой

Проводники можно соединить между собой с помощью пайки. Процесс пайки заключается в соединении однородных металлов припоем. Точка плавления припоя значительно ниже точки плавления соединяемых пайкой метал-

Т а б л и ц а 3

Составы и применение припоев

Марка	Химический состав, %	Точка плавления, °С	Применяется для пайки металлов
ПОС-30	Олово—30 Сурьма—2 Свинец—68	245	Медь, латунь, оцинкованное железо
ПОС-40	Олово—40 Сурьма—2 Свинец—58	235	То же, серебро
А	Цинк—58 Олово—40 Медь—2	425	Алюминий
Авиа-1	Цинк—25 Олово—55 Кадмий—20	200	Алюминий и его сплавы
Авиа-2	Алюминий—15 Цинк—25 Олово—40 Кадмий—20	250	То же

лов. Припой не должен окисляться и пропускать влагу и газы к месту соединения проводников. Чтобы прочно соединить металлы пайкой, нужно правильно выбрать припой.

Для наглядности приводим таблицу 3, данные которой можно использовать в работе.

Электротехнический уголь

Электротехнический уголь получают из образований углерода: сажи, графита, каменного угля. Измельченную угольную массу смешивают с каменноугольной смолой и обжигают при высокой температуре.

Из электротехнического угля изготавливаются стержни, которые применяются в качестве электродов в прожекторах, электрических печах и сварочных аппаратах. Стержни имеют высокое удельное электрическое сопротивление: от 8 до 65 $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Стержни подключают к источ-

нику электропитания, затем с помощью специальных приспособлений замыкают между собой, после чего вновь отводят друг от друга. В результате этого между стержнями образуется электрическая дуга, испускающая яркий свет. В пространстве же между стержнями создается высокая температура, достаточная для плавления большинства металлов.

Электротехнический уголь применяется также в виде порошка, например для изготовления микрофонов. Удельное электрическое сопротивление порошка из электротехнического угля зависит от размера зерен, режима обжига и плотности засыпки.

Электротехнический уголь используется в качестве одной из составляющих частей при изготовлении электрических щеток (см. стр. 114). Основные марки электрических щеток обозначаются следующим образом: УГ, Т — угольно-графитовые; Г — графитовые; ЭГ — электрографитированные; М, МГ — медно-графитовые; БГ — бронзо-графитовые.

3. ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Свойства электроизоляционных материалов

При выборе электроизоляционных материалов и использовании их для изготовления электроустановок необходимо учитывать важнейшие электрические, физико-механические и химические свойства этих материалов.

Электрические свойства электроизоляционных материалов характеризуются удельным объемным электрическим сопротивлением и электрической прочностью.

Удельное объемное электрическое сопротивление данного вещества численно равно сопротивлению, которое оказывает куб с ребром в единицу длины, сделанный из этого вещества, току, проходящему через две противоположные грани. Электроизоляционные материалы обладают высоким удельным объемным электрическим сопротивлением: газообразные — от 10^{20} до $10^{22} \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, жидкие — от 10^{16} до $10^{19} \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, твердые — от 10^{12} до $10^{24} \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Поэтому практически электрический ток не может проходить через электроизоляционные материалы. Чем больше удельное объемное электрическое сопротивление материала, тем выше его электроизоляционные качества.

Под действием высокого напряжения, приложенного к электроизоляционному материалу определенной толщины, по нему может пойти большой ток. Это явление называется *электрическим пробоем*. Примером электрического пробоя является грозовой разряд: слой воздуха, находящегося между двумя облаками, заряженными атмосферным электричеством, пробивается, и через него идет электрический ток.

Электрической прочностью называется величина, численно равная напряжению, при котором может быть пробит электроизоляционный материал толщиной в единицу длины. Электрическая прочность определяется опытным путем: в лаборатории на специальной установке измеряют напряжение, при котором пробивается образец электроизоляционного материала данной толщины, а затем вычисля-

ют электрическую прочность по формуле:

$$E_{\text{пр}} = \frac{U}{h},$$

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

U — напряжение, в;

h — толщина образца электроизоляционного материала, мм.

При проектировании, конструировании и эксплуатации электроустановок обязательно учитывается электрическая прочность применяемых электроизоляционных материалов.

Физико-механические свойства электроизоляционных материалов характеризуются плотностью, смачиваемостью, гигроскопичностью, влагопроницаемостью, нагревостойкостью, морозостойкостью, вязкостью, твердостью, хрупкостью, пределом прочности на растяжение, изгиб и удар.

О смачиваемости электроизоляционного материала судят по форме капли воды на его поверхности (рис. 8). Угол, образованный горизонтальной плоскостью, на которой расположен материал, и касательной плоскостью к поверхности капли воды на этом материале, называется *краевым углом смачивания*. Чем больше краевой угол смачивания,

θ — угол смачивания

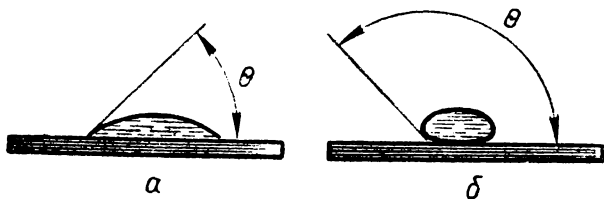


Рис. 8. Краевой угол смачивания:

а — хорошо смачивающихся диэлектриков;
б — плохо смачивающихся диэлектриков.

тем слабее смачивается данный материал и тем выше его электроизоляционные качества.

Способность электроизоляционного материала впитывать влагу называется гигроскопичностью. Гигроскопич-

ность определяется по формуле:

$$A = \frac{P_{\text{вл}} - P_{\text{сух}}}{P_{\text{сух}}} \cdot 100 \%,$$

где A — гигроскопичность, %;

$P_{\text{сух}}$ — вес сухого образца электроизоляционного материала, г;

$P_{\text{вл}}$ — вес влажного образца электроизоляционного материала, г.

Способность электроизоляционного материала в большей или меньшей степени пропускать влагу называется влагопроницаемостью. Влагопроницаемость определяется опытным путем.

Электроизоляционные свойства материалов изменяются под действием нагревания или охлаждения. Способность материала не изменять заметно электроизоляционные качества под действием длительного нагревания называется нагревостойкостью, сохранять электроизоляционные качества при низких температурах — морозостойкостью.

Жидкие электроизоляционные материалы характеризуются вязкостью. Вязкость определяют временем истечения жидкости из сосуда, имеющего строго определенную форму и отверстие. С повышением температуры вязкость уменьшается, так как время истечения жидкости из сосуда становится меньше.

Важнейшими химическими свойствами электроизоляционных материалов являются способность склеиваться, растворяться в лаках и растворителях, защищать металлы от коррозии.

Упражнения

1. Сравните смачиваемость следующих электроизоляционных материалов: древесины, картона, стекла, парафина, текстолита, гетинакса, фарфора.

У к а з а н и е. Расположите образцы материалов горизонтально на столе; выдавите из пипетки на образцы несколько капель воды; зарисуйте форму капель; укажите, какие из испытанных материалов относительно хорошо или плохо смачиваются.

2. Определите гигроскопичность древесины, стекла, фарфора, текстолита.

У к а з а н и е. Взвесьте образец каждого материала в сухом виде; опустите образцы в ванночку с водой; через несколько минут вылейте воду из ванночки и взвесьте влажные образцы; вычислите и сравните гигроскопичность испытанных материалов.

3. Сравните вязкость трансформаторного и касторового масел.

У к а з а н и е. Укрепите на штативах на одинаковой высоте от поверхности стола две бюретки, отверстия которых имеют равный диаметр; закройте краны бюреток; налейте испытуемые жидкости соответственно в первую и вторую бюретки (объемы жидкостей должны быть одинаковыми); под краны бюреток поставьте мерные стаканы; откройте одновременно краны и заметьте время истечения каждой жидкости; сделайте вывод относительно вязкости испытанных электроизоляционных масел.

4. Исследуйте различные электроизоляционные материалы на растворимость.

У к а з а н и е. Подготовьте два набора образцов различных электроизоляционных материалов; поместите каждый набор в отдельный химический стакан; налейте в стаканы соответственно ацетон и бензол (или другие растворители); наблюдайте процесс растворения некоторых материалов; укажите, какие из испытуемых материалов растворяются и какие не растворяются: в ацетоне; бензоле.

Характеристика свойств электроизоляционных материалов

Электроизоляционные материалы (диэлектрики) бывают газообразные, жидкие, твердеющие и твердые. Их получают, используя и перерабатывая естественные и синтетические материалы. В таблице 4 приведены основные данные о свойствах и области применения наиболее распространенных электроизоляционных материалов. Этими данными нужно руководствоваться при выборе требующихся электроизоляционных материалов.

Несколько замечаний к таблице.

1) В последние годы стали применяться также кремнийорганические и фторорганические жидкости, представляющие собой полимеры. Они не окисляются и могут работать при более высоких температурах, чем минеральные масла, обладают повышенными электроизоляционными свойствами и нагревостойкостью.

2) Широко применяются также эпоксидные смолы; они влагонепроницаемы и нагревостойки. Хорошо растворяются в ацетоне и других растворителях; применяются для приготовления клеев, замазок, лаков, заливочных масс.

3) Резина, образованная на основе синтетического каучука, называется наиритом. Наирит маслостоек, бензиностоек, светостоек. Он применяется для изготовления проводов и кабелей.

Т а б л и ц а 4

Основные характеристики электронизоляционных материалов

Наименование	Удельное объемное соп- ротивление, $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Электри- ческая прочность, в/мм	Некоторые физико- механические и хими- ческие свойства	Область применения
Г а з о о б р а з н ы е				
Воздух	10^{22}	3000	Малая плотность, высокая теплопро- водность	Вентиля- ция электри- ческих ма- шин и аппа- ратов
Инертные газы (гелий, аргон, неон)	$10^{20}—10^{22}$	120	Невысокая плот- ность, не окисляют металлических час- тей	Заполне- ние электро- вакуумных приборов, электросвар- ка (аргон)
Ж и д к н и е ¹				
Трансфор- маторное масло (полу- чают путем перегонки нефти)	$5 \cdot 10^{18}—$ $5 \cdot 10^{19}$	25 000— 30 000	Горючесть, невы- сокая вязкость, воспламеняется при температуре $+135^\circ \text{C}$, твердеет при температуре -45°C	Заполне- ние силовых трансформа- торов и мас- ляных вык- лючателей
Конденса- торное масло (получают путем пере- гонки нефти и последу- ющей очист- ки продуктов перегонки)	$10^{18}—10^{19}$	2000	Горючесть, невы- сокая вязкость, разрушает резину	Пропитка электроизо- ляционной бумаги, изго- товление конденсато- ров
Касторовое масло (полу- чают путем переработки семян кле- щевины)	$10^{14}—10^{17}$	11 000	Жидкость блед- но-желтого цвета; резину не разруша- ет	В некото- рых электри- ческих уста- новках, име- ющих рези- новую изоля- цию

Наименование	Удельное объемное сопротивление, $\frac{\text{ОМ} \cdot \text{ММ}^2}{\text{М}}$	Электри- ческая прочность, в/мм	Некоторые физико- механические и хими- ческие свойства	Область применения
Твердеющие ²				
Канифоль (получают путем переработки природной смолы хвойных деревьев)	$10^{18}—10^{19}$	15 000	Легкое, хрупкое, неокисляющееся вещество, размягчается при температуре $+90^\circ\text{C}$, при температуре $+150^\circ\text{C}$ растворяет окись меди	Пайка меди, пропитка бумажной изоляции кабелей
Полихлорвинил (изготавливают на основе полихлорвиниловой смолы)	$10^{16}—10^{19}$	20 000	Эластичный материал, обладает высокой морозостойкостью, негорючий, стойкий к действию кислот, щелочей, масел, спирта, бензина	Изоляция проводов и кабелей, изготовление трубок, лент, листов
Винипласт	$10^{18}—10^{19}$	15 000	Эластичный, нагревостойкий материал	Гашение электрической дуги в аппаратуре, изготовление аккумуляторных баков, различных деталей электроаппаратуры
Парафин	$10^{19}—10^{22}$	20 000—30 000	Вещество, обладающее малой гигроскопичностью, влагонепроницаемостью и невысокой механической прочностью, размягчается при температуре около 60°C	Заливка конденсаторов, дросселей, трансформаторов, деталей электроаппаратуры; пропитка электротехнической бумаги и тканей

Наименование	Удельное объемное сопротивление, $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Электри- ческая прочность, в/мм	Некоторые физико- механические и хими- ческие свойства	Область применения
Волокнистые				
Древесина сухая (бере- за, дуб, бук)	$2 \cdot 10^{12} —$ $8 \cdot 10^{14}$	22 000— 50 000	Небольшая плот- ность, высокая гигроскопичность, горючесть	Изготовле- ние панелей, каркасов, опорных и крепежных деталей аппа- ратуры, пазо- вых клиньев электрома- шин, опор для линий электропере- дачи, рукоя- ток рубиль- ников, изо- лирующих штанг и т. п.
Электро- изоляцион- ная бумага, пропитанная минеральны- ми маслами или парафи- ном (конден- саторная, ка- бельная, микалентная, оклеечная)	$10^{16} — 10^{17}$	12 000	Небольшая плот- ность, горючесть, невысокая механи- ческая прочность	Изготовле- ние конден- саторов, ка- белей, произ- водство мика- нита и слоис- тых пласти- ков, оклейка деталей эле- ктроаппара- туры
Электро- изоляцион- ный картон (пропитанный маслами)	10^{16}	12 000	Легко поддается механической обра- ботке	Изготовле- ние каркасов катушек, прокладок, шайб, изоля- ции электри- ческих ма- шин
Фибра (уплотненная бумага, обра-	$10^{14} — 10^{16}$	3500	Высокая механи- ческая прочность; в пламени электри-	Изготовле- ние дугога- сящих ка-

Наименование	Удельное объемное сопротивление, $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Электри- ческая прочность, в/мм	Некоторые физико- механические и хими- ческие свойства	Область применения
ботанная в растворе хло- ристого цин- ка)			ческой дуги выде- ляет дугогасящие газы	мер разряд- ников и вык- лючателей высокого нап- ряжения, па- тронов труб- чатых пре- дохранителей
Асбест	$10^6—10^8$	1500	Высокая нагрево- стойкость, плавится при температуре 1150°C	Электро- и теплоизоля- ция, изготов- ление асбо- картона и ас- боцемент
Пластмассовые				
Гетинакс	10^{19}	15 000— 24 000	Высокая механи- ческая прочность, морозостойкость, нагревостойкость	Аппарато- и приборостро- ение
Текстолит	10^{18}	20 000— 23 000	Высокая механи- ческая прочность, морозостойкость, нагревостойкость	Аппарато- и приборо- строение
Эластомеры ³				
Резина	10^{23}	20 000 — 30 000	Высокая эластич- ность, слабая вла- гопроницаемость, плохая морозостой- кость	Изоляция проводов и кабелей, из- готовление прокладок уплотните- лей, диэлек- трических ковриков, перчаток, га- лош и т. п.

Наименование	Удельное объемное сопротивление, $\frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Электри- ческая прочность, в/мм	Некоторые физико- механические и хими- ческие свойства	Область применения
Эбонит (твердая ре- зина)	$10^{22}—10^{23}$	15 000	Легко поддается механической обра- ботке	Изготовле- ние деталей аппаратуры, применяемой в технике слабых токов
Минераль н ы е ⁴				
Слюда	$10^{21}—10^{22}$	13 000	Высокая гибкость, слабая влагопрони- цаемость, нагре- востойкость	Изоляция электрома- шин высоко- го напряже- ния и боль- шой мощ- ности; изго- товление конденсато- ров и мика- нита
Стекло си- ликатное	$10^{16}—10^{25}$	50 000	Высокая механи- ческая прочность на растяжение	Изготовле- ние деталей измеритель- ных прибо- ров, баллонов электрова- куумных при- боров; произ- водство стек- ловолкна
Фарфр	10^{19}	10 000— 20 000	Высокая механи- ческая прочность, нагревостойкость	Изготовле- ние роликов, изоляторов, резисторов, конденсато- ров, основа- ний электро- нагреватель- ных приборов и реостатов

4) К минеральным электроизоляционным материалам относится также м и к а н и т. Миканит получают, наклеивая небольшие тонкие пластинки слюды на электротехническую бумагу или ткань. Миканит нагревостоек, влагонепроницаем. Он применяется для изоляции пластин коллекторов электрических машин и для изготовления прокладок, шайб, каркасов катушек.

Вопросы и упражнения

1. Какими отличительными свойствами обладают: инертные газы? Касторовое масло? Полихлорвинил? Канифоль? Фибра? Слюда? Асбест?

2. Какие электроизоляционные материалы нужно использовать для устройства электроустановок, работающих при резких колебаниях температуры?

3. Какие электроизоляционные материалы используются для изготовления проводов и кабелей?

4. Из каких электроизоляционных материалов делают каркасы катушек?

5. Чему должно быть равно минимальное расстояние между контактами (в разомкнутом положении) в выключателях, рассчитанных на напряжение: 127 в? 220 в? 10 000 в?

Ответ: $\approx 0,042$ мм; $\approx 0,073$ мм; $\approx 3,33$ мм.

6. При каком напряжении будет пробита конденсаторная бумага толщиной 0,015 мм? 0,008 мм?

О т в е т: 180 в; 96 в

4. ПРОВОДА

Установочные провода

Установочные провода применяются для монтажа электрических проводов.

Токоведущая часть провода называется *жилой*. Жилы делают из меди, алюминия или стали. Жила может быть *однопроволочной* или *многопроволочной*. Жилы имеют стандартные сечения, в мм²: 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120.

Жилы покрыты изолирующей оболочкой из резины, полихлорвинила или найрита.

Изолирующая оболочка у многих проводов защищена от внешних механических воздействий хлопчатобумажной оплеткой.

Провода маркируют в зависимости от материала жил и изолирующих оболочек. Марку записывают в виде сочетания букв, например: АПН, ПРТО, ПГВ. Буквы обозначают следующее:

Таблица 5

Основные данные установочных проводов

Марка	Устройство провода	Сечение, мм ²	Количество жил	Допускаемое на- пряжение, в
ПР	Провод с медными жилами, резино- вой изоляцией, в оплетке из пропитан- ной хлопчатобумажной пряжи	0,75—400	1	500
АПР	То же, но жила алюминиевая	2,5—400	1	500
ПРД	Провод с медными жилами, резино- вой изоляцией, в оплетке из хлопча- тобумажной пряжи, двойной	0,5—6	2	380
ПРГ	Провод с медными жилами, резино- вой изоляцией, в оплетке из пропи- танной хлопчатобумажной пряжи, гибкий	0,75—400	1	500
ПРТО	Провод с медными жилами, резино- вой изоляцией, в общей оплетке из пропитанной хлопчатобумажной пря- жи, для прокладки в трубах	1—120	1—37	500
АПРТО	То же, но жилы алюминиевые	2,5—400	1—4	500
ШР	Шнур с медными жилами, резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобу- мажной пряжи	0,5—1,5	2	220
АР ¹	Арматурный провод с медными жи- лами, резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи	0,5—0,75	1	220
АРД ¹	То же, но двойной	0,5—0,75	2	220
ШПРО	Шнур с медными жилами, резино- вой изоляцией, жилы уложены па- раллельно и заключены в общую оп- летку из натурального или искусст- венного шелка	0,5—0,75	2	220
АПН	Провод с алюминиевыми жилами, наиритовой изоляцией	2,5—120	1—3	500
ПВ	Провод с негибкой медной жилой, изолированной полихлорвинилом	0,75—95	1	500
АПВ	То же, но с алюминиевой жилой	2,5—95	1	500

¹ В данном случае буква А указывает назначение провода — ар-
матурный провод (для присоединения к арматуре).

Марка	Устройство провода	Сечение, мм ²	Количество жил	Допускаемое на- пряжение, в
ППВ	Провод ленточный с медными жи- лами, уложенными параллельно и заключенными в оболочку из поли- хлорвинила	0,75—2,5	2—3	500
АППВ	То же, но жилы алюминиевые	2,5—95	2—3	500
ПГВ	Провод с гибкой медной жилой, со- стоящей из тонких проволок, изо- лирован полихлорвинилом	0,75—95	1	500
ШВПЛ	Шнур с параллельно уложенными медными жилами, в общей изоляции из полихлорвинила	0,75	2	220

А — жила алюминиевая (если этой буквы нет, значит, жила медная); Р — изоляция резиновая; В — изоляция полихлорвиниловая; Н — изоляция наиритовая; П — провод; ПП — провод плоский (ленточный); О — изолированные жилы заключены в общую оболочку или оплетку; Т — провод нужно прокладывать в трубах; Г — провод гибкий; Д — провод двойной; Ш — шнур.

Число жил и сечение их указывают следующим образом: записывают марку провода; ставят черточку; записывают число жил; ставят знак умножения; записывают сечение жилы. Пример: ПРТО-2 × 1,5; АППВ-3 × 2,5 и т. п.

Провода марок ПР, ПРД, АПР, ПРГ, ШР, ППВ, АППВ прокладывают открыто: по поверхности стен, потолков и других конструктивных частей.

Для прокладки в трубах применяют провода марок ПРТО, АПРТО.

Непосредственно в стенах и потолках (в бороздах, канавках) прокладывают провода марок АПН, АППВ.

Шнуры ШПРО, ШВПЛ используют для подключения переносных электроприемников, например применяемых в быту.

При выборе установочных проводов (см. таблицу 5) нужно учитывать условия прокладки, требуемое количество

жил; их сечение, напряжение, при котором провода будут эксплуатироваться.

Каждый провод рассчитан на допустимую длительную токовую нагрузку, т. е. номинальный ток. Зная номинальный ток, можно по таблице 6 выбрать провод нужного сечения.

Таблица 6

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

Сечение жилы, мм ²	Токовая нагрузка, а	
	Медные жилы	Алюминиевые жилы
0,5	11	—
0,75	15	—
1	17	—
1,5	23	—
2,5	30	24
4	41	32
6	50	39
10	80	55
16	100	80
25	140	105
35	170	130
50	215	165

Обмоточные провода

Обмоточные провода применяют для изготовления обмоток (катушек) электрических аппаратов, приборов, трансформаторов и машин.

Обмоточные провода выпускают одножильными, но жила может состоять из нескольких тонких проволочек. Жилы изолируют: эмалю; хлопчатобумажными, шелковыми, капроновыми нитями; электротехнической бумагой; лаком; полихлорвинилом. Многие провода имеют комбинированную, например эмалево-волоконистую, изоляцию.

Марку обмоточных проводов записывают в виде сочетания букв, например: ПЭВ, ПЭЛШО. Буквы обозначают следующее:

П — провод; ЭЛ — изоляция из лакостойкой эмали; ЭВ — изоляция из высокопрочной эмали; ЭТ — изоляция из теплостойкой эмали; Б — изоляция из хлопчатобумажной пряжи; Ш — изоляция из натурального шелка; К — изоляция из капрона; ШК — изоляция из искусственного

шелка-капрона; С — стеклянная изоляция; А — асбестовая изоляция; О — один слой изоляции; Д — два слоя изоляции (табл. 7).

При записи марки проводов с комбинированной изоляцией соответствующие буквы располагают в порядке следования слоев изоляции от внутреннего к внешнему.

Таблица 7

Основные данные обмоточных проводов

Марка	Устройство провода	Диаметр жилы, мм	Толщина слоя изоляции, мм
ПЭЛ	Медная жила изолирована эмалью на высыхающих маслах	0,02—2,44	0,0015—0,05
ПЭВ	Медная жила изолирована высокопрочной эмалью	0,02—2,44	0,01—0,05
ПЭЛР	Медный провод, изолированный высокопрочной эмалью (полиамидно-резольной)	0,1—2,44	0,01—0,05
ПЭВТЛ	Медный провод, изолированный высокопрочной эмалью повышенной теплостойкости, лудящийся	0,06—1,0	0,01—0,05
ПБ	Медный провод, изолированный несколькими слоями кабельной бумаги	1,0—5,2	0,15—0,3
ПБО	Медный провод, изолированный одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи	0,2—2,1	0,05—0,07
ПБД	То же, но изолированный двумя слоями обмоток из хлопчатобумажной пряжи	0,2—5,2	0,09—0,26
ПЭЛБО	Медный провод, изолированный масляной эмалью и одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи	0,2—2,1	0,062—0,1
ПЭЛКО	То же, но слой обмотки из капроновой пряжи	0,2—2,1	0,062—0,1
ПЭЛШО	То же, но слой обмотки из натурального шелка	0,05—2,1	0,033—0,078
ПЭЛШКО	То же, но слой обмотки из шелка-капрона	0,25—2,1	0,062—0,1
ПЭЛВ	Провод, изолированный масляной эмалью и слоем полихлорвинила	1,25—1,68	0,4—0,42

Жилы обмоточных проводов изготавливают главным образом из меди. Они имеют небольшое сечение. Поэтому обмоточные провода различают не по сечению, а по диаметру жилы и толщине слоя изоляции.

Расчет проводов

Электрические проводки должны отвечать требованиям безопасности, надежности и экономичности. Поэтому важно правильно рассчитать длину и сечение необходимых для монтажа электрической проводки проводов.

Длину провода рассчитывают по монтажной схеме. Для этого на схеме измеряют расстояния между соседними местами расположения щитков, штепсельных розеток, выключателей, ответвительных коробок и т. п. Затем, пользуясь масштабом, в котором вычерчена схема, вычисляют длину отрезков проводов; к длине каждого отрезка прибавляют не менее 100 мм (учитывается необходимость присоединения проводов). Длину провода можно рассчитать также, измеряя непосредственно на щитках, панелях, стенах, потолках и т. п. отрезки линий, вдоль которых должны быть проложены провода.

Сечение провода рассчитывают по потере напряжения и допустимой длительной токовой нагрузке. Если рассчитанные сечения окажутся неодинаковыми, то за окончательный результат принимают величину большего сечения.

Потеря напряжения — это падение напряжения в проводах, соединяющих источник электропитания с электроприемником. Она не должна превышать 2—5% номинального напряжения источника электропитания. Сечение проводов по потере напряжения рассчитывают при проектировании электрических сетей, от которых питаются электроприемники промышленных предприятий, транспорта, крупных жилых и общественных зданий и т. п. При проектировании небольших электроустановок, например электроустановок отдельных помещений, самодельных приборов и т. п., потерей напряжения в проводах можно пренебречь, так как она очень мала.

Для расчета сечения проводов по допустимой длительной токовой нагрузке необходимо знать номинальный ток, который должен проходить по проектируемой электрической проводке. Зная номинальный ток, сечение провода на-

ходят по таблице 6. Пример: номинальный ток равен 50 а; сечение медной жилы провода должно быть 6 мм².

Номинальный ток и допустимые длительные токовые нагрузки, указанные в таблице 6, могут не совпадать по величине. В таком случае сечение находят по ближайшей большей номинального тока допустимой длительной токовой нагрузке. Пример: по проводам должен проходить номинальный ток 74 а; ближайшая большая по величине допустимая длительная токовая нагрузка 80 а (см. таблицу 6); значит, требуется провод сечением 10 мм², если жилы его медные, или сечением 16 мм², если жилы алюминиевые.

Если номинальный ток заранее неизвестен, то его можно определить по формуле¹:

$$I_n = \frac{P_p}{U_n},$$

где I_n — номинальный ток, а;

U_n — номинальное напряжение электроприемника, в;

P_p — расчетная мощность, т. е. фактически расходуемая мощность при работе одного или группы электроприемников, вт.

Расчетную мощность определяют по формуле:

$$P_p = k_c \cdot P_y,$$

где P_p — расчетная мощность, вт;

P_y — установленная мощность, т. е. суммарная мощность всех электроприемников, входящих в данную электроустановку, вт;

k_c — коэффициент спроса, т. е. величина, показывающая, какая часть установленной мощности фактически расходуется (вследствие неодновременности работы электроприемников или работы их не на полную мощность).

Коэффициент спроса для различных электроустановок определяют опытным путем. Принятые значения коэффициента спроса для некоторых потребителей электроэнергии приведены в таблице 8.

Пример. Рассчитать сечение и указать марку проводов, которые можно использовать для подводки электроэнергии для освещения учебного помещения. В помещении необ-

¹ Формула справедлива для цепей постоянного тока, а также для цепей переменного тока с осветительной нагрузкой.

Таблица 8

Коэффициент спроса для некоторых потребителей электроэнергии

Наименование помещений и зданий, в которых прокладываются провода и кабели	Величина коэффициента спроса
Жилые дома, торговые помещения, мелкие мастерские	1,0
Библиотеки, столовые, административно-канторские здания	0,9
Лечебные, детские, учебные учреждения	0,8
Большие производственные объекты	0,95
Средние производственные объекты	0,85
Склады, подвалы	0,6

ходимо установить: 12 ламп мощностью 150 *вт* каждая; 2 лампы мощностью по 75 *вт*; 6 ламп мощностью по 25 *вт*; электронагревательные приборы общей мощностью 1,15 *квт*.

Решение.

1. Определяем установленную мощность:

$$P_y = 150 \cdot 12 + 75 \cdot 2 + 25 \cdot 6 + 1150 = 3250 \text{ вт.}$$

2. По таблице 8 находим коэффициент спроса:

$$k_c = 0,8.$$

3. Вычисляем расчетную мощность:

$$P_p = 0,8 \cdot 3250 = 2600 \text{ вт.}$$

4. Находим номинальный ток. Так как номинальное напряжение не указано, допускаем, что оно может быть равно 127 *в* либо 220 *в*.

$$I_n \text{ (при } U_n = 127\text{в)} = \frac{2600}{127} \approx 20,5\text{а.}$$

$$I_n \text{ (при } U_n = 220\text{в)} = \frac{2600}{220} \approx 12\text{а.}$$

5. По таблице 6 определяем сечение жил проводов, соответствующих токам 20,5 и 12 *а*:

медные жилы: 1,5 *мм*² и 0,75 *мм*²;

алюминиевые жилы: 4 мм^2 и $2,5 \text{ мм}^2$.

6. Выбираем марку провода:

а) Для скрытой прокладки

при $U_n = 127 \text{ в}$ можно использовать провода марок
ПРТО-2 \times 1,5, АПРТО-2 \times 2,5, АПН-2 \times 4,
АППВ-2 \times 2,5;

при $U_n = 220 \text{ в}$: АПРТО-2 \times 2,5, АПН-2 \times 2,5,
АППВ-2 \times 2,5.

б) Для открытой прокладки

при $U_n = 127 \text{ в}$ можно использовать, например, прово-
да марок ПРД-1,5, ППВ-2 \times 1,5, АППВ-2 \times 2,5;

при $U_n = 220 \text{ в}$: ПРД-0,75, ППВ-2 \times 0,75,
АППВ-2 \times 2,5 .

Упражнения

1. Рассчитать сечение и выбрать марку провода для монтажа лампового реостата на 6 ламп. Максимальная мощность реостата 600 *вт*.

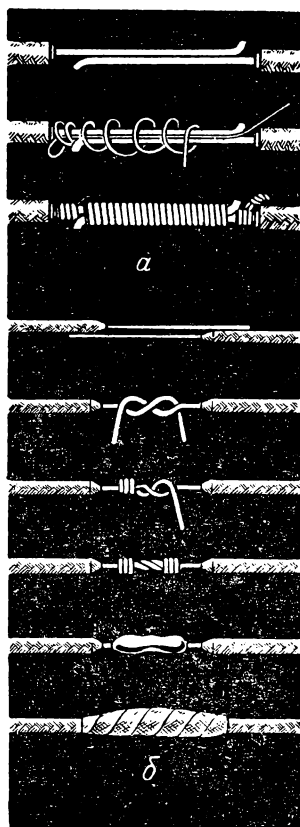
2. Рассчитать сечение и выбрать марки проводов для монтажа электропроводки в электротехническом кабинете, если в кабинете 10 рабочих мест и на каждом из них должен быть установлен электрический щиток. Максимальная мощность подключаемых к одному щитку электроприемников 1,5 *квт*.

Соединение и оконцевание проводов

Места соединения проводников должны иметь малое электрическое сопротивление и обладать высокой механической прочностью. Допускаемая величина сопротивления электрического контакта не должна превышать сопротивления целого проводника, равного по длине и сечению контакту.

Рис. 9. Соединение однопроволочных медных жил:

а — скруткой с бандажной вязкой;
б — скруткой и пайкой.



Соединение однопроволочных медных жил пайкой (рис. 9). Медные жилы освобождают от изоляции;

соединяют скруткой зачищенные до блеска концы жил; помещают стержень паяльника в канифоль, а затем касаются им места соединения жил;

помещают стержень паяльника в припой, находящийся в ванночке, а затем касаются стержнем места соединения до тех пор, пока расплавленный припой не заполнит желобки между жилами;

очищают место соединения после его остывания от заусенцев наждачной бумагой;

обматывают место соединения в три-четыре слоя изоляционной лентой.

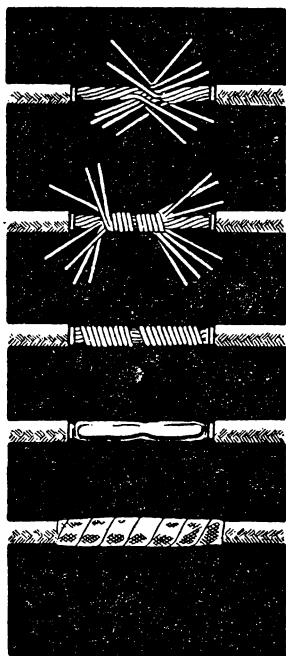


Рис. 10. Соединение многопроволочных жил скруткой и пайкой.

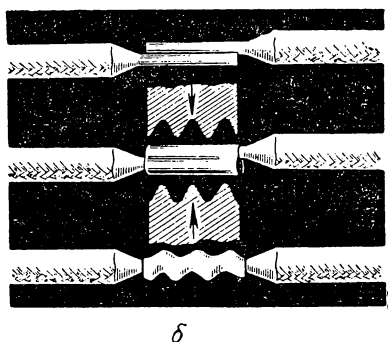
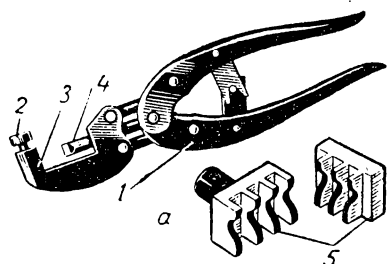


Рис. 11. Соединение жил опрессованием:

a — пресс-клещи ПК-2; *б* — последовательность операций при опрессовании; 1 — рукоятка; 2 — винт для закрепления матрицы; 3 — место для установки матрицы; 4 — место для установки пуансона; 5 — сменная матрица и пуансон.

Данные для опрессования медных жил с помощью ленты

Сечение жил, мм^2	Длина участка провода со снятой изоляцией, мм	Размеры ленты, мм		Количество слоев оберт- ывания лентой
		Толщина	Ширина	
2,5	18—20	0,2	18—20	Два
4	23—24	0,3	18—20	Полтора
6—10	37—38	0,2	20—22	Два
		0,2	35—36	Три
		0,3	35—36	Два

При соединении пайкой многопроволочных жил сначала облуживают каждую проволочку отдельно, затем жилы скручивают (рис. 10), вновь облуживают и заливают припоем.

Соединение жил опрессованием (рис. 11). Медные жилы сечением до 10 мм^2 соединяют с помощью тонкой медной или латунной ленты:

необходимые данные выбирают по таблице 9;

очищают от изоляции и зачищают до блеска концы жил; укладывают их внахлестку; обертывают жилы лентой; обжимают ленту пресс-клещами.

Оконцевание проводов. Наконечник закрепляют на однопроволочные жилы сечением более 10 мм^2 и многопроволочные жилы сечением более $2,5 \text{ мм}^2$.

Подбирают наконечник, однородный по материалу с жилой; наконечник надевают на зачищенный до блеска конец жилы;

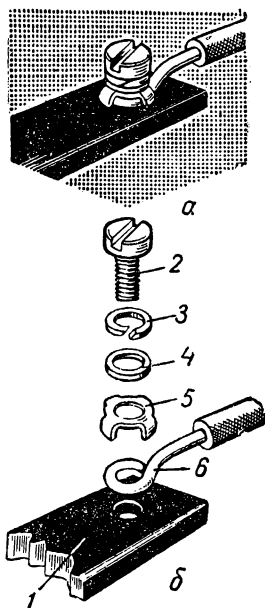


Рис. 12. Болтовое контактное соединение алюминиевого провода:

a—в готовом виде; *б*—в разобранном виде; 1—контактная колодка; 2—винт М4; 3—пружинная шайба; 4—плоская шайба; 5—ограничивающая шайба; 6—жила с кольцом на конце

припаивают наконечник (или опрессовывают).

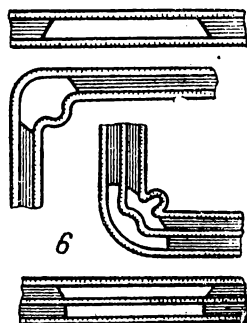
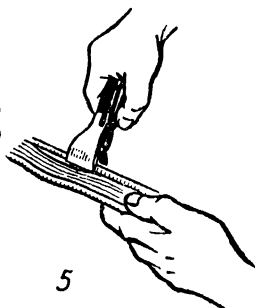
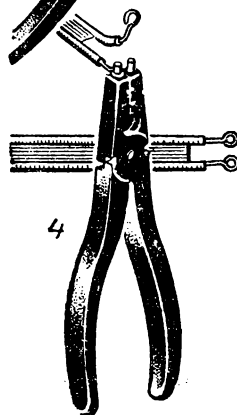
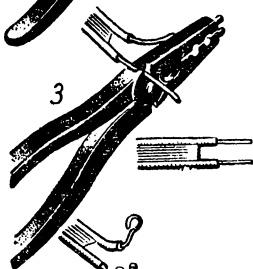
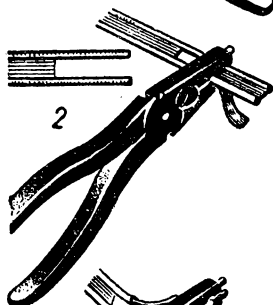
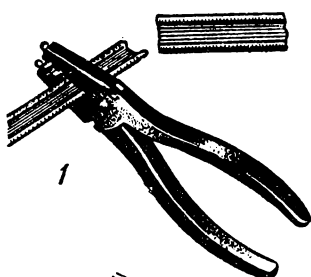
Алюминиевые жилы присоединяют с помощью болтовых зажимов (рис. 12). Для присоединения к болтовым зажимам на концах медных жил делают колечко.

Б. МОНТАЖ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ

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, вырубаемых предварительно в стенах, а также в изоляционных и стальных трубах, расположенных внутри зданий.

Монтируют электропроводку в следующей последовательности:



1. Знакомятся с рабочими чертежами проекта электроустановки и монтажными схемами.

2. Размечают места установки светильников, арматуры, коммутационных аппаратов (выключателей, рубильников и т. п.), электрических щитков, линий прокладки проводов. Разметку делают по монтажным схемам и картам, разработанным на основе чертежей проекта электроустановки.

3. Пробивают отверстия и гнезда, сверлят проходы, фрезеруют борозды.

4. Устанавливают крепежные детали, опорные конструкции, изоляторы и т. п.

5. Устанавливают и крепят щитки, арматуру, коммутационные аппараты, ответвительные коробки. Обычно монтируют щитки и арматуру, к которым заранее присоединены провода.

6. Отмеривают, отрезают, правят, прокладывают и крепят провода. На рисунках 13 и 14 показано, как монтируют провода марок ППВ и АППВ.

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.

Вид электропроводки выбирают в зависимости от условий, в которых она должна эксплуатироваться; требова-

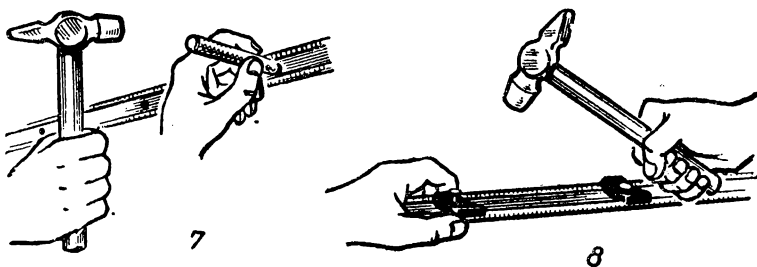


Рис. 13. Монтаж проводов марок ППВ и АППВ:

1—перекусывание провода; 2—снятие изоляции между жилами; 3—снятие изоляции с концов жил; 4—изготовление колец на концах жил; 5—подготовка проводов для выполнения изгиба; 6—изгиб провода; 7—крепление проводов гвоздями с помощью деревянной оправки; 8—крепление проводов с помощью накладок.

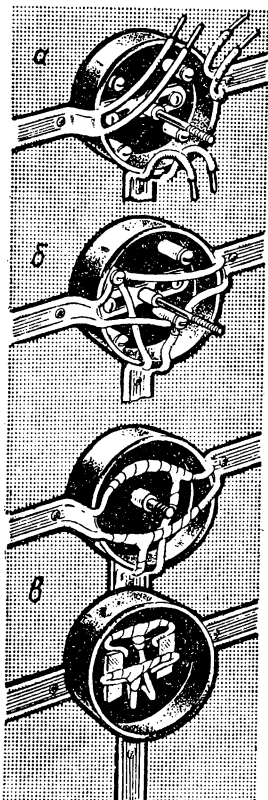


Рис. 14. Соединение проводов в ответвительной коробке:

а—ввод концов проводов в ответвительную коробку; *б*—соединение проводов в ответвительной коробке с зажимами; *в*—соединение проводов в ответвительной коробке без зажимов.

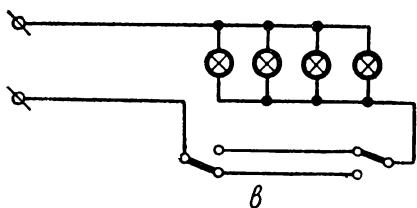
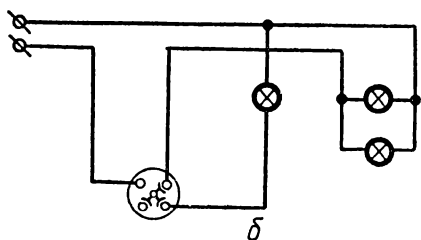
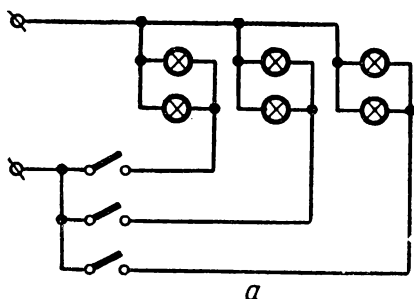


Рис. 15. Схемы управления электрическими лампами:

а—включение групп ламп отдельными выключателями; *б*—включение ламп переключателем; *в*—независимое включение ламп из двух разных мест.

ний техники безопасности; ценности и капитальности зданий и их архитектурных особенностей (см. табл. 10).

Электромонтажные и ремонтные работы на стройках, предприятиях, в жилых домах, общественных учреждениях и т. д. производят квалифицированные рабочие: электромонтеры по монтажу осветительных электросетей, электромонтеры по монтажу силовых электросетей, слесари-электромонтажники, электромонтеры-ремонтники и другие.

Таблица 10

Виды электропроводок и способы прокладки проводов

Характеристика помещения или среды	Виды электропроводки	Способ прокладки
Сухое	Скрытая	В трубах (изоляционных, изоляционных с металлической оболочкой, стальных), глухих коробах и каналах строительных конструкций
	Открытая	На роликах и изоляторах, в трубах (изоляционных с металлической оболочкой, стальных), коробах, лотках и гибких металлических рукавах
Влажное	Скрытая	В трубах (изоляционных, влагостойких, стальных) и глухих коробах
	Открытая	На роликах и изоляторах, в стальных трубах и коробах
Сырое	Скрытая	В трубах (изоляционных, влагостойких, стальных)
	Открытая	На роликах для сырых мест, изоляторах и в стальных трубах

Упражнения

1. На рисунке 15 приведены часто применяющиеся на практике схемы включения ламп. По ним можно смонтировать цепи на щитках или непосредственно в помещении, например в кабинете электротехники. Составьте для этого монтажные схемы.

2. Начертите монтажные схемы осветительной электроустановки кабинета электротехники, мастерской, жилой комнаты, квартиры.

Раздел третий

ТЕХНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

1. ЕДИНИЦЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В настоящее время в основном применяется международная система единиц СИ (см. табл. 11).

Таблица 11

Международная система единиц (СИ) электрических
и магнитных величин

Наименование величины	Единица измерения	Сокращенные обозначения			Размер производных единиц
		русские	латинские или греческие		
Сила тока	ампер	<i>a</i>	<i>A</i>	—	
Частота	герц	<i>гц</i>	<i>Hz</i>	1:(1 сек)	
Работа (энергия) тока	джоуль	<i>дж</i>	<i>J</i>	(1 н)·(1 м)	
Мощность тока	ватт	<i>вт</i>	<i>W</i>	(1 дж):(1 сек)	
Количество электричества, электрический заряд	кулон	<i>к</i>	<i>C</i>	(1 а)·(1 сек)	
Электрическое напряжение, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	вольт	<i>в</i>	<i>V</i>	(1 вт):(1 а)	
Напряженность электрического поля	вольт на метр	<i>в/м</i>	<i>V/m</i>	(1 в):(1 м)	
Электрическое сопротивление	ом	<i>ом</i>	Ω	(1 в):(1 а)	
Электрическая емкость	фарада	<i>ф</i>	<i>F</i>	(1 к):(1 в)	
Магнитный поток	вебер	<i>вб</i>	<i>Wb</i>	(1 к)·(1 ом)	
Индуктивность	генри	<i>гн</i>	<i>H</i>	(1 вб):(1 а)	
Магнитная индукция	тесла	<i>тл</i>	<i>T</i>	(1 вб):(1 м) ²	
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	<i>а/м</i>	<i>A/m</i>	(1 а):(1 м)	

Для измерения электрических величин применяют также следующие единицы:

1 *ма* (миллиампер) = 10^{-3} *а*; 1 *мка* (микроампер) = 10^{-6} *а*;
1 *ка* (килоампер) = 10^3 *а*;
1 *мв* (милливольт) = 10^{-3} *в*;
1 *мкв* (микровольт) = 10^{-6} *в*; 1 *кв* (киловольт) = 10^3 *в*;
1 *ком* (килоом) = 10^3 *ом*; 1 *мом* (мегом) = 10^6 *ом*;
1 *квт* (киловатт) = 10^3 *вт*;
1 *квт · ч* (киловатт-час) = 3 600 000 *дж*;
1 *кгц* (килогерц) = 10^3 *гц*; 1 *мгц* (мегагерц) = 10^6 *гц*;
1 *мкф* (микрофарада) = 10^{-6} *ф*; 1 *пф* (пикофарада) = 10^{-12} *ф*.

2. УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Основные части приборов

Электроизмерительные приборы служат для измерения силы тока, напряжения, сопротивления, мощности, работы (энергии) тока и других электрических величин. Поэтому различают приборы: амперметры, вольтметры, омметры, ваттметры, счетчики электроэнергии и др.

Большинство приборов, например амперметры, вольтметры и т. п., показывает значение электрической величины, соответствующее моменту измерения. Такие приборы называются показывающими приборами. Некоторые приборы, например счетчики электроэнергии, показывают суммарное значение измеряемой величины. Они называются интегрирующими (суммирующими) приборами.

Многие показывающие приборы имеют ряд одинаковых по назначению частей, которые можно увидеть, рассматривая

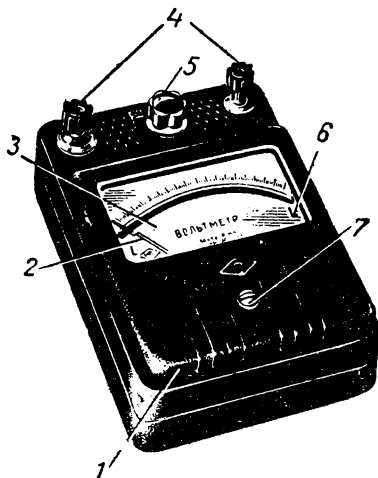


Рис. 16. Общий вид электроизмерительного прибора:

1—корпус; 2—указательная стрелка; 3—шкала; 4—зажимы; 5—переключатель пределов измерения; 6—ограничители; 7—винт корректора.

внешний вид этих приборов. К таким частям относятся: корпус, зажимы, шкала, указательная стрелка, ограничители, винт корректора (рис. 16). Внутри каждого прибора есть измерительный механизм. На корпусе некоторых приборов расположены переключатель пределов измерения и арретир. Отдельные приборы, например омметры, имеют камеру, в которую вкладывают источник электропитания (гальванический элемент). У интегрирующих приборов в отличие от показывающих приборов отсутствует указательная стрелка, но у них есть счетный механизм.

Корпус прибора служит для защиты измерительного механизма от механических повреждений, пыли, а в некоторых приборах — от влаги. Изготавливают корпуса приборов из пластмассы, древесины, стали, стекла, алюминия и его сплавов.

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

По *шкале* прибора отсчитывают значение измеряемой величины. Шкалу изготавливают из латуни, цинка, стали или электроизоляционных материалов, которые оклеивают бумагой. На бумаге наносят вертикальные черточки, называемые *о т м е т к а м и*. Расстояние между двумя соседними отметками называется *д е л е н и е м* шкалы. Шкалы бывают равномерными (все деления шкалы одинаковы) и неравномерными (деления шкалы неодинаковы). На шкале многих приборов параллельно отметкам делают зеркальную полосу. Такая шкала называется *з е р к а л ь н о й*. На шкалу наносят графические условные знаки (см. стр. 61).

Указательная стрелка нужна для отсчета по шкале значения измеряемой величины. Стрелку делают из алюминия или сплавов его с другими металлами. Конец стрелки имеет ножевидную или копьевидную форму. Стрелка закрыта стеклянным окном, вмонтированным в корпус прибора. Стрелка соединена с измерительным механизмом, под действием которого она отклоняется (перемещается). Чтобы стрелка при отклонении 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 отверткой слегка поворачивают винт корректора.

Переключатель пределов измерения имеется у приборов, которые служат для измерения электрических величин в нескольких пределах. Перед включением прибора головку переключателя поворачивают так, чтобы имеющаяся на ней точка оказалась против требуемого предела измерения.

Арретир требуется для закрепления измерительного механизма прибора, иначе подвижные его части могут быть повреждены при переноске или перевозке прибора.

Измерительные механизмы

Каждый измерительный механизм имеет одну или несколько обмоток, по которым при включении прибора в электрическую цепь идет ток. Кроме обмоток, измерительный механизм имеет постоянный магнит или сердечник, который намагничивается, когда по обмоткам идет ток. Вследствие взаимодействия токов, проходящих по обмоткам, или взаимодействия тока и магнита отклоняется указательная стрелка. В зависимости от вида такого взаимодействия различают системы измерительных механизмов: магнитоэлектрическую, электромагнитную, электродинамическую, индукционную и другие.

Измерительные механизмы любой системы имеют ряд механических частей, назначение которых в основном одинаково. К таким частям относятся: спиральные пружины, оси или полуоси с подпятниками, противовесы, корректор (рис. 17).

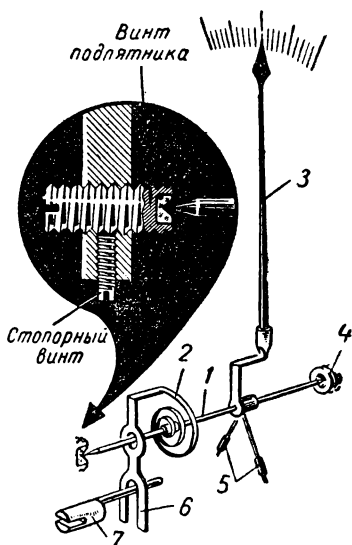


Рис. 17. Устройство подвижной части измерительных механизмов:

- 1—ось (у некоторых приборов—полуоси);
- 2—спиральная упругая пружина; 3—указательная стрелка; 4—подпятник;
- 5—противовесы; 6—вилка корректора;
- 7—винт корректора.

Спиральные пружины препятствуют отклонению стрелки, благодаря чему она останавливается против определенной отметки шкалы. Пружины делают из бронзы.

На *оси* или *полуосях* укрепляют указательную стрелку и подвижную часть измерительного механизма. Концы оси или полуосей помещают в *подпятники*, которые уменьшают трение. Подпятники изготовляют 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 (см. стр. 54) соединен с рычагом, а рычаг — с концом спиральной пружины. При повороте винта корректора рычаг закручивает (или раскручивает) пружину, вследствие чего слегка отклоняется стрелка.

Каждый измерительный механизм имеет в своем устройстве *успокоитель*. Успокоитель быстро гасит колебание стрелки в тот момент, когда она под действием подвижной части измерительного механизма отклоняется до нужной отметки шкалы. По принципу действия и устройству различают воздушные и магнитоиндукционные успокоители.

Действие *воздушного успокоителя* (рис. 18) обеспечивается разностью давлений воздуха на поршень, находящийся внутри цилиндра. Сила, создаваемая разностью давлений, пропорциональна скорости дви-

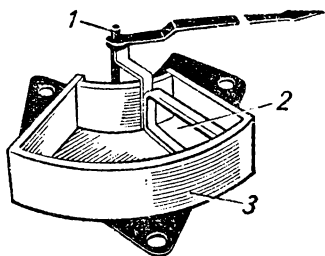


Рис. 18. Воздушный успокоитель:

1—ось; 2—поршень (крылышко); 3—цилиндр (корпус).

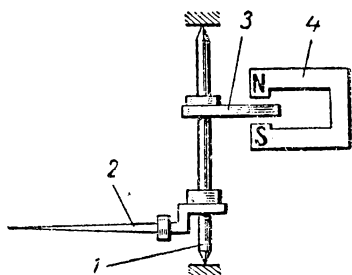


Рис. 19. Магнитоиндукционный успокоитель:

1—ось; 2—стрелка; 3—алюминиевый листочек; 4—постоянный магнит.

жения поршня и оказывает на него тормозящее (успокаивающее) действие.

Действие магнитоиндукционного успокоителя (рис. 19) основано на применении правила Ленца о направлении индукционного тока. Алюминиевый листочек, закрепленный на оси подвижной части измерительного механизма, находится между полюсами постоянного магнита. При отклонении стрелки алюминиевый листочек тоже движется, и в нем создается индукционный ток. Магнитное поле этого тока согласно правилу Ленца должно ослабить действие магнитного поля постоянного магнита. В результате листочек, а вместе с ним и стрелка быстро останавливаются.

Магнитоэлектрическая система (рис. 20). Принцип действия — взаимодействие тока, проходящего по обмотке рамки, с постоянным магнитом.

Ток к обмотке рамки идет через две спиральные пружины. Когда по обмотке рамки идет ток, она поворачивается

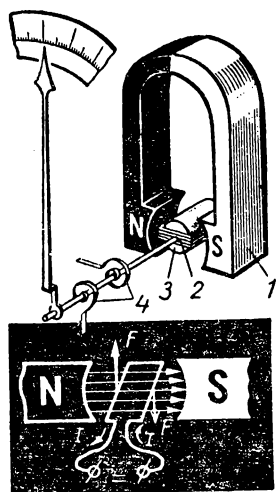


Рис. 20. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы и его схема:

1 — магнитопровод (постоянный магнит); 2 — рамка с обмоткой; 3 — стальной цилиндр; 4 — пружина.

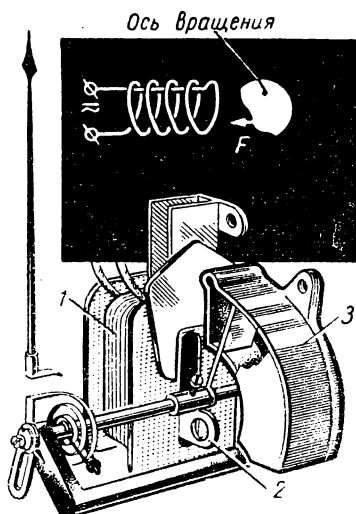


Рис. 21. Измерительный механизм электромагнитной системы и его схема:

1 — катушка; 2 — подвижный сердечник; 3 — воздушный успокоитель.

на угол, величина которого пропорциональна измеряемому току (напряжению). Направление поворота рамки, а значит и стрелки, зависит от направления тока в обмотке рамки.

Основные достоинства — высокая точность; равномерная шкала; точность показаний не ухудшается под действием внешних магнитных полей.

Основные недостатки — невозможность измерять одним и тем же прибором постоянный и переменный токи (если в приборе нет выпрямительного устройства); сравнительно высокая стоимость.

Электромагнитная система (рис. 21). Принцип действия — взаимодействие тока, проходящего по обмотке катушки, с намагничивающимся ферромагнитным сердечником. Вследствие этого взаимодействия ферромагнитный сердечник втягивается внутрь катушки.

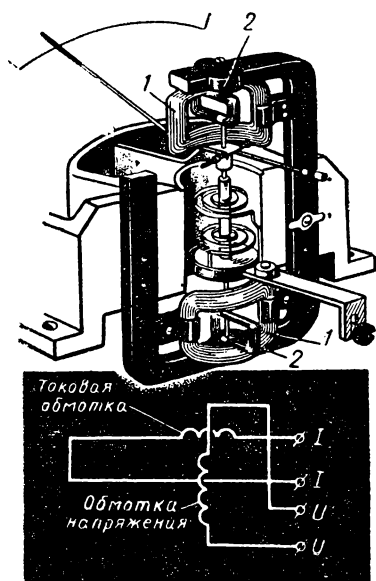


Рис. 22. Измерительный механизм электродинамической системы и его схема:

1 — подвижная катушка; 2 — подвижная катушка.

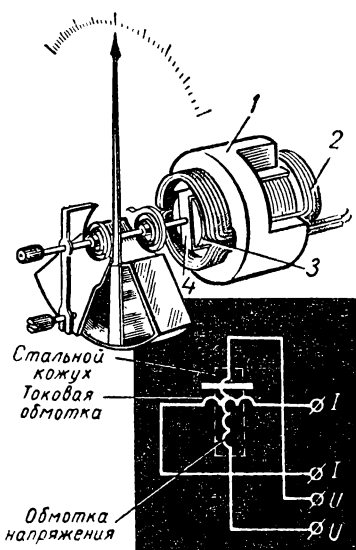


Рис. 23. Измерительный механизм ферродинамической системы и его схема:

1 — стальной кожух; 2 — токовая обмотка; 3 — стальной цилиндр; 4 — обмотка напряжения.

При изменении направления тока в обмотке одновременно меняется полярность намагничивающегося сердечника. Поэтому при любом направлении тока в обмотке сердечник втягивается внутрь ее, а стрелка, следовательно, отклоняется в одну и ту же сторону.

Основные достоинства — простота устройства; относительно невысокая стоимость; пригодность для измерения постоянного и переменного тока; устойчивость к перегрузкам.

Основные недостатки — невысокая точность; неравномерность шкалы; зависимость точности показаний от влияния внешних магнитных полей; сравнительно большая потребляемая энергия.

Электродинамическая система (рис. 22). Принцип действия — взаимодействие токов, протекающих по двум обмоткам, одна из которых неподвижна, а другая может вращаться.

Обмотка неподвижной катушки имеет мало витков и называется **токовой обмоткой**. Обмотка подвижной катушки имеет много витков и называется **обмоткой напряжения**. При включении прибора в цепь ток одновременно проходит по обмоткам обеих катушек. В результате взаимодействия токов подвижная катушка поворачивается на угол, пропорциональный произведению токов. Направление тока в обмотках может изменяться лишь одновременно. Поэтому независимо от направления тока подвижная катушка, а значит и стрелка, поворачивается только в одну сторону. Механизм элек-

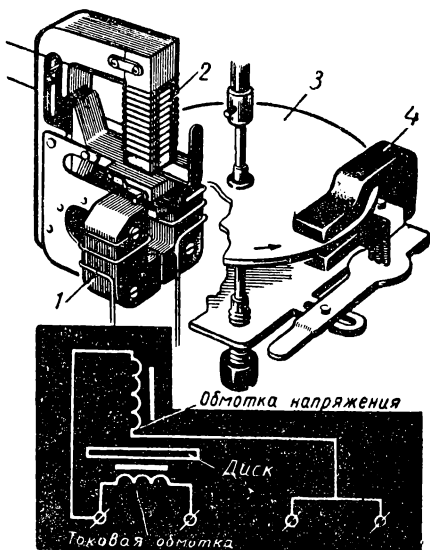


Рис. 24. Измерительный механизм индукционной системы и его схема:

1—токовая катушка; 2—катушка напряжения; 3—алюминиевый диск; 4—постоянный магнит (успокоитель).

тродинамической системы применяется для изготовления амперметров, вольтметров и ваттметров.

Наряду с измерительными механизмами электродинамической системы широко применяются механизмы **ферродинамической системы**. Принцип действия механизмов этих систем одинаков. Конструкция ферродинамического механизма (рис. 23) отличается тем, что его неподвижные обмотки помещены на магнитопроводе, благодаря чему повышается чувствительность прибора.

Основные достоинства — высокая точность; возможность измерения одним и тем же прибором постоянного и переменного тока.

Основные недостатки — сравнительно высокая стоимость; точность показаний ухудшается под влиянием внешних магнитных полей (особенно у электродинамических); сравнительно малая устойчивость к перегрузкам.

Индукционная система (рис. 24). Принцип действия — взаимодействие токов, протекающих по двум обмоткам, с токами, индуцируемыми в алюминиевом диске, находящемся между этими обмотками.

Механизмы индукционной системы обычно применяют для изготовления интегрирующих приборов. Поэтому ось, на которой укреплен диск, через систему передач соединяют не со стрелкой, а со счетным механизмом (рис. 25). Такой механизм применяется в устройстве счетчиков электроэнергии.

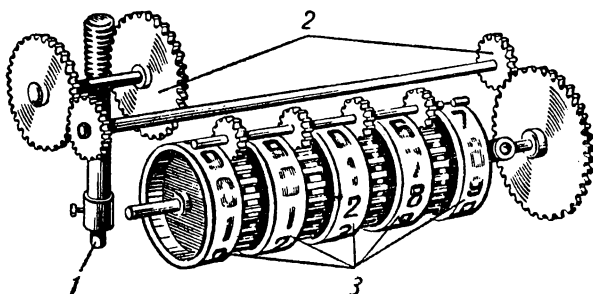


Рис 25. Счетный механизм прибора индукционной системы:

1—ось измерительного механизма; 2—система зубчатых передач;
3—обоймы счетного механизма.

Вопросы

1. В чем заключается принцип действия измерительных механизмов магнитоэлектрической системы? Электромагнитной системы? Электродинамической системы? Индукционной системы?
2. Почему механизм электромагнитной системы можно применять для измерения постоянного и переменного тока?
3. В чем заключается принцип действия и как устроены успокоители?
4. Сравните достоинства и недостатки измерительных механизмов различных систем.

3. УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ШКАЛЕ

На шкале прибора с помощью условных знаков указывают назначение прибора, род измеряемого тока, систему измерительного механизма, класс точности, условия эксплуатации, положение прибора во время работы, напряжение, при котором испытана изоляция обмоток, а также тип прибора, марку завода-изготовителя, заводской номер и год выпуска.

На шкале прибора пишут его наименование или условный знак (см. табл. 12), что говорит о назначении прибора. На электрических схемах прибор обозначают окружностью (см. табл. 1), в которой пишут такой же условный знак.

Таблица 12

Условные обозначения электроизмерительных приборов

Условный знак на шкале или на схеме	Наименование прибора	Измеряемая прибором электрическая величина
<i>A</i>	Амперметр	Сила тока
<i>mA</i>	Миллиамперметр	» »
μA	Микроамперметр	» »
<i>V</i>	Вольтметр	Напряжение
<i>kV</i>	Киловольтметр	»
Ω	Омметр	Сопротивление
<i>M\Omega</i>	Мегомметр	»
<i>kWh</i>	Счетчик киловатт-часов	Работа
<i>W</i>	Ваттметр	Мощность
<i>kW</i>	Киловаттметр	»
<i>Hz</i>	Частотомер	Частота

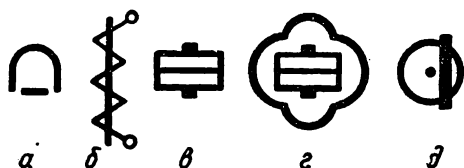


Рис. 26. Условные обозначения систем измерительных механизмов:

а — магнитоэлектрическая; *б* — электромагнитная;
в — электродинамическая; *г* — ферродинамическая;
д — индукционная.

На шкале прибора указывают род измеряемого тока: постоянный, переменный (см. табл. 1).

Систему измерительного механизма изображают условным знаком (рис. 26), который также пишут на шкале.

Различают приборы восьми *классов точности*: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4. Приборы первых четырех классов точности применяют для лабораторных измерений, а четырех последних — для технических измерений. Лабораторные приборы являются более точными по сравнению с техническими приборами. Чтобы можно было правильно выбрать прибор, на его шкале указывают класс точности. Для этого на шкале пишут либо цифры, обозначающие класс точности, либо эти цифры обводят окружностью.

Рассмотрим подробнее, что понимается под классом точности прибора.

Приборы, применяемые для измерения электрических величин в лабораториях, на производстве, в быту, называются *рабочими приборами*. Рабочие приборы не позволяют достаточно точно измерить электрические величины. Действительное значение (наиболее близкое к истинному значению) измеряемой величины показывают *образцовые измерительные приборы*.

Разность между показанием рабочего прибора и действительным значением измеряемой величины называется *абсолютной погрешностью прибора*:

$$\Delta A = A - A_d,$$

где ΔA — абсолютная погрешность прибора;

A — показание рабочего прибора;

A_d — действительное значение величины (показание образцового прибора).

Разность между действительным значением измеряемой величины и показанием рабочего прибора называется *поправкой прибора*:

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

где δA — поправка прибора.

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

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

Действительное значение величины равно показанию прибора, алгебраически сложенному с поправкой прибора:

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

Выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности прибора к наибольшему значению, которое может быть измерено по шкале этого прибора, называется *приведенной погрешностью прибора*:

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

где γ_n — приведенная погрешность, %;

A_n — наибольшее значение величины, которое может быть измерено данным прибором.

Наибольшая допустимая приведенная погрешность прибора, вызванная лишь несовершенством его конструкции, называется *классом точности* этого прибора.

Каждый прибор рассчитан на определенные условия эксплуатации, что также указывают на шкале. Степень защищенности от внешних магнитных полей обозначается римскими цифрами I, II, III, IV. Меньшая цифра соответственно означает, что прибор лучше защищен от действия внешних магнитных полей. Условия работы при соответствующих температурах и влажности обозначаются буквами:

А — нормально работает при температуре окружающего воздуха от $+10$ до $+35^\circ\text{C}$ и относительной влажности до 80%;

Б — нормально работает при температуре окружающего воздуха от -20 до $+50^\circ\text{C}$ и относительной влажности до 80%;

В — нормально работает при температуре окружающего воздуха от -40 до $+60^\circ\text{C}$ и относительной влажности до 98%.

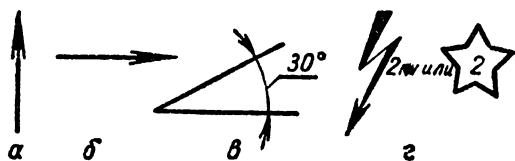


Рис 27. Условные обозначения расположения прибора:

а—вертикальное; б—горизонтальное; в—под углом 30° ;
г—прочность изоляции испытана при напряжении 2 кВ.

Во время работы прибор должен быть расположен так, как указано на его шкале (рис. 27, а, б, в).

На шкале прибора указана также величина напряжения, при котором была испытана электрическая прочность изоляции (рис. 27, г).

4. СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Общий порядок выполнения измерений

При измерении электрических величин с помощью приборов строго соблюдают правила техники безопасности (см. стр. 13).

Подготавливают приборы и выполняют измерения в следующем порядке:

1. Прибор выбирают с учетом требуемых условий измерения и точности.
2. Переключатель (если он есть) устанавливают на нужный предел измерения.
3. Цену деления шкалы определяют при установленном пределе измерения, для чего предел измерения делят на число делений шкалы.
4. Стрелку устанавливают на нулевую отметку с помощью корректора.
5. Прибор включают в цепь согласно схеме.
6. Число делений, на которые отклонилась стрелка, отсчитывают таким образом, чтобы линия, соединяющая глаз и конец стрелки, была перпендикулярна к шкале.
7. Результат измерения получают, перемножив цену деления и число делений, на которые отклонилась стрелка.
8. Цепь по окончании работы отключают. Прибор, если требуется, отсоединяют от других элементов цепи.

Измерение силы тока

Силу тока измеряют с помощью амперметра.

Амперметр включают в цепь последовательно (рис. 28).

Одним и тем же амперметром можно измерять силу тока в различных пределах, если к прибору подключить *шунт* (рис. 29 и 30). Чаще всего шунты применяют для включения приборов магнитоэлектрической системы.

Для изготовления шунта прежде рассчитывают величину его сопротивления — $R_{ш}$. Для этого нужно знать: внутреннее сопротивление амперметра — R_a ; номинальный ток амперметра — I_a ; ток, который требуется измерить, — I .

Так как шунт и амперметр соединены между собой параллельно, можно составить систему уравнений:

$$\begin{cases} I = I_a + I_{ш}; \\ \frac{I_a}{I_{ш}} = \frac{R_{ш}}{R_a}. \end{cases}$$

Решив эту систему относительно $R_{ш}$, получают:

$$R_{ш} = \frac{R_a}{\frac{I}{I_a} - 1}.$$

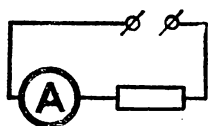
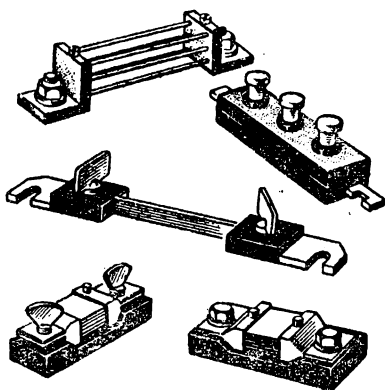


Рис. 28. Схема включения амперметра.

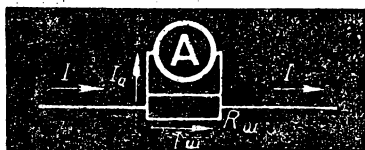


Рис. 29. Шунты к амперметрам. Рис. 30. Схема присоединения шунта к амперметру.

Отношение $\frac{I}{I_a}$ называется шунтирующим множителем, который обозначается буквой n . Тогда

$$R_{ш} = \frac{R_a}{n - 1}.$$

По величине сопротивления шунта подбирают сечение и длину провода для изготовления шунта. Сечение шунта выбирают таким, чтобы при прохождении по шунту номинального тока он не перегревался.

Пример.

Рассчитать шунт для амперметра на номинальный ток 5 *ма* и сопротивлением 20 *ом*, если этим амперметром требуется измерять ток силой 200 *ма*.

Решение.

1. Определяем шунтирующий множитель:

$$n = \frac{200}{5} = 40.$$

2. Вычисляем сопротивление шунта:

$$R_{ш} = \frac{20}{40 - 1} = \frac{20}{39} \text{ ом}.$$

3. Выбираем сечение манганинового провода для изготовления шунта, например $S = 1,5 \text{ мм}^2$. По таблице 2 находим величину удельного электрического сопротивления манганина.

4. Рассчитываем длину провода. Из формулы $R = \rho \frac{l}{S}$ следует, что $l = \frac{R_{ш} \cdot S}{\rho} = \frac{20 \cdot 1,5}{39 \cdot 0,48} \approx 1,6 \text{ м}.$

Измерение напряжения

Напряжение измеряют с помощью вольтметра.

Вольтметр включают в цепь параллельно (рис.31).

Для расширения пределов измерения вольтметров последовательно к нему подсоединяют добавочное сопротивление (рис. 32 и 33). Для расчета величины добавочного сопротивления необходимо знать внутреннее сопротивление вольтметра— R_v , номинальное напряжение вольтметра— U_v , напряжение, которое требуется измерить, — U . Так

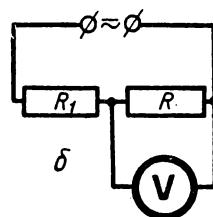
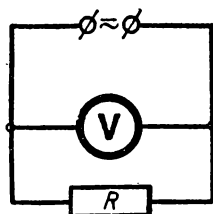
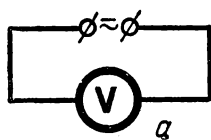


Рис. 31. Схемы включения вольтметра:

а—для измерения напряжения (э. д. с.) источника тока; б— для измерения напряжения на сопротивлении.

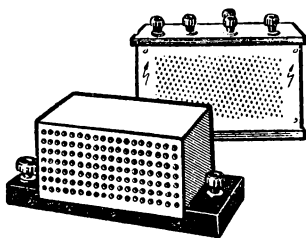
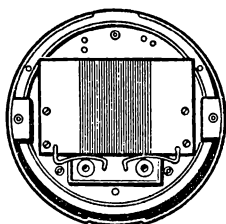


Рис. 32. Добавочные сопротивления к вольтметрам.

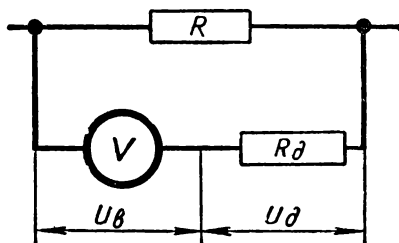


Рис. 33. Схема присоединения добавочного сопротивления к вольтметру.

как вольтметр и добавочное сопротивление соединяют между собой последовательно, можно составить систему уравнений:

$$\begin{cases} U = U_{\text{в}} + U_{\text{д}}, \\ \frac{U_{\text{в}}}{U_{\text{д}}} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}}}. \end{cases}$$

Решая эту систему относительно R_d , получают:

$$R_d = R_v \left(\frac{U}{U_v} - 1 \right).$$

Отношение $\frac{U}{U_v}$ называют множителем добавочного сопротивления и обозначают буквой p . Тогда

$$R_d = R_v (p - 1).$$

Пример.

Рассчитать добавочное сопротивление к вольтметру, имеющему сопротивление 600 ом и рассчитанному на напряжение 75 в, если этим вольтметром требуется измерить напряжение 300 в.

Решение.

1. Определяем множитель добавочного сопротивления:

$$p = \frac{300}{75} = 4.$$

2. Вычисляем величину добавочного сопротивления:

$$R_d = 600 (4 - 1) = 1800 \text{ ом}.$$

3. Выбрав сечение и материал провода, вычисляем его длину.

Измерение мощности

Мощность электрического тока измеряют с помощью ваттметра. Схема включения ваттметра показана на рисунке 34.

Мощность в цепях постоянного тока, а также в цепях переменного тока, если в них нет конденсаторов и электроприемников с обмотками, например двигателей, можно измерить также с помощью амперметра и вольтметра (рис. 35). По показаниям амперметра (I) и вольтметра (U) находят мощность: $P = I \cdot U$,

где P — мощность, *вт*;

I — ток, *а*,

U — напряжение, *в*.

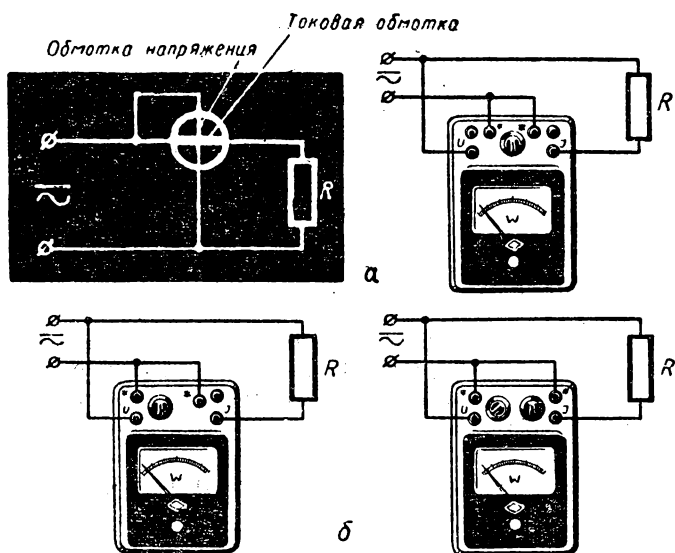


Рис. 34. Схемы включения ваттметров:
а—принципиальная схема; б—схемы включения ваттметров различных типов.

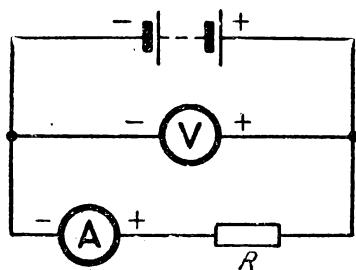


Рис. 35. Схема измерения мощности постоянного электрического тока с помощью амперметра и вольтметра.

Измерение работы (энергии) тока

Работу (энергию) тока измеряют с помощью счетчика электроэнергии (рис. 36). Для определения расхода электроэнергии за определенный промежуток времени находят разность между начальным и конечным показаниями счетного механизма.

Пример.

Перед включением счетчик показывал $948,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, а через некоторое время показание стало равным $134,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Определить расход энергии за прошедший промежуток времени, если данный счетчик рассчитан на показание до $1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$, после чего отсчет начинается вновь от нуля.

Решение.

1. Определяем расход электроэнергии за время отсчета механизма от $948,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ до $1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Он равен: $1000 - 948,8 = 51,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

2. Находим полный расход электроэнергии за истекшее время: $W = 51,2 + 134,6 = 185,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Измерение электрического сопротивления

Для непосредственного измерения электрического сопротивления применяют омметры и мегомметры.

Электрическое сопротивление можно также измерить с помощью амперметра и вольтметра. Для подсчета сопротив-

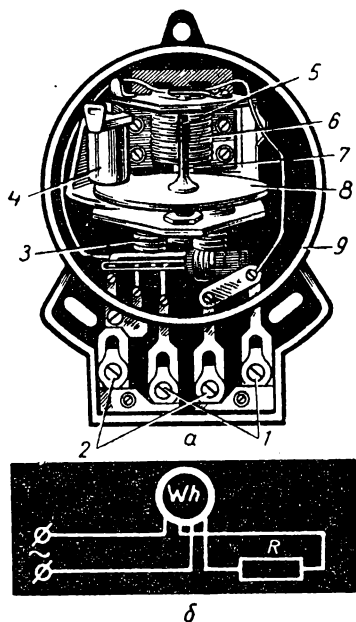


Рис. 36. Счетчик электроэнергии:

а—внутреннее устройство; б—схема включения; 1—зажимы для подсоединения электроприемников; 2—зажимы для подключения к сети; 3—токовая обмотка; 4—постоянный магнит (успокоитель); 5—червячный винт для передачи движения от оси к счетному механизму; 6—обмотка напряжения; 7—ось; 8—алюминиевый диск; 9—корпус (передняя крышка снята).

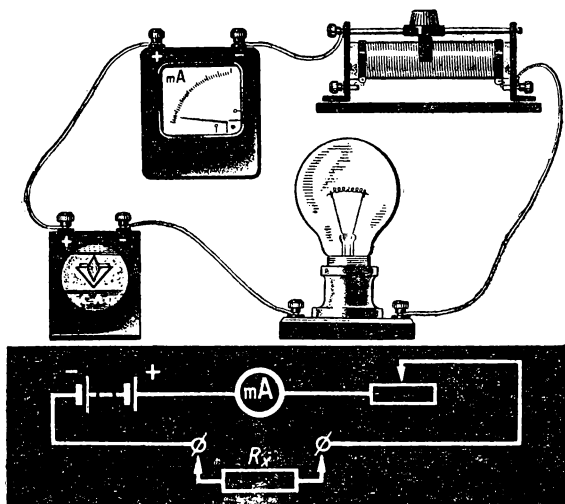


Рис. 37. Схема омметра (R_x — измеряемое сопротивление).

ления согласно закону Ома показание вольтметра нужно разделить на показание амперметра.

Схема простейшего омметра приведена на рисунке 37. В качестве измерителя в омметре используется миллиамперметр магнитоэлектрической системы. Источником тока является сухой гальванический элемент. При замкнутых между собой зажимах (рис. 37) ток в цепи определяется по формуле:

$$I = \frac{U}{R_{\text{и}} + R_{\text{д}}},$$

где I — ток в цепи, a ;

U — напряжение источника тока, v ;

$R_{\text{и}}$ — сопротивление измерителя, $ом$;

$R_{\text{д}}$ — добавочное сопротивление, $ом$.

При подключении к зажимам элемента, сопротивление которого R_x нужно измерить, ток в цепи будет определяться по формуле:

$$I = \frac{U}{R_{\text{и}} + R_{\text{д}} + R_x}.$$

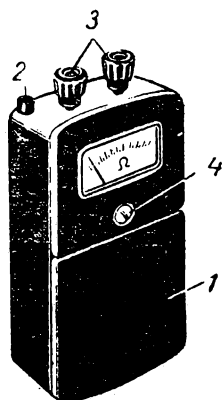


Рис. 38. Омметр типа М57:

1 — съёмная крышка; 2 — кнопка; 3 — зажимы; 4 — винт корректора.

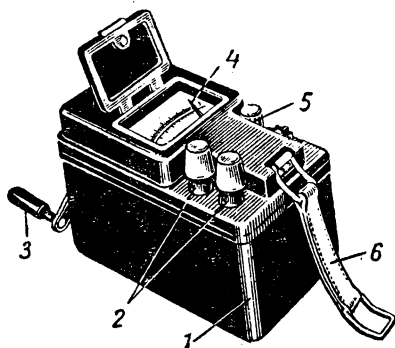


Рис. 39. Мегомметр типа М1101М:

1—корпус; 2—зажимы «Линия» и «Земля» для подсоединения измеряемого сопротивления; 3—рукоятка; 4—шкала; 5—переключатель пределов измерения; 6—ручка для переноски прибора.

Из приведенной формулы видно, что о величине измеряемого сопротивления можно судить по значениям тока, показываемого измерителем. Для измерения сопротивлений шкалу измерителя градуируют непосредственно в омах.

С помощью приведенных выше формул можно рассчитать добавочное сопротивление R_d , требующееся для изготовления омметра.

Правила выполнения измерений с помощью омметра типа М57 (рис. 38).

1. Отвернув винт на задней панели прибора, снимают крышку 1 на лицевой панели. В камеру вставляют батарею для карманного фонаря. Крышку закрывают и заворачивают винт.

2. Нажав на кнопку 2, убеждаются, что омметр действует: стрелка прибора должна отклониться вправо, на нулевую отметку.

3. Снова нажимая на кнопку 2, с помощью магнитного шунта, находящегося на задней панели прибора, и винта корректора 4 устанавливают стрелку на нулевую отметку шкалы. Кнопку отпускают.

4. К зажимам 3 присоединяют элемент, сопротивление которого требуется измерить. Стрелка прибора покажет величину сопротивления в омах.

Правила выполнения измерений с помощью мегомметра типа М1101М (рис. 39).

1. Проверяют исправность прибора при разомкнутых зажимах: вращают рукоятку — при этом стрелка должна установиться на отметку « ∞ » шкалы мегомов, если переключатель стоит в положении «М Ω », или на отметку «0» той же шкалы мегомов, если переключатель стоит в положении «К Ω ».

2. Переключатель устанавливают в положение «К Ω » или «М Ω ».

3. К зажимам «Линия» и «Земля» присоединяют элемент, сопротивление которого требуется измерить.

4. Равномерно (со скоростью приблизительно два оборота в секунду) вращают рукоятку генератора и производят отсчет по шкале.

Б. АВОМЕТРЫ

Авометр (ампервольтметр) представляет собой универсальный электроизмерительный прибор, предназначенный для измерения в широких пределах силы тока, напряжения, сопротивления.

Общий вид школьного авометра обычного типа показан на рисунке 40.

Измерение силы постоянного тока. 1. Указатель головки переменного резистора поставить в положение против черты с буквами «*mA*».

2. Один из коротких штеккеров вставить в гнездо «общ» в ряду гнезд с надписью «*mA* =».

3. Второй короткий штеккер вставить в одно из гнезд в этом же ряду, соответствующее выбранному пределу измерения.

4. При помощи длинных штеккеров (или надетых на них специальных зажимов) соединить прибор с элементами цепи, учитывая полярность.

5. Определить цену деления шкалы, отмеченной знаком «—», при выбранном пределе измерения.

6. Подключить цепь к источнику электропитания. Произвести отсчет по шкале. Число делений умножить на цену деления шкалы.

7. Отключить цепь, отсоединить штеккеры от элементов цепи, вынуть короткие штеккеры из гнезд прибора.

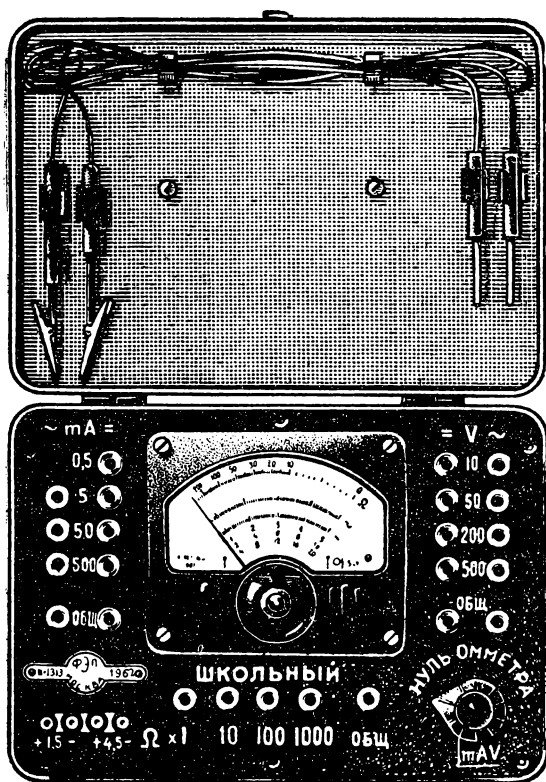


Рис. 40. Авометр школьный.

Измерение силы переменного тока. Измерение проводится таким же образом, как и в предыдущем случае, но штекеры вставляют в гнезда ряда с надписью « $\sim mA$ », а отсчет производят по шкале, обозначенной отметкой « \sim ».

Измерение напряжения постоянного и переменного тока. Измерение производят так же, как и в предыдущих случаях, но штекеры вставляют соответственно в гнезда ряда с надписью « $= V$ » или « $V \sim$ ».

Измерение сопротивления. 1. Измерение сопротивлений производится только в цепях, в которых отсутствует напряжение.

2. Один из коротких штеккеров вставить в гнездо «общ» в ряду гнезд с надписью « $\Omega \times$ ».

3. Второй короткий штеккер вставить в одно из гнезд этого же ряда, соответствующее выбранному пределу измерения.

4. Определить цену деления шкалы (ряд шкалы, отмеченный знаком « Ω ») с учетом выбранного предела измерения.

5. Замкнуть накоротко длинные штеккеры между собой и поворотом указателя головки переменного резистора установить стрелку на нулевую отметку шкалы « Ω ». Разомкнуть штеккеры.

6. Подсоединить длинные концы штеккеров к элементу, сопротивление которого требуется измерить. Произвести отсчет по шкале; число делений, на которые отклонилась стрелка, умножить на цену деления.

7. Отсоединить штеккеры и вынуть их из гнезд. Указатель головки переменного резистора поставить в положение « mAV ».

В школьных кабинетах электротехники имеется также авометр АВО-63. Измерения с помощью АВО-63 производят в основном так же, как и школьным авометром.

Раздел четвертый

АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Аппаратура, применяемая для управления (включения и отключения) электроустановками, называется *коммутационной аппаратурой*. К ней относятся выключатели, рубильники, контакторы, магнитные пускатели и другие аппараты. Различают *неавтоматические* и *автоматические* коммутационные аппараты, с помощью которых управляют электроустановками.

Аппаратура, применяемая для отключения электроустановок при токовых перегрузках и коротких замыканиях, называется *защитной аппаратурой*. К ней относятся электрические предохранители. Некоторые аппараты, например автоматические выключатели и магнитные пускатели, одновременно являются коммутационными и защитными аппаратами (табл. 13).

К аппаратуре управления и защиты предъявляются 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.

2. НЕАВТОМАТИЧЕСКИЕ КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ

К неавтоматическим коммутационным аппаратам (аппаратура ручного управления) относятся: кнопочные, рычажные, поворотные, подпотолочные, пакетные выключатели; рубильники; реостаты; контроллеры. Кнопочные,

Основные виды и назначение электрической аппаратуры

Наименование	Назначение
Рычажные, поворотные и кнопочные выключатели Подпотолочные выключатели	Включение и отключение осветительных электроприемников Включение и отключение осветительных электроприемников при скрытых электропроводках
Пакетные выключатели	Включение и отключение осветительных и силовых электроприемников
Рубильники	Включение и отключение силовых и осветительных электроприемников и сетей
Реостаты	Пуск и регулирование скорости вращения электродвигателей
Контроллеры	Пуск и управление одновременно несколькими электродвигателями
Реле	Дистанционное управление и защита осветительных и силовых электроприемников
Автоматические выключатели	Включение, отключение и электрическая защита силовых и осветительных электроприемников
Кнопки управления	Включение и отключение контакторов, магнитных пускателей и отдельных электроприемников
Контакторы	Включение и отключение силовых электроприемников
Магнитные пускатели	Включение, отключение и электрическая защита силовых и осветительных электроприемников и сетей
Командоаппараты	Управление вспомогательными и контрольными цепями катушек контакторов, магнитных пускателей, реле
Плавкие предохранители	Отключение электрических цепей и отдельных электроприемников при токовых перегрузках и коротких замыканиях

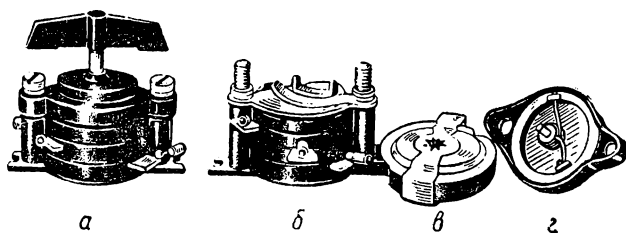


Рис. 41. Пакетный выключатель:

a — общий вид; *b* — контактная система; *в* — переключающий механизм; *г* — пакет.

рычажные, поворотные, подпотолочные выключатели устроены сравнительно просто и поэтому в данной книге не рассматриваются.

Одним поворотом рычага пакетного выключателя (рис. 41) можно включить или отключить одновременно несколько электроприемников. Тип пакетного выключателя обозначается буквами ПВ с указанием числа полюсов и номинального тока отключения. Например, ПВ3-100 означает: трехполюсный пакетный выключатель на ток до 100 *a*. С помощью пакетных выключателей можно производить до 300 включений в час (см. табл. 14).

Таблица 14

**Технические данные некоторых пакетных выключателей
открытого исполнения**

Наименование	Тип	Количество полюсов	Номинальный ток	
			при напряжении 220 в	при напряжении 380 в
Выключатель однополюсный	ПВ1-10	1	6	4
Выключатель двухполюсный	ПВ2-10	2	10	6
	ПВ2-25	2	25	15
	ПВ2-60	2	60	40
Выключатель трехполюсный	ПВ3-10	3	10	6
	ПВ3-25	3	25	15
	ПВ3-60	3	60	40

Рубильники устанавливают на щитке или помещают в специальный ящик, внутри которого, кроме рубильника, находятся плавкие предохранители (рис. 42).

Рубильники рассчитаны на ток от 100 до 1000 а и напряжение до 500 в. Они могут быть одно-, двух- и трехполюсными. Промышленность выпускает рубильники с центральной рукояткой (тип Р), с боковой рукояткой для монтажа в шкафах и ящиках (тип РПБ) и с рычажным приводом для монтажа в распределительных устройствах (тип РПЦ). Рубильники с центральной рукояткой применяют только для отключения напряжения при снятой токовой нагрузке.

Для пуска и регулирования скорости вращения электрических двигателей применяют р е о с т а т ы (рис. 43).

Пусковые реостаты предназначены для кратковременного прохождения по ним тока.

Регулировочные реостаты предназначены для длительного прохождения по ним тока, и поэтому они имеют воздушное или масляное охлаждение, что не допускает перегрева реостата.

К о н т р о л л е р ы (рис. 44) позволяют пускать электродвигатели и регулировать скорость их вращения в широких пределах.

3. АППАРАТУРА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Реле

Реле предназначены для дистанционного управления и защиты электроустановок, а также для автоматической сигнализации о режиме их работы.

В зависимости от электрической величины, на изменение которой реагируют реле, различают реле токовые; напряжения; мощности; сопротивления.

Если реле срабатывают при возрастании соответствующей величины, то их называют м а к с и м а л ь н ы м и, а если при понижении — м и н и м а л ь н ы м и.

В электроустановках чаще всего применяют электромагнитные реле максимального тока и минимального напряжения. Электромагнитные реле (рис. 45) срабатывают мгновенно.

Реле максимального тока срабатывают, когда ток, проходящий по его обмотке, равен 200—250 % номинального

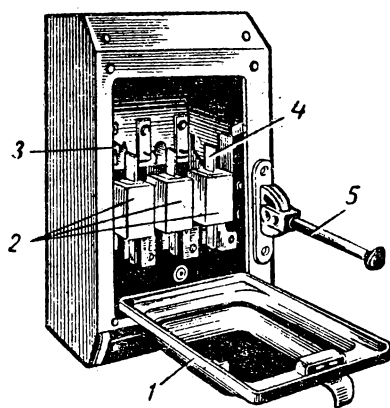


Рис. 42. Ящик с рубильником и предохранителями

1 — крышка ящика; 2 — плавкие предохранители; 3 — неподвижные контакты; 4 — подвижные контакты; 5 — рукоятка рубильника

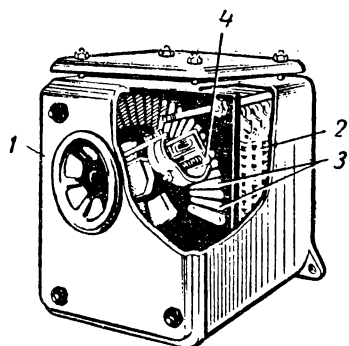


Рис. 43. Реостат:

1 — маховик; 2 — секции элементов сопротивления; 3 — контактные пластины; 4 — подвижный (скользящий) контакт.

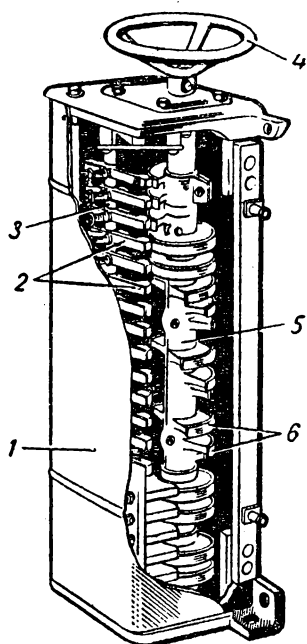


Рис. 44. Барабанный контроллер:

1 — корпус; 2 — контактные пальцы (неподвижные контакты); 3 — неподвижная изолирующая рейка; 4 — маховик; 5 — барабан; 6 — сегменты (подвижные контакты)

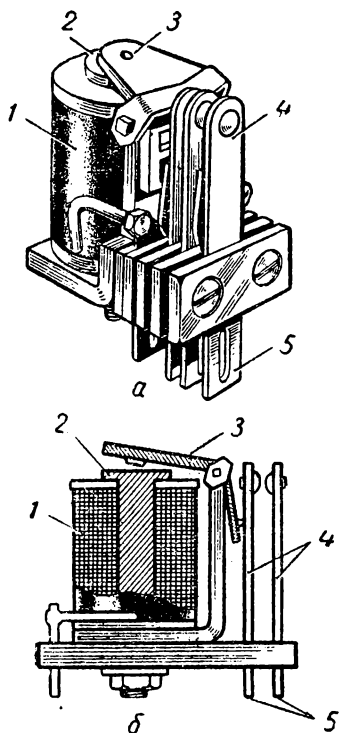


Рис. 45. Электромагнитное реле:

a — внешний вид; *б* — схематическое изображение; 1 — катушка; 2 — сердечник; 3 — якорь; 4 — пружинящие контакты; 5 — пластины для подсоединения проводов управляемых цепей.

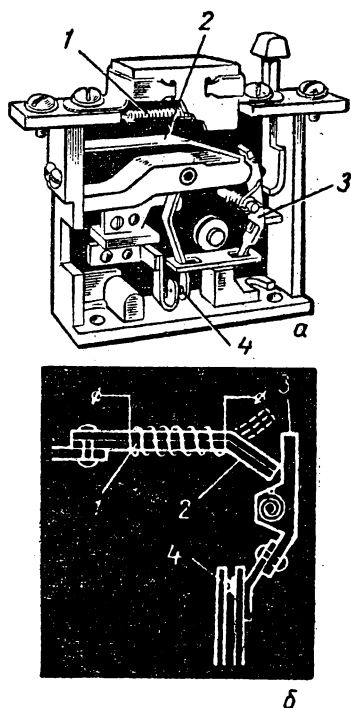


Рис. 46. Тепловое реле магнитного пускателя:

a — внутренний вид; *б* — схема действия; 1 — нагревательный элемент; 2 — биметаллическая пластинка; 3 — механизм сцепления (защелка); 4 — контакты.

значения. Такие реле применяют для отключения электрических цепей при коротких замыканиях.

Обмотка реле максимального тока имеет небольшое количество витков, ее включают в цепь последовательно. Действие реле максимального тока заключается в притягивании якоря к сердечнику электромагнита при прохождении по обмотке тока. Величину тока срабатывания реле регулируют, изменяя силу натяжения пружины или величину зазора между якорем и сердечником.

Реле минимального напряжения отключает цепь при понижении напряжения, приложенного к обмотке реле, до 65% и меньше от номинального напряжения цепи. Обмотка этого реле имеет большое количество витков и ее включают параллельно.

Для защиты электроустановок от перегрева при длительных небольших перегрузках применяют *тепловые реле* (рис. 46). Действие тепловых реле — изгибание биметаллической пластинки при ее нагревании. Изгибаясь, пластинка размыкает контакты. Тепловые реле обычно встраивают в магнитные пускатели и автоматические выключатели.

Тепловые реле обладают большой инерцией и потому срабатывают лишь через некоторое время после превышения номинального тока. Время срабатывания теплового реле зависит от типа нагревательных элементов, которые выпускают на токи от 0,64 до 150 а. При коротких замыканиях тепловое реле не может мгновенно отключить электрическую цепь.

Автоматические выключатели

Выключатели, отключающие автоматически электрические цепи в случае появления в них слишком больших токов (например, при коротком замыкании) или недопустимо

низких напряжений, называются автоматическими или просто автоматами.

Главной частью автоматического выключателя является реле. Поэтому принцип работы автоматических выключателей тот же, что и принцип действия реле.

Реле с относящимися к нему механизмами отключения автоматов называется *расцепителем*.

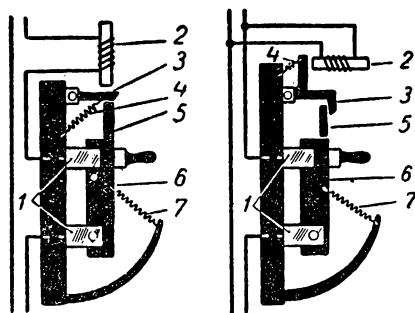


Рис. 47. Схематическое изображение автоматов максимального тока (слева) и минимального напряжения:

1 — неподвижные контакты; 2 — электромагнит; 3 — защелка; 4 — пружина, удерживающая защелку; 5 — рычаг; 6 — контактный нож (подвижный контакт); 7 — пружина, удерживающая подвижный контакт.

Автоматы бывают с электромагнитными и тепловыми расцепителями. Чаще применяют автоматы с электромагнитными расцепителями.

На рисунке 47 схематически изображено устройство автомата максимального тока, отключающего цепь при появлении в ней тока, превышающего номинальное значение в два и более раза.

На рисунке 47 приведена схема устройства автомата минимального напряжения, отключающего цепь при понижении напряжения до 50—70% от номинального значения.

Промышленность выпускает установочные автоматы серии А. Они рассчитаны на токи от 15 до 660 а. Установочные автоматы на ток до 50 а имеют тепловые расцепители. Автоматы, рассчитанные на ток свыше 50 а, имеют комбинированный расцепитель: электромагнитный и тепловой.

Промышленность выпускает также бытовые автоматы (рис. 48) для установки вместо плавких предохранителей в квартирных электрических сетях.

Автоматические выключатели устанавливают непосредственно на щитке. После срабатывания автомата его легко включить вновь, нажимая кнопку на его корпусе.

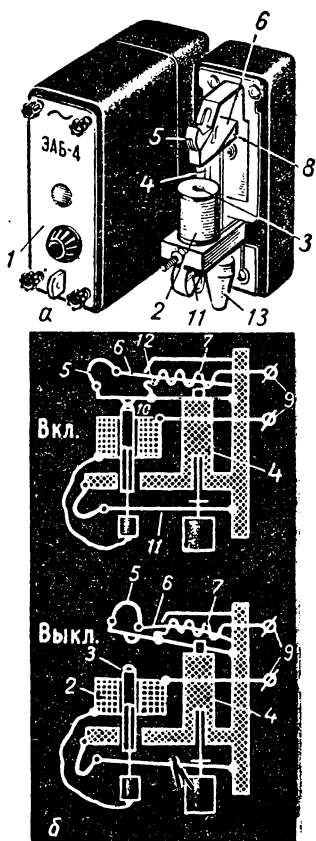


Рис. 48. Бытовой автомат:

а — общее устройство; б — схематическое изображение; 1 — крышка; 2 — катушка электромагнита; 3 — сердечник; 4 — поводок для поднятия сердечника и рычага; 5 — пластинчатая пружина; 6 — биметаллическая пластинка; 7 — нагревательный элемент; 8 — рычаг; 9 — зажимы для присоединения автомата; 10 — контакты; 11 — пластинка, удерживающая сердечник в поднятом положении; 12 — гибкий проводник; 13 — кнопка для включения автомата после срабатывания реле.

При выборе автоматических выключателей сначала рассчитывают номинальный ток расцепителя. При этом соблюдается условие

$$I_{расц} \geq I_p,$$

где $I_{расц}$ — номинальный ток расцепителя, a ;
 I_p — расчетный ток цепи, a .

Расчетный ток определяют по формуле:

$$I_p = \frac{P_p}{U_n},$$

где I_p — расчетный ток, a ;
 P_p — расчетная мощность, $вт$;
 U_n — номинальное напряжение, $в$.

Наименьший ток, при котором срабатывает расцепитель, называется *током срабатывания* расцепителя — $I_{сраб}$. Этот ток всегда больше номинального тока расцепителя. Ток срабатывания проверяют по наибольшему пусковому току:

$$I_{сраб} \geq 1,25 \cdot I_{пуск}.$$

Пример.

Выбрать автомат для включения и защиты группы осветительных электроприемников общей мощностью 7 *квт*, работающих при номинальном напряжении 220 *в*.

Р е ш е н и е.

1. Определяем расчетный ток:

$$I_p = \frac{P_p}{U_n} = \frac{k_c \cdot P_y}{U_n} = \frac{1 \cdot 7000}{220} \approx 32a.$$

2. Находим пусковой ток:

$$I_{пуск} = I_p = 32a.$$

3. Вычисляем ток срабатывания расцепителя:

$$I_{сраб} = 1,25 \cdot I_{пуск} = 1,25 \cdot 32 = 40a.$$

Кнопки управления

Кнопки управления (рис. 49) применяют для дистанционного включения и отключения некоторых аппаратов автоматического управления, чаще всего — контакторов и магнитных пускателей. Контакты, которые при нажатии

на кнопку замыкаются, называют *замыкающими*.

Контакты, которые при нажатии на кнопку размыкаются, называют *размыкающими*.

Из кнопок управления монтируют кнопочные станции (рис. 49, б). С помощью кнопочных станций управляют одним или несколькими электроприемниками.

Контакторы

Контактор (рис. 50) предназначен для частых включений и отключений электрических цепей и отдельных электроприемников. Когда на катушку контактора подается напряжение, сердечник ее притягивает ярмо. В результате замыкаются главные контакты. При снятии напряжения с катушки сердечник размагничивается и не может удержать ярмо, которое отходит от него. Главные контакты размыкаются. Блок-контакты обеспечивают замыкание цепи катушки после отпускания кнопки управления.

Контакторы изготовляют с дугогасящими камерами и без них. Они могут быть с одним, двумя, тремя, четырьмя и пятью полюсами. Тип контактора указывают с помощью сочетания букв и цифр; первая цифра, следующая за буквами, указывает габариты, вторая — число полюсов. Например, тип КТ-34 означает: контактор переменного тока, третьей величины, с четырьмя полюсами.

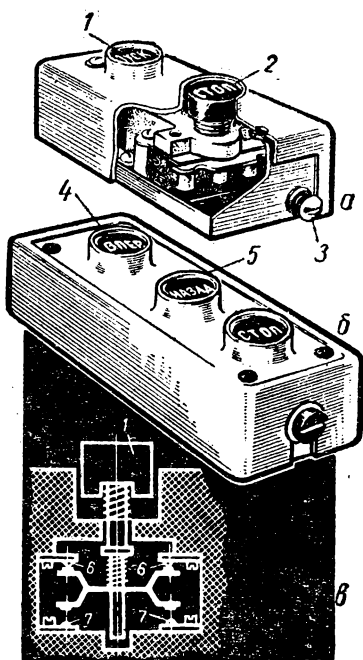


Рис. 49. Кнопка управления:

a — внешний вид (на разрезе видно внутреннее устройство кнопки); 5 — кнопочная станция; *б* — схема действия кнопочного элемента; 1 — кнопка «Пуск»; 2 — кнопка «Стоп»; 3 — винт для присоединения заземляющего провода; 4 — кнопка «Вперед»; 5 — кнопка «Назад»; 6 — размыкающие контакты; 7 — замыкающие контакты.

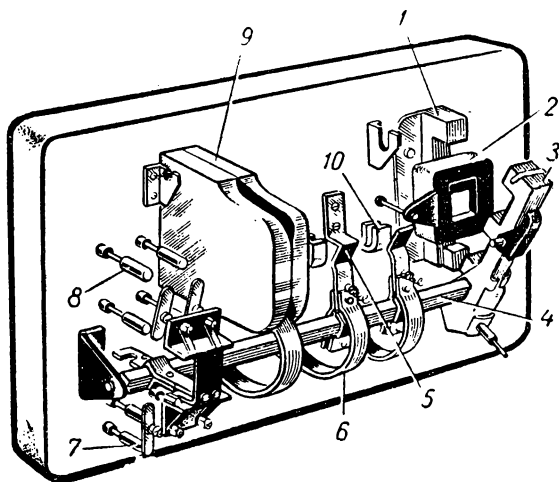


Рис. 50. Контактор переменного тока:

1 — неподвижный сердечник (ядро); 2 — катушка; 3 — якорь;
4 — валик; 5 — подвижные главные контакты; 6 — неподвижные токоведущие пластины; 7 — размыкающие блок-контакты; 8 — замыкающие блок-контакты; 9 — дугогасительная камера; 10 — неподвижные главные контакты.

Магнитные пускатели

Магнитные пускатели (рис. 51) предназначены для пуска, остановки и защиты электрических двигателей, но могут применяться для включения и отключения других электроприемников.

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

Магнитные пускатели, с помощью которых можно изменять направление вращения электродвигателя, называются *реверсивными*.

Для включения магнитного пускателя на его катушку подают напряжение, нажав на кнопку «пуск» (рис. 52). Сердечник намагничивается и притягивает якорь. В результате замыкаются главные контакты. При снятии с катушки напряжения (нажатие на кнопку «стоп») якорь отпадает под действием собственного веса и главные контакты разъединяются.

Промышленность выпускает магнитные пускатели серии П. Пускатели этой серии различают:

по величине (1, 2, 3, 4, 5), на которую указывает первая цифра, после буквы П;

по исполнению — вторая цифра после буквы П указывает на открытое исполнение (1), защитное исполнение (2), пылеводозащитное исполнение (3);

по возможности изменения направления вращения электродвигателя (нереверсивные и реверсивные), на что указывает третья цифра после буквы П: 1 или 2 — нереверсивный, 3 или 4 — реверсивный;

по наличию или отсутствию тепловой защиты (теплового реле), на что указывает также третья цифра: 2 или 4 — с реле, 1 или 3 — без реле.

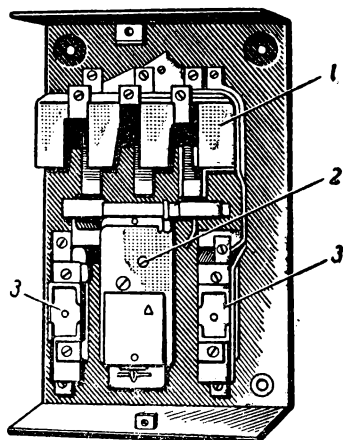


Рис. 51. Нереверсивный магнитный пускатель (крышка снята):

1 — дугогасительные камеры; 2 — электромагнит и подвижная часть с главными контактами и блок-контактами; 3 — тепловые реле.

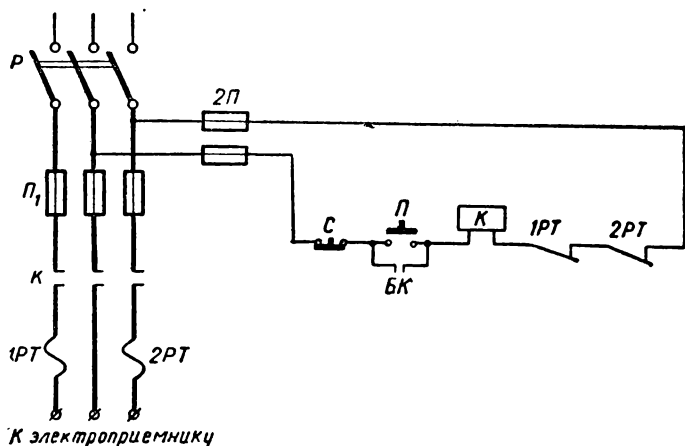


Рис. 52. Схема включения нереверсивного магнитного пускателя.

Пример: П-214 — это магнитный пускатель второй величины, открытого исполнения, реверсивный, с тепловым реле.

Магнитный пускатель рассчитан на определенное номинальное напряжение и мощность электроприемника, которым он управляет (см. табл. 15).

Таблица 15

Техническая характеристика магнитных пускателей серии П

Тип	Максимальная мощность электроприемника, <i>квт</i>	
	при напряжении 220в	при напряжении 380в
П-111, П-121	1,7	—
П-211, П-212, П-221, П-222, П-231, П-232, П-213, П-214, П-223, П-224, П-233, П-234	4	5
П-311, П-312, П-321, П-322, П-331, П-332, П-313, П-314, П-323, П-324, П-333, П-334	10	20
П-411, П-412, П-421, П-422, П-431, П-432, П-413, П-414, П-423, П-424, П-433, П-434	20	28
П-511, П-512, П-521, П-522, П-531, П-532, П-513, П-514, П-523, П-524, П-533, П-534	37	55

Пример 1.

Выбрать магнитный пускатель для нереверсивного управления электродвигателем и защиты его от перегрузок, если номинальная мощность его 2,8 *квт* и напряжение 380 в. Двигатель стоит в сухом непыльном помещении.

Решение.

1. По таблице 15 устанавливаем, что для управления электродвигателем при заданных мощности и напряжении могут использоваться нереверсивные магнитные пускатели типа: П-211; П-212; П-221; П-222; П-231; П-232.

2. Учитывая, что магнитный пускатель будет эксплуатироваться в сухом непыльном помещении, в данном случае можно выбрать пускатели открытого исполнения типа: П-211, П-212.

3. По условиям задачи пускатель должен иметь тепловую защиту, поэтому необходимо выбрать пускатель типа П-212, так как пускатель П-211 теплового реле не имеет (третья цифра 1).

Пример 2.

Определить тип магнитного пускателя для реверсивного управления и защиты двигателя, рассчитанного на номинальные мощность 7 *квт* и напряжение 220 *в*. Двигатель эксплуатируется в пыльном помещении.

Р е ш е н и е.

1. Для заданных мощности и напряжения можно использовать реверсивные пускатели типа: П-313, П-314, П-323, П-324, П-333, П-334 (определяют по табл. 15), последняя цифра в обозначении типа должна быть 3 или 4.

2. Учитывая, что двигатель эксплуатируется в пыльном помещении, следует выбирать пускатель пылеводооградительного исполнения (вторая цифра должна быть 3). К таким пускателям в данном случае относятся П-333 и П-334.

3. Пускатель должен иметь тепловую защиту (по условиям задачи), значит, третья цифра для реверсивного пускателя должна быть 4. Таким образом, требуется выбрать магнитный пускатель типа П-334.

Магнитный пускатель монтируют на щитке. Он должен быть расположен строго вертикально (что выверяется с помощью отвеса).

Упражнения

1. Выбрать магнитный пускатель для управления электродвигателем сверлильного станка, установленного в школьной мастерской.

У к а з а н и е.

Мощность электродвигателя для сверлильного станка определяют по формуле $P = \frac{F_p \cdot d \cdot n}{1950 \cdot \eta}$ *квт*,

где F_p — усилие резания, *кГ*;
 d — диаметр обрабатываемой детали, *мм*;
 n — число оборотов сверла в минуту;
 η — к.п.д. станка.

2. Выбрать магнитный пускатель для управления электродвигателем токарного станка, установленного в школьной мастерской.

У к а з а н и е.

Мощность электродвигателя для токарного станка определяют по формуле $P = \frac{F_p \cdot v_p}{60 \cdot 102 \eta}$ *квт*,

где F_p — усилие резания, *кГ*;
 v_p — скорость резания, *м/мин*;
 η — к.п.д. станка.

4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

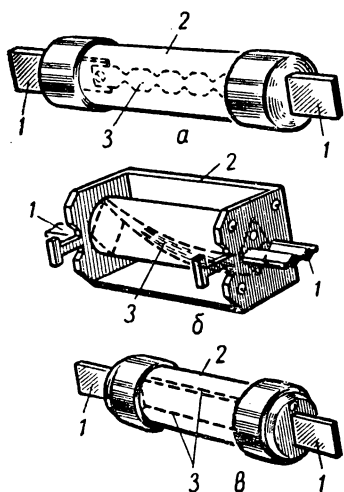


Рис. 53. Плавкие предохранители:

а — типа ПР; б — типа ПН; в — типа НПР; 1 — контактные ножи; 2 — патрон; 3 — плавкие вставки.

Промышленность выпускает плавкие предохранители типов ПР, НПН, ПН, НПР (рис. 53). Выпускают также пробочные предохранители типа Ц-14, Ц-27, Ц-33, но их в настоящее время все чаще заменяют автоматическими выключателями. Патрон и плавкая вставка предохранителя рассчитаны на определенный номинальный ток, что нужно учитывать, выбирая предохранитель (табл. 16).

Плавкие предохранители должны обеспечивать нормальную работу электроприемников при длительном прохождении по ним номинального тока и немедленно отключать их при перегрузках и коротких

замыканиях. Поэтому предохранители выбирают с учетом следующих обстоятельств:

1) номинальный ток плавкой вставки должен удовлетворять требованию $I_{\text{вст}} \geq I_p$, где I_p — расчетный ток на защищенном участке цепи;

2) соотношение номинального тока плавкой вставки и пускового тока электроприемника должно отвечать условию

$$I_{\text{вст}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{2,5},$$

где $I_{\text{пуск}}$ — пусковой ток;

3) каждый предохранитель должен срабатывать лишь тогда, когда произойдет короткое замыкание на участке цепи, который он защищает, т. е. предохранители должны работать *избирательно* (селективно).

Основные данные плавких предохранителей

Тип	Номинальное напряжение, в	Номинальный ток патрона, а	Номинальный ток плавкой вставки, а
ПР-15	220 и 500	15	6, 10, 15,
ПР-60	220 и 500	60	15, 20, 25, 35, 45, 60
ПР-100	220 и 500	100	60, 80, 100
НПР-100	500	100	60, 80, 100
НПР-200	500	200	100, 125, 160, 200
НПН-15	500	15	6, 10, 15
НПН-60	500	60	15, 20, 25, 35, 45, 60
Ц-14	250	10	4, 6, 10
Ц-27	500	20	4, 6, 10, 15, 20
Ц-33	500	60	10, 15, 20, 25, 35, 60

Пример.

Рассчитать предохранители для защиты электрической сети (рис. 54). Мощность осветительных и нагревательных

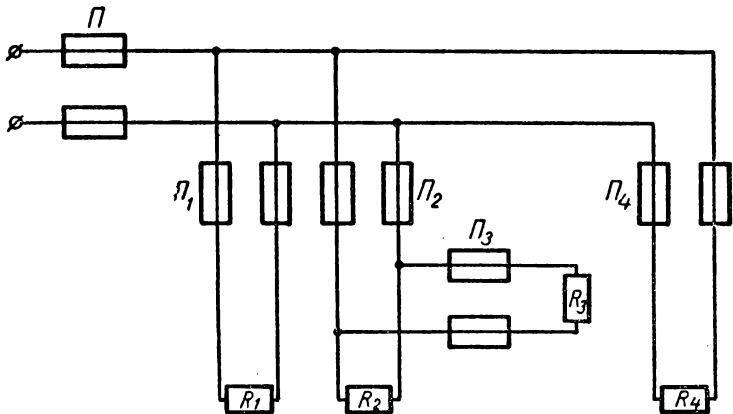


Рис. 54. Схема к примеру.

электроприемников равна: 2,4 кВт, 1,2 кВт, 2,8 кВт, 3 кВт. Номинальное напряжение 220 в.

Решение.

1. Определяем расчетный ток для каждой группы электроприемников:

$$I_{P_1} = \frac{2400}{220} \approx 11a.$$

$$I_{P_2} = \frac{1200}{220} \approx 5,5a.$$

$$I_{P_3} = \frac{2800}{220} \approx 12,7a.$$

$$I_{P_4} = \frac{3000}{220} \approx 13,6a.$$

2. Так как пусковой ток при включении осветительных и нагревательных электроприемников почти не отличается от расчетного тока, то руководствуемся лишь условием: $I_{вст} \geq I_p$. Значит, номинальные токи плавких вставок предохранителей P_1 , P_3 и P_4 соответственно равны 11; 12,7; 13,6 а.

3. Предохранитель P_2 защищает одновременно электроприемники R_2 и R_3 , поэтому номинальный ток плавкой вставки этого предохранителя равен: $5,5 + 12,7 = 18,2$ а.

Подобным образом определяем номинальный ток плавкой вставки предохранителя P , защищающего все участки цепи одновременно: $11 + 5,5 + 12,7 + 13,6 = 42,8$ а.

4. Выбираем тип предохранителя, например ПР. По таблице 16 находим номинальный ток стандартных плавких вставок, который соответственно рассчитанному току равен 45, 15, 6, 15 и 15 а.

Б. МОНТАЖ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Монтаж заключается в установке, закреплении, присоединении и пробном пуске электрической аппаратуры. После монтажа в период эксплуатации осуществляется обслуживание аппаратуры.

Монтаж электрической аппаратуры производится в такой последовательности: ознакомление с рабочими чертежами и схемами; выбор аппаратуры; разметка мест установки опорных конструкций, крепежных деталей и аппаратов; подготовка гнезд, отверстий, ниш для установки опорных конструкций, крепежных деталей и аппаратов; установка конструкций и крепежных деталей; установка аппаратов; присоединение к аппаратам проводов и кабелей

сети и заземления; проверка правильности монтажа и соответствия его рабочим чертежам; испытание работы аппаратуры под напряжением; устранение неисправностей и регулировка; повторная проверка работы под напряжением; 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; проверка надежности заземления; регулировка натяжения пружин; текущий ремонт; испытание (измерение тока срабатывания, напряжения срабатывания, сопротивления изоляции).

Чистить и ремонтировать аппараты, а также заменять плавкие вставки разрешается только при снятом напряжении.

Все постоянные контактные соединения в аппаратуре должны быть плотными. Плотность нажатия контактов регулируется с помощью имеющихся в аппаратуре пружин. Не допускается работа аппаратуры, если контакты покрыты окисью. Окислившиеся контакты очищают наждачной бумагой до блеска.

Изношенные детали аппаратуры нужно своевременно заменять новыми.

Уход за электрической аппаратурой и мелкий ремонт ее осуществляет дежурный электромонтер или электромонтер-ремонтник.

Раздел пятый

ТРАНСФОРМАТОРЫ

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВЕ И ДЕЙСТВИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Трансформатором называется электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения при той же частоте.

Устройство и действие трансформатора (рис. 55) основано на использовании явления электромагнитной индукции. Когда одну из обмоток подключают к источнику переменного тока, тогда в этой обмотке возникает э.д.с. самоиндукции, а в другой обмотке — э.д.с. индукции.

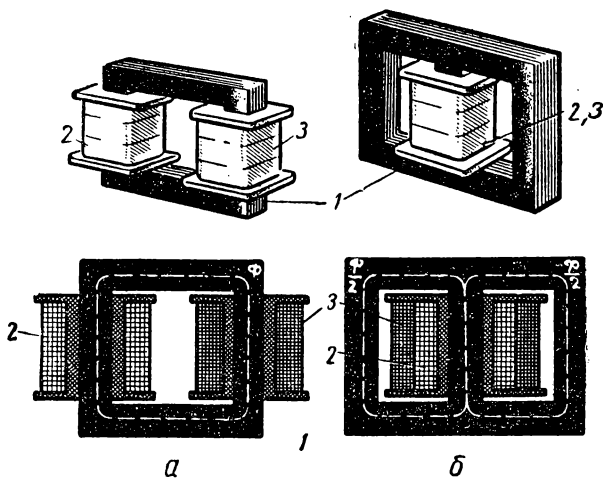


Рис. 55. Устройство и схематическое изображение трансформатора:

а — со стержневым сердечником; *б* — с броневым сердечником;
1 — сердечник; *2* и *3* — первичные и вторичные обмотки.

Величина э.д.с., возникающей в обмотках трансформатора, выражается формулами:

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi_m,$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_m,$$

где E_1 — э.д.с. в первичной обмотке, в;

E_2 — э.д.с. во вторичной обмотке, в;

f — частота переменного тока, гц;

w_1 — число витков в первичной обмотке;

w_2 — число витков во вторичной обмотке;

Φ_m — максимальный магнитный поток в сердечнике трансформатора, вб.

Если не учитывать потерю напряжения в обмотках трансформатора, величина которой очень мала, то можно написать формулы:

$$E_1 = U_1 \text{ и } E_2 = U_2,$$

где U_1 — напряжение на первичной обмотке;

U_2 — напряжение на вторичной обмотке.

Сравнивая между собой приведенные выше формулы, можно убедиться, что

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}.$$

Отношение $\frac{E_1}{E_2}$ для данного трансформатора является постоянной величиной и называется *коэффициентом трансформации*. Коэффициент трансформации обозначают буквой k .

Если $U_1 > U_2$, трансформатор будет понижающим, если $U_1 < U_2$, то повышающим. Один и тот же трансформатор может использоваться как для понижения, так и для повышения напряжения.

Из опыта и путем расчетов можно убедиться, что если пренебречь за малостью потерями энергии в самом трансформаторе, то

$$P_1 = P_2,$$

где P_1 — мощность, потребляемая первичной обмоткой;

P_2 — мощность, отдаваемая вторичной обмоткой.

Тогда соотношение токов и напряжений в обмотках трансформатора можно выразить формулой:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}.$$

2. ВИДЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

По назначению и особенностям устройства различают несколько видов трансформаторов. Рассмотрим некоторые виды трансформаторов.

Сварочный трансформатор предназначен для электрической сварки металлов, например жил проводов. Особенности его устройства: трансформатор понижающий; от вторичной обмотки имеется несколько ответвлений на различные напряжения; трансформатор нормально работает при сравнительно больших токах (до 300 а) в обмотках (рис. 56).

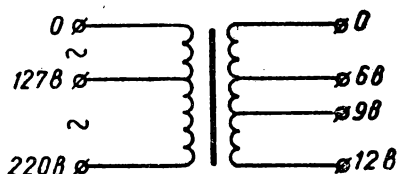


Рис. 56. Принципиальная схема сварочного трансформатора.

Автотрансформаторы применяются для регулировки напряжения при пуске электродвигателей, для питания выпрямителей, в лабораторных электроустановках. Автотрансформатор имеет одну обмотку, которую подключают к сети переменного тока и с которой снимается регулируемое напряжение. Эта обмотка одновременно является первичной и вторичной.

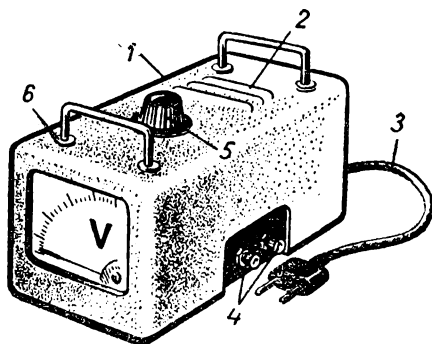


Рис. 57. Регулятор напряжения школьный:

1 — корпус; 2 — отверстия для вентиляции обмотки; 3 — шнур для включения в сеть; 4 — зажимы «Нагрузка»; 5 — головка скользящего контакта; 6 — ручки для переноски регулятора.

На рисунке 57 показан внешний вид автотрансформатора типа РНШ-59 (регулятор напряжения школьный). Он позволяет регулировать напряжение от 0 до 250 в. РНШ-59 можно включить в сеть напряжением 127 или 220 в, для чего ставится соответствующий предохранитель в нижней части регулятора. Рабочее напряжение снимают

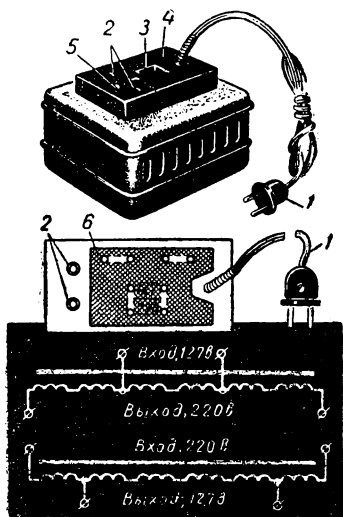


Рис. 58. Бытовой автотрансформатор типа АСБ-0,5 и схемы его включения:

1 — шнур с вилкой для включения в сеть; 2 — штепсельные гнезда для включения электроприемника; 3 — окно; 4 — крышка; 5 — винты, закрепляющие крышку; 6 — предохранитель (картонная пластинка с латунными перемычками).

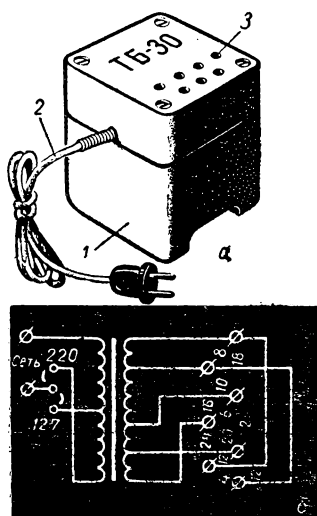


Рис. 59. Бытовой трансформатор типа ТБ-30:

а — внешний вид; б — принципиальная электрическая схема; 1 — корпус; 2 — шнур с вилкой для включения в сеть; 3 — штепсельные гнезда для включения электроприемников.

с зажимов, обозначенных «нагрузка». Величину снимаемого напряжения показывает вольтметр, вмонтированный в регулятор. Регулировку напряжения осуществляют плавным поворотом головки скользящего контакта в направлении, указанном на ней стрелкой. Максимальная нагрузка при включении в сеть на 127 в: при напряжении от 0 до 140 в — 8 а; при напряжении от 140 до 200 в — 6 а. При включении РНШ-59 в сеть напряжением 220 в максимальная нагрузка 9а.

Бытовые трансформаторы предназначены для включения бытовых электроприборов, когда номинальное напряжение электроприбора не соответствует напряжению сети. На рисунке 58 показан широко применяемый в быту автотрансформатор типа АСБ-0,5 (автотрансформатор сетевой бытовой мощностью 0,5 *квт*). Он может повышать напряжение со 127 до 220 *в* или понижать напряжение с 220 до 127 *в*. Перед включением трансформатора в сеть предохранитель устанавливают в положение, соответствующее напряжению сети. Для этого отвинчивают винты 5 (рис. 58), снимают крышку 4, устанавливают предохранитель 6 в нужное положение. При закрытой крышке в окне 3 должна быть видна надпись: $\frac{127}{220}$ (можно включать в сеть напряжением 127 *в*) или $\frac{220}{127}$ (можно включать в сеть напряжением 220 *в*).

Бытовой трансформатор типа ТБ-30 (рис. 59) предназначен для понижения напряжения осветительной сети с целью включения в нее соответствующих бытовых электроприборов.

При пользовании бытовыми трансформаторами нужно строго соблюдать правила техники безопасности. Необходимо также учитывать специфические требования, предъявляемые в данном случае: мощность подключаемых электроприемников не должна превышать номинальной мощности трансформатора; сначала трансформатор включают в сеть, а затем к нему подключают электроприемник; отключают сначала электроприемник от трансформатора, а затем трансформатор от сети.

3. РАСЧЕТ И СБОРКА МАЛОМОЩНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Для расчета трансформатора нужно иметь исходные данные:

- P_2 — мощность трансформатора, *вт*;
 - η — к.п.д. трансформатора (обычно 0,8—0,9);
 - U_1 — напряжение первичной обмотки, *в*;
 - U_2 — напряжение вторичной обмотки, *в*.
- Рассчитывают:
- S — поперечное сечение сердечника, *см²*;
 - w_1 — число витков первичной обмотки;

ω_2 — число витков вторичной обмотки;
 d_1 — диаметр провода первичной обмотки, мм;
 d_2 — диаметр провода вторичной обмотки, мм.

Порядок расчета

1. Определяют мощность P_1 , которую будет потреблять трансформатор:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} \text{ вт.}$$

2. Рассчитывают поперечное сечение сердечника:

$$S = 1,15 \sqrt{P_1} \text{ см}^2.$$

3. Вычисляют число витков первичной обмотки:

$$\omega_1 = \frac{50 \cdot U_1}{S}.$$

4. Вычисляют число витков вторичной обмотки:

$$\omega_2 = \frac{50,05 \cdot U_2}{S}.$$

5. Определяют диаметр провода первичной обмотки:

$$d_1 = 0,8 \sqrt{\frac{P_1}{U_1}} \text{ мм.}$$

6. Определяют диаметр провода вторичной обмотки:

$$d_2 = 0,8 \sqrt{\frac{P_2}{U_2}} \text{ мм.}$$

7. По таблице 7 выбирают марку обмоточного провода.

8. Вычисляют толщину обмоток. Между обмотками, намотанными на сердечник, должен быть небольшой промежуток. Если обмотки не помещаются на сердечник, то выбирают увеличенные размеры сердечника и вновь рассчитывают число витков.

Сердечники трансформаторов мощностью до 1—1,5 кВт имеют прямоугольное поперечное сечение, причем соотношение длины и ширины их выбирается в пределах от 1,2 до 2. Их изготавливают из листов электротехнической стали толщиной от 0,35 до 0,5 мм.

Для самодельного трансформатора можно использовать сердечник от ранее эксплуатировавшегося аппарата. Изготавливают сердечник следующим образом: стальные

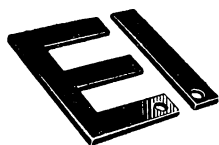


Рис. 60. Пластина сердечника трансформатора.

пластины собирают в пакет, накладывая их друг на друга; пакет зажимают с двух сторон металлическими пластинами; в пакете просверливают отверстия, после чего листы пакета соединяют заклепками; пакет зажимают в тиски и выпиливают пластины сердечника нужных размеров и формы (рис. 60).

Обмотку наматывают на станке или вручную. Можно приспособить для этого ручную дрель (рис. 61).

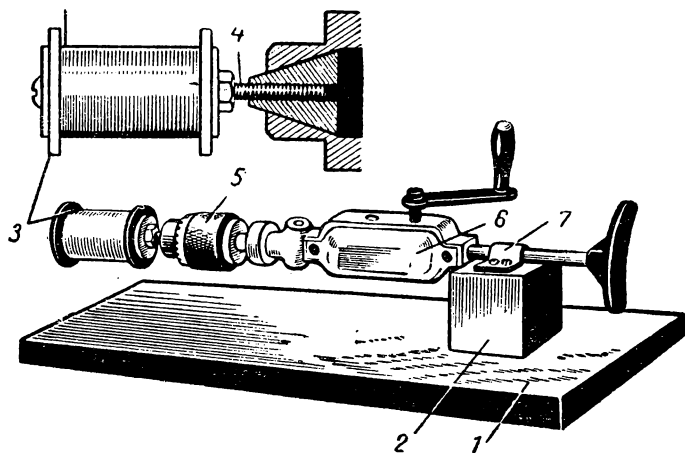


Рис. 61. Самодельный намоточный станок:

- 1 — подставка; 2 — стойка высотой 60 — 80 мм; 3 — каркас катушки;
4 — винт для закрепления каркаса катушки; 5 — патрон ручной дрели;
6 — ручная дрель; 7 — металлическая скоба для закрепления дрели.

4. ПРОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРА

Трансформатор проверяют омметром (авометром) на обрыв и короткое замыкание обмоток. Если обмотки исправны, то трансформатор проверяют под напряжением, определяя коэффициент трансформации, величину потерь энергии в сердечнике и обмотках и к.п.д. при различных нагрузках во вторичной цепи.

Коэффициент трансформации определяют, сравнивая показания вольтметров, включенных в первичную и вто-

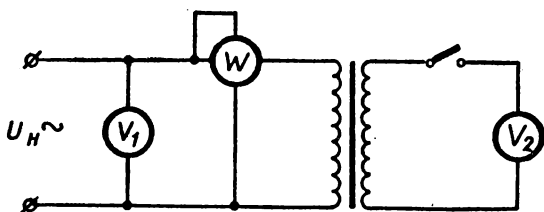


Рис. 62. Принципиальная схема опыта холостого хода трансформатора.

ричную цепи. При этом во вторичной цепи не должно быть нагрузки.

Мощности первичной и вторичной обмоток равны только в идеальном случае. Практически же часть электрической энергии, потребляемой трансформатором от источника электропитания (электрической сети), теряется вследствие нагревания током сердечника и обмоток. Потери энергии в сердечнике трансформатора называют потерями «в стали», а потери энергии в обмотках — потерями «в меди».

Потери «в стали» определяют при отсутствии нагрузки во вторичной цепи, т. е. при холостом ходе трансформатора (рис. 62). Потери «в стали» зависят от напряжения и не зависят от силы тока в обмотках. При холостом ходе напряжения на первичной и вторичной обмотках равны номинальным напряжениям, при которых работает трансформатор. Ток же во вторичной обмотке равен нулю, а в первичной — очень мал, так что потерями «в меди» можно пренебречь (они прямо пропорциональны квадрату силы тока). Поэтому ваттметр, включенный в первичную цепь, показывает мощность, соответствующую потере энергии «в стали».

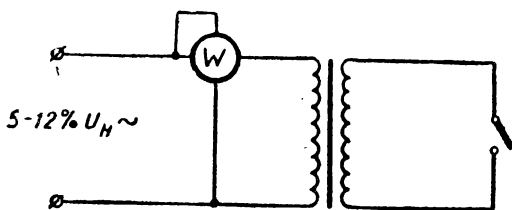


Рис. 63. Принципиальная схема опыта короткого замыкания.

Потери «в меди» зависят от тока и не зависят от напряжения на обмотках. Поэтому потери «в меди» определяют при номинальном токе в обмотках. Для этого напряжение в первичной обмотке снижают до 5—12% от номинального напряжения с таким расчетом, чтобы при коротком замыкании вторичной обмотки (о п ы т к о р о т к о г о з а м ы к а н и я) ток в первичной обмотке был равен номинальному току (рис. 63). Снижение напряжения необходимо для того, чтобы уменьшить потери «в стали» (пренебречь ими) и не допустить перегрузки трансформатора, что очень опасно для него. При соблюдении указанных выше условий проведения опыта ваттметр, включенный в первичную цепь, показывает мощность, соответствующую потерям энергии «в меди».

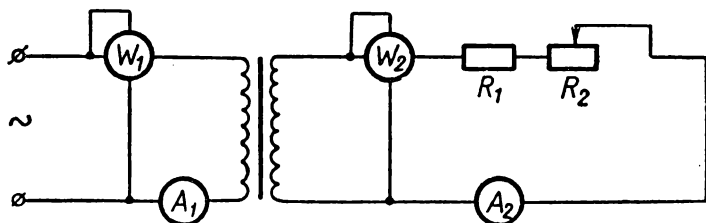


Рис. 64. Принципиальная схема опыта работы нагруженного трансформатора.

Для определения к.п.д. трансформатора при различных нагрузках во вторичной цепи в нее включают электроприемник, позволяющий изменять нагрузку (рис. 64). 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 к.п.д. трансформатора от нагрузки во вторичной цепи.

Раздел шестой

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ЭЛЕКТРОПРИВОД

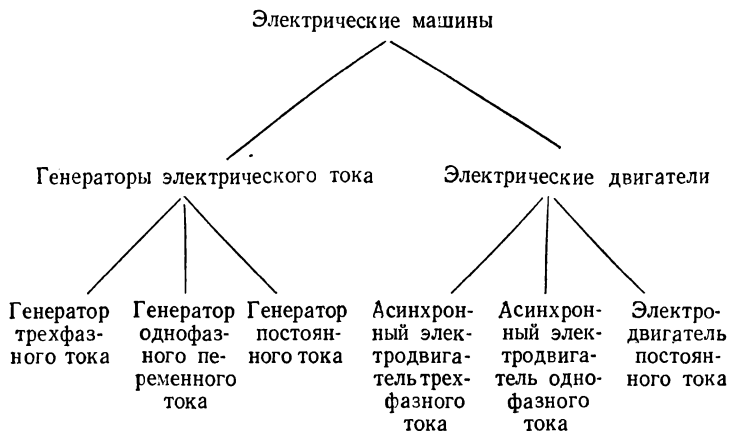
1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Устройство и работа электрических машин основаны на применении законов электромагнитной индукции. Каждая электрическая машина состоит из двух главных частей: устройства, создающего магнитное поле, и устройства, в котором вследствие электромагнитной индукции наводится э.д.с.

Электрические машины предназначены для преобразования одного вида энергии в другой: механическую энергию в электрическую преобразуют машины, называемые *генераторами* электрического тока; электрическую энергию в механическую преобразуют машины, называемые электрическими *двигателями*.

Каждая электрическая машина имеет неподвижную часть — **с т а т о р** и подвижную часть — **р о т о р**.

Ниже приводится схема классификации электрических машин в зависимости от их назначения.



2. ГЕНЕРАТОР ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Общее устройство и схематическое изображение генератора трехфазного тока показаны на рисунке 65.

Принцип действия: возникновение э.д.с. индукции в трех одинаковых неподвижных обмотках, расположенных под углом 120° одна по отношению к другой; вследствие изменения пересекающего их магнитного потока, создаваемого вращающимся электромагнитом.

Условно принято различать начало и конец обмоток. Начала обмоток генератора обозначают буквами *A, B, C*, а концы — *X, Y, Z*. Для удобства применения трехфазного тока обмотки генератора соединяют между собой двумя способами: *в звезду*, если концы обмоток соединены в одну точку, которая называется *нейтральной* (средней) точкой (рис. 66); *в треугольник*, если конец первой обмотки соединен с началом второй, конец второй — с началом третьей, конец третьей — с началом первой (рис. 67).

Провода, которые присоединены к началам обмоток генератора или общим точкам начал и концов обмоток, называются *линейными проводами*.

Провод, присоединенный к нейтральной точке обмоток генератора, называется *нулевым проводом*.

Напряжение между началом и концом обмоток, т. е.

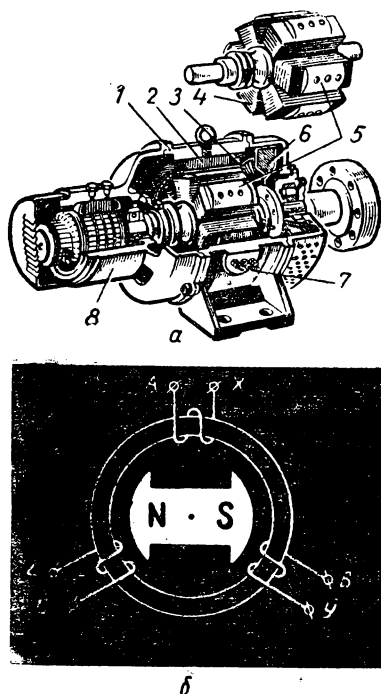


Рис. 65. Генератор трехфазного тока:

a — общее устройство; *б* — схематическое изображение; 1 — корпус; 2 — стальной цилиндр; 3 — обмотка статора; 4 — обмотка ротора; 5 — полюса ротора; 6 — вентилятор; 7 — щиток с зажимами обмоток статора; 8 — генератор постоянного тока для питания обмоток ротора.

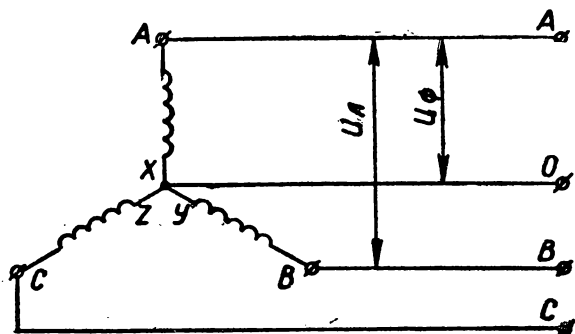


Рис. 66. Принципиальная схема соединения обмоток генератора в звезду.

между линейным и нулевым проводом, называется *фазным напряжением*. Оно обозначается: U_A , U_B , U_C или в общем виде U_ϕ .

Напряжение между началами обмоток, т. е. между линейными проводами, называется *линейным напряжением*. Оно обозначается: U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} или в общем виде U_λ .

Соотношения между линейными и фазными напряжениями выражаются следующими формулами:

при соединении в звезду $U_\lambda = \sqrt{3} \cdot U_\phi$;

при соединении в треугольник $U_\lambda = U_\phi$.

На рисунках 66 и 67 видно, что передавать электроэнергию от трехфазных генераторов можно с помощью четырех (соединение в звезду) или трех (соединение в треугольник) проводов, тогда как для передачи электроэнергии от трех независимых однофазных генераторов потребовалось бы шесть проводов.

Для подключения электроприемников к четырехпроводным или трехпроводным сетям их также соединяют в звезду (рис. 68) или в треугольник (рис. 69).

Токи, протекающие по линейным проводам, называются *линейными токами*.

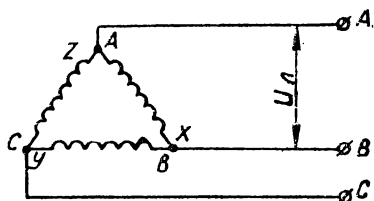


Рис. 67. Принципиальная схема соединения обмоток генератора в треугольник.

ми. Они обозначаются: I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} или в общем виде I_{Δ} .

Токи, протекающие в каждой обмотке генератора, называются *фазными токами*. Они обозначаются: I_A , I_B , I_C или в общем виде I_{ϕ} .

По возможности добиваются, чтобы фазные токи (нагрузки) были одинаковы ($I_A = I_B = I_C$), что особенно важно при соединении в треугольник. При неодинаковых нагрузках в случае соединения в звезду необходим нулевой провод, но он не нужен, если нагрузки одинаковы.

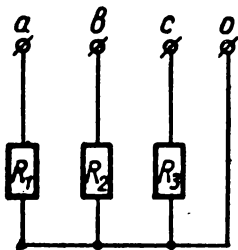


Рис. 68. Принципиальная схема включения электроприемников в четырехпроводную сеть.

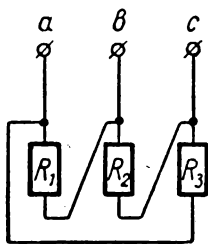


Рис. 69. Принципиальная схема включения электроприемников в трехпроводную сеть.

Соотношение между линейными и фазными токами при одинаковых нагрузках выражаются формулами:

при соединении в звезду $I_{\Delta} = I_{\phi}$;

при соединении в треугольник $I_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}$.

Вопросы и упражнения

1. В чем преимущества трехфазного тока перед однофазным?
2. Линейное напряжение равно 380 в. Чему равно фазное напряжение при соединении в звезду? В треугольник?
3. Фазное напряжение равно 127 в. Чему равно линейное напряжение при соединении в звезду? В треугольник?
4. Можно ли включить электрические лампы, рассчитанные на напряжение 220 в, в сеть трехфазного тока с линейным напряжением 380 в? Если можно, то начертите схему включения.
5. Линейное напряжение четырехпроводной сети равно 220 в. Начертите схему включения в эту сеть трех электроприемников на номинальное напряжение 220 в и четырех электроприемников на номинальное напряжение 127 в.

6. К чему может привести обрыв: нулевого провода? Линейного провода? Двух линейных проводов?

7. Можно ли к одной и той же электрической сети подключить осветительные и силовые электроприемники, если последние рассчитаны на номинальное напряжение 380 в? Если можно, то начертите схему включения.

3. АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Устройство асинхронного двигателя

Принцип действия асинхронного двигателя трехфазного тока основан на возникновении индукционного тока в короткозамкнутом витке, который находится во вращающемся магнитном поле.

При вращении магнита (рис. 70) в направлении, указанном стрелками, короткозамкнутый виток ab пересекается магнитным потоком. В витке создается индукционный ток, направление которого определяют по правилу правой руки (учитывается относительное движение витка). Магнитные поля индукционного тока и вращающегося магнита взаимодействуют между собой, в результате чего на виток действуют силы F_1 и F_2 , направление которых определяют по правилу левой руки. Под действием этих сил виток вращается в том же направлении, что и магнитное поле. Так как виток преодолевает сопротивление среды, скорость его вращения несколько меньше скорости вращения магнитного поля; поэтому принято говорить, что вращение витка относительно поля является асинхронным.

В асинхронном двигателе вращающееся магнитное поле создается в результате прохождения трехфазного тока по трем неподвижным обмоткам, расположенным под углом 120° по отношению друг к другу.

Устройство асинхронного двигателя трехфазного тока с короткозамкнутым ротором показано на рисунке 71.

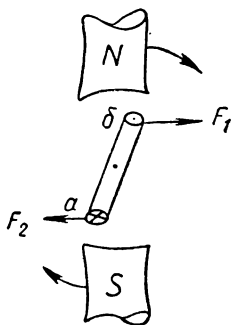


Рис. 70. Схема, поясняющая принцип действия асинхронного двигателя.

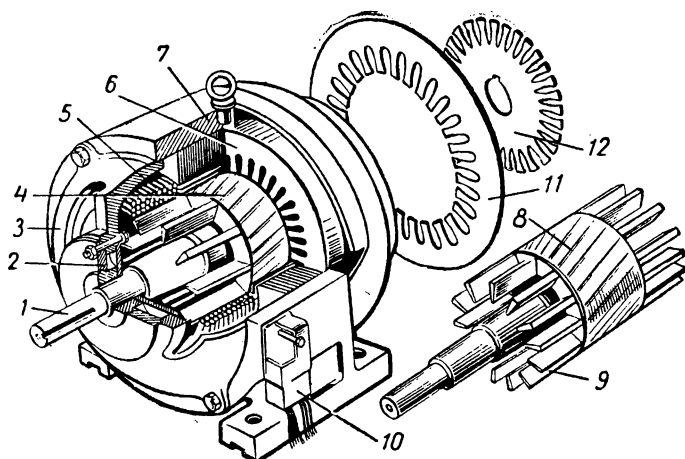


Рис. 71. Устройство асинхронного электродвигателя трехфазного тока с короткозамкнутым ротором:

1 — вал; 2 — шариковый подшипник; 3 — подшипниковый щит; 4 — сердечник ротора; 5 — обмотка статора; 6 — сердечник статора; 7 — станина; 8 — стержни обмотки ротора; 9 — лопасти воздушного вентилятора; 10 — коробка зажимов с выводами обмоток статора; 11 — пластина сердечника статора; 12 — пластина сердечника ротора.

Асинхронные электродвигатели трехфазного тока широко применяются в промышленности и в сельском хозяйстве.

Техническая характеристика асинхронных двигателей трехфазного тока

Скорость вращения магнитного поля асинхронного двигателя называется *синхронной скоростью*. Она определяется по формуле:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p},$$

где n — синхронная скорость, об/мин;

f — частота тока в обмотках статора, гц;

p — число пар полюсов статора.

Скорость вращения ротора (*асинхронная скорость*) нормально нагруженного двигателя на 3—5% меньше синхронной скорости.

Асинхронные двигатели характеризуются номинальной мощностью, номинальным напряжением, номинальным током в обмотках статора, скоростью вращения ротора, к. п. д., коэффициентом мощности переменного тока ($\cos \varphi$), величиной пускового тока (пусковой ток в 3—5 раз больше номинального), габаритами и весом.

Типы асинхронного электродвигателя имеют разные обозначения: А — в чугунном защитном корпусе; АЛ — в алюминиевом защитном корпусе; АО — в чугунном корпусе обдуваемые; АОЛ — в алюминиевом корпусе обдуваемые (табл. 17).

Первая и вторая цифры после букв условно обозначают габариты двигателя — продольный и поперечный размеры (в плане); последняя цифра — число полюсов.

Таблица 17

Техническая характеристика асинхронных электродвигателей
трехфазного тока с короткозамкнутым ротором
(мощность до 4,5 квт)

Тип	Номинальная мощность, квт	Скорость вращения ротора, об/мин	К. п. д., %	$\cos \varphi$	$I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$	Размеры, мм	
						Длина и ширина (в плане)	Высота
А 31-4 и АЛ 31-4	0,6	1410	74,0	0,77	5,0	250×273	200
А 32-4 и АЛ 32-4	1,0	1410	78,5	0,79	5,0	250×309	200
А 41-4 и АЛ 41-4	1,7	1420	81,5	0,83	5,5	302×344	282
А 42-4 и АЛ 42-4	2,8	1420	83,5	0,85	6,0	302×384	282
А 51-4 и АЛ 51-4	4,5	1440	85,5	0,86	6,0	405×441	378
А 42-6 и АЛ 42-6	1,7	930	79,5	0,75	4,5	302×384	282
А 51-6 и АЛ 51-6	2,8	950	82,5	0,78	4,5	405×441	378
А 52-6 и АЛ 52-6	4,5	950	84,5	0,8	5,0	405×491	378
А 61-8	4,5	730	83,0	0,76	4,5	500×580	460
АО 31-2 и АОЛ 31-2	0,6	2860	76,0	0,85	6,0	235×300	200
АО 32-2 и АОЛ 32-2	1,0	2860	79,0	0,86	6,5	235×335	200
АО 41-2 и АОЛ 41-2	1,7	2880	81,5	0,87	6,5	286×375	282
АО 42-2 и АОЛ 42-2	2,8	2880	84,0	0,88	6,5	286×415	282
АО 51-2 и АОЛ 51-2	4,5	2900	85,5	0,88	6,5	380×482	376
АО 31-4 и АОЛ 31-4	0,6	1410	74,0	0,76	5,0	235×300	200
АО 32-4 и АОЛ 32-4	1,0	1410	78,5	0,79	5,0	235×335	200
АО 41-4 и АОЛ 41-4	1,7	1420	81,5	0,82	5,0	286×375	282
АО 42-4 и АОЛ 42-4	2,8	1420	83,5	0,84	5,5	286×415	282
АО 51-4 и АОЛ 51-4	4,5	1440	85,5	0,85	6,0	380×482	376
АО 41-6 и АОЛ 41-6	1,0	930	77,0	0,72	4,0	286×375	282
АО 42-6 и АОЛ 42-6	1,7	930	79,5	0,75	4,5	286×415	282
АО 51-6 и АОЛ 51-6	2,8	950	82,5	0,78	5,0	380×482	376
АО 52-6 и АОЛ 52-6	4,5	950	84,5	0,8	5,5	380×532	376

Упражнения

1. Определить синхронную и асинхронную скорости трехфазных двигателей, статоры которых имеют соответственно 1, 2, 3 пары полюсов.

2. Выбрать тип электродвигателя для вентилятора, сверлильного станка, токарного станка (см. указания к упражнениям на стр. 89).

3. Рассчитать и выбрать плавкий предохранитель к электродвигателям типов: А 31-4, АЛ 42-4, АОЛ 51-2, А 52-4.

У к а з а н и е.

Расчетный ток в цепях трехфазного тока определяют по формуле:

$$I_p = \frac{P_p \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_n \cos \varphi},$$

где P_p — расчетная мощность, *квт*;

U_n — номинальное напряжение, *в*;

I_p — расчетный ток, *а*;

$\cos \varphi$ — коэффициент мощности переменного тока.

Включение в сеть асинхронных двигателей трехфазного тока

Подготовка к пуску и включение электродвигателя в сеть выполняется в следующем порядке:

1. Определяют выводы, принадлежащие одной и той же обмотке; это выполняют с помощью омметра, авометра или контрольной лампы; выводы маркируют.

2. Определяют начала и концы обмоток; если при включении обмотки *аб* (рис. 72, *а*) в сеть, вольтметр не покажет

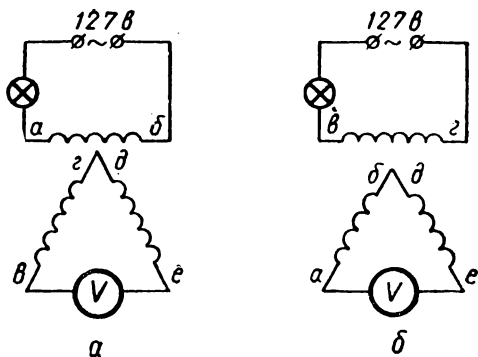


Рис. 72. Схемы цепей для определения начал и концов обмоток статора.

наличия напряжения, то *г* и *д* являются либо началами, либо концами обмоток (принимается условно); если же вольтметр покажет наличие напряжения, то вывод *г* является, например, началом, а вывод *д*—концом; выводы маркируют; собирают цепь по схеме, показанной на рисунке 72, б, и подобным же образом определяют начало и конец обмотки *аб*.

3. Обмотки статора соединяют между собой в звезду или в треугольник.

4. Присоединяют к зажимам электродвигателя провода (кабель) через пусковое устройство, например: рубильник, магнитный пускатель и т. п.

5. Включают электродвигатель в сеть с помощью пусковой аппаратуры.

Для уменьшения величины пускового тока двигатель нередко включают в сеть, соединив обмотки статора в звезду, а затем, если требуется, переключают их в треугольник.

4. ОДНОФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Однофазные асинхронные электродвигатели работают от сети однофазного переменного тока. Поэтому обмотка статора у этих двигателей однофазная (рис. 73). Она называется *рабочей обмоткой*. Ротор однофазных асинхронных двигателей устроен так же, как и ротор трехфазных двигателей, т. е. является короткозамкнутым. Когда по обмотке статора идет переменный ток, тогда вокруг нее создается переменный (пульсирующий) магнитный поток, вследствие чего в короткозамкнутом роторе индуктируется ток. В результате взаимодействия магнитных полей, создаваемых токами, протекающими по обмотке статора и в роторе, ротор вращается. Однако это вращение возможно лишь в том случае, если в момент включения двигателя магнитные потоки статора и ротора сдвинуты на определенный угол по отношению друг к другу. Поэтому статор однофазных асинхронных двигателей имеет *пусковую обмотку*. Она расположена под углом 90° относительно рабочей обмотки.

Магнитные потоки рабочей и пусковой обмоток вместе создают вращающееся магнитное поле, вследствие чего ротор начинает вращаться. Теперь магнитные потоки рабочей обмотки и ротора сдвинуты по отношению друг к другу

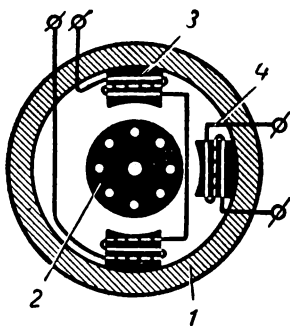


Рис. 73. Схематическое изображение однофазного асинхронного электродвигателя:

1 — статор; 2 — ротор; 3 — рабочая обмотка; 4 — пусковая обмотка.

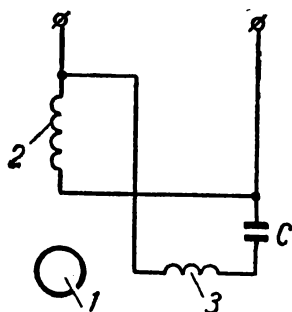


Рис. 74. Схема включения однофазного асинхронного двигателя с помощью конденсатора:

1 — короткозамкнутый ротор; 2 — рабочая обмотка; 3 — пусковая обмотка.

на определенный угол, и вращение ротора обеспечивается лишь взаимодействием магнитных полей рабочей обмотки и ротора. Поэтому после пуска двигателя пусковую обмотку отключают.

Можно и не отключать пусковую обмотку. В таком случае последовательно с ней соединяют конденсатор (рис. 74), который способствует плавному пуску и работе двигателя и уменьшает ток в пусковой обмотке. Такие двигатели применяются в электропроигрывателях, магнитофонах, в автоматике. Однофазные асинхронные двигатели обычно имеют небольшую мощность — до нескольких десятков ватт.

5. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Устройство и виды машин постоянного тока

Одна и та же машина постоянного тока (рис. 75) может использоваться в качестве генератора или в качестве электродвигателя.

Если по обмотке индуктора (статора) и якоря (ротора) пропустить постоянный ток, то якорь начнет вращаться; машина будет работать в режиме электродвигателя. Если же по обмотке индуктора пропустить постоян-

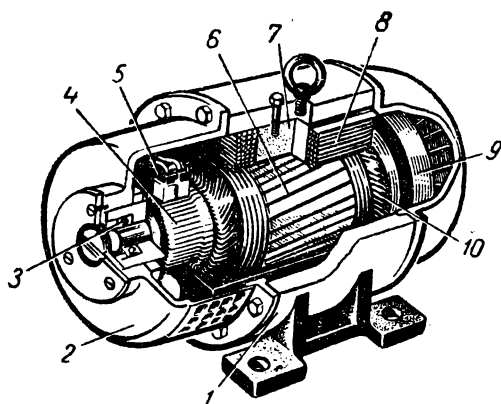


Рис. 75. Устройство машины постоянного тока:

1 — корпус; 2 — подшипниковый щит; 3 — подшипник; 4 — коллектор; 5 — щетки; 6 — якорь; 7 — сердечник индуктора; 8 — обмотка возбуждения; 9 — вентилятор; 10 — обмотка якоря.

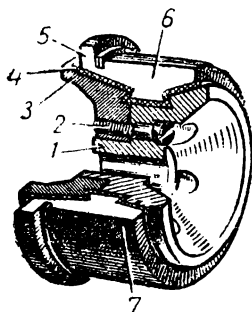


Рис. 76. Коллектор:

1 — вал якоря; 2 — стяжной болт; 3 — нажимное кольцо; 4 — прокладка из миканита; 5 — выступ пластины коллектора — «петушок» для припайки провода обмотки якоря; 6 — часть пластины коллектора — «ласточкин хвост»; 7 — пластины коллектора (ламели).

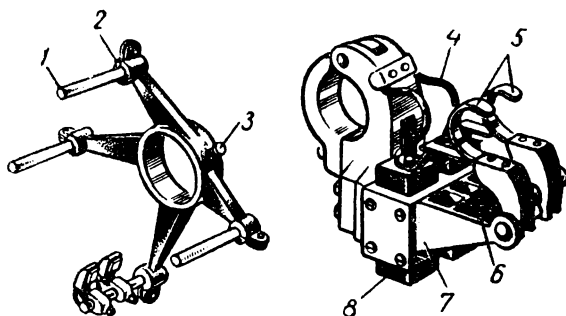


Рис. 77. Траверса и щеткодержатель щеточного механизма:

1 — щеточный палец; 2 — изоляция кольца от траверсы; 3 — стопорный болт; 4 — медный канатик щетки; 5 — нажимные пластины; 6 — пружина; 7 — обойма щеткодержателя; 8 — щетка.

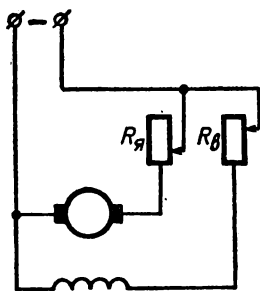


Рис. 78. Принципиальная схема включения двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением:

$R_{я}$ — регулировочный реостат для изменения тока в обмотке якоря; $R_{в}$ — то же для изменения тока в обмотке возбуждения.

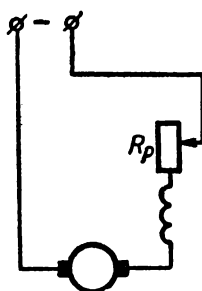


Рис. 79. Принципиальная схема включения двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением:

$R_{р}$ — регулировочный реостат для изменения тока одновременно в обмотках якоря и возбуждения.

ный ток и при этом вращать якорь, то в обмотке якоря создается переменная э.д.с. индукции; машина будет работать в режиме генератора электрического тока.

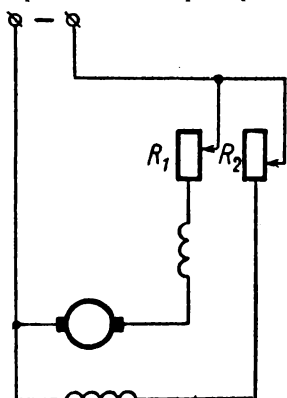


Рис. 80. Принципиальная схема включения двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением:

R_1 и R_2 — регулировочные реостаты.

Чтобы ток по обмоткам проходил в одном и том же направлении, в машинах постоянного тока имеется коллектор (рис. 76). Электрический ток к коллектору или от него идет через электрические щетки (рис. 77).

Машины постоянного тока различают по способу возбуждения магнитного поля, т. е. по способу питания током обмоток индуктора. При параллельном соединении обмоток индуктора и якоря (рис. 78) двигателя скорость вращения его устойчива и ее можно плавно регулировать. Двигатель, у которого обмотки индуктора и якоря соединены

последовательно (рис. 79), может выдерживать перегрузки; вращающий момент на валу этого двигателя сильно возрастает при небольшом увеличении тока. Достоинствами двигателей с параллельным и с последовательным возбуждением обладает двигатель со смешанным возбуждением (рис. 80). Электродвигатели постоянного тока применяются в тех случаях, когда требуется плавно регулировать скорость, например в троллейбусах, электровозах, некоторых типах подъемных кранов, в устройствах автоматики. Обмотки индуктора и якоря генераторов постоянного тока соединяют теми же способами, что и обмотки двигателей, но пусковые реостаты в цепях генераторов не используются. Генераторы постоянного тока применяют тогда, когда требуется самостоятельный источник тока, например для питания электромагнитов, электромагнитных муфт, электродвигателей.

Техническая характеристика машин постоянного тока

Промышленность выпускает машины постоянного тока серии ПН мощностью от 0,37 до 40 *квт*. Двигатели рассчитаны на номинальные напряжения 110, 220 и 440 *в*, а генераторы — на 115, 230 и 460 *в* (см. табл. 18). Электри-

Т а б л и ц а 18

Техническая характеристика машин постоянного тока
типа ПН на номинальное напряжение 220 *в* для двигателя
и 230 *в* для генератора (мощностью до 5,2 *квт*)

Тип	Работа в режиме			
	генератора		двигателя	
	Номинальная мощность, <i>квт</i>	Скорость вращения якоря, <i>об/мин</i>	Номинальная мощность, <i>квт</i>	Скорость вращения якоря, <i>об/мин</i>
ПН-5	0,95	2820	1,0	2800
	0,37	1420	0,3	960
ПН-10	2,2	2860	2,4	2850
	0,85	1430	0,65	980
ПН-17,5	3,1	2860	3,7	2850
	1,3	1430	1,0	1000
ПН-28,5	5,2	2860	5,3	2800
	2,0	1430	1,6	1000

ческие машины специального назначения имеют другие мощности и напряжения.

Промышленность выпускает также электродвигатели постоянного тока типа МП, рассчитанные на 220 и 440 в (см. табл. 19).

Таблица 19

Техническая характеристика электродвигателей постоянного тока типа МП на номинальное напряжение 220 в (мощностью до 12,5 кВт)

Тип	Последовательное возбуждение			Параллельное возбуждение		
	Номинальная мощность, кВт	Номинальный ток, а	Скорость вращения якоря, об/мин	Номинальная мощность, кВт	Номинальный ток, а	Скорость вращения якоря, об/мин
МП-12	2,5	15,6	1000	2,5	14	1300
МП-22	4,5	28,0	880	4,5	26	1100
МП-32	9,0	52,0	750	9,0	48	900
МП-41	12,5	72,0	630	12,5	64	685

6. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОЛЛЕКТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ

Универсальный коллекторный электродвигатель может работать от сети переменного и постоянного тока. Статор этих двигателей выполнен так же, как у машин переменного тока, а ротор, как у машин постоянного тока (якорь). Обмотки статора и ротора между собой соединены последовательно (рис. 81).

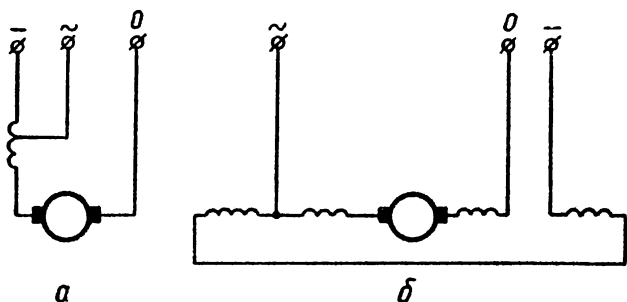


Рис. 81. Схемы универсального коллекторного двигателя:
а — общая принципиальная схема; б — принципиальная схема двигателя типа УМТ.

Универсальные коллекторные электродвигатели небольшой мощности применяются для привода швейных машин, пылесосов и других бытовых машин и электрифицированных инструментов.

Электродвигатели, применяемые в пылесосах, развивают скорость до 15 000 об/мин и имеют мощность от 100 до 500 вт. Для швейных машин применяют электродвигатели мощностью от 20 до 100 вт, которые развивают скорость до 5000 об/мин. В электросверлилках применяют универсальный коллекторный электродвигатель мощностью 0,12 кВт на номинальное напряжение 220 в.

7. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД

Виды электрического привода

Электрический привод (электропривод) служит для создания вращающего момента на валу рабочих машин и механизмов. Электропривод состоит из электродвигателя (одного или нескольких), передаточного устройства и аппаратуры управления и электрической защиты.

Различают три вида электропривода: *индивидуальный, групповой и многодвигательный*. При индивидуальном электроприводе каждая рабочая машина или механизм имеют отдельный двигатель. От группового электропривода действует группа рабочих машин. В настоящее время в основном применяется индивидуальный электропривод, так как он более удобен в эксплуатации.

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.

Важнейшей частью электропривода является электродвигатель. Существует много различных способов управления электродвигателями. Ниже рассматриваются электрические схемы электропривода, которые часто применяются на практике.

Управление электродвигателем с помощью реверсивного магнитного пускателя (рис. 82). Для пуска двигателя с вращением ротора в одном из направлений нажимают на кнопку «Вперед». В результате этого замыкается цепь

питания катушки *КВ* и одновременно размыкается контакт *КВ* в цепи катушки *КН* (электрическая блокировка). Контакты *КВ* силовой цепи, срабатывая, подключают электродвигатель к сети с вращением ротора в определенную сторону.

Когда нажимают кнопку «Назад», цепь катушки *КВ* разрывается, двигатель отключается от сети, но одновременно замыкается цепь катушки *КН*. В результате этого

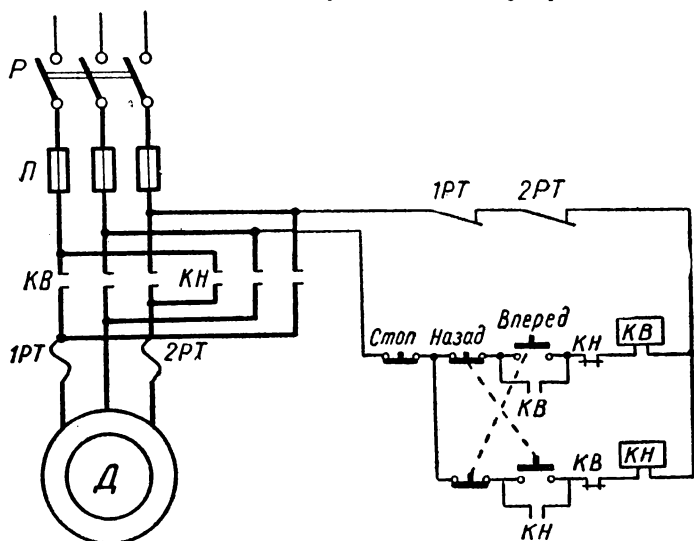


Рис. 82. Принципиальная схема управления электродвигателем с помощью реверсивного магнитного пускателя.

контакты *КН* силовой цепи замыкаются, и двигатель подключается к сети, но с вращением ротора в противоположную сторону.

При ошибочном нажатии одновременно на обе кнопки цепи питания катушек *КН* и *КВ* окажутся взаимно разомкнутыми (одновременному включению катушек *КВ* и *КН* препятствует механическая блокировка).

Включение электродвигателей в заданной последовательности (рис. 83). Для включения двигателя *1Д* достаточно нажать кнопку «1 пуск» (рубильник *Р* должен быть замкнут). Пустить же второй двигатель можно только тогда, когда контакты *1К*, соединенные последовательно с

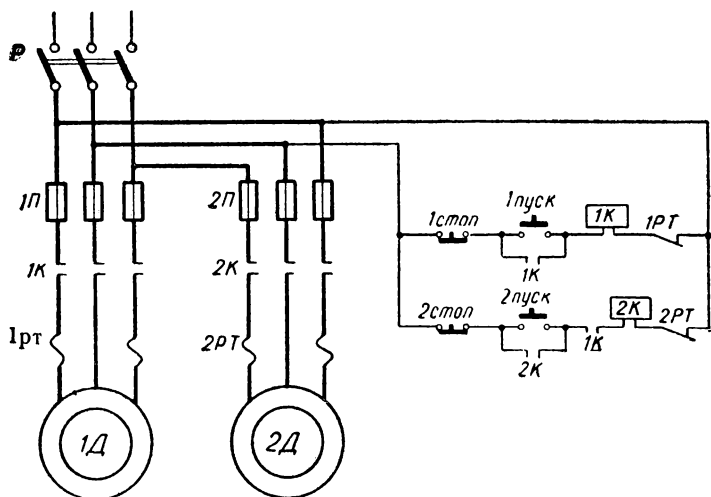


Рис. 83. Принципиальная схема управления электродвигателями в заданной последовательности.

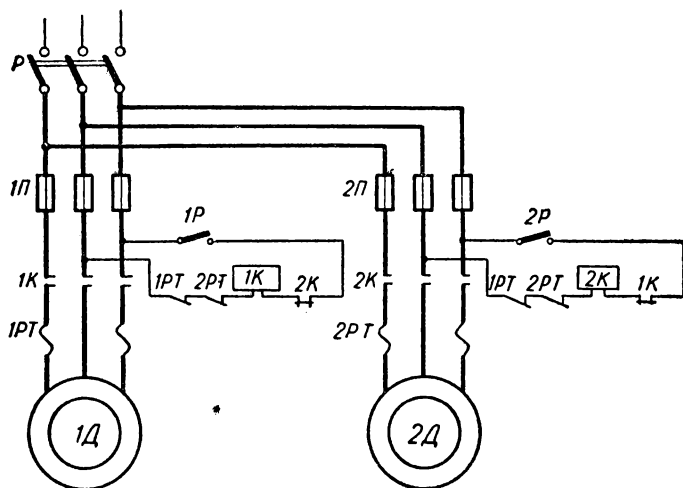


Рис. 84. Принципиальная схема автоматического включения резервного двигателя.

катушкой $2K$, будут замкнуты, а также нажата кнопка «2 пуск». Однако контакты $1K$ замыкаются только в случае, если проходит ток по катушке $1K$. Таким образом, двигатель $2Д$ может быть пущен лишь тогда, когда работает двигатель $1Д$, и автоматически останавливается в случае прекращения работы первого двигателя.

Автоматическое включение резервного двигателя (рис. 84). Двигатель $1Д$ является рабочим, а $2Д$ —резервным. Рубильники замыкают в следующей последовательности:

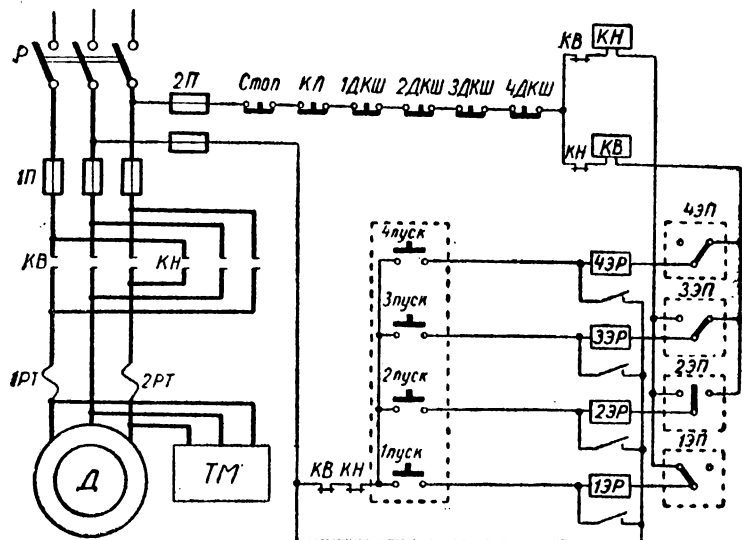


Рис. 85. Принципиальная схема управления электродвигателем подъемника.

P , $1P$ и $2P$. В результате этого начинает работать двигатель $1Д$. Одновременно размыкаются контакты $1K$, соединенные последовательно с катушкой $2K$. Таким образом, двигатель $2Д$ подготовлен к пуску. Когда катушка $1K$ обесточивается, т. е. первый двигатель останавливается, контакты $1K$ в цепи управления вторым двигателем замыкаются. Теперь по катушке $2K$ идет ток, в результате чего контакты $2K$ силовой цепи замыкаются и двигатель $2Д$ начинает работать.

Управление электродвигателем подъемника (рис. 85). В электрооборудовании подъемника используются дверные

контакты *ДКШ*, этажные электромагнитные реле *ЭР*, этажные переключатели *ЭП* и тормозной магнит *ТМ*.

Дверные контакты позволяют производить подъем или спуск кабины подъемника только при плотно закрытых дверях. Этажные реле срабатывают при нажатии соответственно пусковых кнопок и позволяют проходить току через цепь управления при отпускании кнопки. Этажные переключатели имеют три положения: соединены с катушкой *КВ* при нахождении кабины ниже данного этажа; соединены с катушкой *КН*, если кабина находится выше данного этажа; в нейтральном положении, когда кабина находится на данном этаже.

Согласно схеме, представленной на рисунке 85, кабина находится на втором этаже. Рассмотрим в качестве примера работу цепи при подъеме на четвертый этаж. Для этого рубильник *Р* должен быть включен, а этажные двери закрыты. При нажатии кнопки «4 пуск» ток проходит через обмотку реле *4ЭР*, переключатель *4ЭП*, катушку *КВ* и замкнутые дверные контакты. В результате этого замыкаются контакты *КВ* и кабина поднимается вверх. После отпускания кнопки «4 пуск» цепь управления все равно оказывается замкнутой через блок-контакты реле *4ЭР*. Движению кабины вниз препятствует электрическая блокировка катушки *КН* контактами *КВ*, которые размыкаются, когда ток проходит через катушку *КВ*.

В момент достижения кабиной четвертого этажа переключатель *4ЭП* становится в нейтральное положение и размыкает цепь реле *4ЭР*. В это же время начинает действовать тормозной магнит, способствующий быстрой остановке рабочего двигателя.

Монтаж и обслуживание электропривода

Монтаж электропривода производится в следующей последовательности: выбор электродвигателя и пускорегулирующей 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 мегомметром сопротивления изоляции; монтаж аппаратуры управления; подсоединение к двигателю проводов (кабелей) питающей и управля-

ющей 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 уход за ними: чистка, смазка, замена изношенных деталей, выверка и регулировка отдельных частей (см. табл. 20).

Таблица 20

Виды работ, выполняемых при техническом осмотре электрических машин

Наименование работы	Содержание работы
Чистка электродвигателя без разборки	Чистка контактных колец и щеткодержателей стеклянной бумагой Чистка от пыли и грязи обмоток пылесосом и продувка вентиляционных каналов Наружная чистка станины Измерение мегомметром сопротивления изоляции
Осмотр болтовых креплений и подтяжка гаек	Осмотр фундаментных болтов Осмотр болтов подшипниковых щитов и крышек Осмотр винтов, болтов и гаек механизма для подъема щеток Осмотр заземления и проверка величины сопротивления заземления (не должно превышать 4 ом)
Проверка передачи	Проверка плотности насадки шкива, муфты Замена изношенных зубчатых колес
Осмотр подшипников	Проверить, нет ли заедания смазочных колец Проверить, нет ли шума и перегрева
Осмотр и чистка контактных соединений на зажимах двигателя	Проверить, нет ли перегрева Смена наконечников на проводах и кабелях
Осмотр и чистка пусковой аппаратуры	Подтяжка гаек Чистка аппарата без разборки Чистка контактов и замена их Осмотр заземления Измерение мегомметром сопротивления изоляции

При осмотре машин постоянного тока, кроме того, производят чистку коллектора (на ходу машины к коллектору прикладывают, соблюдая осторожность, дощечки, обернутые сухой тряпкой); проверку нажима щеток (используя специальное приспособление с динамометром); смену изношенных щеток (перед вставкой щеток щеткодержатели тщательно очищают от пыли и грязи, а щетки шлифуют к коллектору, пользуясь стеклянной бумагой); регулировку щеткодержателей (чтобы не было дрожания их).

Монтажом и ремонтом электрических машин занимаются: слесари-электромонтажники, электромонтеры по монтажу силового электрооборудования, дежурные электромонтеры, электромонтеры-ремонтники и другие.

Раздел седьмой

ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

Электроника представляет собой область физики и техники. Она изучает вопросы устройства, действия и применения на практике различных электронных приборов и аппаратов. Электронные приборы и аппараты широко применяются для осуществления связи, получения, обработки и передачи информации, регулирования различных процессов и автоматического управления ими. Электроника тесно связана с электротехникой и радиотехникой.

Электронные аппараты состоят из совокупности электронных ламп или полупроводниковых приборов, резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, источников электропитания и других деталей, узлов и блоков.

1. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

Устройство и работа электровакуумных электронных ламп основаны на использовании явления движения в вакууме электронов, испускаемых накалившимся металлом.

Основные части электронной лампы: стеклянный (металлический) баллон, давление воздуха внутри которого не более 10^{-7} мм рт. ст.; нить накала — вольфрамовая проволока, предназначенная для прохождения электрического тока; катод — цилиндр из никеля, покрытый снаружи слоем оксида, предназначенный для испускания электронов под действием нагрева; анод — металлический электрод, предназначенный для управления потоком электронов, испускаемых катодом; сетки — проволоочные спирали, служащие для управления потоками электронов в лампе; цоколь; металл

лические штырьки, к которым присоединены электроды, находящиеся внутри баллона лампы.

В зависимости от числа электродов и выполняемых ими действий различают: *диоды* (рис. 86); *триоды* (рис. 87); *тетроды* (рис. 88); *пентоды* (рис. 89), а также *комбинированные лампы*, например двойной диод (рис. 90), двойной триод, диод-триод, триод-пентод и др.

Электронные лампы обозначают условно совокупностью букв и цифр.

Первая цифра указывает (округленно) величину напряжения накала, например: цифра 1 означает, что напряжение накала равно 1, 2 в, цифра 6 соответствует 6,3 в и т. п.

Первая буква после цифры указывает на тип лампы, а именно: Д — диод; С — триод; Э — тетрод; К, Ж, П — пентод (каждая из букв указывает на особое свойство лампы: К — пентод с удлиненной характеристикой; Ж — пентод экранированный с короткой характеристикой; П — выходной пентод); Х — двойной диод; Ц — кенотрон (диод или двойной диод, предназначенный для выпрямителей); Г — триод с одним или двумя диодами; Н — двойной триод; Ф — триод-пентод.

Цифра, стоящая за буквой, указывающей тип лампы, позволяет различать разные лампы с одинаковым количеством электродов, например: 6Ж4, 6Ж8, 6Ж7.

Последняя буква в обозначении лампы характеризует ее конструктивные особенности, а именно: С — стеклянный баллон; П — пальчиковая (электроды выходят непосредственно из стеклянного дна баллона лампы); Ж — лампа типа «желудь»; Б — сверхминиатюрная лампа при диаметре баллона 10 мм; А — сверхминиатюрная лампа при диаметре баллона 6 мм; если последняя буква отсутствует, значит, баллон лампы металлический.

Включение электронных ламп осуществляется с помощью л а м п о в ы х п а н е л е к, к лепесткам которых припаивают провода согласно схемам. Штырьки образуют электрический контакт с лепестками панельки.

На цоколе лампы (рис. 91) имеется направляющий выступ, который должен входить в гнездо на панельке. Чтобы припаять провода к соответствующим лепесткам панельки, пользуются ц о к о л е в к о й электронных ламп (см. Приложение). Штырьки лампы обозначают цифрами против часовой стрелки, начиная от направляющего выступа — ключа.

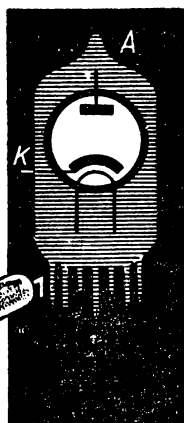
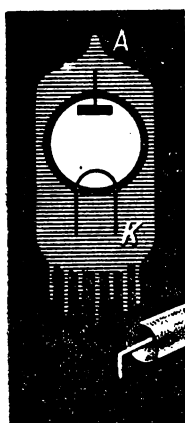


Рис. 86. Схема диода:

а — прямого накала; б — косвенного накала.



Рис. 87. Схема триода.



Рис. 88. Схема лучевого тетрода.

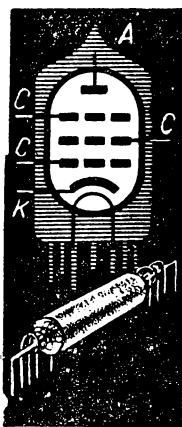


Рис. 89. Схема пентода.



Рис. 90. Схема диода двойного с общим катодом.

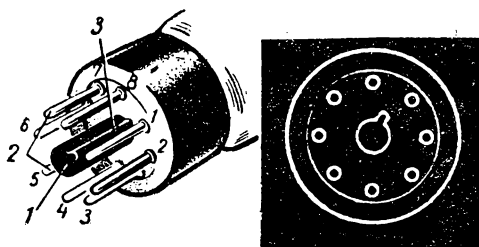


Рис. 91. Цоколь электронной лампы:
1 — ключ; 2 — штырьки; 3 — направляющий выступ.

Пользуясь цоколевкой лампы, можно определить, к каким из лепестков панельки, предназначенной для вставления в нее той или иной лампы, нужно припаять провода.

Таблица 21

Типы электронных ламп

5Ц4С	6С5С	6КЗ, 6Ж4, 6Ж8
6К4, 6ЖЗ	6К7, 6Ж7	6Н7С
6Н8С, 6Н9С	6ПЗС, 6П6С	6П9

Упражнение

В таблице 21 приведены типы широко применяемых электронных ламп. Укажите напряжение накала этих ламп.

2. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Краткие сведения о полупроводниках

Полупроводники занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками. У полупроводников электроны наружных атомных оболочек достаточно сильно связаны с ядром атома. Чтобы оторвать эти электроны от ядра, требуется сообщить им извне определенную энергию, после чего под действием электрического поля они могут перемещаться в полупроводнике, создавая в нем электрический ток. Поэтому электрическое сопротивление полупроводников зависит от температуры, освещенности, действия электрических и магнитных полей, радиоактивного облучения и других факторов.

Различают полупроводники с электронной проводимостью (*n*-проводимость) и с дырочной проводимостью (*p*-проводимость). Когда электроны перемещаются из зоны, в которой они находились, на их месте образуется так называемая *электронная дырка*. Дырки заполняются соседними электронами, образующими в свою очередь новые дырки. Таким образом в направлении, противоположном движению электронов, происходит перемещение дырок. Преобладание того или иного типа проводимости в полупроводнике зависит от наличия в нем различных примесей.

Если полупроводник с *n*-проводимостью включить в электрическую цепь, то концентрация электронов в нем увеличится и электропроводность полупроводника тоже возрастет. При включении же в цепь полупроводника с *p*-проводимостью его электропроводность уменьшается.

Полупроводниковый прибор состоит из соединенных между собой полупроводниковых кристаллов с различной проводимостью. В месте соприкосновения этих полупроводников образуется *запорный слой*, который может проводить электрический ток только в одном направлении. Некоторые полупроводниковые приборы состоят из соединенных между собой полупроводникового кристалла и металла.

Различают два вида полупроводниковых приборов: полупроводниковые диоды и транзисторы (полупроводниковые триоды). Эти приборы в электрических цепях играют такую же роль, что и электронные лампы (диоды и триоды). Однако полупроводниковые приборы по сравнению с электронными лампами имеют преимущества: больший срок службы, меньшие габариты и вес, большую механическую прочность, высокую надежность в эксплуатации, меньший расход электроэнергии.

Полупроводниковые диоды

Полупроводниковый диод состоит из соприкасающихся двух полупроводниковых кристаллов, имеющих различную проводимость. Запорный слой (толщина около 10^{-4} мм) проводит ток лишь в одном направлении, а именно от полупроводника с *n*-проводимостью к полупроводнику с *p*-проводимостью. В *точечных диодах* (рис. 92) полупроводниковый кристалл (германий, кремний) соприкасается с

металлической контактной иглой. Эти диоды применяются в радиовещательной и телевизионной приемной аппаратуре и в измерительных приборах.

В *плоскостных диодах* (рис. 93) в германиевый или кремниевый кристалл вплавлен индий. Эти диоды могут пропускать в одном направлении сравнительно большие токи при больших приложенных к ним напряжениях, а потому широко применяются в выпрямителях переменного тока.

Тип диода обозначается следующим образом: буква Д — диод; стоящая за буквой Д цифра — порядковый номер диода; буква на последнем месте — разновидность диода (в основном говорит о работе при соответствующих температурных условиях).

При подключении отрицательного полюса источника тока к полупроводнику, обладающему *n*-проводимостью, через него будет протекать сравнительно большой ток. Этот ток называется *прямым током*. Его величина зависит от величины напряжения источника питания (батареи). При подключении отрицательного полюса источника тока к полупроводнику, обладающему *p*-проводимостью, в диоде будет протекать весьма незначительный ток. Этот ток называется *обратным током*; величина его очень маленькая, поэтому практически он не влияет на работу прибора.

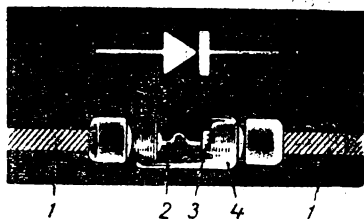


Рис. 92. Устройство точечного полупроводникового диода;

1 — выводы; 2 — стеклянный баллон; 3 — кристалл германия; 4 — вольфрамовая игла.

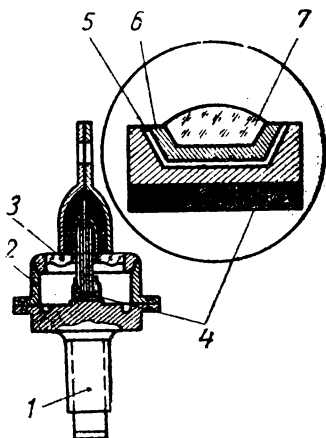


Рис. 93. Устройство плоскостного полупроводникового диода:

1 — болт крепления; 2 — корпус; 3 — изолятор; 4 — кристалл германия; 5 — *n-p*-переход; 6 — зона *p*-проводимости; 7 — вплавленный кристалл индия.

Параметры силовых полупроводниковых диодов

Тип диода	Выпрямленный ток, <i>ма</i>	Обратный ток, <i>ма</i>	Наибольшая амплитуда обратного напряжения, <i>в</i>
Германиевые диоды			
Д7А	300	0,3	50
Д7Б	300	0,3	100
Д7В	300	0,3	150
Д7Г	300	0,3	200
Д7Д	300	0,3	300
Д7Е	300	0,3	350
Д7Ж	300	0,3	400
Кремниевые диоды			
Д202	400	0,5	100
Д203	400	0,5	200
Д204	400	0,5	300
Д205, Д221	400	0,5	400
Д220, Д222	400	0,5	600
Д226	300	0,3	400
Д226А	300	0,3	300

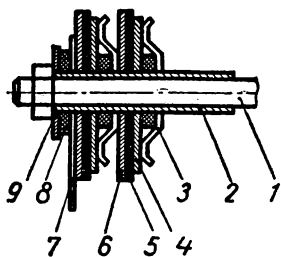


Рис. 94. Устройство селенового элемента:

1 — болт; 2 — изоляционная втулка; 3 — пружинная контактная шайба; 4 — катодное покрытие из олова, кадмия и висмута; 5 — слой селена толщиной 0,065 — 0,085 мм; 6 — опорный электрод; 7 — контактный вывод; 8 — изоляционная шайба; 9 — металлическая шайба.

Для выпрямления переменного тока в устройстве радиоэлектронной аппаратуры применяются плоскостные германиевые диоды (типа Д7) и кремниевые диоды (Д202, Д203 и т. д.). Эти диоды называют **силовыми** (табл. 22); они позволяют получать мощность выпрямленного тока от 10 до 1000 *вт*.

В качестве детекторов в радиовещательной аппаратуре и аппаратуре УКВ (ультракоротковолновой) применяются диоды типа: Д1, Д2, Д11, Д12, Д13, Д14. Диоды типа Д9 используются в устройстве усилителей малой мощности.

Для выпрямления переменного тока применяется также селеновый элемент (рис. 94). Из селеновых элементов собирают выпрямительные столбики.

Транзисторы

Транзистор (полупроводниковый триод) состоит из трех полупроводниковых кристаллов (рис. 95), два из которых обладают одинаковой проводимостью; между кристаллами с одинаковой проводимостью находится третий кристалл с противоположной проводимостью. Поэтому транзисторы бывают типа $n-p-n$ или $p-n-p$. Больше распространение получили транзисторы типа $p-n-p$. Они применяются для усиления и генерирования электрических колебаний.

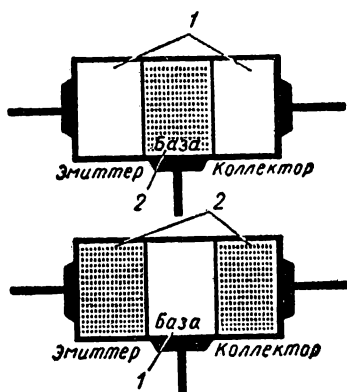


Рис. 95. Схематическое изображение полупроводниковых кристаллов транзистора:

1 — кристаллы p -проводимости; 2 — кристаллы n -проводимости.

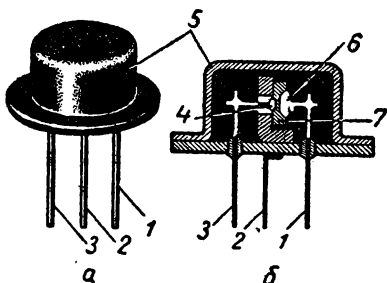


Рис. 96. Транзистор типа $p-n-p$:

а — внешний вид; б — схема внутреннего устройства; 1 — вывод коллектора; 2 — вывод базы; 3 — вывод эмиттера; 4 — эмиттер; 5 — корпус; 6 — коллектор; 7 — база.

В устройстве транзистора (рис. 96) различают три части: эмиттер, коллектор, база (основание).

Плоскостные транзисторы рассчитаны на выходную мощность до 100 *вт*.

Тип транзистора обозначается сочетанием букв и чисел: первая буква П — транзистор; следующие за буквой цифры характеризуют его назначение и возможность работать при определенных интервалах температур; третья буква указывает на разновидность конструкции.

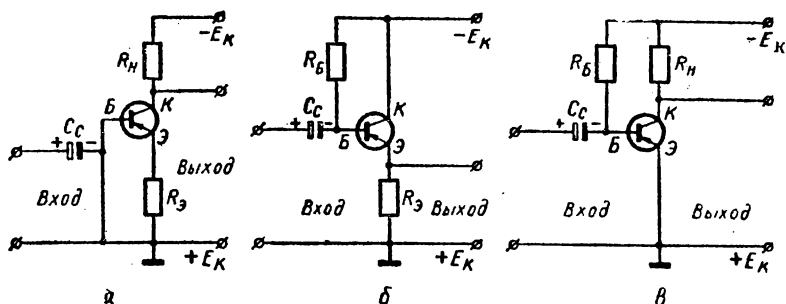


Рис. 97. Схемы включения транзисторов;

а — с общей базой; б — с общим коллектором; в — с общим эмиттером.

Роль электродов транзистора аналогична роли электродов электронной лампы — триода: эмиттер — катод; коллектор — анод; база — сетка.

Транзистор может быть включен различными способами, но всегда на два электрода подается входной электрический сигнал и с двух электродов снимается выходной сигнал. Один из электродов оказывается общим (рис. 97).

Величина тока коллектора изменяется при изменении напряжения между базой и эмиттером. Ток в цепи коллектора, проходящий в направлении перехода, называется прямым (I_K), ток в цепи коллектора, проходящий в направлении, обратном переходу, называется обратным ($I_{ко}$).

При включении транзистора необходимо строго соблюдать полярность прикладываемых к нему напряжений, так как из-за неправильного включения он может выйти из строя. При включении транзисторов типа $p-n-p$ потенциал коллектора по отношению к общему электроду (или эмиттеру и базе) должен быть отрицательным. Потенциал эмиттера во всех случаях включения транзистора должен быть положительным. Потенциал базы отрицателен по отношению к эмиттеру (в схемах с общим эмиттером) и положителен — в схеме с общим коллектором.

Транзистор может усиливать электрические колебания, т. е. увеличивать их напряжение или мощность. Усиление напряжения или мощности колебаний осуществляется за счет преобразования транзистором электрической энергии, получаемой им от источника электропитания. Если собрать

цепь по схеме, изображенной на рисунке 98, то электроны начнут переходить из эмиттерной области в базовую область, так как положительный полюс источника питания $E_{э,б}$ соединен с базой. От напряжения этого источника питания зависит величина тока в цепи эмиттера.

Положительный полюс источника питания $E_{к,б}$, за счет энергии которого осуществляется усиление электрических колебаний, соединен с областью коллектора. Поэтому электроны из базовой области почти свободно проходят в область коллектора (примерно 90% электронов, приходящих из области эмиттера в базовую область). Следовательно, ток в цепи эмиттера почти равен току в цепи коллектора.

При включении в цепь эмиттера источника переменного напряжения, т. е. входного сигнала, величину которого требуется усилить, ток в цепи эмиттера изменится на величину, пропорциональную изменению напряжения $U_{вх}$. Так как ток в цепи коллектора почти не зависит от напряжения источника питания $E_{к,б}$, то изменение тока в цепи коллектора тоже пропорционально изменению напряжения $U_{вх}$.

Усиленное напряжение, т. е. выходной сигнал, снимают с резистора R_H .

Напряжение на резисторе R_H определяется по формуле:

$$U_{вых} = I_k \cdot R_H.$$

Если выбрать резистор большого сопротивления, например несколько десятков тысяч ом, то изменения напряжения на резисторе R_H будут весьма значительны, т. е. напряжение $U_{вх}$ будет усилено.

Способность транзистора усиливать ток характеризуется коэффициентом усиления по току, который показывает, во сколько раз амплитуда тока усиленного сигнала на выходе транзистора больше амплитуды тока на его входе. Коэффициент усиления по току транзисторов, включаемых по схеме с общим эмиттером, обозначается буквой β , а в схеме с общей базой — буквой α .

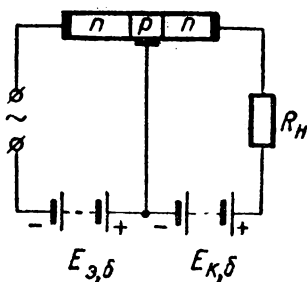


Рис. 98. Схема усилителя.

Соотношения между β и α выражаются формулами:

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \text{ или } \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

Важными параметрами транзистора являются также обратный ток коллектора и максимальная мощность (см. табл. 23).

Таблица 23

Электрические параметры некоторых типов транзисторов

Тип транзистора	Тип перехода	Коэффициент усиления	Обратный ток коллектора, $\mu\text{ка}$	Максимальная мощность, мвт
П4А	<i>p-n-p</i>	5	500	20 000
П4Б	«	15	400	20 000
П4Д	«	30	400	20 000
П302	«	10	100	5000
П303	«	6	100	10 000
П304	«	5	100	10 000
П13	«	12	15	150
П14	«	20—40	15	150
П14А	«	20—40	15	150
П15	«	30—60	15	150
П101	<i>n-p-n</i>	9—18	10	150
П101А	«	10—30	10	150
П102	«	18—35	10	150
П103	«	30—70	10	150
П401	<i>p-n-p</i>	16—50	10	50
П402	«	16—100	5	50
П403	«	33—100	5	50
П410	«	28—100	4	100
П411	«	100—250	4	100
П414	«	25—120	10	100
П415	«	60—200	10	100
П420	«	12	10	50
П421	«	15	10	50
П422	«	30—100	5	50
П423	«	30—100	5	50

Проверка транзистора типа *p-n-p* с помощью авометра: установить переключатель рода работы авометра в положение « Ω ».

Установить переключатель пределов измерения в положение максимального значения сопротивлений.

Штеккер, вставленный в гнездо «*обыч*», подключить к базе, второй штеккер — к коллектору или к эмиттеру.

Если прибор покажет нуль или небольшое сопротивление, то транзистор годен для работы.

При проверке транзисторов типа *n-p-n* полярность включения должна быть противоположной.

Проверка величины обратного тока коллектора. Собрать цепь согласно схеме (рис. 99); при включении транзистора необходимо соблюдать правильную полярность батареи; напряжение батареи не должно превышать допустимого для данного типа транзисторов.

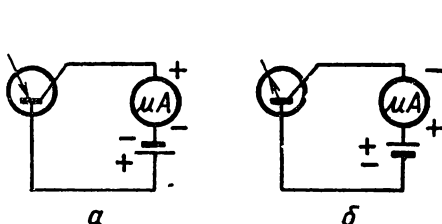


Рис. 99. Схемы для измерения обратного тока коллектора транзисторов:

a — типа *p-n-p*; *б* — типа *n-p-n*.

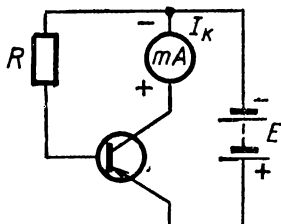


Рис. 100. Схема измерения коэффициента усиления по току транзистора типа *p-n-p*.

Микроамперметр покажет величину обратного тока коллектора $I_{ко}$.

Сравнить показание микроамперметра с паспортными данными.

Если $I_{ко}$ превышает допустимое значение, то транзистор негоден.

Проверка коэффициента усиления β . Собрать цепь по схеме (рис. 100), причем сопротивление резистора R приблизительно равно 180—470 *ком*.

По показаниям микроамперметра I_k , величине сопротивления резистора R и напряжению источника тока U определить коэффициент усиления:

$$\beta = \frac{I_k \cdot R}{U}.$$

Проверить $I_{ко}$ и β можно также с помощью прибора, схема которого показана на рисунке 101:

переключатель Π_1 ставят в положение I ,

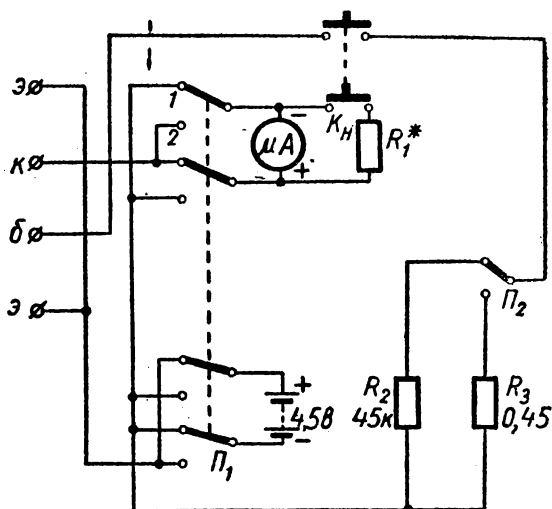


Рис. 101. Схема прибора для проверки транзисторов:

μ — микроамперметр на 300 μ а; R_1 — шунт, рассчитанный на измерение микроамперметром тока 3 ма; Π_1 — телефонный ключ или спаренные шестиконтактные тумблеры; Π_2 — тумблер.

если требуется проверить транзистор типа *p-n-p*; в положение 2 — при проверке транзистора типа *n-p-n*.

Транзистор *p-n-p* подключают к зажимам *к-б-э* (транзистор *n-p-n* — к зажимам *э-к-б*); микроамперметр показывает обратный ток коллектора (от 0 до 300 μ а).

Нажимают на кнопку K_n ; микроамперметр показывает значение коэффициента усиления.

Переход с одного предела измерения на другой обеспечивается с помощью переключателя Π_2 .

3. ДЕТАЛИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Резисторы

Резисторы (рис. 102) применяются для обеспечения требуемого режима работы электронных ламп и транзисторов, регулирования тока и напряжения в цепях и т. п.

Резисторы характеризуются: номинальным сопротивлением; классом точности (к I классу относятся резисторы с допустимым отклонением сопротивления от номинального значения до 5%, ко II классу — до 10%, к III классу — до 20%); номинальной мощностью (наиболее применимы резисторы с номинальной мощностью от 0,12 до 2 *вт*).

По конструкции различают резисторы: *проволочные* (на керамическое основание намотана проволока — никромовая, манганиновая, константановая), *непроволочные* (токопроводящим элементом является углеродистый или другой специальный состав, нанесенный на керамические или стеклянные стержни или трубки).

Типы постоянных проволочных резисторов: ПЭ — проволочные эмалированные; ПЭВ — проволочные эмалированные влагостойкие; ПЭВ-Х — проволочные эмалированные влагостойкие с хомутиком для крепления.

Типы постоянных непроволочных резисторов: ВС — высокостабильные; УЛМ — углеродистые, лакированные, малогабаритные; МЛТ — металлизированные, лакированные, влагостойкие.

Мощность резисторов (в *вт*) указывается числом, стоящим за буквами, обозначающими тип, например: ВС-0,25, МЛТ-2.

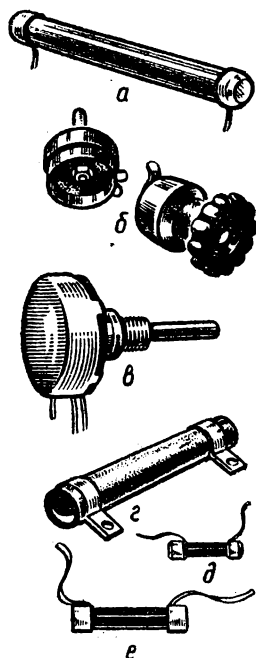


Рис. 102. Резисторы:

а — проволочный оstedлованный, постоянный; *б* — проволочный, переменный; *в* — непроволочный, переменный; *г* — керамический с углеродистым покрытием; *д* — малогабаритный; *е* — металлизированный.

Конденсаторы

Электрический конденсатор состоит из двух металлических пластин (о б к л а д о к) или двух проводников любой формы, разделенных диэлектриком. Конденсатором, например, являются два провода электрической сети. Кон-

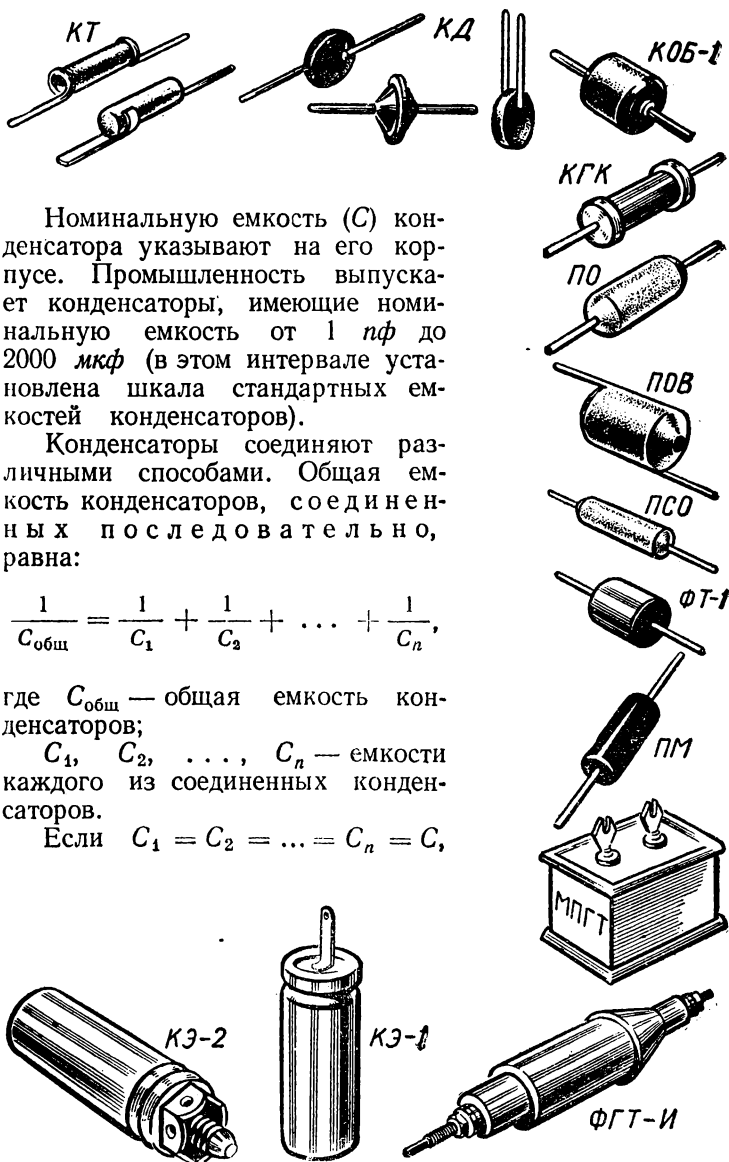


денсаторы, применяемые в электронной аппаратуре и электроустановках, изготавливают на заводах (рис. 103, 104, 105). В зависимости от вида и обкладок различают несколько типов конденсаторов (см. табл. 24).

Конденсаторы характеризуются рабочим напряжением и номинальной емкостью.

Рабочее напряжение ($U_{\text{раб}}$) указывают на корпусе конденсатора. Напряжение на обкладках конденсатора, включенного в электрическую цепь, не должно быть выше рабочего напряжения. Если на обкладки конденсатора подать напряжение, большее рабочего, то конденсатор выйдет из строя, так как имеющийся в нем диэлектрик будет пробит (об электрическом пробое диэлектрика см. на стр. 28).

Рис. 103. Конденсаторы постоянной емкости (бумажные, металлобумажные и слюдяные).



Номинальную емкость (C) конденсатора указывают на его корпусе. Промышленность выпускает конденсаторы, имеющие номинальную емкость от 1 пф до 2000 мкф (в этом интервале установлена шкала стандартных емкостей конденсаторов).

Конденсаторы соединяют различными способами. Общая емкость конденсаторов, соединенных последовательно, равна:

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n},$$

где $C_{\text{общ}}$ — общая емкость конденсаторов;

C_1, C_2, \dots, C_n — емкости каждого из соединенных конденсаторов.

Если $C_1 = C_2 = \dots = C_n = C$,

Рис. 104. Конденсаторы постоянной емкости (керамические, пленочные).

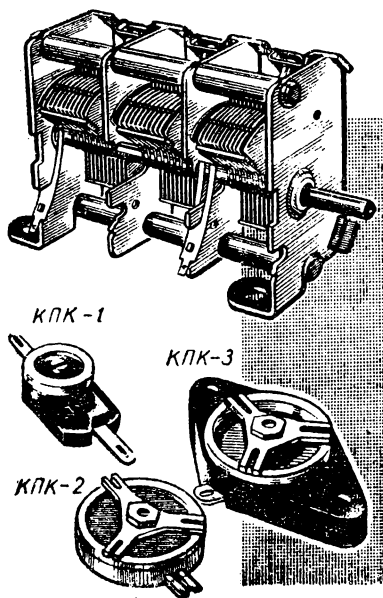


Рис. 105. Конденсаторы переменной емкости и подстроечные.

то общую емкость определяют по формуле:

$$C_{\text{общ}} = \frac{C}{n},$$

где C — емкость одного конденсатора;

n — число конденсаторов.

Общая емкость конденсаторов, соединенных параллельно, равна:

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$

Электрическое сопротивление, которое конденсатор оказывает переменному току, называется *емкостным сопротивлением*. Оно определяется по формуле:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C},$$

где X_c — емкостное сопротивление, *ом*;

f — частота тока, *гц*;

C — емкость конденсатора, *ф*.

Проверка конденсаторов. Емкость того или иного конденсатора может отличаться от его номинальной емкости. Отклонение (в %) емкости конденсатора от номинального ее значения указывают на корпусе конденсатора. Если требуется точно знать емкость данного конденсатора, то ее измеряют с помощью специальных приборов, т. е. проверяют номинальную емкость. Конденсаторы проверяют также на пробой диэлектрика и короткое замыкание между обкладками. Для этого с помощью омметра (авометра) измеряют сопротивление между обкладками: если оно велико (стрелка прибора показывает на отметку ∞), то конденсатор пригоден для работы.

Основные данные о конденсаторах

Тип конденса- тора	Вид диэ- лектрика	Характеристи- ка обкладок	Номинальная емкость		Рабочее напряже- ние, в
			от	до	
Конденсаторы постоянной емкости					
БМ (бума- жные мало- габаритные)	Тонкая конденса- торная бу- мага	Тонкая ме- таллическая фольга	510пф	0,05мкф	150, 200, 300
МБГ (ме- таллобумаж- ные гермети- зированные)	Тонкая лента кон- денсатор- ной бу- маги	Тончайший металличес- кий слой, на- несенный пу- тем распыле- ния на бума- жную ленту	0,25 мкф	25мкф	200, 400, 600, 1000, 1500
ЭГЦ (эле- ктролитичес- кие гермети- зированные цилиндричес- кие)	Тонкий слой окси- си алюми- ния	Тонкие лен- ты из алю- миниевой фо- льги, сверну- тые в рулон и разделенные пропитанной бумагой или тканью	5мкф	200мкф	от 6 до 500
КСО (кон- денсатор слю- дяной опрес- сованный)	Белая слюда (муско- вит)	Свинцово- оловянная, алюминиевая или медная фольга	51пф	50 000пф	от 250 до 7000
КС (кон- денсаторы стекломале- вые)	Тонкий слой стек- ловидной эмали	Тончайший слой серебра	10пф	1 000пф	500
ПО (поли- стирольный открытый)	Тонкая пленка из полисти- рола	Металличес- кая фольга	51пф	30 000пф	до 300
МПГ (ме- талло-пленоч- ные гермети- зированные)	То же	Тончайший слой метал- ла, нанесен- ный путем распыления на пленку	3000пф	2мкф	250, 500, 1000

Тип конденса- тора	Вид диэ- лектрика	Характеристи- ка обкладок	Номинальная емкость		Рабочее на- пряжение, в
			от	до	
КТК (кон- денсаторы трубчатые ке- рамические)	Конден- саторная керамика	Тончайший слой серебра, нанесенный путем вжига- ния в керами- ку	2пф	2000пф	до 500
КДС (ке- рамические дисковые сег- нетоэлектри- ческие)	Сегнето- керамика	То же		1000,3000 и 6800 пф	250
Полупеременные (подстроечные) конденсаторы					
КПК (кон- денсаторы подстроечные керамические)	Конден- саторная керамика	Тонкий слой серебра, нанесенный путем вжига- ния на кера- мику	2пф	175пф	до 500
Конденсаторы переменной емкости					
Конденса- торы с воз- душным диэ- лектриком	Воздух	Металли- ческие плас- тины	9пф	450пф	—
Конденса- торы с твер- дым диэлект- риком	Целлу- лоид, фто- ропласт, полисти- рол	Тонкий слой металла		20пф	—

Катушки индуктивности

Любой проводник обладает индуктивностью. Индуктивность проводника увеличивается, если его намотать в виде катушки (рис. 106). Обычно проводник наматывают на каркас из электроизоляционного материала (рис. 106, б, в, г, д). Катушки индуктивности делают без сердечника или с сердечником из ферромагнитного материала (электротехнической стали, феррита, пермаллоя).

Катушки индуктивности, применяемые в электронной аппаратуре и в электроустановках, изготовляют на заводах.

Однако катушку с небольшим числом витков можно намотать вручную или приспособить для этого ручную дрель (см. рис. 61).

Катушки индуктивности бывают различных размеров (диаметр и длина). Они отличаются также количеством витков и видом сердечника.

Основной характеристикой катушки индуктивности является индуктивность. Индуктивность катушки обычно указывают в прилагаемом к ней паспорте (у некоторых катушек обмотка закрыта корпусом, на котором указывают индуктивность). Ее можно также измерить с помощью специальных приборов или рассчитать по формуле:

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

где L — индуктивность, гн ;
 μ — магнитная проницаемость сердечника, гн/м ;

ω — количество витков;

S — площадь поперечного сечения катушки, м^2 ;

l — длина катушки, м .

Магнитную проницаемость сердечника определяют по формуле:

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r,$$

где μ — магнитная проницаемость сердечника, гн/м ;

μ_0 — магнитная проницаемость вакуума, равная $4 \cdot 10^{-7} \text{ гн/м}$;

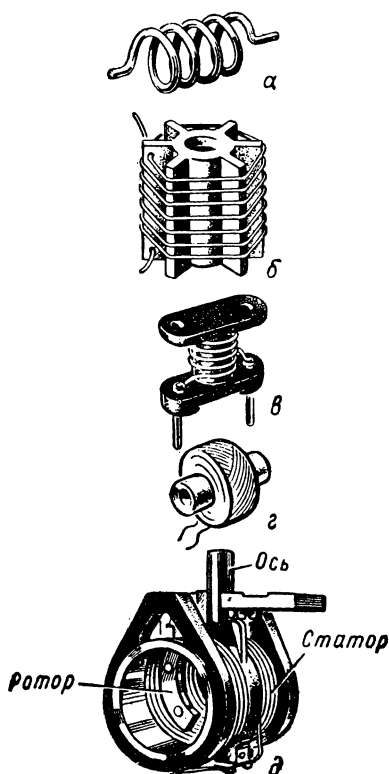


Рис. 106. Катушки индуктивности:

a — бескаркасная; b — на ребристом каркасе; c — на цилиндрическом каркасе; d — многослойная; d — переменной индуктивности (вариометр).

μ_r — относительная магнитная проницаемость материала, из которого сделан сердечник (данные берут из справочников по магнитным материалам).

Активное сопротивление. Электрическое сопротивление проводника объясняется тем, что положительно заряженные ионы кристаллической решетки металла препятствуют направленному движению в нем электронов. Такое сопротивление называют активным сопротивлением. Его определяют по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где R — активное сопротивление, ом ;

ρ — удельное электрическое сопротивление металла, из которого сделан проводник, $\text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

l — длина проводника, м ;

S — площадь поперечного сечения проводника, мм^2 .

Активное сопротивление катушки индуктивности обычно мало, так как для ее изготовления применяют медный провод, который обладает, как известно, небольшим удельным сопротивлением.

Индуктивное сопротивление. Индуктивное сопротивление проводника объясняется тем, что проходящий по нему переменный ток создает ток самоиндукции, который, согласно правилу Ленца, препятствует прохождению этого переменного тока. Величина индуктивного сопротивления зависит от частоты переменного тока и индуктивности проводника. Индуктивное сопротивление определяют по формуле:

$$X_L = 2\pi fL,$$

где X_L — индуктивное сопротивление, ом ;

f — частота переменного тока, гц ;

L — индуктивность, гн .

Индуктивное сопротивление катушки больше ее активного сопротивления, так как индуктивность катушки обычно велика.

Катушку индуктивности, индуктивное сопротивление которой во много раз больше активного сопротивления, обычно называют *дресселем* (рис. 107).

Полное сопротивление. Полное сопротивление, которое катушка индуктивности оказывает переменному току, за-

висит от ее активного и индуктивного сопротивления. Оно определяется по формуле:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2},$$

где Z — полное сопротивление, ом ;

R — активное сопротивление, ом ;

X_L — индуктивное сопротивление, ом .

Полное сопротивление цепи, в которую включены резисторы, катушки индуктивности и конденсаторы, определяют по формуле:

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

где R — активное сопротивление цепи (т. е. общее сопротивление резисторов, активного сопротивления катушки, сопротивления соединяющих проводников и т. п.), ом ;

X_L — индуктивное сопротивление, ом ;

X_C — емкостное сопротивление, ом .

4. ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ЛАМПЫ

Неоновая лампа представляет собой газоразрядный источник света (при электрическом разряде газ светится). Она состоит из стеклянного баллона, внутри которого находится газ неон и два электрически несоединенных электрода. Электрический разряд в неоновой лампе возникает при определенном напряжении между ее электродами, называемом *напряжением зажигания*. При напряжении, меньшем напряжения зажигания, электрический разряд прекращается (лампа гаснет).

Неоновые лампы (рис. 108) применяются для зажигания люминесцентных ламп.

Для зажигания люминесцентной лампы (рис. 109) нужно нагреть катоды и создать между ними высокое напряжение. При включении лампы в сеть (рис. 110) зажигается неоновая лампа (стартер), общее сопротивление цепи становится небольшим и электроды лампы быстро нагреваются. После замыкания электродов неоновой

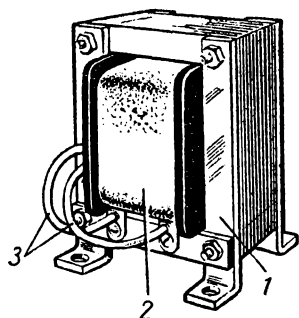


Рис. 107. Дроссель:
1 — сердечник; 2 — обмотка; 3 — выводы.

Рис. 108. Устройство неоновой лампы:

1 — металлический колпачок, внутри которого находится стеклянный баллон; 2 — отверстия в колпачке; 3 — биметаллическая пластина; 4 — подвижный электрод; 5 — неподвижный электрод; 6 — контактные штырьки.

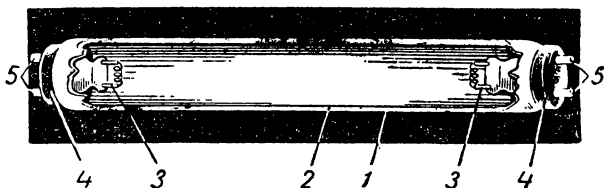
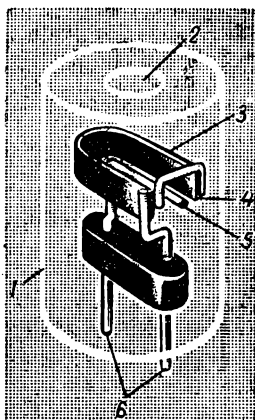


Рис. 109. Устройство люминесцентной лампы:

1 — стеклянный баллон; 2 — слой люминофора; 3 — биспиральные вольфрамовые электроды (катоды); 4 — цоколь; 5 — контактные штырьки.

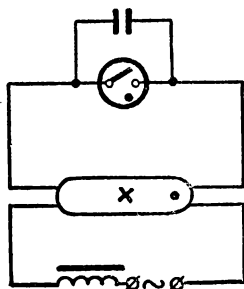


Рис. 110. Схема включения люминесцентной лампы.

лампы электрический разряд в ней прекращается. В результате электроды неоновой лампы охлаждаются и размыкаются. В момент размыкания их дроссель вследствие явления самоиндукции создает большое напряжение между катодами люминесцентной лампы, и лампа зажигается.

Люминесцентные лампы обозначаются: ДС — дневного света; ХБС — холодно-белого света; БС — белого света; ТБС — тепло-белого света (см. табл. 25).

Для освещения помещений, в которых длительное время находятся люди, применяют лампы марок БС и ТБС.

Таблица 25

Основные характеристики люминесцентных ламп

Потребляемая мощность, <i>вт</i>	Напряжение сети, <i>в</i>	Размеры трубки, <i>мм</i>		Световой поток различных марок ламп, <i>лм</i>			
		Длина	Диаметр	ДС	ХБС	БС	ТБС
15	127	451	25	490	490	560	500
20	127	604	38	700	700	800	700
30	220	909	25	1160	1160	1400	1250
40	220	1213	38	1700	1700	1920	1780
80	220	1480	40	—	4080	4150	—
100	220	1500	54	4000	4350	4600	—

5. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Выпрямители

Выпрямители служат для преобразования переменного тока в постоянный ток. Они применяются для питания электронных ламп, полупроводниковых приборов, для зарядки аккумуляторов, а также в электроустановках, в которых есть электроприемники, работающие на постоянном токе.

В электронной аппаратуре и лабораториях применяются кенотронные и полупроводниковые выпрямители.

Кенотронный выпрямитель. В кенотронных выпрямителях переменный ток в постоянный преобразуется с помощью электронной лампы — кенотрона. В школьном электротехническом кабинете обычно используется кенотронный выпрямитель ВК-3 (рис. 111). При работе с этим выпрямителем соблюдают следующие правила.

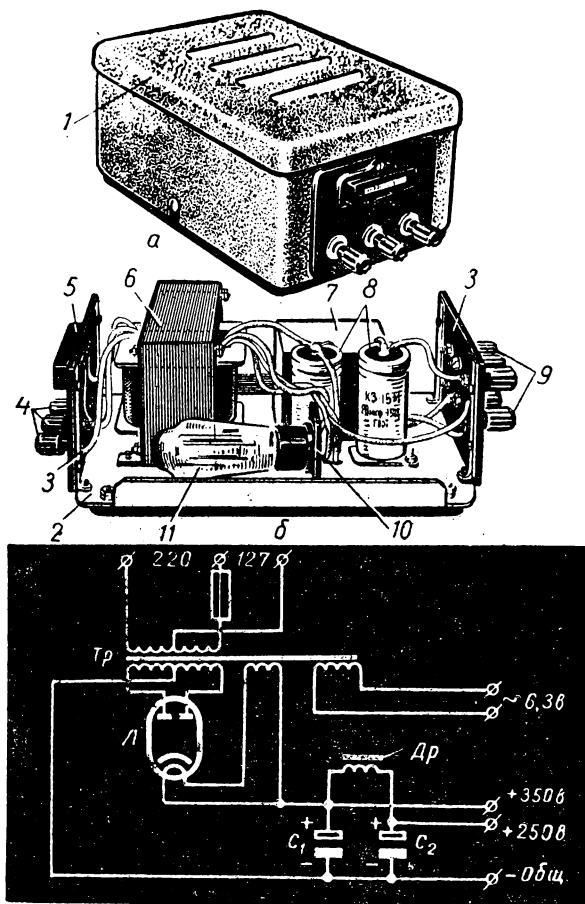


Рис. 111. Кенотронный выпрямитель типа ВК-3:

а — внешний вид; б — внутреннее устройство; в — принципиальная схема; 1 — кожух; 2 — шасси; 3 — клеммный щиток; 4 — зажимы для включения в сеть; 5 — предохранитель (крышка закрыта); 6 — силовой трансформатор мощностью 100 вт; 7 — дроссель; 8 — электролитические конденсаторы (20 мкф, 450 в); 9 — зажимы для снятия напряжения; 10 — ламповая панель; 11 — кенотрон 5Ц4С.

К отключенному от сети выпрямителю присоединяют питаемую цепь: цепь накала ламп к зажимам 6,3 в, анодную цепь к зажимам «—общ» и «+250» или «—общ» и «+350».

К зажиму «—общ» присоединяют заземляющий провод.

Проверяют соответствие положения предохранителя напряжению сети и включают выпрямитель в сеть. Когда выпрямитель включен, касаться руками зажимов «+350» и «+250» нельзя.

При включении сначала отключают выпрямитель от сети, а затем — питаемую цепь.

Поставленные в цепь выпрямителя дроссель и два конденсатора позволяют сгладить пульсации выпрямленного тока. Дроссель и конденсаторы, применяемые в выпрямителе, называются *сглаживающими фильтрами*.

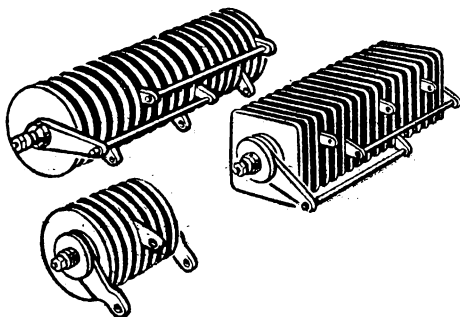


Рис. 112. Селеновые столбики.

Полупроводниковый выпрямитель. Для питания электрических лабораторных приборов, реле постоянного тока и зарядки аккумуляторов применяется селеновый выпрямитель типа ВУ-24/0,6. Он работает от сети переменного тока частотой 50 гц и напряжением 127 или 220 в и дает выпрямленный ток от 0,6 а напряжением от 24 до 28 в. Для сборки селеновых выпрямителей применяют селеновые столбики (рис. 112). Полярность у выводов обозначена цветными полосками: красная — «+»; синяя — «—»; желтая — «~». Селеновый столбик включают по мостовой схеме (рис. 113).

Эксплуатация выпрямителя осуществляется с учетом

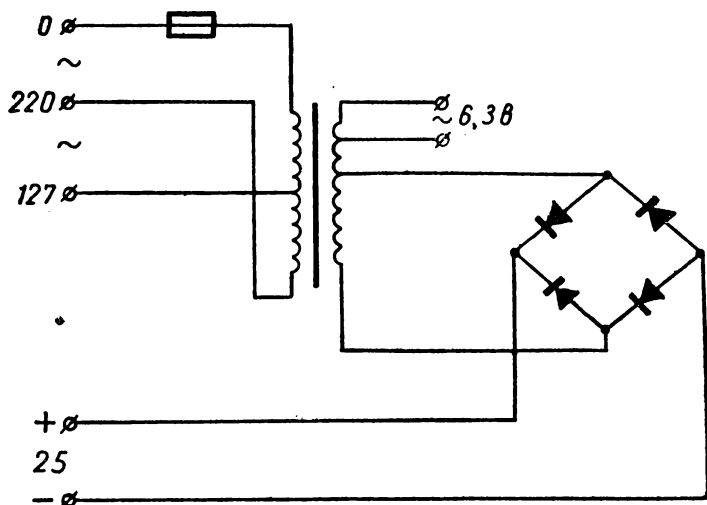


Рис. 113. Принципиальная схема выпрямителя ВУ-24-0,6.

тех же общих требований, что и при эксплуатации кенотронного выпрямителя.

Селеновый выпрямитель типа ВСА (см. табл. 26) позволяет получать выпрямленный ток с плавной регулировкой выпрямленного напряжения.

Выпрямители с германиевыми и кремниевыми диодами применяются для устройства блоков питания

Таблица 26

Технические данные селеновых выпрямителей

Тип	Подаваемое напряжение переменного тока, в	Снимаемое напряжение постоянно-го тока, в	Выпрямленный ток, а
ВСА-4	110, 127, 220	120-240	2
ВСА-5	То же	0-64	0-12
ВСА-6	То же	12-24	12-24
ВСА-6М	То же	12-24	12-24
ВСА-10	127/220	6	7
ВСА-111	127/220	50-105	1,5-8
ВСАП-2	220/380	42	70

современных радиоприемников и телевизоров. Блок питания сетевой радиоаппаратуры состоит из силового трансформатора, диодов, сглаживающих фильтров, цепей накала электронных ламп, вспомогательных элементов (резисторов, конденсаторов).

Аккумуляторы

Электрические аккумуляторы используют в качестве независимых источников питания в цепях автоматики, релейной защиты, сигнализации, а также для работы электродвигателей в электрокарах, некоторых подъемно-транспортных устройствах и других механизмах и машинах. Для этих целей применяют кислотные и щелочные аккумуляторы (рис. 114 и 115).

Количество электричества, которое берет аккумулятор при его зарядке или отдает при разрядке, называется *емкостью аккумулятора*.

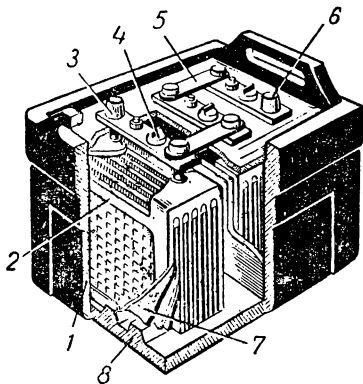


Рис. 114. Устройство кислотного аккумулятора:

1 — бак; 2 — блок отрицательных пластин; 3 — вывод блока положительных пластин; 4 — пробка; 5 — междуэлементные соединения; 6 — вывод блока отрицательных пластин; 7 — сепаратор; 8 — опорные призмы.

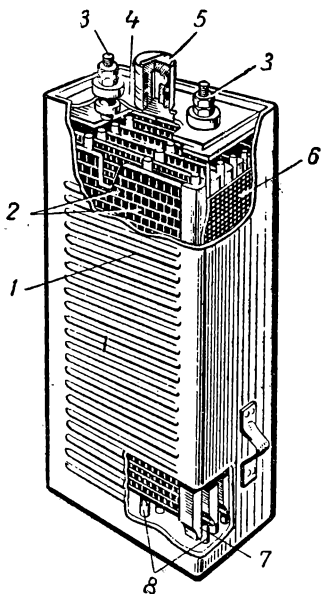


Рис. 115. Устройство щелочного аккумулятора:

1 — бак; 2 — пластина; 3 — полюсный вывод; 4 — крышка; 5 — пробка; 6 — эбонитовая пластина; 7 — обжимки; 8 — эбонитовые палочки.

Емкость определяют по формулам:

$$Q_3 = I_3 \cdot t_3 \quad \text{и} \quad Q_p = I_p \cdot t_p,$$

где Q_3 — емкость заряженного аккумулятора, $a \cdot ч$;
 Q_p — емкость, отдаваемая при разрядке аккумулятора, $a \cdot ч$;
 I_3 — ток зарядки, a ;
 I_p — ток разрядки, a ;
 t_3 — время зарядки, $ч$;
 t_p — время разрядки, $ч$.

Полностью разряжать аккумулятор нельзя. Поэтому для кислотных аккумуляторов $Q_p \approx 0,65 \cdot Q_3$; для щелочных — $Q_p \approx 0,5 \cdot Q_3$. При пониженных температурах рекомендуется разряжать аккумулятор не более чем на 25%.

Правила ухода за кислотными и щелочными аккумуляторами

1. Аккумулятор должен всегда содержаться в сухом и чистом виде.

2. Зажимы аккумуляторов следует покрывать тонким слоем технического вазелина, предохраняющего их от окисления.

3. Отверстия над пробками нужно периодически очищать от грязи.

4. Аккумуляторы необходимо очищать от солей и ржавчины.

5. При длительном хранении аккумулятора без его эксплуатации следует: кислотные аккумуляторы зарядить и поддерживать их в чистоте, проверяя не реже раза в месяц уровень электролита, доливая электролит и подзаряжая аккумулятор; щелочные аккумуляторы нужно разрядить при номинальном токе до напряжения 1 в, вылить электролит, промыть свежим электролитом, плотно завернуть пробки, металлические неокрашенные части смазать техническим вазелином, после чего поставить в сухое чистое помещение.

6. При зарядке и эксплуатации аккумуляторов необходимо строго соблюдать заводскую инструкцию. Нельзя нагружать аккумулятор выше значения тока, указанного в его паспорте, и разряжать до напряжения, меньшего, чем указано в инструкции.

Данные о зарядке аккумуляторов

Тип аккумулятора	Характеристика электролита				Напряжение, в	
	Состав	Плотность, г/см ³	Температура при заливке, °C	Приготовление	Заливка	зарядки
Кислотный	Раствор серной кислоты в дистиллированной воде	Зимой — 1,30; летом — 1,24	35	Специальную аккумуляторную кислоту тонкой стружкой вливают в стеклянный (керамический) сосуд с дистиллированной водой, непрерывно помешивая стеклянной палочкой. Измеряют плотность (ареометром) и температуру	Заливать медленно через стеклянную воронку до уровня на 10—15 мм выше предохранительного щитка. Поблизости не должно быть искр и пламени. Излишний электролит удалять с помощью резиновой груши	до 2,7 до 1,85
Щелочной кадмиево-никелевый (КН) и железоникелевый (ЖН)	Зимой — раствор едкого калия в воде; летом — раствор едкого натрия в воде	1,17 — 1,19	30—35	Измельченный едкий калий (натрий) засыпают в сосуд с водой, помешивая палочкой. Измеряют плотность (ареометром) и температуру	То же; уровень электролита выше пластин на 8—15 мм	до 1,75 до 1,1



Рис. 116. Окисно-ртутные элементы:

a — внешний вид; *б* — внутреннее устройство; *1* — стальной корпус с положительным электродом; *2* — пористые прокладки с электролитом; *3* — резиновая уплотняющая прокладка; *4* — крышка корпуса с отрицательным электродом.

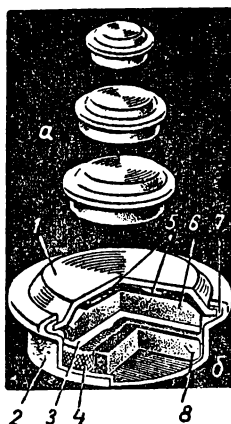


Рис. 117. Малогабаритные аккумуляторы:

a — внешний вид; *б* — внутреннее устройство; *1* — крышка корпуса; *2* — корпус; *3* — сепаратор; *4* — сетка; *5* — пружина; *6* — отрицательный электрод; *7* — герметизирующая прокладка; *8* — положительный электрод.

Некоторые сведения о зарядке аккумуляторов приведены в таблице 27.

Перед включением аккумуляторов на зарядку к источнику постоянного тока определяют напряжение и ток зарядки. Напряжение подсчитывают с учетом числа последовательно соединенных аккумуляторов в батарее. Ток зарядки устанавливают с помощью реостатов согласно указаниям в паспорте аккумулятора.

Для питания аппаратуры на транзисторах применяют окисно-ртутные элементы (рис. 116) и малогабаритные аккумуляторы (рис. 117).

Раздел восьмой

ОСНОВЫ АВТОМАТИКИ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБ АВТОМАТАХ. И АВТОМАТИКЕ

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 технологических процессов, совершает требующиеся трудовые действия. Рассмотрим, например, простейшую схему электрической цепи (рис. 118), состоящей из автотрансформатора, вольтметра и электроприемника, который нормально работает

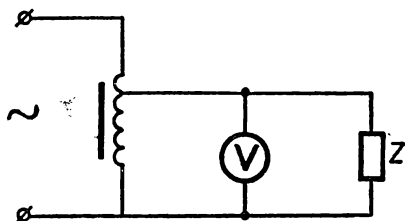


Рис. 118. Электрическая схема регулирования напряжения с помощью автотрансформатора.

при напряжении постоянной величины. В сети, в которую включена данная цепь, напряжение может отклоняться от номинальной его величины. Наблюдая за показанием вольтметра, получают информацию о режиме работы цепи. Сопоставляя полученную информацию с заданными условиями работы цепи, на основе имеющихся знаний по обращению с автотрансформатором принимают решение увеличить или уменьшить напряжение и выполняют соответствующую операцию — перемещают подвижный кон-

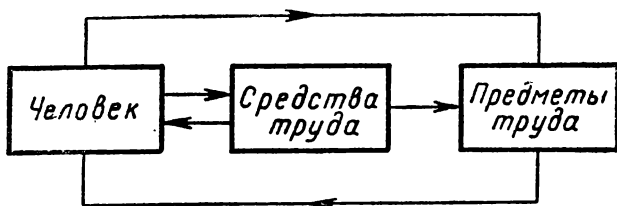


Рис. 119. Схема взаимодействия человека со средствами и предметами труда.

такт автотрансформатора. Данный процесс схематически показан на рисунке 119.

Не все функции по обслуживанию и управлению техникой и технологическими процессами непосредственно доступны для человека, например, из-за ограниченности его физических возможностей. Человеку помогают приборы, механизмы, аппараты, машины: выполняя действия по управлению, регулированию и контролю работы оборудования и протекания производственных процессов, они заменяют его труд. Технические устройства, действующие целесообразно без непосредственного участия человека, называются *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 автоматов.

В каждом автомате есть *управляемая система* и *управляющая система*. Управляемая система представляет собой рабочую машину. Она совершает полезную работу. Управляющая система по заданной человеком программе воздействует на управляемую систему, в результате чего управляемая система совершает требуемые действия. Таким образом, управляющая система выполняет функции, которые при отсутствии ее выполнял бы человек (рис. 120).



Рис. 120. Функциональная схема автомата.

Отрасль науки и техники, занимающаяся вопросами построения и работы управляющих систем автоматов, называется *автоматикой*.

В настоящее время на многих предприятиях работают станки-автоматы, автоматические станочные линии и осуществляется переход к созданию цехов-автоматов и завод-автоматов.

Благодаря автоматизации устраняются различия между умственным и физическим трудом, повышается творческая роль трудящихся в осуществлении производственных процессов, значительно растет производительность труда и снижается его себестоимость.

Современные автоматические устройства по своему назначению классифицируются на устройства автоматического контроля, устройства автоматического управления, устройства автоматического регулирования.

Автоматические устройства состоят из следующих основных элементов: датчиков, дистанционных передач сигналов, усилителей, исполнительных органов.

2. ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Датчики

Датчики являются чувствительными входными элементами автоматических устройств.

В автоматических устройствах широко применяются электрические датчики.

Электрическим датчиком называется устройство, преобразующее неэлектрический сигнал в электрический сигнал.

Электрические датчики, которые под влиянием неэлектрических воздействий на них изменяют электрическое сопротивление, называются *параметрическими датчиками*. Параметрические датчики включают в цепь, содержащую источник тока и чувствительный измерительный прибор, который регистрирует изменение силы тока, вызванное изменением электрического сопротивления датчика.

Датчики, преобразующие энергию, получаемую в результате неэлектрического воздействия на них, в электрическую энергию, называются *генераторными датчиками*. Генераторные датчики включают в цепь без само-

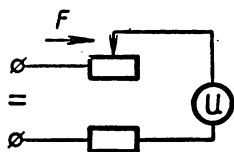


Рис. 121. Схема реостатного датчика.

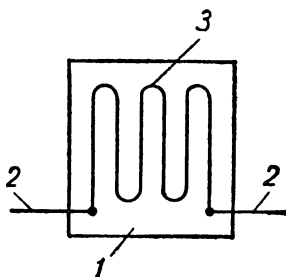


Рис. 122. Схема устройства тензометра:

1 — лист тонкой бумаги; 2 — медные проводочки; 3 — проволока из константана.

стоятельного источника питания, так как они сами вырабатывают электроэнергию.

Параметрические датчики. Реостатные датчики (рис. 121) под влиянием механических воздействий на них изменяют активное сопротивление цепи, в которую они включены. При механическом воздействии, например, на подвижный контакт реостата сопротивление цепи и ток в ней изменяются, и прибор сигнализирует в итоге о степени неэлектрического воздействия.

Тензомеры (проволочные датчики) изменяют электрическое сопротивление в результате деформации. Тензомеры (рис. 122) изготавливаются из константана, никрома или железохромоалюминиевого сплава. Проволочку из этих материалов диаметром 0,02—0,04 мм закрепляют при помощи специального клея между двумя листочками тонкой бумаги. Концы проволоки тензометра прочно соединены с медными проводниками, посредством которых тензомер включают в электрическую цепь.

Тензомер, воспринимая механическую нагрузку, деформируется, и электрическое сопротивление проволоки изменяется.

Индуктивные датчики (рис. 123) при сжатии, растяжении, нагревании или охлаждении их сердечника изменяют свое индуктивное сопротивление. Индуктивные датчики включают в цепь переменного тока. При изменении индуктивного сопротивления датчика соответственно меняется сила тока в цепи.

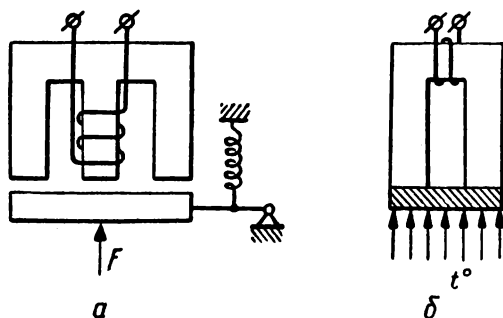


Рис. 123. Схемы устройства индуктивных датчиков:

а — микрометрического; *б* — термометрического.

Емкостный датчик (рис. 124) при механическом воздействии на него изменяет емкостное сопротивление, в результате чего соответственно изменяется сила тока в цепи, в которую он включен.

Генераторные датчики. Примером генераторных датчиков являются термопара и микрошина постоянного тока. При изменении скорости вращения вала якоря машины постоянного тока изменяется

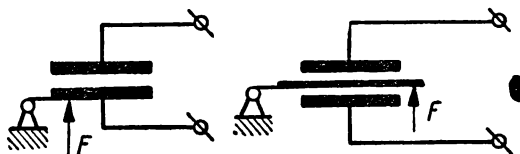


Рис. 124. Схемы устройства емкостных датчиков.

величина индуцируемой э.д.с. К генераторным датчикам относится также фотоэлектрический датчик. Под действием падающего на фотоэлемент света возникает фотоэлектронный ток. Сила этого тока регистрируется чувствительным измерительным прибором, с которым соединяют фотоэлемент.

Дистанционная передача сигналов

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 передача сигналов датчиков по проводам осуществляется на сравнительно небольшие расстояния.

Для надежной передачи сигналов на большие расстояния используются системы телемеханики.

Система телемеханики состоит из передающего устройства, на которое поступает сигнал; линий электропередачи —

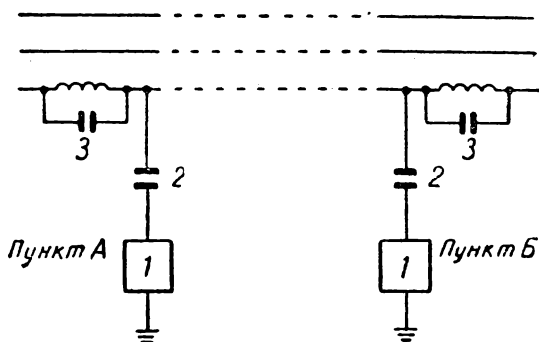


Рис. 125. Схема передачи электрических сигналов высокой частоты по линии трехфазного тока.

воздушных, кабельных телефонных и телеграфных линий, высоковольтных линий электропередачи; линий радиосвязи — коротких и ультракоротких радиоволн; приемного устройства.

На рисунке 125 показана схема передачи сигнала на большое расстояние с использованием линии электропередачи и аппаратуры высокочастотной связи. Приемно-передающие устройства 1 работают на токах высокой частоты. Чтобы ток частоты 50 гц, передаваемый по линии электропередачи, не попадал в приемно-передающие устройства, последние с линией электропередачи соединяются через электрические фильтры 2 — конденсаторы. Емкость конденсаторов подбирается такой, чтобы они оказывали большое сопротивление току частоты 50 гц и малое сопротивление току высокой частоты. Передаваемый сигнал не может распространиться также по линии электропередачи влево от пункта А и вправо от пункта Б, так как этому препятствуют фильтры 3.

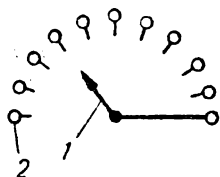


Рис. 126. Схема контактного поля шагового распределителя:

1 — щетка; 2 — неподвижные контактные пластины.

Фильтры 3 оказывают большое сопротивление току высокой частоты и практически не оказывают сопротивления току частоты 50 *гц*.

В рассмотренном случае передаваемые сигналы отличаются частотой. Если одновременно нужно передать несколько сигналов, не имеющих особых отличительных признаков, то применяют шаговые распределители (искатели). Шаговый распределитель (рис. 126) имеет несколько непо-

движных контактов (ламелей) и подвижных контактов (щеток). Щетка поочередно переходит с одного неподвижного контакта на другой. Щетки шаговых распределителей, применяющихся для дистанционной передачи сигналов, приводятся во вращение электродвигателем небольшой мощности. На передающем и принимающем сигналы пунктах устанавливают по шаговому распределителю, щетки которых соединяют линией связи (рис. 127). На обоих шаговых распределителях щетки устанавливают сначала в одинаковом положении. Затем одновременно включают электродвигатели, которые вращают щетки со строго одинаковой скоростью (синхронно).

В автоматических устройствах применяются также другие способы передачи сигналов датчиков.

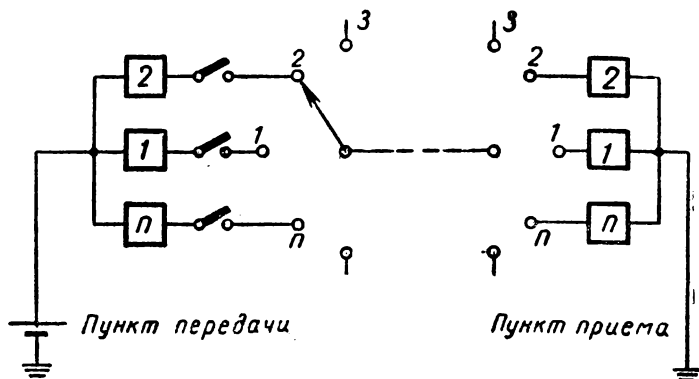


Рис. 127. Схема дистанционной передачи электрических сигналов с применением шаговых распределителей.

Усилители

Мощность поступающего от датчика электрического сигнала очень мала. Нередко она в несколько сотен и тысяч раз меньше мощности тех устройств, работой которых должны управлять датчики. Поэтому в автоматических устройствах для увеличения мощности электрического сигнала датчиков применяют усилители.

Усилители применяются не только в автоматических устройствах, но и в радиотехнике.

Электрические схемы и конструкции усилителей зависят от их назначения в том или ином автоматическом или радиоэлектронном устройстве. Однако все усилители выполняют одинаковую функцию: усиливают напряжение или мощность электрического сигнала за счет энергии подключенного к усилителю источника электропитания.

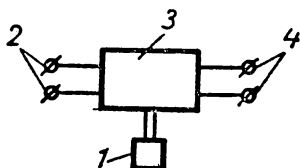


Рис. 128. Функциональная схема усилителя электрических сигналов:

1 — источник электропитания; 2 — зажимы, на которые подается сигнал датчика (вход усилителя); 3 — преобразователь энергии; 4 — зажимы, с которых снимается усиленный сигнал (выход усилителя).

Усилитель увеличивает напряжение или мощность электрического сигнала при помощи электронных ламп или транзисторов. Сигнал от датчика подается на зажимы (рис. 128), называемые входом усилителя. Электронная лампа (триод, пентод) или транзистор преобразуют энергию источника постоянного тока, и с выходных зажимов (выхода) усилителя можно снимать сигнал увеличенной мощности. Есть также магнитные и электромашинные усилители.

Исполнительные органы автоматических устройств

Исполнительные органы автоматических устройств предназначены для непосредственного воздействия на управляемую систему автомата.

Во многих автоматических устройствах применяются различные реле: электромагнитные, тепловые, электронные. Исполнительными органами реле являются размыкающие и замыкающие контакты.

Если части управляемой системы автоматов должны совершить значительные перемещения, то в качестве исполнительных органов используются электродвигатели.

В автоматических устройствах применяются соленоидные электродвигатели. Принцип работы соленоидного электродвигателя основан на втягивании стального сердечника внутрь катушки, по которой идет ток. Для увеличения силы втягивания сердечник делают небольшой длины, а катушку помещают в стальной цилиндрический корпус.

Исполнительными органами во многих автоматических устройствах являются электромагнитные муфты.

Дисковая электромагнитная муфта (рис. 129) работает следующим образом. Когда по обмотке 4 идет ток, якорь 5 притягивается к корпусу электромагнита 2. Ведущий вал 1 оказывается соединенным с ведомым валом 7 через корпус электромагнита и якорь. Фрикционная прокладка 3 увеличивает силу сцепления корпуса электромагнита с якорем. Если ток прекращает идти по обмотке, то пружина 6 отталкивает якорь от корпуса электромагнита. Теперь движение от ведущего вала к ведомому валу не передается.

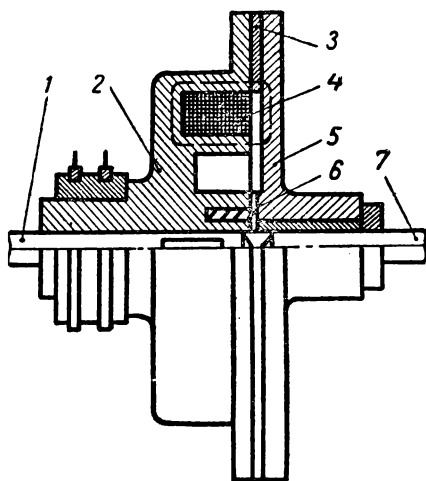


Рис. 129. Электромагнитная муфта:

1 — ведущий вал; 2 — корпус электромагнита; 3 — фрикционная прокладка; 4 — обмотка; 5 — якорь; 6 — пружина; 7 — ведомый вал.

3. ИЗМЕРЕНИЕ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

На производстве нередко требуется измерять различные физические величины — температуру, уровень жидкости, скорость, размеры деталей и др. — при таких усло-

виях, когда обычные методы их измерения (ртутным термометром, с помощью сообщающихся сосудов, тахометрами и т. д.) применить невозможно. Ртутным термометром, например, не измеряют температуру в электроплавильной печи. В таких случаях используются косвенные методы измерения физических величин, например, измерения производятся при помощи датчиков и электроизмерительных приборов.

Измерение температуры. Прибор, предназначенный для измерения температуры электрическим методом, называется термоэлектрическим пирометром. Схема пирометра показана на рисунке 130. В качестве датчика применяется термопара. Рабочий спай термопары для защиты от механических повреждений и вредных действий горячих газов и паров помещают в трубку, сделанную,

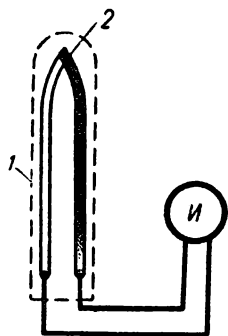


Рис. 130. Схема устройства пирометра:

1 — фарфоровая трубка;
2 — рабочий спай термопары.

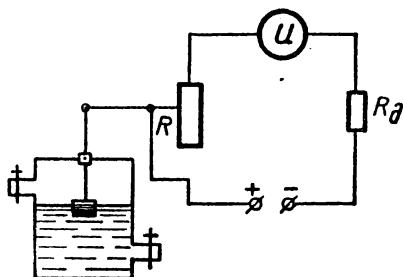


Рис. 131. Схема прибора для измерения уровня жидкости в баке.

например, из фарфора, шамота, латуни или стали. Термопара соединена с измерительным прибором магнитоэлектрической системы. Трубку, в которой находится рабочий спай термопары, помещают непосредственно в зону измерения температуры. При этом в термопаре возникает электродвижущая сила, в результате чего в цепи измерительного прибора идет ток. По величине этого тока можно судить о температуре рабочего спая термопары. Шкала измерительного прибора отградуирована в градусах.

Измерение скорости вращения вала. Для измерения скорости вращения вала машин применяется тахогенератор. Он представляет собой микромашину постоянного тока (датчик), обмотка якоря которой соединена с вольтметром. Шкала вольтметра отградуирована в единицах скорости. Вал тахогенератора соединяют с валом машины, скорость вращения которого требуется измерять. При изменении скорости вращения вала машины изменяется скорость вращения якоря тахогенератора, а значит, и величина вырабатываемой им э.д.с.

Измерение уровня жидкости. Схема прибора для измерения уровня жидкости в баке показана на рисунке 131. В устройстве прибора применен реостатный датчик. При изменении уровня жидкости поплавков соответственно опускается или поднимается. Одновременно с перемещением поплавка движется соединенный с ним подвижный контакт реостата. В результате ток в цепи реостата изменяется и прибор, отградуированный в единицах объема жидкости, регистрирует эти изменения.

Измерение механической силы и давления. Для измерения величины механической силы или давления применяются тензометры. Тензометр при помощи специального клея наклеивают на поверхность испытуемых частей машин, механизмов и т. п. Вместе с этими частями тензометр воспринимает механические нагрузки. При этом соответственно изменяется электрическое сопротивление тензометра, а значит, изменяется и сила тока в цепи, в которую включен тензометр. Измерительный прибор отградуирован в единицах измеряемой механической величины.

Механические величины могут быть измерены также с помощью индуктивных и емкостных датчиков.

Измерение размеров деталей. Для измерения размеров деталей с помощью электрических методов применяются индуктивные и емкостные датчики.

На рисунке 132 показана схема установки для измерения размеров детали с применением емкостного датчика. При отклонении размеров детали 1 от заданной величины мерительная ножка 2 соответственно поднимается или опускается. Вместе с мерительной ножкой поднимается или опускается металлическая пластина 5, которая вместе с металлической пластиной 4 образует один конденсатор, а с пластиной 6

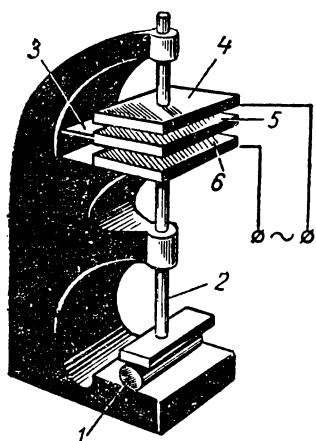


Рис. 132. Схема установки с емкостным датчиком для измерения размеров деталей:

1 — деталь; 2 — мерительная ножка; 3 — плоская пружина; 4, 6 — металлические пластины.

ствляют наблюдение за работой машин и других производственных установок, контролируют ход технологических процессов, качество выпускаемой продукции, ведут количественный учет ее.

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.

Устройства автоматического контроля (рис. 133) представляют собой разомкнутые автома-

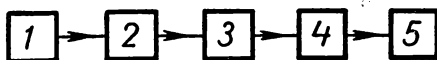


Рис. 133. Функциональная схема устройства автоматического контроля.

— другой. Оба конденсатора соединены последовательно. При изменении положения пластины 5 относительно пластины 4 и 6 изменяется емкостное сопротивление цепи переменного тока, в которую включены эти конденсаторы. Измерительный прибор, включенный в эту же цепь и отградуированный в единицах длины, показывает отклонение размеров детали от заданных.

4. ВИДЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Устройства

автоматического контроля

Устройства автоматического контроля без непосредственного участия человека осуще-

тические системы. Контролируемый объект 1 воздействует на датчик 2. Электрический сигнал датчика передается измерительному элементу 3. В зависимости от назначения устройства автоматического контроля сигнал от измерительного устройства может передаваться исполнительным органам 4, которые приводят в действие сигнализатор 5 (счетный механизм, сортировочный механизм и т. п.).

Устройства автоматического контроля применяются в качестве измерительных, счетных, сортировочных, сигнализирующих устройств, а также выполняют роль анализаторов, дефектоскопов, дозаторов.

Устройства автоматической защиты электроустановок

Устройства автоматической защиты служат для отключения электрических установок или их частей при ненормальных режимах работы.

На предприятиях, электрических станциях, в энергетических системах широко применяется релейная защита.

Релейная защита обладает быстротой действий, высокой чувствительностью, избирательностью (селективностью) и надежностью работы.

В системах релейной защиты применяются различные реле. Например, для отключения электродвигателей при токовых перегрузках служат тепловые реле. В автомати-

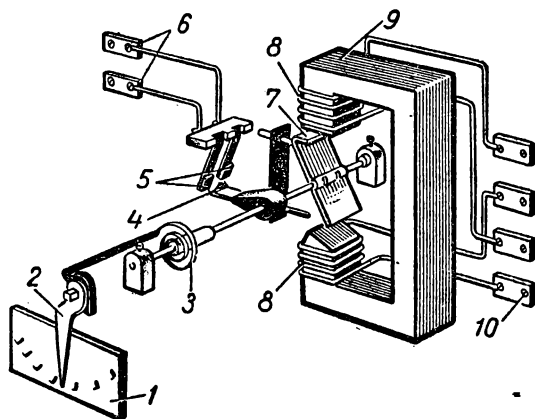


Рис. 134. Устройство реле максимального тока.

ческих выключателях есть электромагнитные реле, которые при коротком замыкании на защищаемом участке цепи мгновенно отключают этот участок.

Для релейной защиты электрических линий широко применяются реле максимального тока, реле времени, указательные реле и промежуточные реле.

Обмотку 8, намотанную на сердечник 9, реле максимального тока (рис. 134) с помощью зажимов 10 включают в защищаемую электрическую линию (обычно через трансформаторы тока). Поворотом рычага 2 устанавливают величину тока срабатывания реле. Ток срабатывания указан на шкале 1. В зависимости от положения рычага пружина 3 оказы-

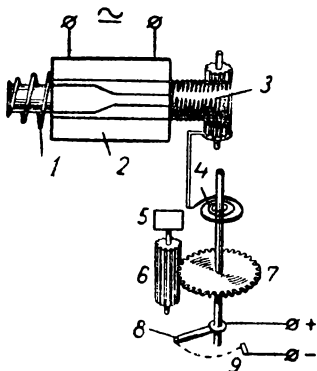


Рис. 135. Схематическое изображение реле времени:

1 — пружина; 2 — обмотка; 3 — сердечник; 4, 5, 6 и 7 — детали часового механизма; 8 — подвижный контакт; 9 — неподвижный контакт.

вается закрученной на больший или меньший угол. Пружина препятствует перемещению якоря 7. При токе в обмотке, меньшем тока срабатывания, якорь 7 занимает такое положение, при котором контакты 5 разомкнуты. Если ток в защищаемой линии, а значит, и в обмотке реле превысит установленную величину, якорь 7 повернется, ударит по мостику 4, в результате чего контакты 5 замкнутся. К зажимам 6 подсоединен источник тока, называемый источником *оперативного тока*, и обмотка последующего реле либо привод исполнительного органа. При замыкании контактов 5 цепь оперативного тока замы-

кается, в результате чего срабатывает последующее реле или привод исполнительного органа, который непосредственно отключает поврежденный участок электрической линии. Ток теперь не идет по обмотке 8 реле, якорь 7 возвращается в первоначальное положение, и контакты 5 размыкаются.

Реле времени (рис. 135) позволяет производить переключения в электроустановках через заданное время. При включении обмотки 2 к источнику питания сердечник 3 втягивается и заводит часовой механизм. С часовым

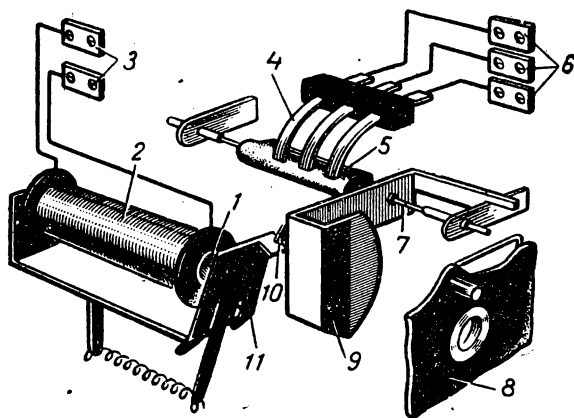


Рис. 136. Устройство указательного реле.

механизмом соединен подвижный контакт 8. Он поворачивается вправо и через установленное время замыкается с контактом 9. При замыкании контактов 8 и 9 между собой включается цепь источника оперативного тока, в результате чего срабатывает последующее реле или исполнительный орган.

Для сигнализации о ненормальном режиме работы линии и срабатывании тех или иных реле применяются указательные реле. Когда по обмотке 2 (рис. 136) идет ток, например, от реле времени, присоединенного к зажимам 3, сердечник 1 притягивает якорь 11, открывается защелка 10, флажок 9 падает вниз и становится видимым через стеклянное окно 8. Одновременно с падением флажка поворачивается ось 7 и укрепленный на ней подвижный контакт 5. В результате контакты 4 и 5 замыкаются и включается цепь сигнализирующего устройства, присоединенного к зажимам 6.

Для одновременного включения цепей сигнализации и исполнительных органов применяют промежуточные реле. Они представляют собой электромагнитные реле с несколькими парами контактов.

Релейная защита линии электропередачи осуществляется следующим образом. При коротком замыкании на участке 1 (рис. 137) срабатывает реле максимального тока 3. Затем последовательно срабатывают реле времени 4 и промежуточное реле 5. Контакты промежуточного реле

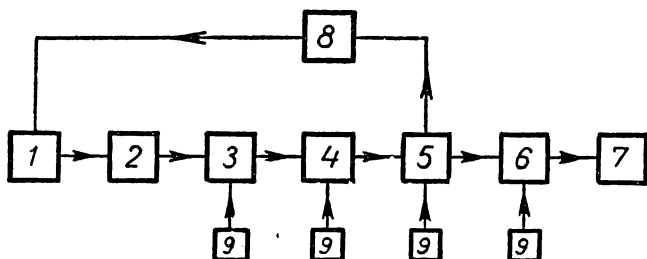


Рис. 137. Функциональная схема релейной защиты:

1 — защищаемый участок электрической линии; 2 — трансформатор тока; 3 — реле максимального тока; 4 — реле времени; 5 — промежуточное реле; 6 — указательное реле; 7 — сигнализатор; 8 — исполнительный орган отключающего устройства; 9 — источник оперативного тока.

включают исполнительный орган 8 отключающего устройства, которое отключает поврежденный участок линии. Одновременно срабатывает указательное реле 6 и сигнализатор 7 (звонок, лампочка).

Устройства автоматического управления

Устройства автоматического управления осуществляют пуск или остановку машин и агрегатов без непосредственного участия человека. Человек производит лишь первоначальное включение, а дальнейшие функции по управлению объектом берут на себя автоматические устройства. Примеры автоматического управления электродвигателями приведены на стр. 117—121. Рассмотрим еще одну схему автоматического управления электродвигателями (рис. 138).

При нажатии на кнопку *П* ток идет по катушке контакторов *К* и *КЗ* и обмотке реле времени *РВ*. Одновременно размыкаются контакты *КЗ* в цепи контактора *КТ*. В результате действия контакторов *К* и *КЗ* замыкаются главные контакты *К* в силовой цепи, блок-контакты *К* и контакты *КЗ*, соединяющие обмотки статора в звезду. Через установленное время срабатывает реле времени, и его контакты *РВ* в цепи контактора *КТ* замыкаются, а в цепи контактора *КЗ* размыкаются. Теперь ток идет по катушкам контакторов *К* и *КТ*, замыкаются контакты *КТ*, соединяющие обмотки статора в треугольник.

Автоматическая остановка электродвигателей применя-

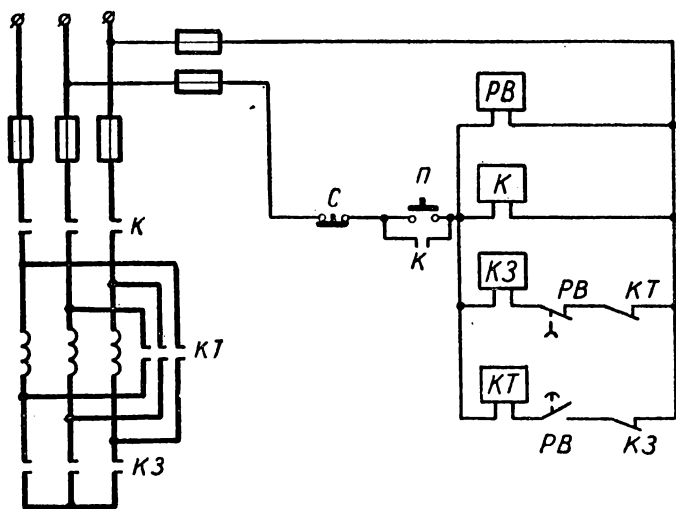


Рис. 138. Принципиальная электрическая схема переключения обмоток статора со звезды на треугольник.

ется, например, при работе электропривода подъемно-транспортных устройств (см. рис. 85).

На современных предприятиях применяется многодвигательный электропривод. Пуск одних и остановка других электродвигателей осуществляется автоматически.

Устройства автоматического регулирования

Устройства автоматического регулирования без непосредственного участия человека поддерживают требуемый режим работы производственных объектов или технологических процессов, например заданную скорость, температуру, напряжение, уровень жидкости и т. д.

На рисунке 131 показана схема измерения уровня жидкости в баке. Если же требуется, чтобы заданный уровень не изменялся, то в схеме нужно предусмотреть автоматический регулятор, который по сигналу об отклонении уровня жидкости от заданного должен будет управлять, например, насосом, подающим жидкость в бак.

Функциональная схема устройства автоматического регулирования показана на рисунке 139.

Машина, аппарат или процесс, который подвергается

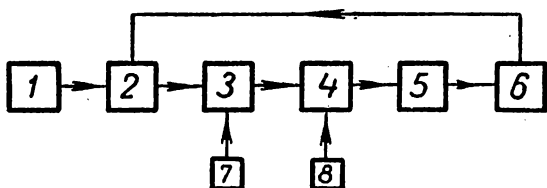


Рис. 139. Функциональная схема устройства автоматического регулирования:

1 — возмущающее воздействие; 2 — регулируемый объект;
3 — измерительный элемент; 4 — преобразующий элемент;
5 — исполнительный орган; 6 — регулирующий элемент;
7 — устройство настройки измерительного элемента; 8 — усилитель.

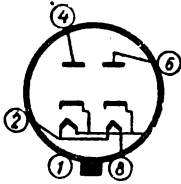
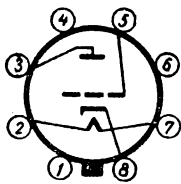
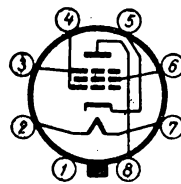
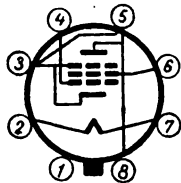
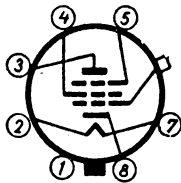

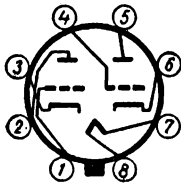
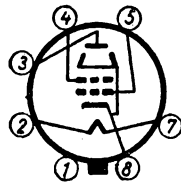
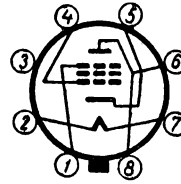
регулированию, называется **регулируемым объектом**. Физическая величина, которую требуется поддерживать постоянной или изменять по определенному закону, называется **регулируемым параметром**.

Регулируемым объектом может быть, например, электрический двигатель, а регулируемым параметром — скорость вращения его вала, если величину ее требуется поддерживать постоянной. Внешнее воздействие, под влиянием которого изменяется регулируемый параметр, называется **возмущающим воздействием** (например, изменение нагрузки на валу электродвигателя).

Вследствие возмущающего воздействия регулируемый параметр отклоняется от заданной величины. Сигнал об этом отклонении от регулируемого объекта передается измерительному элементу. Измерительный элемент сравнивает полученный сигнал с заданным параметром и посылает соответствующий сигнал в преобразующий элемент. Преобразующий элемент в случае необходимости усиливает полученный сигнал, преобразует его и посылает к исполнительному органу. Исполнительный орган приводит в действие регулирующий элемент, который, воздействуя на регулируемый объект, приводит в соответствие с заданным регулируемый параметр. Таким образом, устройство автоматического регулирования представляет собой **замкнутую автоматическую систему**.

В настоящее время автоматическое регулирование используется почти во всех производственных технологических процессах, на электростанциях, в электрических сетях, в транспортных машинах, авиации, космических кораблях.

ПРИЛОЖЕНИЕ

 <p>544C</p>	 <p>6C5C</p>	 <p>6K3, 6Ж4, 6Ж8</p>
 <p>6K4, 6Ж3</p>	 <p>6K7, 6Ж7</p>	 <p>6H7C</p>
 <p>6H8C, 6H9C</p>	 <p>6П3C, 6П6C</p>	 <p>6П9</p>

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение	3
<i>Раздел первый. Общие сведения об электроустановках и технике безопасности</i>	
1. Основные определения	7
2. Номинальное напряжение, мощность и ток	—
3. Техника электробезопасности	8
Причины электротравматизма	—
Предупреждение электротравматизма	10
Первая помощь при поражении электрическим током	11
Правила техники безопасности при работах в школьном электротехническом кабинете	13
4. Схемы электрических соединений	14
<i>Раздел второй. Электротехнические материалы, изделия и работы с ними</i>	
1. Классификация электротехнических материалов	22
2. Проводниковые материалы	23
Проводниковые металлические материалы	—
Припой	26
Электротехнический уголь	27
3. Электроизоляционные материалы	28
Свойства электроизоляционных материалов	—
Характеристика свойств электроизоляционных материалов	31
4. Провода	37
Установочные провода	—
Обмоточные провода	40
Расчет проводов	42
Соединение и оконцевание проводов	45
5. Монтаж электропроводок	48
<i>Раздел третий. Техника электрических измерений</i>	
1. Единицы электрических величин	52
2. Устройство электроизмерительных приборов	53
Основные части приборов	—
Измерительные механизмы	55
3. Условные графические обозначения на шкале	61
4. Способы измерения электрических величин	64
Общий порядок выполнения измерений	—
Измерение силы тока	65
Измерение напряжения	66
Измерение мощности	68
Измерение работы (энергии) тока	70
Измерение электрического сопротивления	—
5. Авометры	73

Раздел четвертый. Аппаратура управления и защиты электроустановок

1. Классификация электрической аппаратуры	76
2. Неавтоматические коммутационные аппараты	—
3. Аппаратура автоматического управления	79
Реле	—
Автоматические выключатели	82
Кнопки управления	84
Контакты	85
Магнитные пускатели	86
4. Электрические предохранители	90
5. Монтаж и обслуживание электрической аппаратуры	92

Раздел пятый. Трансформаторы

1. Основные сведения об устройстве и действии трансформаторов	94
2. Виды трансформаторов	96
3. Расчет и сборка маломощных трансформаторов	98
4. Проверка трансформатора	100

Раздел шестой. Электрические машины и электропривод

1. Классификация электрических машин	103
2. Генератор трехфазного тока	104
3. Асинхронный двигатель трехфазного тока	107
Устройство асинхронного двигателя	—
Техническая характеристика асинхронных двигателей трехфазного тока	108
Включение в сеть асинхронных двигателей трехфазного тока	110
4. Однофазный асинхронный двигатель	111
5. Машины постоянного тока	112
Устройство и виды машин постоянного тока	—
Техническая характеристика машин постоянного тока	115
6. Универсальный коллекторный электродвигатель	116
7. Электрический привод	117
Виды электрического привода	—
Монтаж и обслуживание электропривода	121

Раздел седьмой. Элементы электроники

1. Электронные лампы	124
2. Полупроводниковые приборы	127
Краткие сведения о полупроводниках	—
Полупроводниковые диоды	128
Транзисторы	131
3. Детали электронной аппаратуры	136
Резисторы	—
Конденсаторы	137
Катушки индуктивности	142
4. Газоразрядные лампы	145
5. Источники питания	147
Выпрямители	—
Аккумуляторы	151
Правила ухода за кислотными и щелочными аккумуляторами	152

Раздел восьмой. Основы автоматики

1. Основные понятия об автоматах и автоматике	155
2. Элементы автоматических устройств	157
Датчики	—
Дистанционная передача сигналов	159
Усилители	162
Исполнительные органы автоматических устройств	—
3. Измерение неэлектрических величин электрическими ме- тодами	163
4. Виды автоматических устройств	166
Устройства автоматического контроля	—
Устройства автоматической защиты электроустановок	167
Устройства автоматического управления	170
Устройства автоматического регулирования	171

Валерий Алексеевич Поляков ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Редактор *Л. А. Лисов*. Переплет *Б. Л. Николаева*. Художественный редактор *В. С. Эрденко*. Технический редактор *В. Ф. Коскина*. Корректор *Т. М. Графова*.

Сдано в набор 26/I 1968 г. Подписано к печати 24/IV 1968 г. 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Печ. л. 9,24 (5,5). Уч.-изд. л. 8,71. Тираж 400 тыс. экз. (Пл. 1968 г.) А03614. Издательство «Просвещение» Комитета по печати при Совете Министров РСФСР. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41. Отпечатано с матриц Саратовского полиграфического комбината на Книжной фабрике № 1 Росглавополиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров РСФСР, г. Электросталь Московской области, Школьная, 25. Заказ 436.

Цена без переплета 11 коп., переплет — 8 коп.

Цена 11 коп.

