

**Библиотека
Инженера**

С
«СОЛОН»

Лихачев В. Л.

Электротехника

Практическое пособие

ISBN 978-5-91359-007-7
9 785913 590077

Условные обозначения

Измерительные приборы

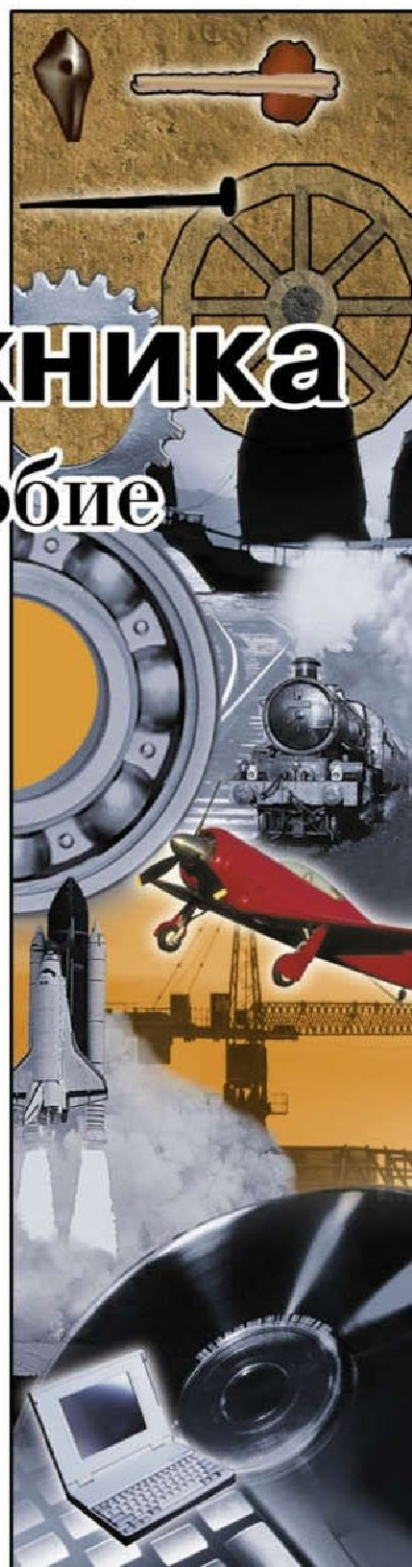
Трансформаторы

Электродвигатели

Аппаратура управления

Аппаратура защиты

Электромонтажные работы



Серия «Библиотека инженера»

В. Л. Лихачев

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**Москва
СОЛОН-ПРЕСС
2008**

УДК 621.396.218
ББК 32.884.1
Л65

В. Л. Лихачев
Л65 Электротехника. Практическое пособие. — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. — 608 с.: ил. — (Серия «Библиотека инженера»).

ISBN 978-5-91359-007-7

Книга содержит основные сведения по электротехнике, о постоянном токе, химических действиях постоянного тока, тепловых действиях электрического тока, электромагнетизме и электромагнитной индукции, однофазном и трехфазном переменном токе, трансформаторах, асинхронных и синхронных двигателях, машинах постоянного тока, электроизмерительных приборах и методах измерения, аккумуляторах, электропроводке, правилах составления и чтения схем. В книге большое внимание уделено производству электромонтажных работ.

Даны также сведения по технике безопасности в электроустановках.

Книга может быть использована в качестве учебного пособия для учащихся профессионально-технических училищ, в которых электротехника является самостоятельным и специальным предметом. Кроме того, эта книга может быть учебным пособием для учащихся средней школы с производственным обучением, а также для повышения квалификации и самообразования рабочих-электриков. Знания по математике в объеме 8 классов средней школы дают возможность учащимся при пользовании книгой свободно оперировать с встречающимся в ней математическим материалом.

КНИГА — ПОЧТОЙ

Книги издательства «СОЛОН-ПРЕСС» можно заказать наложенным платежом (оплата при получении) по фиксированной цене. Заказ оформляется одним из двух способов:

1. Послать открытку или письмо по адресу: 123242, Москва, а/я 20.
2. Оформить заказ можно на сайте www.solon-press.ru в разделе «Книга — почтой».
3. Заказать книги по телефону (495) 254-44-10, (499) 252-36-96.

Бесплатно высылается каталог издательства по почте. Для этого высылайте конверт с маркой по адресу, указанному в п. 1.

При оформлении заказа следует правильно и полностью указать адрес, по которому должны быть высланы книги, а также фамилию, имя и отчество получателя. Желательно дополнительно указать свой телефон и адрес электронной почты.

Через Интернет вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-ПРЕСС», считав его с адреса www.solon-press.ru/kat.doc

Интернет-магазин размещен на сайте www.solon-press.ru

По вопросам приобретения обращаться:

ООО «АЛЬЯНС-КНИГА КТК»

Тел: (495) 258-91-94, 258-91-95, www.aliants-kniga.ru

Сайт издательства СОЛОН-ПРЕСС: www.solon-press.ru.

E-mail: solon-avtor@coba.ru

ISBN 978-5-91359-007-7

© Макет и обложка «СОЛОН-ПРЕСС», 2008
© В. Л. Лихачев, 2008

Введение

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

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

Таким образом, электротехника — это отрасль науки и техники, связанная с применением электрических и магнитных явлений для преобразования энергии, получения и изменения химического состава веществ, производства и обработки материалов, передачи информации, охватывающая вопросы получения, преобразования, распределения и применения электрической энергии.

Электрическая энергия занимает особое место среди различных видов энергии, известных в настоящее время. Особенность электрической энергии заключается прежде всего в том, что в нее сравнительно легко преобразовывать все другие виды энергии и наоборот.

При помощи достаточно простых и экономически выгодных устройств электрическую энергию очень быстро и в любом количестве можно передать на значительные расстояния и легко распределить между отдельными потребителями.

Широкое внедрение электрической энергии в промышленность, сельское хозяйство, транспорт и быт носит название электрификации.

В дореволюционной России мощность всех электростанций составляла лишь 1,1 млн кВт, а годовая выработка электроэнергии — 1,9 млрд кВт · ч. По производству электрической энергии царская Россия стояла на одном из самых последних мест, уступая даже такой маленькой стране, как Швейцария.

После Октябрьской революции была поставлена задача — превратить Россию из отсталой аграрной страны в передовую индустриальную задачу. В 1918 г. началось строительство Шатурской районной электростанции на торфе, а в 1919 г. было начато сооружение Каширской районной электростанции на подмосковном угле.

В 1920 г. был принят знаменитый план электрификации России (ГОЭЛРО), в котором предусматривалось в течение 10—15 лет построить 30 электростанций общей мощностью 1,5 млн кВт и реконструировать старые электростанции, увеличив их мощность на 250 тыс кВт. По основным показателям план ГОЭЛРО был выполнен в 1931 г., а в 1935 г. он был перевыполнен почти в три раза.

В годы довоенных пятилеток были построены десятки мощных тепло- и гидроэлектрических станций, проведены тысячи километров линий электропередач высокого напряжения, созданы заводы по производству электрооборудования — база отечественной промышленности. Вступили в строй Днепровская, Свирская, Угличская гидростанции, Дубровская, Штеровская, Зуевская тепловые электростанции.

В 1940 г. мощность электростанций СССР достигла 10,7 млн кВт, а выработка электроэнергии составила почти 50 млрд кВт·ч, превысив уровень 1913 г. в 25 раз. Война, затеянная гитлеровской Германией против Советского Союза, не могла остановить развитие электрификации нашей страны. В трудных военных условиях продолжалось строительство электростанций. За годы войны мощность электростанций Урала выросла более чем в два раза, Кузбасса — в 1,7 раза, Караганды — в 4,1 раза, Узбекистана в — 1,9 раза.

Электрификация Советской страны исключительно быстро развивалась и в послевоенный период. Уже в 1950 г. довоенный уровень выработки электроэнергии был превзойден на 87 % и составлял 90 млрд кВт·ч.

В годы пятой пятилетки вступили в строй мощные гидроэлектростанции, оборудованные по последнему слову техники: Цимлянская, Гюмушская, Верхне-Свирская, Мингечаурская, первые очереди Камской, Каховской, Нарвской, Князегубской и др. В то же время пушены крупные тепловые электростанции: Мироновская, Славянская, Южно-Кузбасская, первая очередь Черепецкой и ряд других. На востоке страны пушены Усть-Каменогорская ГЭС, строятся Ангарская и Бухтарминская гидроэлектростанции.

Энергетика Советского Союза росла не только количественно, но и развивалась качественно. На тепловых электростанциях все более внедряются турбины и котлы с высокими температурами и давлениями пара. Были построены крупнейшие в мире гидроагрегаты для Куйбышевской ГЭС единичной мощностью 105 тыс. кВт.

Совершенствование энергетического оборудования дает возможность снижать удельные расходы топлива, капитальные затраты на сооружение электростанций и себестоимость электроэнергии. Электрическая энергия, вырабатываемая электростанциями, широко используется в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и для бытовых нужд.

Для привода в движение станков, машин и различных механизмов на заводах, фабриках и на других производствах в настоящее время преимущественно пользуются удобными и экономичными электрическими двигателями. В электрических печах плавят металл, получают сталь и различные сплавы.

Электричество широко применяется при получении алюминия, различных химических продуктов и многих других веществ. Электрическая сварка и резка металлов имеют чрезвычайно большое распространение.

Только с развитием электротехники появилась возможность применять в промышленности новые технологические процессы, осуществлять широкую автоматизацию производства, создавать новые высокопроизводительные машины.

Электричество приводит в движение электропоезда, трамваи и троллейбусы, поднимает тяжести, помогает находить руды, уголь и нефть в недрах земли.

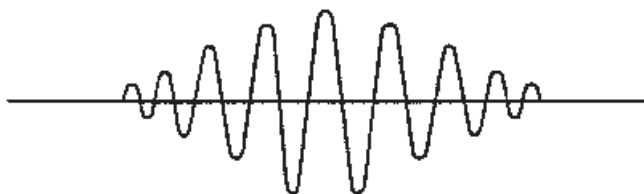
Внедрение электрической энергии в сельское хозяйство позволяет максимально механизировать большинство самых трудоемких работ, резко сократить сроки их выполнения и значительно увеличить выпуск сельскохозяйственной продукции.

Электрическая энергия широко применяется и в домашнем быту.

Благодаря электричеству стали возможны многие замечательные открытия нашего времени. Радиосвязь и радиолокация, проникновение в недра атома и разрушение его — все это производится при помощи электричества. Электричество позволяет нам, и слышать и видеть за многие тысячи километров, дает возможность видеть в полной темноте и на значительном расстоянии, открывает глазу работу внутренних органов человеческого тела и лечит болезни. Чтобы перечислить только то, что делается при посредстве и с помощью электричества, понадобилось бы немало страниц.

Профессия электрика очень увлекательна и интересна. Но чтобы стать высоко профессиональным специалистом, электрик должен много и упорно учиться и непрерывно повышать уровень своих теоретических и практических знаний.

Настоящая книга рассчитана на учащихся профессионально-технических училищ, в которых электротехника является самостоятельным и специальным предметом. Кроме того, эта книга может быть учебным пособием для учащихся средней школы с производственным обучением. Знания по математике в объеме 8 классов средней школы дают возможность учащимся при пользовании книгой свободно оперировать с встречающимся в ней математическим материалом.



Глава первая

НАЧАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ



1.1. Энергия и работа

Энергией называется способность совершать работу. При совершении работы энергия тратится. Так, мускулы руки, поднимая груз, совершают работу. На это человек затрачивает некоторую энергию.



Пример. Механизм подъемника также совершает работу при подъеме груза. Но кран поднимает груз только тогда, когда его лебедка приведена в движение. Двигатель совершает работу над механизмом крана и при этом передает ему часть своей энергии в форме работы, совершенной над ним. Но если это двигатель внутреннего сгорания, то его рабочий процесс должен все время поддерживаться новыми порциями топлива (бензина или солярки); если же это электрический двигатель, то он работает только тогда, когда он включен в сеть, и через его обмотки течет электрический ток.

Законы преобразования энергии. Что же в нашем примере окажется первоначальным источником энергии, совершающим работу?

Ответ ясен: горючее в первом случае, электрический ток — во втором.

Положение таково:



Энергия не является постоянным свойством тела: тело может терять ее и приобретать вновь.

Приобретение энергии и ее потеря происходит при некоторых вполне определенных условиях. Каковы же эти условия? О первом было сказано в самом начале:



Энергия тратится при совершении работы.

Второе условие таково:



Энергия приобретает телом, когда над ним совершается некоторая работа.

Например, поднятый груз обладает энергией. За этим положением угадывается новое.



Энергия не уничтожается и не создается вновь; она только переходит от одного тела к другому и при этом может существовать в различных формах.

Последние слова выражают один из основных законов природы. Закон сохранения энергии лежит в основе физической науки, а, следовательно, в конечном итоге и в основе всех технических приложений.

Превращения энергии. Все сказанное — это результат обобщения прямых наблюдений и опытов. Для их подтверждения и уяснения подробно разберем первый случай нашего примера.

Бензин, сгорая, превращается в значительно большее по объему количество газа. Сжатый в маленьком объеме газ, расширяясь, толкает поршень цилиндра и при этом совершает работу. Следовательно, бензин обладает энергией, которая в процессе сгорания перешла в энергию упругости сжатого газа.

Расширяясь газ совершил работу над поршнем, который привел в движение. Тем самым он лишился способности совершать работу — потерял избыток энергии. Но движущийся поршень приобрел энергию. Через систему лебедок и блоков эта энергия, уже преобразованная опять в форму энергии поступательного движения, доходит до крюка подъемника, который, двигаясь вверх, поднимает груз, т. е. совершает над ним работу.

Груз, поднятый на некоторую высоту, оказывается сам носителем избытка энергии, так как, падая вниз, он может совершать работу. Его энергия называется *потенциальной* или энергией положения в отличие от энергии, которой обладает движущееся тело — *кинетической* или энергией движения.

Рассеяние энергии. Коэффициент полезного действия. Для проверки закона сохранения энергии необходимо измерять энергию и работу, которую может совершить обладающее ею тело. Достаточно измерить одну лишь работу, так как при совершении равных работ затрачивается равная энергия.

Предположим, что мы измерили энергию бензина и энергию поднятого тела. При сравнении их мы заметим, что бензин, сгорая, мог совершить значительно большую работу, чем работу по поднятию груза на ту высоту, на которую он поднят.

Однако это кажущееся противоречие не опровергает основной закон сохранения энергии, а только подтверждает его. Если вникнуть глубже в этот процесс, то окажется, что отработавшие газы сгоревшего бензина, выброшенные в воздух, еще обладали некоторой энергией, которая ушла на нагревание воздуха. Дальше: всем известно, что при трении тела нагреваются. Нагрелись из-за трения блоки крана. На это также пошла энергия.

Из сказанного можно сделать вывод: энергия рассеялась, т. е. пошла на совершение непродуктивных, бесполезных работ. Если мы учтем и рассеянную и полезно израсходованную энергию, мы получим в точности то же значение, которое получили, подсчитывая энергию, выделенную при сгорании бензина.

Закон сохранения выполнен, но мы столкнулись с другим очень важным явлением, которое также обладает характером закона природы: **некоторая часть энергии теряется впустую (рассеивается)**.

В технике содержание этой закономерности выражает так называемый коэффициент полезного действия, т. е. отношение полезно затраченной энергии (перешедшей в полезную работу) ко всей энергии, затраченной в процессе выполнения работы:

$$\text{к.п.д.} = \frac{\text{Полезно затраченная энергия}}{\text{Вся энергия}} \Rightarrow \text{или} \frac{W - W'}{W},$$

где W — полная энергия; W' — рассеянная энергия.

Из формулы ясно, что к.п.д. всегда меньше единицы.

Измерение работы. Теперь обратимся к измерению энергии, или, что то же, к измерению совершаемой работы. Можно измерить работу, скажем, количеством сожженного бензина или потраченной электроэнергии. Однако в таком случае нам пришлось бы добавочно находить рассеянную энергию, что обычно сопряжено с большими трудностями.

Кроме того, двигатели могут быть самыми различными, а в таком случае мы не получим возможности единообразно измерять одну и ту же физическую величину. Последнее при любых измерениях очень важно. Поэтому естественно обратиться к последнему звену цепи преобразований и измерять работу поднятия груза на высоту.

Тогда мы увидим, что количество совершенной работы зависит от обеих условий сразу: от величины груза и от высоты подъема. Зависимость такова: чем больше величина груза, тем больше работа, и чем больше высота подъема, тем больше работа. Математически ясно, что такая зависимость от двух величин (называемая прямой пропорциональностью) выражается их произведением.

Но работа совершается не только при подъеме. Работа совершается также при движении вагонетки по рельсам или при вращении мельничного жернова. В этих случаях тело остается на прежней высоте, однако оно перемещается в пространстве. В общем случае место высоты занимает путь, а место груза (веса) — сила, которая может быть силой тяжести, силой трения, силой инерции или любой другой, т. е.:



Работа измеряется произведением величины той силы, которая двигает тело, и длины пройденного пути.

Кратко:

$$\text{Работа} = \text{Сила} \times \text{Путь} \Rightarrow \text{или} \Leftarrow A = Fl,$$

где A , F , l — обозначения, соответственно, для работы, силы и пути.

Для того чтобы формула была правильной, нужно добавить, что сила и путь должны быть направлены одинаково, так как только сила, совпадающая по направлению с путем перемещения, совершает работу. Если же сила направлена как-то иначе, то всегда можно разложить ее на составные части, из которых одна будет совпадать с направлением перемещения (пути), а другая будет перпендикулярна. Можно сказать, что сила перпендикулярная, скажем, к направлению рельсов (т. е. направлению движения), не будет двигать вагоны, а значит, не будет совершать работы.

Разложению поддается не только сила, но и путь. Стрела крана, поднимая и одновременно перемещая груз, будет работать против силы тяжести только при подъеме, при этом работа определяется не всем путем пройденным грузом, а только той его составляющей, которая определяет подъем.

1.2. Масса. Сила. Ускорение

Поднимая тело, мы прикладываем к нему силу, которая преодолевает силу притяжения к земле — силу тяжести. Действие этой силы на свободное тело выражается в том, что тело падает на землю с равномерно увеличивающейся скоростью.



Приращение скорости, отнесенное к промежутку времени, за который оно произошло, называется ускорением.

$$\text{Ускорение} = \frac{\text{Скорость в конце} - \text{Скорость в начале}}{\text{Промежуток времени}} \Rightarrow \text{или } w = \frac{v_1 - v_2}{t}.$$

Если поезд, двигаясь равномерно-ускоренно, за 10 с увеличил свою скорость с 7 до 12 м/с, то его ускорение за это время было:

$$w = \frac{12 \text{ м/с} - 7 \text{ м/с}}{10 \text{ с}} = 0,5 \text{ м/с}^2.$$

Ускорение и сила. Ускорение, сообщаемое свободно падающему телу силой тяжести, почти неизменно во всех точках земного шара и составляет 9,81 м/с за 1 с, или 9,81 м/с². Если приложить к телу другую силу, кроме силы тяжести, то его ускорение изменится, так как изменится действующая на него сила. Например, ускорение парашютиста, падающего с открытым парашютом, намного меньше, чем 9,81 м/с², так как на него, кроме силы тяжести, действует еще тормозящая сила сопротивления воздуха, которая вычитается из силы тяжести. На этом и основано применение парашюта: сопротивление воздуха раскрытому парашюту очень велико. Особенно наглядно это проявляется при затыжном прыжке.

Если величина приложенной силы больше, чем сила тяжести, и направлена не к земле, как она, а от земли, то тело начинает подниматься с ускорением. Например, ракета или груз, поднимаемый краном.

Измерение силы. Как было сказано выше, сила пропорциональна ускорению, т. е. чем больше ускорение тела, тем больше сила, вызывающая это ускорение.

Так как путь может служить мерой совершенной работы при постоянной приложенной силе, приложенной к нему. Но для этого нужно, чтобы тело было все время одно и то же, так как ясно, что если мы сообщим одинаковые ускорения пустой тележке и тележке с грузом, то в первом случае потребуется гораздо меньшая сила. Следовательно, вторым сомножителем пропорциональности в нашей формуле будет масса материи, которой сообщено ускорение, или просто масса:

$$\text{Сила} = \text{Масса} \times \text{Ускорение.}$$

Это основной закон механики, и он называется по имени, впервые точно сформулировавшего его ученого, вторым законом Ньютона (из трех основных законов, сформулированных им).



Вес — это сила тяжести, приложенная к массе, и его нельзя отождествлять с массой. Снаряд, отправленный с земли на луну, сохраняет неизменной свою массу, в то время как его вес изменяется (как?).

1.3. Измерение работы

Вернемся к измерению работы. Мы установили, что работа равна произведению силы и пути. В свою очередь сила равна произведению массы и ускорения. Но так как силу, обычно, можно измерить непосредственно, то формулой

$$A = Fl$$

чаще всего пользуются для подсчета работы.

Мы тянем тележку по рельсам. Пружинный динамометр (прибор для измерения силы) показывает, например, что приложенная сила равна 25 Н, а прикладывая рулетку к рельсам между точкой начала и конца пути, мы измеряем пройденный путь и находим, например, что он равен 4 м. Тогда совершенная работа будет:

$$A = 25 \text{ Н} \cdot 4 \text{ м} = 100 \text{ Нм} = 100 \text{ Дж.}$$



Работа силы в один ньютон на пути в один метр называется джоулем (Дж).

Однако джоуль — это очень маленькая единица работы. Взрослый человек, поднявшись на одну ступеньку, совершает работу по подъему своего тела, равную 170 Дж. Поэтому наравне с джоулем употребляется единица в 1000 раз большая — 1 кДж. Предположим, что мы подняли массу в 1 кг на высоту од-

ного метра. Мы совершили работу против силы тяжести равной 9,81 Н, и работа, в данном случае, равна 9,81 Дж.

Другие виды работы. Работа не обязательно связана с перемещением тел. Иными словами, работа не всегда будет механической работой. Как видно в приведенном выше примере, энергия сожженного бензина перешла в механическую энергию и была истрачена в процессе работы поднятия груза. Эта же энергия могла быть применена, скажем, на согревание воды. А горячая вода могла снова отдать свою энергию какой-либо механической системе (с этим процессом мы сталкиваемся в паровых двигателях).

Следовательно, при нагревании воды совершается некоторая работа. Такие примеры наводят на мысль о том, что тепловая энергия (или работа) может быть также подсчитана и измерена и, что очень важно, подается сравнению с механической работой.



Мерой тепловой энергии служит количество теплоты, нагревающей массу воды в 1 г на 1 °С. Такая единица называется калорией. 1000 калорий составляет 1 килокалорию.

1 килокалория нагревает на 1 °С тысячу граммов воды или на 10 °С сто граммов воды.

Содержание энергии в топливе определяется его теплотворной способностью, выраженной количеством калорий на единицу массы, т. е. способностью нагревать при сгорании до определенной температуры некоторое определенное тело. Так, например, сжигая 1 кг нефти, освобождают энергию в 10 000 килокалорий, сжигая 1 кг каменного угля — 7000 килокалорий и т. п.

Эквиваленты. Сравнивая механическую и тепловую работу — нагревая воду при помощи трения и измеряя механическую работу, требующуюся для получения некоторого количества тепла, нашли, что 1 Дж превращается в 0,239 кал и, следовательно, 1 калория переходит в 4,128 Дж.

Таким образом, 1 калория равна или эквивалентна 4,128 джоулям. Соответственно 1 Дж равен или эквивалентен 0,239 калориям.



Пример. Рассмотрим на примере, как производится такой подсчет. Работая против сил трения (скажем, двигая товарные вагоны по рельсам) на пути в 100 м, совершим работу в 1000 кДж. Вся работа перешла в тепло (нагрелись буксы вагонов, нагрелись рельсы и ободья колес). Если бы вся эта тепловая энергия была собрана (она рассеялась в нашем примере) и применена на нагрев воды, то мы могли бы вскипятить некоторое количество воды. Подсчитаем, сколько воды можно было бы вскипятить:

$$1000 \text{ кДж} \times 0,239 \text{ кал/Дж} = 239 \text{ ккал},$$

т. е. затраченная энергия в 1000 кДж, выраженная в тепловых единицах составляет 239 ккал.

Чтобы вскипятить 1 кг воды, мы должны поднять ее температуру от 20 °С (комнатная температура) до 100 °С, т. е. нагреть ее на 100 – 20 = 80 °С, потратив при этом 80 ккал. Значит собрав все тепло рассеянное в процессе перемещения вагонов, мы могли бы вскипятить $239 : 80 \approx 3$ кг воды.

В заключение следует отметить, что основная задача энергетической техники состоит в том, чтобы путем самых разнообразных превращений энергию, от какого-то природного источника — энергию падающей воды, энергию любого вида топлива, энергию солнечных лучей и атомную энергию — перевести эту энергию в такую форму, которая окажется наиболее удобной и выгодной с точки зрения ее практического применения в каждом отдельном случае.

1.4. Мощность

Грузчик тратит целый день на то, чтобы поднять на четвертый этаж 2 тонны кирпича, а мощный подъемник легко сделает то же самое за 15 мин. Между тем грузчик и подъемник совершили одну и ту же работу.

Чайник воды, поставленный на керосинку, закипит через час. На газовой горелке от вскипит за 10 мин. Работа совершена одна и та же.

Ясно, что ни одно из вышеуказанных понятий не характеризует разницу между этими процессами. Мы нуждаемся в новой характеристике процесса, которая установит, за сколько времени может быть совершена одинаковая работа.

Если одна и та же работа у одной системы занимает час, а у другой — четыре часа, то говорят, что первая обладает мощностью в 4 раза большей, чем вторая.

За один час первая система делает работу в 4 раза большую, чем вторая. Значит,



Мощность определяется как отношение величины работы к промежутку времени, за который она произведена.

$$\text{Мощность} = \frac{\text{Работа}}{\text{Время}} \Rightarrow \text{или} \Leftarrow P = \frac{A}{t},$$

где P — мощность; A — работа; t — время.

Так как работа измеряется в джоулях, а время в секундах, то единица мощности равна 1 Дж/с. Эта единица называется ваттом (Вт):

$$1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

Например, мощность электроплитки 1 кВт, мощность в 0,5 кВт развивает человек, взбегающий по лестнице на второй этаж за 6 с.

В технике распространена и другая единица измерения мощности — «лошадиная сила».



Здесь мы сталкиваемся с физической неточностью, допущенной по традиции. Термин «лошадиная сила» был введен английским конструктором Уаттом из рекламных соображений. Он хотел показать во сколько раз его паровые машины выгоднее лошадей, и потому выбрал в качестве единицы измерения мощность, несколько превышающую среднюю мощность сильной лошади.

Уатта не очень беспокоила недостаточная точность термина.

Всегда следует помнить, что единица «лошадиная сила» употребляется для определения мощности и с силой ничего общего не имеет.

Одна «лошадиная сила» равна 736 Вт, или 0,736 кВт.

Ясно, чем дольше работает машина, тем больше работа совершенная ею.

Из определения мощности следует, что

$$\text{Работа} = \text{Мощность} \times \text{Время.}$$

Выражение работы в ватт-секундах или чаще в киловатт-часах часто применяется в электротехнике.

1.5. Передача энергии на расстояние

В большинстве случаев мы стремимся использовать энергию не на том месте, где она непосредственно присутствует в виде каких-то источников. Дом отапливается не там, где бьет нефтяной фонтан, а завод — потребитель энергии строится не обязательно там, где большая река позволяет получать значительные мощности, используя энергию падающей воды.

Механическая передача энергии при помощи трансмиссий, валов и приводных ремней немыслима при расстояниях, превышающих несколько десятков метров.

Первым решением этой задачи было применение топливных двигателей и соответственно перевозка топлива. Однако такая перевозка требует настолько больших дополнительных затрат энергии, что этот способ был в значительной мере вытеснен другим, явившимся ему на смену. Это — передача электроэнергии по проводам.

Гениальный русский ученый М. В. Ломоносов, изучая электричество, говорил о возможности передачи электрической «силы» на расстояние. Более ста пятидесяти лет назад передача электрической энергии по проводам для целей связи была осуществлена в России создателем первого в мире электромагнитного телеграфа П. Л. Шиллингом.

Первая линия передачи электрической энергии, предназначенная для приведения в действие двигателей, также была построена в России инженером Ф. А. Пироцким. Но об этом будем говорить дальше, а сейчас разберем еще один способ передачи энергии.

В котле нагревается вода любым топливом, сжигаемым в топке. Горячая вода поступает в трубы, по которым следует до места потребления. Там она поступает в радиаторы центрального отопления и нагревает комнаты, сама при этом охлаждаясь. После этого холодная вода по другим трубам насосами подается обратно в котел, где она снова нагревается. Затем весь процесс повторяется.

Рассмотрим отдельные звенья системы подачи и разберемся в их назначении.

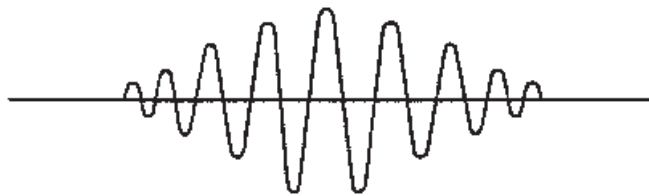
В топке происходит выделение энергии топлива, которая в котле передается воде. Нагретая вода становится носителем энергии. Вместе с потоком воды по трубам поступает к потребителю как бы поток тепловой энергии, который в радиаторах рассеивается, нагревая окружающий воздух. Поток охлаж-

денной воды, поступающий в котельную, несет значительно меньшее количество тепловой энергии. Таким образом, в результате цикла перенесено какое-то количество энергии от ее производителя к ее потребителю, а переносчик энергии — вода, вернулся в прежнем объеме.

Передача энергии нагретой водой или паром для целей отопления и нагрева часто экономичнее, чем перевозка непосредственно топлива. По такой системе работают отопительные устройства целых поселков и городов. Не исключена возможность перевода тепловой энергии и в механическую. Для этого по трубам передается нагретый пар высокого давления. Пар попадает в турбины и, расширяясь, вращает их. Однако при увеличении радиуса действия и количества передаваемой энергии паропроводы быстро теряют свою экономичность.

Мы можем смело сказать, что задача передачи больших и очень больших энергий на огромные расстояния (до 1000 км) полностью и блестяще разрешается, если мы выберем в качестве носителя энергии не воду и не пар, а электричество. Электрический ток переносит по тонким металлическим проводам то же количество энергии, для которого потребовался бы мощный и дорогой паропровод. Кроме того, электрическая энергия необыкновенно просто по сравнению с другими поддается всевозможным превращениям.

Преимущества такого способа передачи энергии трудно даже перечислить. Частью они известны из повседневной жизни, частью выявятся в процессе чтения настоящего пособия. В дальнейшем читатель сам увидит насколько велики возможности энергетических преобразований у этого вида энергии и насколько высок по сравнению с другими у него коэффициент полезного действия всех этих преобразований.



Глава вторая

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ



2.1. Молекулы и атомы

Изучая в течение ряда столетий различные вещества, из которых состоит окружающий нас мир, наука пришла к выводу, что, несмотря на разнообразие встречающихся веществ, все они состоят из простых элементов. Было установлено, что в природе существует 102 химических элемента. Каждый элемент состоит из мельчайших частичек — атомов. Атомы различных элементов не похожи друг на друга и обладают определенными только им присущими свойствами. Наоборот, атомы одного элемента одинаковы и сохраняют все признаки данного элемента.

Каждый атом — самая мелкая частица любого элемента (легчайшего газа — водорода, угля, металлов, тяжелого урана и т. п.) — состоит из ядра, обладающим положительным электрическим зарядом, и электронов, образующих его оболочку и движущихся вокруг ядра, рис. 2.1. Электроны обладают отрицательным электрическим зарядом.

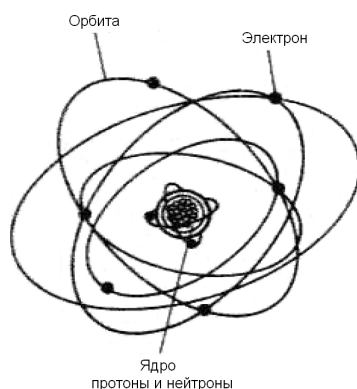


Рис. 2.1. Модель атома

В середине изображено ядро атома, состоящее из протонов (положительно заряженных частиц) и нейтронов (нейтральных частиц), вокруг ядра по орбитам вращаются электроны (отрицательно заряженные частицы).

Атом обычно не проявляет никаких электрических свойств (нейтрален). Однако это указывает не на отсутствие в нем электричества, а только на то, что положительного и отрицательного электричества имеется в нем поровну.

Атомы различных химических элементов отличаются друг от друга своим весом (атомный вес), величиной положительного заряда ядра и числом электронов, вращающихся вокруг ядра. Так, например, в атоме водорода — самого легкого и простого по строению элемента — вокруг ядра вращается только один электрон, а в атоме лития — три, рис. 2.2. Число электронов, вращающихся вокруг ядра, всегда соответствует порядковый номер элемента в периодической системе элементов Д. И. Менделеева. Например, атом 92 элемента таблицы — урана, имеет ядро, в котором находится 92 положительно заряженных протона, и 92 электрона, вращающихся по многочисленным орбитам.

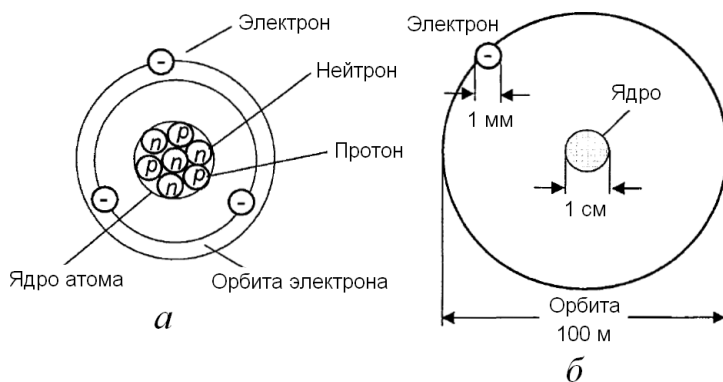


Рис. 2.2. Схема ядра лития (а) и соотношение размера ядра атома водорода с размером электрона и его орбитой (б)

Все наблюдаемое разнообразие многих миллионов различных веществ, обладающих самыми разнообразными свойствами, образуется из различных соединений простых элементов.

В сложных телах атомы различных элементов соединяются в группы, называемые молекулами, например, молекула воды состоит из устойчивого соединения двух атомов водорода с одним атомом кислорода. Часто и внутри простых элементов однородные атомы соединяются в молекулы, например, в водороде два атома образуют устойчивую молекулу водорода.

Те из вращающихся в атоме электронов, которые располагаются на крайних орбитах, связаны с ядром слабее, чем электроны, находящиеся на ближних к ядру орбитах. Под влиянием различных физико-химических воздействий оболочка атома может терять часть электронов. К оболочке атома могут присоединиться и лишние электроны. В обоих случаях заряд атома (или образованной им молекулы) уже не равен нулю — атом (или молекула) перестает быть нейтральным.

Атомы всех металлов имеют неустойчивые внешние электроны, которые легко покидают свои орбиты, чем и объясняется хорошая электропроводность металлов. Атомы ряда других веществ прочно удерживают электроны около ядра и не дают им свободно уходить из атома. Такие вещества плохо проводят электричество.

Теряя или приобретая электроны, нейтральный в электрическом отношении атом становится заряженным. Такой атом называется ионом. Процесс превращения нейтрального атома (или молекулы) в ион называется ионизацией. При этом положительный ион — это атом, потерявший один или несколько электронов. Отрицательный ион — это атом, к оболочке которого присоединились лишние электроны.

Следует заметить, что потеря электронов в оболочке легко восполняется — освободившееся место легко занимают приходящие извне электроны. То же самое можно сказать и о лишние электронах. Потеря или приобретение лишних электронов — ионизация, не меняет основных свойств атома. Ионизированный атом кислорода остается все тем же атомом именно кислорода.

2.2. Изоляторы и проводники

Электрические свойства различных тел, прежде всего, определяются тем, насколько свободно в них могут передвигаться электрические заряды.

В изолирующих телах (таких, как фарфор, масло, полиэтилен, бумага и т. п.) электрические заряды занимают определенное положение и не могут свободно перемещаться. Свободное движение зарядов не может происходить и в газах, если большинство его молекул и атомов находится в нейтральном состоянии. В обычном состоянии газы (в том числе и воздух) являются хорошими изоляторами, так как лишь ничтожное количество его частиц находится в ионизированном состоянии.

В растворах солей, щелочей и кислот (электролиты) атомы соединяются в группы, обладающие положительным или отрицательным зарядом («+» и «-»). Протекание тока через такие растворы обусловлено подвижностью ионов и обязательно сопровождается переносом атомов от одного электрода к другому.

В металлах электроны могут легко перемещаться между положительными ионами, образующими жесткий костяк тела (кристаллическая решетка из связанных между собой ионов). В какой-то мере свободные электроны внутри металлов похожи на жидкость, заполняющую пористое губчатое тело. Протекание тока через металл, обусловленное движением электронов, не сопряжено с переносом атомов. Если, например, в цепь тока, образованного проводами, вставить кусок проволоки из другого металла, скажем, из серебра, то сколь долго бы по такой цепи ни проходил ток, атомы меди не войдут в серебряную проволоку и атомы серебра не войдут в медную.

Электроны в медной и серебряной проволоках одинаковы, поэтому их переход из одной в другую не связан с наблюдением каких бы то ни было химических изменений.



Следует заметить, что заряды (электроны и ионы) при протекании даже больших токов движутся сравнительно медленно — огромная скорость распространения электромагнитного состояния вдоль проводов электрической цепи совпадает со скоростью распространения электромагнитной волны, а не со скоростью движения заряда в проводах.

Электролиты и металлы — хорошие проводники, их удельное сопротивление очень мало.

Хорошими проводниками являются и многие газы (в том числе и воздух), но только тогда, когда их атомы (или молекулы) находятся в ионизированном состоянии. В ионизированном газе электроны, вырванные из атомных оболочек, могут свободно передвигаться между положительными ионами.

Ионизация газа может быть вызвана разными причинами.

Введем внутрь стеклянной трубки, заполненной разреженным газом, металлические электроды и присоединим их к источнику достаточно высокого напряжения. Если напряжение постепенно увеличивать, то легко заметить, что ток в цепи вначале чрезвычайно мал, но как только напряжение достигнет определенного предела, ток резко возрастает. Это значит, что произошла ионизация газа. В тот момент, когда через трубку с газом начинает протекать ток, газ в трубке начинает светиться.

Свечение газа обусловлено сильной и непрерывной ионизацией его. Атомы излучают свет, когда электроны отрываются от одних атомов и затем соединяются с другими или даже меняют свое положение внутри атомной оболочки (переходят на другую орбиту).

В рассмотренном случае ионизация вызвана электрическим напряжением.

Ионизацию газа вызывает и свет. Особенно сильная ионизация наблюдается при освещении газа мощной ультрафиолетовой лампой. Еще сильнее ионизируется газ под воздействием рентгеновского излучения. Обычный окружающий нас воздух также содержит небольшое количество ионизированных атомов.

Испускание электронов металлами. Нагревая металл до высокой температуры, мы заставляем хаотически движущиеся частицы двигаться еще быстрее. Электроны, которые ранее удерживались на орбитах атомов, теперь испускаются нагретым металлом в окружающее пространство. Тепловое испускание электронов похоже на испарение нагретой жидкости.

При высокой температуре скорость движения отдельных частиц (в том числе и электронов) настолько возрастает, что эти частицы, преодолевая сдерживающие силы, вылетают наружу.



Электроны в молекулах и атомах нагретого тела можно уподобить пассажирам, сидящим в автомобиле, который катится с огромной скоростью, делая сумасшедшие зигзаги. Когда движение молекул-автомобилей станет настолько стремительным и беспорядочным, немало пассажиров-электронов будет выброшено за борт, рис. 2.3.

Испускание свободных электронов легче всего наблюдать, когда нагреваемый металл помещен в трубку с откаченным из нее воздухом (если испускаемые электроны попадают в воздух, они быстро теряют подвижность, сталкиваясь с молекулами газа).

Легко произвести такой опыт: возьмем одну из электронных ламп с двумя впаянными в стекло электродами и включим ее в цепь источника последовательно с миллиамперметром, рис. 2.4. Ток в электрической цепи не пойдет до тех пор, пока один из электродов не будет подогрет. Для подогрева преду-

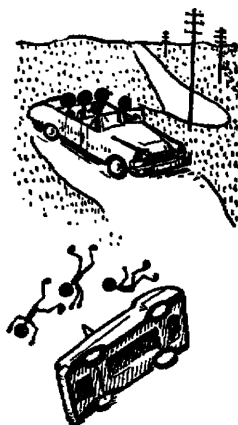


Рис. 2.3. Выброшенные за борт пассажиры-электроны из стремительно мчащейся на вираже молекулы-автомобиля

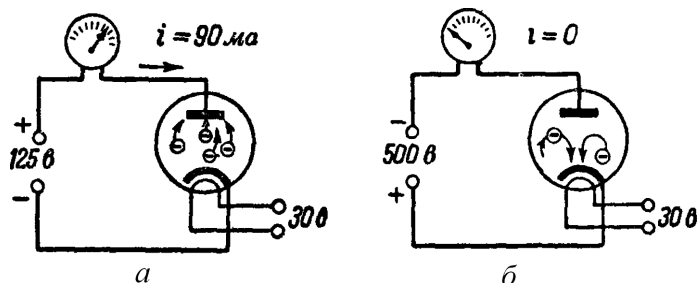


Рис. 2.4. Включение в цепь электронной лампы: *a* — через лампу течет ток, если нижний электрод подогревается и соединен с отрицательным полюсом источника; *б* — при изменении порядка присоединения полюсов через лампу ток не проходит, несмотря на то, что напряжение увеличено в 4 раза

смотрена специальная проволоочка, нагреваемая током от дополнительного источника.

Если нижний электрод, называемый катодом, разогреть, то он начнет испускать электроны. Электроны, свободно пробегая внутри трубки по безвоздушному пространству (в вакууме), переходят от нижнего отрицательного электрода к верхнему положительному электроду (аноду). Миллиамперметр отклонится, показывая, что в цепи установился электрический ток, рис. 2.4*a*.

На рис. 2.4*б* изображена цепь электронной лампы, в которой изменена полярность источника. В такой цепи тока не будет. Электроны, вылетающие из нижнего электрода (положительного), притягиваются к нему электрическими силами. Вылетевшие электроны возвращаются обратно. Электронная лампа проводит ток только в одном направлении.

Испускание электронов поверхностью металла происходит также при освещении металла светом — чем сильнее свет, падающий на поверхность металла, тем больше электронов вырывается с его поверхности.

Мы рассмотрели разницу между проводниками и изоляторами с точки зрения классической физики, которая изучает законы микроскопических тел, т. е. таких тел, в состав которых входит большое количество протонов и элек-

тронов. Различие между диэлектриками и проводниками классическая физика видит в том, что в диэлектрике все электроны прочно удерживаются около ядра атома. В проводниках же, наоборот, связь с ядром атома слабее, поэтому имеется большое количество свободных электронов, упорядоченное движение которых вызывает электрический ток.

2.3. Простейшие опыты с неподвижными электрическими зарядами (электростатика)

Электрические явления были известны людям очень давно. Еще древние греки 2500 лет назад, натирая янтарь сукном, заметили, что янтарь после этого приобретает способность притягивать к себе легкие тела. Силу, проявляемую натертым янтарем, греки называли электрической силой (по-гречески янтарь называется «электрон»).

Было замечено, что наэлектризованные тела притягиваются одно к другому или отталкиваются. Так, например, если подвесить на тонкой шелковой нити наэлектризованную стеклянную палочку и поднести к ней другую наэлектризованную стеклянную палочку, то палочка, которая подвешена, будет отталкиваться (рис. 2.5а). То же самое произойдет, если стеклянные палочки заменить на эбонитовые натертые сукном. Если же одну из палочек заменить, т. е. подвесить стеклянную, а поднести к ней эбонитовую или наоборот, то палочки будут притягиваться, рис. 2.5б.

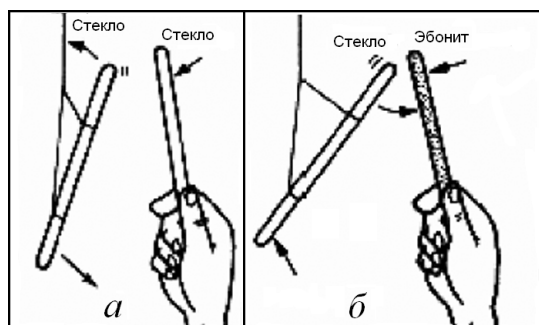


Рис. 2.5. Одноименно заряженные палочки отталкиваются (а), а разноименно заряженные притягиваются (б)

Таким образом, удалось установить, что в результате электризации различных тел получается два рода электричества. Условно один вид электричества назвали положительным, а другой — отрицательным. Следовательно, тела, заряженные одноименным электричеством, взаимно отталкиваются, заряженные разноименным электричеством — притягиваются.

Наэлектризованное тело может передать часть своего электрического заряда другому (ненаэлектризованному) телу, если их привести в соприкосновение или соединить металлической проволокой.

Рассмотрим еще одно интересное явление. При натирании янтаря, стекла, смолы, эбонита, сургуча и других тел кожей или шелком последние приоб-

ретают способность притягивать к себе легкие тела — кусочки бумаги, соломинки, или, иначе говоря, электризуются, рис. 2.6.

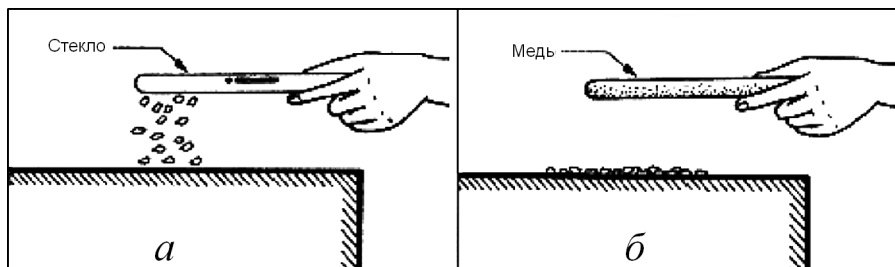


Рис. 2.6. Стеклянная палочка, натертая кожей, притягивает мелкие бумажки (а), а медная — нет (б)

Это объясняется тем же притяжением разноименных зарядов и отталкиванием одноименных. В клочке бумаги происходит смещение зарядов: положительные заряды стремятся приблизиться к отрицательному заряду заряженного (электризованного) тела, а отрицательные заряды стремятся оттолкнуться от него. Это наглядно иллюстрирует рис. 2.7.

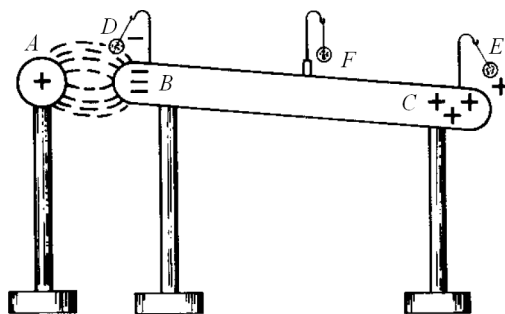


Рис. 2.7. Опыт, демонстрирующий смещение зарядов

Если к одному из концов незаряженной стеклянной палочки поднести, но, не касаясь ее, положительно заряженный стальной шар, то на ближнем к нему конце *B* соберутся отрицательные заряды, а положительные заряды будут вытеснены на противоположный конец *C*. Для подтверждения этого явления подвесим на тонкой шелковой нити три легких шарика — *D*, *F*, *E*.

Прикосновение к поверхности палочки шариком *E* вызовет появление на его поверхности положительного заряда, одноименного с палочкой, при этом шарик начнет отклоняться. Прикосновение шариком *D* к противоположному концу палочки вызовет также появление заряда шарика, но уже отрицательного. Шарик при этом отклонится, но его отклонение будет более значительным. Это объясняется тем, что рядом находится положительно заряженный шар, который в свою очередь притягивает этот отрицательно заряженный шарик.

Прикосновение шарика *F* к средней части не вызовет никакого изменения положения шарика, так как в этой части палочки нет никаких зарядов.

Притяжение заряженных частиц к другим заряженным телам находит практическое применение в очистке газов от пыли и дыма. Помещая тонкие,

изолированные друг от друга проволоки в пространство, заполненное дымом, легко наблюдать его исчезновение, после того как к проволокам приложено высокое напряжение.

2.4. Электрическое поле

Нетрудно увидеть сходство во взаимодействии зарядов и магнитов. Электрические заряды взаимодействуют на расстоянии — значит, электрические свойства заключены не только в заряженных телах, но и в окружающем их пространстве. Из этого мы сделаем заключение, что



В пространстве, окружающем заряды, существует электрическое поле.

Электрическое поле, как и магнитное — это один из видов материи, одна из форм ее проявления. Между электрическим и магнитным полем очень много общего, это как бы разные стороны одного и того же электромагнитного поля.

В электрическом поле заключена энергия, за счет энергии электрического поля и производится работа, связанная с перемещением электрических зарядов.

Помещая электрический заряд (легкий заряженный шарик) в различные точки поля заряженного шара и отмечая траектории движения заряда под действием его электрических сил, мы получим ряд радиальных прямых, расходящихся от шара во все стороны, рис. 2.8. Эти воображаемые линии, по которым стремится двигаться положительный, лишенный инерции заряд, внесенный в электрическое поле, называются *электрическими силовыми линиями*.

На рис. 2.9 показано более сложное электрическое поле, образуемое двумя заряженными шарами, заряды которых равны по величине и равны или противоположны по знаку.

Напряженность электрического поля. В одной и той же точке электрического поля разные заряды будут испытывать разные силы. Если вдвое увели-

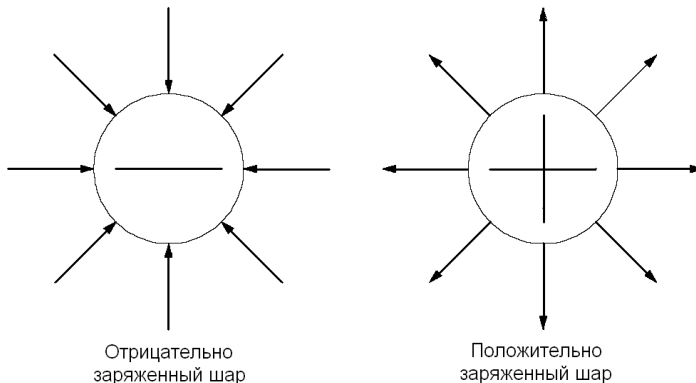
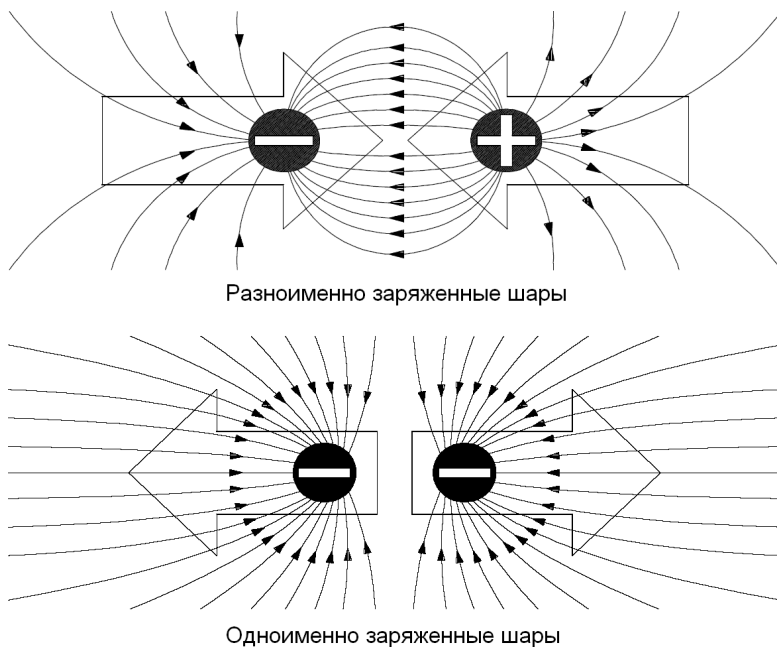


Рис. 2.8. Силовые линии заряженного шара



Разноименно заряженные шары

Одноименно заряженные шары

Рис. 2.9. Силовые линии двух заряженных шаров (стрелками показано направление взаимодействия)

чить заряд, то вдвое увеличится и сила, испытываемая зарядом: на заряд q_0 действует сила F_0 , помещая в эту же область поля заряд $2q_0$ (два заряда $q_0 + q_0$), мы получим силу $2F_0$ (сила $F_0 + F_0$).

Сила, действующая на положительный заряд (q_0), прямо пропорциональна силе, действующей на такой же отрицательный заряд ($-q_0$).

Но один и тот же заряд в разных точках электрического поля может испытывать разные силы. Силы могут отличаться как по направлению, так и по величине. Это значит, что электрическое поле может быть сильнее или слабее. Это значит, что электрическое поле может иметь различные направления.



Сила электрического поля определяется его напряженностью.

Направление напряженности поля совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд, помещенный в поле.

Количественное значение напряженности поля определяется отношением силы F к величине q

$$\text{Напряженность} = \frac{\text{Сила}}{\text{Заряд}} \Rightarrow \text{или} \Leftarrow E = \frac{F}{q}.$$

Единицы измерения электрического заряда и электрического поля. Сила F измеряется в ньютонах. Заряд q выражается в ампер-секундах или кулонах:

$$1 \text{ кулон} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}.$$

Заряд в 1 кулон проходит за одну секунду через поперечное сечение проводника при постоянном токе в один ампер. Напряженность поля при этом окажется выраженной в вольтах на метр.

Заряд в один кулон это очень большая величина. Чтобы получить такой заряд, нужно взять приблизительно $6,25 \cdot 10^{18}$ электронов.

Такое количество электронов легко привести в движение внутри проводника, содержащего огромное количество атомов (например, в каждом грамме меди содержится $95 \cdot 10^{21}$ атомов). Но получить такой заряд, собрав отдельно положительные ионы или электроны, практически невозможно.

Поверхностная плотность электрического заряда. Так как одноименные заряды взаимно отталкиваются, то на всяком проводнике электрический заряд сосредотачивается только на его внешней поверхности. Количество электричества, приходящееся на единицу поверхности заряженного тела, называется поверхностной плотностью электрического заряда.

Величина плотности электрического заряда зависит от количества электричества на теле, а также от формы поверхности проводника. На телах правильной формы (шар, очень длинные проводники круглого сечения) электрический заряд распределяется равномерно. Поэтому поверхностная плотность электрического заряда во всех точках поверхности таких тел будет одинакова.

На проводниках неправильной формы заряд распределяется неравномерно. Большая плотность электричества будет на выступах и выпуклостях, меньшая — во впадинах и углублениях. Особенно велика плотность электричества на остриях.

Части заряда, находящиеся на острие тела неправильной формы, будут испытывать силы отталкивания, стремящиеся удалить эти части заряда с поверхности тела. Большая часть заряда, скопившаяся на острие проводника, может образовывать в этом месте сильное электрическое поле, под влиянием которого воздух (или другой изолятор) будет ионизирован и станет проводящим.

В этом случае электрический заряд, как говорят, начнет стекать с острия. Протекание большого тока при этом приводит к полному нарушению изолирующих свойств. Через воздух начинают проскакивать искры, и может возникнуть электрическая дуга, фарфор оплавляется и растрескивается, бумага и резина обугливаются и могут, конечно, воспламениться. Во избежание этого в электротехнике высоких напряжений на проводниках тщательно устраняют острые углы, концы и выступы.

Атмосферное электричество. Даже в обычных условиях в воздухе над поверхностью земли существует небольшое электрическое поле, резко увеличивающееся во время грозы. Грозовые разряды — молнии, вызваны электрическим полем грозовых туч. В тучах под действием потоков воздуха (ветра) происходит разделение положительно и отрицательно заряженных капелек воды и скопление зарядов разного знака в разных областях тучи.

Электрическое поле в проводящей среде. Электрическое поле может существовать не только в изолирующей, но и в проводящей среде. Но, как уже говорилось, в проводниках заряды могут перемещаться под действием приложенных к ним сил. Значит, существование поля в проводниках обязательно связано с движением зарядов или, говоря другими словами, с протеканием электрического тока.

Плотность тока в одной и той же проводящей среде тем больше, чем больше напряженность поля. При одной и той же напряженности поля в разных средах устанавливаются и разные плотности тока — тем больше, чем больше проводимость среды.

Очень важно заметить следующее. Под действием электрического поля электроны в вакууме движутся с ускорением. Вспомните, что сила пропорциональна именно ускорению. Так, под действием постоянной силы тяжести все свободно падающие тела двигаются все быстрее и быстрее.

Напротив, в проводящей среде при постоянной напряженности поля электроны (или другие заряженные частицы) движутся с постоянной скоростью (и сравнительно небольшой). Это похоже на движение под действием механической силы при наличии встречных сил трения. Так, при падении с раскрытым парашютом скорость, достигнув определенной величины, больше не увеличивается — в этом случае сила сопротивления воздуха уравнивает силу тяжести. Точно также камень, опускаясь на дно в глубокой воде, движется примерно с постоянной скоростью.

С постоянной скоростью будет идти и груженный поезд, несмотря на постоянную и большую силу тяги тепловоза. Это объясняется так же тем, что сила тяги уравнивается силой трения в колесах движущегося железнодорожного состава.

Работа силы во всех рассмотренных примерах переходит в тепло, выделяющееся в трущихся телах. То же самое происходит и в обычных проводниках. Движение зарядов тормозится из-за взаимодействия с другими частицами вещества.

В проводящих телах работа сил поля идет не на ускорение движения заряженных частиц, а на преодоление сил трения. Эта работа и превращается в тепло в соответствии с законом Джоуля — Ленца.

В заключение следует заметить, что при движении зарядов в вакууме работа, затраченная полем, превращается в энергию движения летящих зарядов. Эта энергия отдается электродам при ударе о них. Под действием этих ударов электроды нагреваются. При ударе о поверхность металла очень быстро летящих электронов испускаются лучи, похожие на свет, но не видимые глазом и отличающиеся способностью просвечивать многие тела, не прозрачные для обычного света. Эти лучи получили название рентгеновских лучей — по имени открывшего их немецкого ученого.

2.5. Напряжение (разность потенциалов)

Мы знаем, что работа, совершенная силой, равна произведению силы на перемещение этой силы:

$$A = Fl.$$

Работа, совершенная при переносе заряда под действием сил поля, также равна произведению силы на путь, пройденный в направлении напряженности поля. Но сила, действующая на заряд, равна произведению заряда на на-

пряженности поля, а это значит, что работу электрических сил можно выразить такой формулой:

$$\text{Работа} = \text{Заряд} \times \text{Напряженность} \times \text{Путь};$$

здесь опять же речь идет о пути, пройденном в направлении силы. Пользуясь буквенным обозначением, эту формулу можно записать в таком виде:

$$A = qEl.$$



Работу, совершаемую полем при переносе единичного заряда, называют электрическим напряжением.

(никогда не смешивайте двух разных понятий — напряжение и напряженность).

Значит, для того, чтобы найти напряжение, нужно разделить работу, совершенную при переносе q единиц заряда, на число q . Произведя деление на q обеих частей последнего равенства, получим, что

$$\text{Напряжение} = \text{Напряженность} \times \text{Путь} \Rightarrow \text{или} \Leftarrow U = \frac{A}{q} = El.$$

Обе формулы имеют в виду перемещение в направлении напряженности поля.

Эту формулу, формулу для определения напряжения через напряженность поля (через силу поля) можно применять только в том случае, когда, во-первых, напряженность остается постоянной вдоль всего пути l и когда, во-вторых, перемещение всюду совпадает с направлением напряженности.

Если же поле неоднородно, приходится применять более сложную формулу

$$U = \sum El.$$

Здесь знаком Σ обозначена сумма произведений E и l , каждое из которых вычисляется для отдельных участков поля. Эти участки всегда можно сделать такими маленькими, чтобы без особой погрешности можно было брать среднее значение напряженности поля на этом участке.

Разность потенциалов и потенциал. В поле, созданном неподвижными или медленно движущимися электрическими зарядами, всегда можно считать, что работа перемещения заряда из одной точки поля в другую не зависит от пути, по которому перемещается заряд. Эта работа зависит только от начального и конечного положений заряда (и, конечно, от величины заряда).

Поэтому всем точкам поля можно приписать некоторые характерные значения, называемые потенциалами и обладающие таким свойством: при переносе единичного заряда из одной точки поля в другую совершается работа, равная разности потенциалов между этими точками.

Обозначим потенциалы точек 1 и 2 соответственно буквами E_1 и E_2 . В таком случае силы поля при переносе заряда из первой точки во вторую совершают работу

$$A = (E_1 - E_2)q.$$

Нетрудно заметить, что данное определение относится не столько к потенциалу поля, сколько к разности потенциалов. Это естественно, так как все физические процессы зависят именно от разности потенциалов. Если мы в этой формуле добавили к значениям E_1 и E_2 по одинаковой величине E_0 , то от этого, конечно, их разность не изменилась бы.

В большинстве случаев за нулевой потенциал принимают или потенциал земли, или потенциал любой точки, находящейся за пределами поля.

Изучая электрическое поле, следует отметить, что в этом поле разность потенциалов двух точек поля называется напряжением между ними, измеряется в вольтах и обозначается буквой U .

Работу сил электрического поля можно записать так:

$$A = qU.$$

Для того чтобы заряд q переместить вдоль линии поля из одной точки однородного поля в другую, находящуюся на расстоянии l , нужно проделать работу:

$$A = Eq l.$$

Так как

$$A = qU,$$

то

$$E = \frac{A}{ql} = \frac{qU}{ql} = \frac{U}{l}.$$

Такова простейшая зависимость между напряженностью электрического поля и электрическим напряжением для однородного поля

2.6. Электрическая емкость. Конденсаторы

Сообщение электрического заряда проводнику называется электризацией. Чем больший заряд принял проводник, тем больше его электризация, или, иначе говоря, тем выше его электрический потенциал.

Между количеством электричества и потенциалом данного уединенного проводника существует линейная зависимость: отношение заряда проводника к его потенциалу есть величина постоянная.

Свойство проводящих тел накапливать и удерживать электрический заряд, измеряемое отношением заряда уединенного проводника к его потенциалу, называется электрической емкостью, и обозначается буквой C .

$$\text{Емкость (C)} = \frac{\text{Заряд}}{\text{Потенциал}} \quad \text{или} \quad 1 \text{ Фарада} = \frac{1 \text{ Кулон}}{1 \text{ Вольт}}.$$

Емкостью в 1 фараду обладает проводник, которому сообщают заряд в 1 кулон и при этом потенциал проводника увеличивается на 1 вольт.

Единица емкости — фарада очень велика. Поэтому чаще пользуются более мелкими единицами — микрофарадой, составляющей миллионную часть фарады:

$$1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$$

и пикофарадой, составляющей миллионную часть микрофарады:

$$1 \text{ пФ} = 10^{-6} \text{ мкФ}.$$

Устройство, предназначенное для накопления электрических зарядов, называется конденсатором. Конденсатор состоит из двух металлических пластин (обкладок), разделенных между собой слоем диэлектрика. Чтобы зарядить конденсатор, нужно его обкладки соединить с источником тока. Разноименные заряды, скопившиеся на обкладках конденсатора, связаны между собой электрическим полем. Близко расположенные пластины конденсатора, влияя одна на другую, позволяют получить на обкладках большой электрический заряд при относительно невысокой разности потенциалов между обкладками, рис. 2.10. Емкость конденсатора есть отношение заряда конденсатора к разности потенциалов между обкладками:

$$\text{Емкость} = \frac{\text{Заряд}}{\text{Напряжение}} \quad \text{или} \quad C = \frac{q}{U}.$$

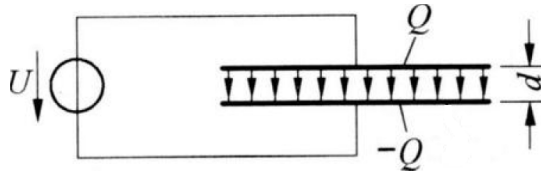


Рис. 2.10. Конденсатор

В случае параллельных пластин емкость тем больше, чем больше площадь пластин и чем меньше расстояние между пластинами.

В самом деле, увеличивая только площадь пластин, мы увеличиваем область, занятую полем. Если при этом разность потенциалов, а, следовательно, и напряженность поля, поддерживать постоянными, то нужно добавочную площадь покрыть добавочными зарядами.

Если оставить неизменной площадь пластин и заряд их, то при сближении или раздвигании пластин напряженность поля изменяться не будет: между параллельными пластинами напряженность поля зависит только от их заряда.

Но при постоянстве напряженности поля разность потенциалов возрастает вместе с возрастанием расстояния между пластинами.

На емкость конденсатора оказывает влияние также материал диэлектрика. Чем больше электрическая проницаемость диэлектрика, тем больше емкость конденсатора по сравнению с емкостью такого же конденсатора, диэлектриком которого служит пустота (воздух). Так, емкость возрастет в 7 раз, если между пластинами вместо воздуха поместить стекло.



Число, показывающее, во сколько раз увеличится емкость при заполнении конденсатора данной изолирующей средой, называется диэлектрической проницаемостью этой среды. Диэлектрическую проницаемость принято обозначать греческой буквой ϵ (эпсилон).

Электрической емкостью обладают практически все элементы электрической цепи. Длинные линии передачи высокого напряжения можно рассматривать как своеобразные обкладки конденсатора. Емкость проводов нужно рассматривать не только относительно другого провода, но также относительно земли, стен помещения и окружающих предметов. Значительной емкостью обладают длинные кабельные линии ввиду близкого расположения токоведущих жил между собой.

В электротехнике наибольшее применение имеют конденсаторы постоянной емкости с бумажным диэлектриком. Данный тип конденсаторов состоит из очень тонких металлических (станиолевых) лент с проложенной между ними и снаружи специальной конденсаторной бумагой, свернутых в рулон. Конденсаторы большой емкости помещают в металлическую коробку и заливают специальным маслом, рис. 2.11.

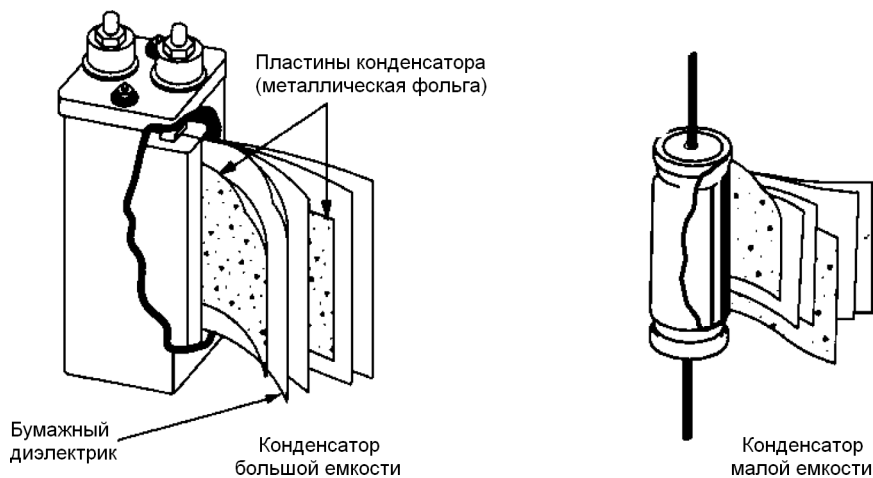


Рис. 2.11. Конденсаторы постоянной емкости

Количество и разнообразие типов современных конденсаторов чрезвычайно велико — от самых маленьких, запрессованных в пластмассу, до конденсаторов высотой около 2 м и пригодных для напряжения в 100 тыс. вольт.

Очень большими емкостями обладают так называемые электролитические конденсаторы. В них изоляцией между электролитом и наружной металлической оболочкой служит тончайший слой окиси алюминия. Небольшой по размерам электролитический конденсатор может быть изготовлен емкостью в десятки и сотни микрофард.

Особенностью электролитического конденсатора является его пригодность только для определенной полярности приложенного напряжения — металлическая оболочка должна быть соединена с отрицательным полюсом, а электрод, соприкасающийся с электролитом, должен быть соединен с поло-

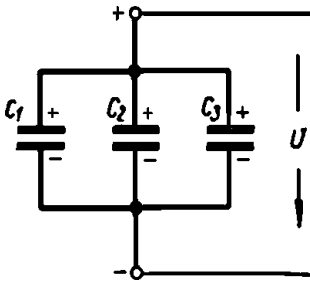


Рис. 2.12. Параллельное соединение конденсаторов

жительным полюсом. В противном случае пленка окиси разлагается проходящим током, и ее изолирующие свойства нарушаются.

Когда емкость одного конденсатора мала, соединяют несколько конденсаторов параллельно, рис. 2.12.

При параллельном соединении конденсаторов напряжение на обкладках каждого конденсатора одно и то же. Поэтому можно написать:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U.$$

Количество электричества (заряд) каждого конденсатора:

$$q_1 = C_1 U; \quad q_2 = C_2 U; \quad q_3 = C_3 U.$$

Общий заряд батареи конденсаторов:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 = U(C_1 + C_2 + C_3).$$

Так как

$$q = CU,$$

тогда

$$C = C_1 + C_2 + C_3.$$

Следовательно,



При параллельном соединении конденсаторов их общая емкость равна сумме отдельных конденсаторов. При параллельном соединении каждый конденсатор окажется включенным на полное напряжение сети.

Рассмотрим последовательное соединение конденсаторов, рис. 2.13.

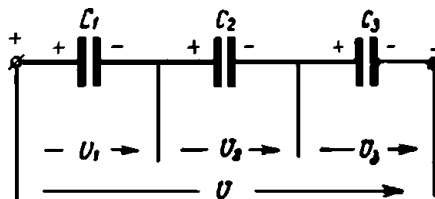


Рис. 2.13. Последовательное соединение конденсаторов

Если левая обкладка первого конденсатора заряжена положительно (+), то вследствие электростатической индукции правая обкладка этого конденсатора получит отрицательный заряд (-), перешедший с левой обкладки второго конденсатора, которая сама зарядится положительно, и т. д. Значит, при последовательном соединении каждый конденсатор независимо от величины его емкости получит один и тот же заряд, т. е.

$$q_1 = q_2 = q_3 = q.$$

Напряжение, приложенное ко всей батарее конденсаторов, равно сумме напряжений на обкладках каждого конденсатора:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Так как

$$U = \frac{q}{C}; \quad U_1 = \frac{q}{C_1}; \quad U_2 = \frac{q}{C_2}; \quad U_3 = \frac{q}{C_3}.$$

Подставляя эти выражения в предыдущую формулу и, сократив обе части уравнения на q , получим:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

Таким образом,



При последовательном соединении обратная величина общей емкости равна сумме обратных величин отдельных конденсаторов. Каждый из конденсаторов включен на меньшее напряжение, чем напряжение сети.

2.7. Диэлектрики

В энергетике необходима изоляция токоведущих частей электрических установок от заземленных частей, а также между собой. Это нужно для того, чтобы направить ток по пути, предусмотренному электрической схемой установки.

В технике применяют твердые, жидкие и газообразные диэлектрики. Твердыми диэлектриками являются фарфор, слюда, резина, полиэтилен, поливинилхлорид и т. п. В качестве жидких диэлектриков применяют трансформаторное, кабельное и конденсаторное масло, синтетические жидкости — совол и совтол. Наиболее часто в качестве газообразного диэлектрика применяется воздух.

На практике диэлектрик не является абсолютным изолятором. В обычном состоянии элементарные заряды молекул диэлектрика находятся в хаотическом тепловом колебательном движении около центров равновесия. Если включить диэлектрик в цепь постоянного напряжения (конденсатор), то под действием сил электрического поля элементарные заряды молекул диэлектрика переместятся в направлении действующих на них сил. В результате смещения зарядов внутри диэлектрика в цепи возникнет кратковременный ток, называемый током поляризации. Спустя короткое время (10^{-13} – 10^{-15} с) ток поляризации прекращается.

Ознакомимся с еще одним током, который может протекать сквозь диэлектрик длительное время. В реальном диэлектрике всегда имеются ионы и свободные электроны. Как ни мало их количество, но с ними необходимо считаться. Под действием электрического поля ионы и свободные электроны начнут

перемещаться внутри диэлектрика, образуя ток утечки. Величина тока утечки в ряде случаев значительно больше величины тока поляризации. Проходя сквозь диэлектрик, ток утечки, по закону Джоуля — Ленца, выделяет тепло.

Если включить диэлектрик в цепь переменного напряжения, то процесс поляризации будет происходить периодически то в одном, то в другом направлении и в цепи возникнет переменный ток. Непрерывно повторяющийся процесс потребует затраты энергии. Периодическое перемещение в материале диэлектрика ионов и свободных электронов вызовет ток утечки.

Важнейшими характеристиками диэлектрика являются: удельное сопротивление; электрическая проницаемость; угол диэлектрических потерь и электрическая прочность.

Удельное сопротивление. Выше мы убедились, что технический диэлектрик не является абсолютным изолятором. Поэтому во время работы диэлектрик пропускает ток. Величина этого тока очень мала по сравнению с рабочими токами, протекающим по токоведущим частям электрической установки (проводам, шинам, кабелям). Ток имеет два пути для своего прохождения — сквозь толщу диэлектрика и по его поверхности. Общий ток — ток утечки равен сумме токов: тока, проходящего сквозь толщу (по объему) диэлектрика, и тока проходящего по поверхности диэлектрика.

Удельное сопротивление диэлектрика зависит от состояния вещества (твердое, жидкое или газообразное), состава диэлектрика, влажности и температуры окружающей среды.

Электрическая проницаемость. Электрическая проницаемость является величиной, характеризующей емкость диэлектрика, помещенного между обкладками конденсатора. Численно электрическая проницаемость равна отношению емкости конденсатора с каким-либо диэлектриком к отношению емкости такого же воздушного конденсатора.

Электрическая прочность. Электрическая прочность диэлектрика является одной из основных характеристик изоляционных материалов. Напряженность электрического поля, при которой изоляционный материал может нормально работать, не должна превышать некоторого вполне определенного значения.

При некотором значении напряженности происходит нарушение процесса работы диэлектрика, материал этого диэлектрика пронизывается искрой, переходящей в дугу. Диэлектрик теряет при этом свои изолирующие свойства, сопротивление его резко уменьшается, и токоведущие части, разделенные ранее изолирующим промежутком, замыкаются накоротко. Наступает пробой диэлектрика.



Напряжение, при котором происходит пробой, называется пробивным напряжением $U_{пр}$, соответствующее значение напряженности поля — пробивной напряженностью $E_{пр}$ или пробивной прочностью (электрической прочностью).

$$E_{пр} = \frac{U_{пр}}{h},$$

где $U_{пр}$ — напряжение, приложенное к диэлектрику в кВ; h — толщина диэлектрика в мм.

Совершенно ясно, что электроизоляционный материал в условиях эксплуатации не должен работать при напряжении, могущем вызвать пробой диэлектрика.

Различают два вида пробоя твердого диэлектрика — электрический и тепловой. Электрический пробой объясняется разрушением структуры вещества под действием сил электрического поля. В слабом электрическом поле электрические заряды упруго смещаются, вызывая поляризацию диэлектрика. Если же напряженность поля достигнет величины пробивной напряженности, происходит срыв заряженных частиц с первоначальных положений, что приводит к пробую.

Рассмотрим явление теплового пробоя.

Как было выше сказано, при работе диэлектрика в переменном электрическом поле выделяется тепло за счет электрических потерь. Диэлектрик нагревается, что приводит к уменьшению его сопротивления. Это, в свою очередь, приведет к увеличению тока, проходящего через диэлектрик, и к еще более сильному нагреву материала. Таким образом, процесс нагрева все время усиливается до тех пор, пока материал не нагреется настолько, что будет разрушен (расплавлен, обуглен и т. п.).

Пробой газообразных диэлектриков (воздуха) вызван образованием и движением ионов в газообразной среде при высоких значениях напряженности электрического поля. В некоторый момент быстрое движение ионов приводит их к столкновению с нейтральными молекулами газа и образованию новых ионов. Это явление сопровождается резким увеличением числа ионов в газе, вследствие чего сопротивление газа уменьшается (ударная ионизация). Наступает пробой газообразного диэлектрика.

В однородном электрическом поле (между двумя остриями, острием и плоскостью, проводами высоковольтных линий и т. п.), в местах, где напряженность поля достигает критического значения, возникает тихий разряд, сопровождающийся жужжанием или потрескиванием с образованием фиолетового свечения (явление короны). С увеличением напряжения тихий разряд может перейти в искровой, затем в кистевой и, наконец, в дуговой разряд (если мощность источника напряжения велика).

Пробой воздуха у поверхности твердого диэлектрика называется поверхностным разрядом (перекрытием). Для увеличения поверхности изоляционных деталей ее делают волнистой.

На пробивную прочность жидких диэлектриков в сильной степени оказывают влияние влага, газы, механические и химические примеси. Пробой жидких диэлектриков возникает в результате перегрева жидкости и разрушения ее молекул.

2.8. Характеристики электроизоляционных материалов

Жидкие и полужидкие диэлектрики — к ним относятся минеральные масла (трансформаторное, конденсаторное и т. п.), растительные масла (касторовое) и синтетические жидкости (совол, совтол, ПЭС-Д и т. п.), вазелины.

Минеральные масла являются продуктами перегонки нефти. Отдельные виды минеральных электроизоляционных масел (конденсаторное и кабель-

ное), в связи с лучшей очисткой, отличаются от других вязкостью и электрическими характеристиками. Остальные же характеристики масел находятся практически на одинаковом уровне.

Касторовое масло получают из семян растения клещевины.

Совол и совтол — негорючие синтетические жидкости. Совол получают в результате хлорирования кристаллического вещества — дифенила.

Совол представляет собой прозрачную вязкую жидкость. Совол токсичен, раздражает слизистые оболочки, поэтому работа с ним требует соблюдения правил техники безопасности. Совтол является смесью совола и трихлорбензола, вследствие чего он имеет значительно меньшую вязкость. Совол и совтол применяются для пропитки бумажных конденсаторов для установок постоянного и переменного тока промышленной частоты.

ПЭС-Д является жидким кремнийорганическим диэлектриком и обладает повышенной нагревостойкостью и морозостойкостью. *ПЭС-Д* нетоксичны, не обладают коррозионной активностью.

Вазелины представляют собой полужидкие массы. Применяются для пропитки бумажных конденсаторов.

Высокополимерные органические диэлектрики состоят из молекул, образованных десятками и сотнями тысяч молекул исходного вещества — мономера. Полимеры могут быть природными (натуральный каучук, янтарь и др.) и синтетическими. Характерной особенностью высокополимерных материалов являются их высокие диэлектрические свойства.

Воскообразные диэлектрики: парафин, церезин и другие представляют собой вещества поликристаллического строения с отчетливо выраженной температурой плавления.

Электротехнические пластмассы — пластические массы (пластмассы) представляют собой композиционные материалы, состоящие из какого-либо связывающего (смола, полимеры), наполнителей, пластифицирующих и стабилизирующих веществ и красителей.

По отношению к нагреву различают термореактивные и термопластичные пластмассы. Первые в процессе горячего прессования или последующего нагрева становятся неплавкими и нерастворимыми. Термопластичные пластмассы (термопласты) после нагрева в процессе прессования способны размягчаться при последующем нагревании.

Электроизоляционные бумаги и картоны относятся к волокнистым материалам, получаемым из химически обработанных растительных волокон: древесины и хлопка.

Электрокартоны предназначены для работы в воздушной среде, они обладают более плотной структурой по сравнению с картонами, предназначенными для работы в масле.

Фибра — монолитный материал, получаемый прессованием листов бумаги, предварительно обработанных раствором хлористого цинка. Фибра поддается всем видам механической обработки и штамповки. Листовая фибра поддается формованию после размягчения ее заготовок в горячей воде.

Слоистые электроизоляционные пластмассы — к ним относятся гетинакс, текстолит и стеклотекстолит. Эти материалы представляют собой слоистые пластмассы, в которых в качестве связывающего вещества применяются баке-

литовые (резольные) или кремнийорганические смолы, переведенные в неплавкое и нерастворимое состояние.

В качестве наполнителей в слоистых электроизоляционных материалах применяют специальные сорта пропиточной бумаги (гетинакс), а также хлопчатобумажные ткани (текстолит) и бесщелочные стеклянные ткани (стеклотекстолит).

Заливочные и пропиточные электроизоляционные составы (компаунды).

Компаундами называются электроизоляционные составы, жидкие в момент их применения, которые затем отверждаются и в конечном (рабочем) состоянии представляют собой твердые вещества.

Согласно своему назначению компаунды делятся на пропиточные и заливочные. Первые применяются для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов, вторые — для заливки полостей в кабельных муфтах, а также в корпусах электрических аппаратов и приборов (трансформаторы, дроссели и т. п.).

Компаунды могут быть термореактивными, не размягчающимися после своего отверждения, или термопластичными, размягчающимися при последующих нагревах. К термореактивным компаундам относятся компаунды на основе эпоксидных, полиэфирных и некоторых других смол. К термопластичным — компаунды на основе битумов, воскообразных диэлектриков и термопластичных полимеров (полистирол, полиизобутилен и др.).

Широкое применение получили компаунды на основе битумов как наиболее дешевые и химически инертные вещества, обладающие высокой стойкостью к воде и хорошими электрическими характеристиками.

Электроизоляционные лаки и эмали. *Лаки* представляют собой растворы пленкообразующих веществ: смол, битумов, высыхающих масел (льняное, тунговое и др.), эфиров целлюлозы или композиций этих материалов в органических растворителях. В процессе сушки лака из него испаряются растворители, а в лаковой основе происходят физико-химические процессы, приводящие к образованию лаковой пленки.

Пропиточные лаки применяются для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов с целью цементации их витков, увеличения коэффициента теплопроводности обмоток и повышения их влагостойкости. С помощью покровных лаков создают защитные влагостойкие, маслостойкие и другие покрытия на поверхности обмоток или пластмассовых и других изоляционных деталей. Клеящие лаки предназначаются для склеивания листочков слюды друг с другом или с бумагой и тканями (миканиты, микаленты), а также для склеивания пленочных материалов с бумагой, картоном, тканями, и других назначений.

Эмали представляют собой лаки с введенными в них пигментами — неорганическими наполнителями (окись цинка, двуокись титана, железный сурик и т. п.). Пигментирующие вещества вводятся с целью повышения твердости, механической прочности, влагостойкости, дугостойкости и других свойств эмалевых пленок. Эмали являются покровными материалами.

По способу сушки различают лаки и эмали горячей (печной) и холодной (воздушной) сушки. Первые требуют для своего отверждения 80—180 °С, а вторые высыхают при комнатной температуре.

Электроизоляционные лакированные ткани (лакоткани) представляют собой гибкие материалы, состоящие из ткани, пропитанной лаком или каким-либо

жидким электроизоляционным составом. Лак или другой пропиточный состав после отверждения образует гибкую пленку, которая обеспечивает электроизоляционные свойства лакотканям.

В зависимости от тканевой основы лакоткани делятся на хлопчатобумажные, шелковые, капроновые и стеклянные (стеклолакоткани). В качестве пропиточных составов для лакотканей применяются масляные, масляно-битумные, полиэфирные эскапоновые или кремнийорганические лаки, а также растворы латексов кремнийорганических каучуков или суспензии фторопластов.

Липкие стеклоткани и резиностеклоткани, пропитанные термореактивными составами с повышенной липкостью, обеспечивают монолитность изоляции, выполненной из этих материалов.

Основными областями применения лакотканей являются: электрические машины, аппараты и приборы низкого напряжения. Лакоткани применяются для гибкой межвитковой и пазовой изоляции, а также в качестве различных электроизоляционных прокладок.

Для изолирования лобовых частей обмоток и других токоведущих элементов неправильной формы применяют лакотканые ленты, вырезанные под углом 45° по отношению к основе лакоткани.

Пленочные электроизоляционные материалы представляют собой тонкие (толщиной от 10 до 200 мкм) гибкие пленки, бесцветные или окрашенные.

Применение пленочных материалов для пазовой изоляции в электрических машинах позволяет уменьшить толщину изоляции. Пленочные электроизоляционные материалы получают преимущественно из синтетических высокомолекулярных диэлектриков (лавсан, фторопласт-4 и т. п.).

Электроизоляционные слюды. Для электрической изоляции применяется преимущественно природная слюда. Из синтетических слюд находят применение фторфлогопит.

Слюды представляют собой вещества с характерным листовым сложением. Это позволяет расщеплять кристаллы слюды на тонкие листочки — от 6 до 45 мкм и более. Из всех природных слюд в качестве диэлектриков применяются только мусковит и флогопит. Эти слюды хорошо расщепляются и обладают высокими электрическими свойствами.

В электротехнике применяются следующие разновидности слюд:

Щипаная слюда — тонкие листочки произвольного очертания (контура). В зависимости от площади прямоугольника, в который можно вписать контур листочка, щипаная слюда делится на девять размеров. По толщине листочков щипаную слюду делят на четыре группы. Щипаная слюда применяется для изготовления клееных слюдяных электроизоляционных материалов (миканиты, микафолиты, микаленты и т. п.).

Конденсаторная слюда — листочки прямоугольной формы, получаемые штампованием (вырубкой) из пластинок слюды (подборы). Конденсаторная слюда применяется в производстве слюдяных конденсаторов в качестве основного диэлектрика, а также в качестве защитных пластин.

Слюда для электровакуумных приборов — плоские детали разной формы, снабженные заданными отверстиями. Эти изделия получают вырубкой из пластинок слюды мусковита. Толщина слюдяных деталей находится в пределах 0,1—0,5 мм.

Гильотиновая слюда — пластины прямоугольной формы различной площади и толщиной 0,08—0,6 мм. Этот род слюдяных изделий применяется в качестве различного рода электроизоляционных прокладок в электрических машинах и аппаратах малой мощности.

Электроизоляционные материалы на основе слюды изготовленные из щипаной слюды и связывающих веществ, являются: миканиты, микафолий и микаленты. Это композиционные материалы, состоящие из листочков слюды, склеенных друг с другом с помощью какой-либо смолы или лака. Основной областью применения клееных слюдяных материалов является изоляция обмоток электрических машин высокого напряжения (пазовая, витковая и др.), а также машин низкого напряжения нагревостойкого исполнения.

Слюдинитовые и слюдопластовые электроизоляционные материалы — при разработке природной слюды и изготовлении электроизоляционных материалов на основе щипаной слюды образуется около 90 % различных отходов. Утилизация отходов привела к получению новых электроизоляционных материалов — слюдинитов и слюдопластов.

Слюдинитовые материалы получают из слюдинитовой бумаги или картона, предварительно обработанных каким-либо связывающим составом (смолой, лаком).

Для получения слюдинитовой бумаги отходы слюды в виде чистых обрезков подвергают термической обработке при 750—800 °С. В результате этого они значительно вспучиваются и делятся на мелкие частицы. После промывания их водой образуется слюдяная суспензия, из которой изготавливают слюдяную бумагу и картон.

Электрокерамические материалы представляют собой твердые вещества, получаемые в результате термической обработки — обжига исходных керамических масс, состоящих из различных минералов, взятых в определенном соотношении.

Основной частью многих электрокерамических материалов (фарфор, стеатит и т. п.) являются природные глинистые вещества (глины, каолины). Кроме глинистых материалов в электрокерамические массы вводят кварц, полевой шпат (электрофарфор), а также тальк, углекислый барий или углекислый кальций (стеатит) и т. п.

2.9. Нагревостойкость электроизоляционных материалов

Нагревостойкость — способность электроизоляционного материала выполнять свои функции при воздействии рабочей температуры в течение времени, сравнимого с расчетным сроком нормальной эксплуатации электрооборудования, в котором применяется данный электроизоляционный материал.

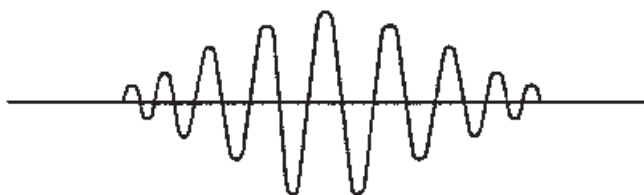
Указанные в табл. 2.1 температуры являются предельно допустимыми для электроизоляционных материалов при их длительном использовании (в течение ряда лет) в электрических машинах, трансформаторах и аппаратах, работающих в нормальных эксплуатационных условиях. При этом температура в наиболее нагретом месте изоляции не должны превышать указанных предель-

но допустимых величин температуры при работе электрооборудования в нормальном режиме при максимальной температуре охлаждающей среды.

Электроизоляционные материалы, применяемые в электрических машинах, аппаратах и трансформаторах, разделяются по их нагревостойкости на семь классов.

Таблица 2.1. *Нагревостойкость электроизоляционных материалов*

Класс нагревостойкости	Предельная температура нагрева, °С	Характеристика основных групп электроизоляционных материалов, соответствующих данному классу нагревостойкости
Y	90	Непропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
A	105	Пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка или шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
E	120	Некоторые синтетические органические пленки, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
B	130	Материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолнока, применяемое с органическими связывающими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
F	155	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолнока, применяемые с синтетическими связывающими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
H	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолнока, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связывающими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов
C	Более 180	Слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связывающих составов или с неорганическими или элементоорганическими связывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов



Глава третья

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА



3.1. Понятие об электрическом токе

Зарядим два металлических шара, установленных на изолирующих подставках (рис. 3.1), причем один шар *A* зарядим положительным электричеством (зарядом), а другой *B* — отрицательным. Если соединить шары металлическим проводником, то электроны будут переходить с шара *B*, где имеется их избыток, на шар *A*, где их недостаток.



Движение электронов по проводнику называется электрическим током. В электротехнике принято считать направление тока противоположным направлению движения электронов в проводнике. Иначе говоря, принято считать совпадающим с направлением движения положительно заряда.

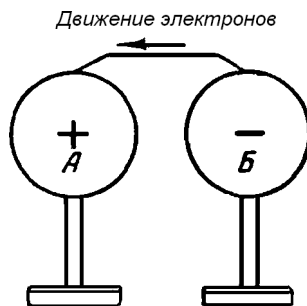


Рис. 3.1. Движение электронов по проводнику

Электроны не проходят в своем движении всю длину проводника. Наоборот, они пробегают очень небольшие расстояния до столкновения с другими электронами, атомами или молекулами. Эти расстояния называются длиной свободного пробега электрона.

Рис. 3.2 наглядно иллюстрирует движение электронов в проводнике. Один шарик закатывается в трубу — другой из нее выкатывается. Если непре-



Рис. 3.2. Движение электронов в проводнике схоже с движением шариков в трубе

рывно закатывать шарики в очень длинную трубу — это будет похоже на движение электронов в проводнике.

Если шар *A* (рис. 3.1) непрерывно заряжать положительными зарядами, а шар *B* отрицательными, то электрический ток в проводнике также будет протекать непрерывно.

Единицей измерения силы тока, как было сказано выше, служит ампер (*A*), т. е. сила тока равна одному амперу, если через поперечное сечение проводника проходит заряд в 1 кулон за одну секунду.



Отношение силы тока (*I*) к площади поперечного сечения (*S*) проводника называется плотностью тока (δ).

Таким образом, плотность тока

$$\delta = \frac{I}{S}.$$



Если в течение некоторого времени ток в проводнике остается неизменным как по величине, так и по направлению, то его называют постоянным током.

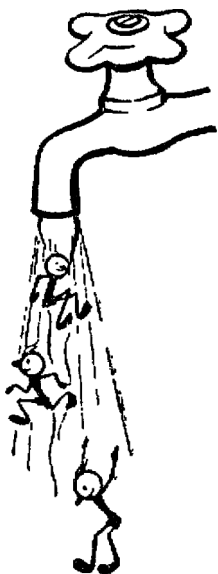


Рис. 3.3. Постоянный ток подобен воде текущей из открытого крана

Или другими словами, постоянный ток — это такой ток, который идет всегда в одном направлении с постоянной силой, как вода из открытого крана, рис. 3.3.

Практически электрический ток получают от специальных источников: гальванических элементов, аккумуляторов, генераторов и т. п.

Электрический ток непосредственно наблюдать нельзя. О прохождении тока можно судить только по тем действиям, которые он производит. Подробно о действиях электрического тока будет рассказано ниже, в соответствующих местах книги.

Сейчас отметим следующие признаки, по которым легко судить о наличии тока:

- ток, проходя через растворы солей, щелочей, кислот, а также через расплавы солей, разлагает их на составные части;
- проводник, по которому проходит электрический ток, нагревается;
- электрический ток, проходя по проводнику, создает вокруг него магнитное поле.

3.2. Электродвижущая сила источника электрической энергии. Напряжение

Чтобы электрический ток проходил по цепи продолжительное время, нужно непрерывно поддерживать на полюсах источника напряжения разность потенциалов. Аналогично этому, если соединить трубой два сосуда находящиеся на разной высоте (рис. 3.4), то вода будет перетекать из верхнего сосуда в нижний до тех пор, пока не кончится. Доливая воду (в нашем примере установлен насос) в верхний сосуд и отводя ее в нижний, можно добиться того, что движение воды в трубах будет продолжаться непрерывно.

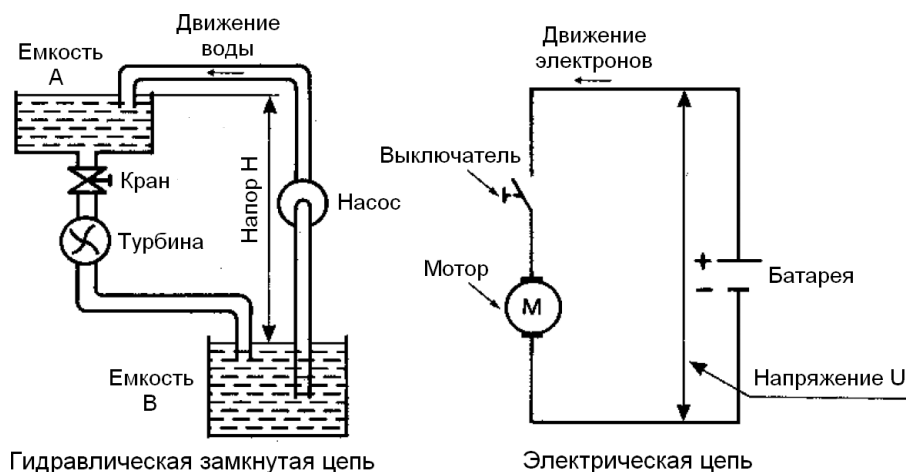


Рис. 3.4. Движение воды в гидравлической системе аналогично току в электрической цепи

При работе источника электрической энергии электроны с анода переходят на катод.

Отсюда можно заключить, что внутри источника электрической энергии действует сила, которая должна непрерывно поддерживать ток в цепи (в нашем примере — это насос), т. е. иначе говоря, должна обеспечивать работу этого источника. Или другими словами, в источнике энергии (питания) в процессе преобразования того или иного вида энергии в энергию электрическую возбуждается электродвижущая сила — э.д.с. (E).



Причина, которая устанавливает и поддерживает разность потенциалов, вызывая ток в цепи, преодолевая ее внешнее и внутреннее сопротивление, называется электродвижущей силой (сокращенно э.д.с.) и обозначается E .

Электродвижущая сила источников электрической энергии возникает под влиянием причин, специфических для каждого из них.

В химических источниках электрической энергии (гальванических элементах, аккумуляторах) э.д.с. получается в результате химических реакций, в генераторах э.д.с. возникает вследствие электромагнитной индукции, в термо-

элементах — за счет тепловой энергии, в нашем примере (водяная установка) — это насос.

Любой источник электроэнергии обладает электродвижущей силой. Электродвижущая сила поддерживает ток в замкнутой цепи. Электродвижущая сила численно равна энергии, полученной единицей заряда при перемещении его от одного зажима источника до другого его зажима, под действием внешних сил. Электродвижущую силу можно определить, как напряжение источника, если к источнику не присоединены приемники или если источник не нагружен.

В потребителях электрическая энергия преобразуется в тепловую, механическую или какую-либо иную энергию. При этом напряжение U на зажимах потребителя численно равно энергии, которая теряется (преобразуется) при перемещении единицы заряда на участке потребителя.

Разность между э.д.с. E и напряжением U представляет собой ту часть энергии, которая теряется (преобразуется) при перемещении единицы заряда в самом источнике питания и называется внутренним падением напряжения (U_0),

$$E = U + U_0.$$

3.3. Электрическая цепь и ее элементы

Для получения электрического тока нужна электрическая цепь. В простейшем случае электрическая цепь состоит из трех основных элементов: источника питания, приемников электрической энергии или потребителей и соединительных проводов.

Источник электрической энергии дает электрическую энергию, потребитель эту энергию преобразует в другие виды энергии: свет, тепло, движение и т. п. Совокупность соединенных между собой источников электрической энергии (например, аккумуляторной батареи) приемников и соединительных проводов (линии передачи) называется электрической цепью, рис. 3.5.

Электрическая цепь делится на внутреннюю и внешнюю части. Источник питания считается внутренним участком цепи, вся остальная часть (потребители, соединительные провода, рубильники выключатели, измерительные приборы и т. п.) — внешним участком электрической цепи.

Электрический ток может протекать только в замкнутой цепи, где производит ту или иную работу, например, нагревает проводники. Разрыв цепи в любом месте вызовет прекращение электрического тока. Чтобы поддерживать электрический ток в замкнутой цепи, необходим источник энергии. Такими источниками могут быть генераторы, аккумуляторы, гальванические элементы солнечные батареи и т. п.

В генераторах механическая энергия преобразовывается в энергию электрическую. В аккумуляторах и гальванических элементах химическая энергия преобразуется в электрическую энергию. В солнечных батареях энергия квантов света преобразуется в электрическую энергию.

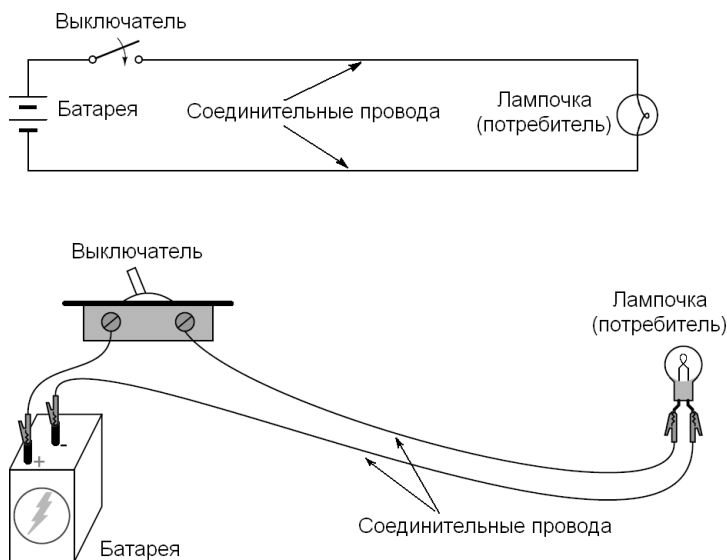


Рис. 3.5. Схема электрической цепи

3.3.1. Параллельное соединение

Подключим к источнику три лампы, как это показано на рис. 3.6. Все три лампы при этом окажутся под одним напряжением, равным напряжению питающего их источника. Ток в лампах при этом, конечно, будет разным, если различны сами лампы.

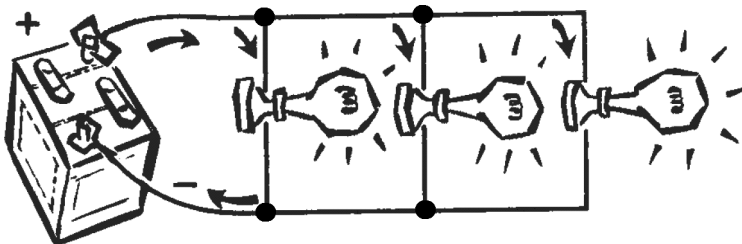


Рис. 3.6. Разветвленная цепь

Цепь, показанная на рис. 3.6, это разветвленная цепь.

Точки цепи, к которым сходится несколько проводов, называют узлами. Участки цепи, соединяющие между собой узлы, называются ветвями. В пределах каждой ветви ток имеет одинаковое значение. Показания амперметра, поэтому не зависят от места его включения в данной ветви.



Ветви, которые всегда находятся под одинаковым напряжением, называются параллельными.

На рис. 3.6 лампы включены параллельно.

На рис. 3.7 показана цепь, содержащая кроме ламп выключатели и измерительные приборы (вольтметр и амперметры). Предположим, что все лампы изготовлены на напряжение 6 В и имеют мощность 6 Ватт.

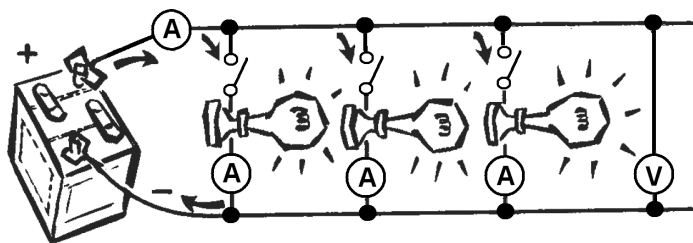


Рис. 3.7. Осветительная установка

Если все лампы выключены, тока в цепи не будет, но напряжение в цепи может существовать. Это можно сравнить с водяной установкой (рис. 3.8) у которой при закрытых кранах внутри насоса и в трубопроводе давление может быть очень большим, но движения воды нет.

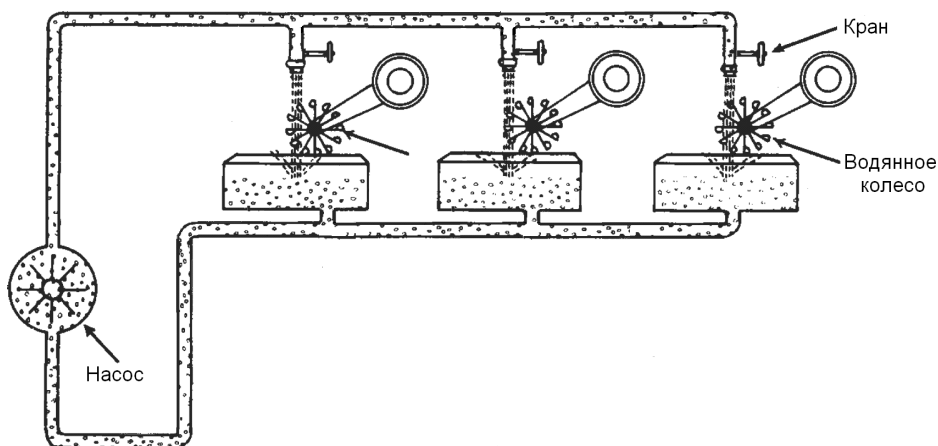


Рис. 3.8. Водяная установка — аналог разветвленной электрической цепи

Пусть напряжение в цепи измеренное вольтметром 6 В, рис. 3.7. Это же напряжение будет иметь каждая из включенных ламп.

Начнем включать лампы, и будем следить за показаниями электроизмерительных приборов.

Включим одну из ламп, повернув соответствующим образом выключатель. Лампа начнет светиться. Стрелка амперметра включенного в ветви этой лампы, сойдет с нулевого значения, и будет показывать 1 А. То же самое будет показывать и амперметр, включенный около батареи перед ответвлением цепи к первой лампе.

Повернем выключатель второй лампы. Стрелка амперметра, включенного последовательно с этой лампой, отклонится и прибор покажет, что через лампу проходит ток в 1 А. Амперметр, включенный около батареи, покажет те-

перь 2 А, через него проходит ток первой лампы (1 А) и ток второй лампы (1 А). Ток, протекающий через батарею, равен их сумме:

$$1 \text{ А} + 1 \text{ А} = 2 \text{ А}.$$

При включении третьей лампы, ток, протекающий через батарею, будет равен 3 А.

3.3.2. Последовательное соединение

Проделаем еще один опыт. Возьмем несколько одинаковых ламп и включим их одну вслед за другой, рис. 3.9. Такое соединение называется последовательным. Его следует отличать от ранее рассмотренного параллельного соединения.

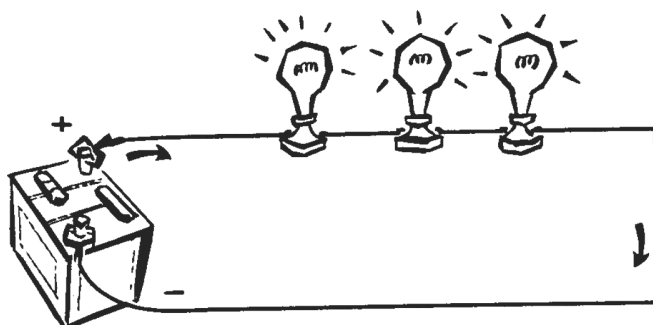


Рис. 3.9. Батарея питает три последовательно включенных лампы

При последовательном соединении нескольких участков цепи (например, нескольких ламп) ток в каждой из них одинаков.



Те участки цепи, по которым всегда проходят одинаковые токи, называются последовательными.

Итак, возьмем две шестивольтовые лампы мощность 6 Вт каждая, такие же, как были рассмотрены в предыдущем опыте, и подключим их последовательно к батарее с напряжением 6 В, рис. 3.10.

Лампы будут еле светиться, их накал будет не полным. Почему? Потому, что напряжение источника (6 В) разделится поровну между обеими лампами. На каждой из ламп теперь окажется напряжение уже не 6 В, а только 3 В.

Напряжение на лампах одинаково потому, что мы взяли две одинаковые лампы. Если бы лампы были не одинаковы, общее напряжение 6 В разделилось бы между ними, но уже не поровну, например, на одной лампе могло оказаться 4 В, а на другой только 2 В.

Как мы увидим в последствии, более мощная лампа получает при этом меньшее напряжение. Но ток в двух (или более) последовательно включенных даже разных лампах остается одинаковым. Если одна из ламп погаснет (порвется ее волосок), погаснут все лампы в цепи.

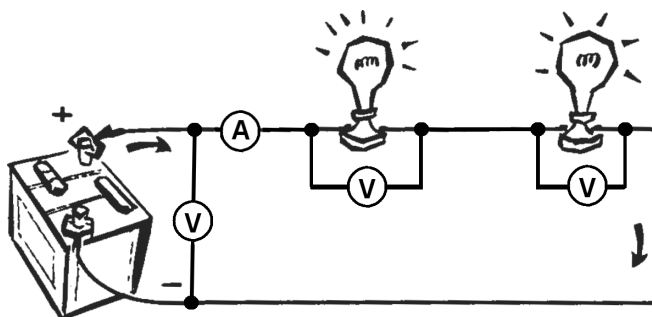


Рис. 3.10. Последовательное соединение

На рис. 3.10 показано, как нужно включать вольтметры, чтобы измерить напряжение на каждой из ламп в отдельности.

Опыт показывает, что напряжение на внешних зажимах последовательных участков цепи всегда равно сумме напряжений на отдельных участках.

Лампы горели нормально, когда через них проходил ток 1 А, но для того чтобы такой ток проходил через лампы, нужно приложить к каждой из них напряжение 6 В. Теперь напряжение на каждой из ламп меньше 6 В, и ток, идущий через них, будет меньше 1 А. Он будет недостаточным, чтобы раскалить нить лампы.

Заменяем шестивольтовую батарею на восьмивольтовую, затем десяти и, наконец, на двенадцативольтовую. Что при этом произойдет? Вместе с увеличением напряжения увеличится ток.

Лампы начнут ярче светиться. Когда мы подключим батарею напряжением 12 В, на каждой из ламп установится напряжение 6 В (половина общего напряжения), и через лампы будет проходить ток 1 А. А это и есть условия их нормальной работы. Обе лампы будут гореть с полным накалом.

Можно было бы включить последовательно не две лампы, а все десять. В этом случае опыт показал бы нам, что лампы будут гореть нормально, когда общее напряжение будет увеличено до 60 В. При этом напряжении на зажимах каждой лампы (все лампы мы предполагаем одинаковые) будет 6 В. Ток в лампах будет и теперь равен 1 А.

Последовательное соединение наглядно иллюстрирует водяная установка изображенная на рис. 3.11.

Кроме рассмотренного параллельного и последовательного соединения возможна еще и комбинация их, т. е. смешанное соединение, рис. 3.12. В этом случае ветви цепи содержат последовательно соединенные элементы (например, в нашем случае, по три лампы).



Смешанным соединением называется последовательно-параллельное соединение потребителей или участков цепи, каждый из которых может состоять из последовательно или параллельно соединенных потребителей энергии.

Если и в данном случае использованы лампы, аналогичные применяемым в предыдущих опытах, то для нормального горения их необходима батарея на-

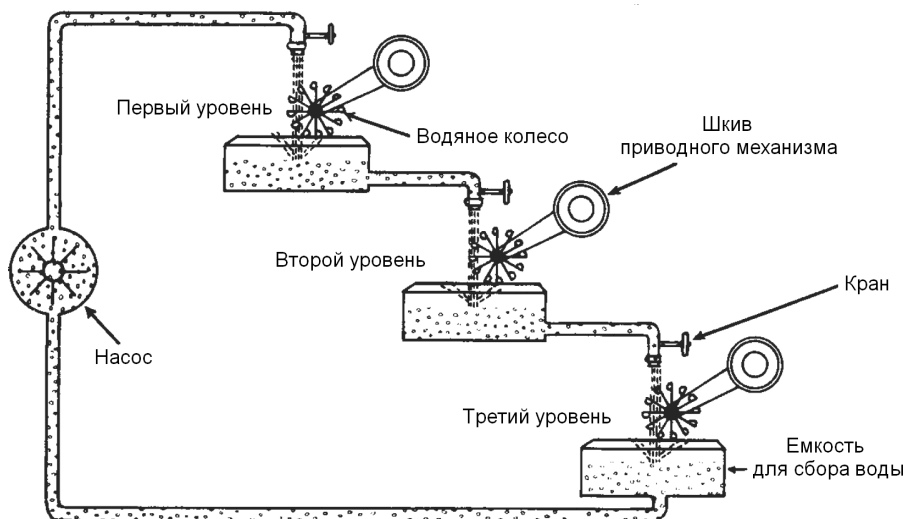


Рис. 3.11. Водяная установка — аналог последовательного соединения в электрической цепи

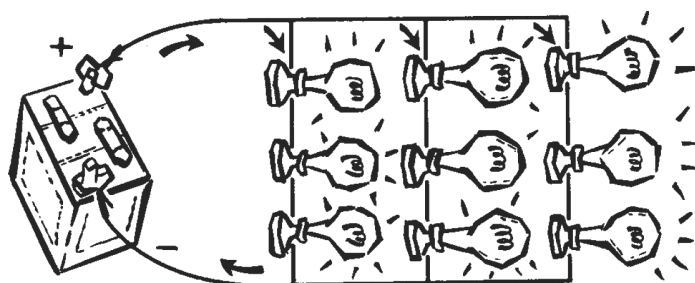


Рис. 3.12. Смешанное соединение

пряжением 18 В, при этом ток в каждой ветви будет равен 1 А. Общий ток в цепи равен сумме токов ветвей, т. е. равен 3 А.

3.3.3. Включение амперметра и вольтметра

В рассмотренных примерах электрических цепей все приборы для измерения тока (амперметры) были соединены последовательно с тем участком цепи, ток в котором нужно было измерить, т. е. последовательно с батареей или лампами.

Напротив, все приборы для измерения напряжения (вольтметры) были включены параллельно тем участкам цепи, напряжение которых нужно было измерить, т. е. параллельно батарее или лампам. Это является общим правилом.



Амперметр всегда включается последовательно с теми приборами или машинами, ток которых он измеряет. Наоборот, вольтметр всегда включается параллельно тем приборам или машинам, напряжение на которых он измеряет, рис. 3.13.

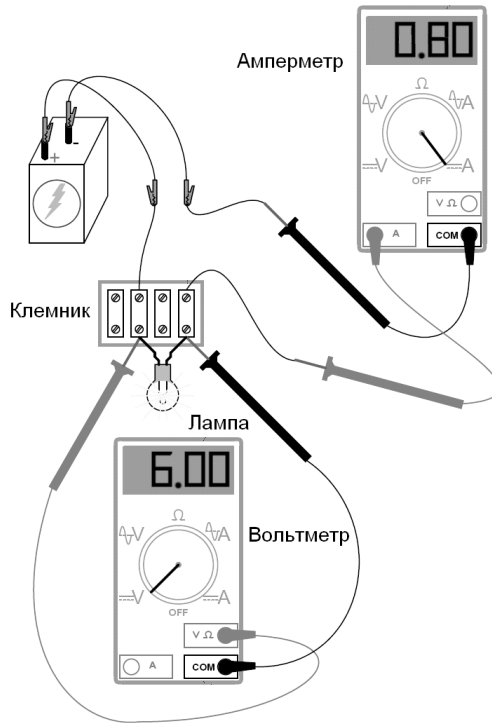


Рис. 3.13. Амперметр всегда включается последовательно с теми приборами, ток которых он измеряет, а вольтметр, наоборот, включается параллельно

3.4. Мощность

Мы видели, что в случае параллельного включения ламп



При неизменности общего напряжения потребляемая мощность возрастает прямо пропорционально току.

Иными словами, двукратное увеличение мощности связано с двукратным увеличением тока, трехкратное увеличение мощности — с трехкратным увеличением тока.

Когда у нас был включен потребитель мощностью 6 Вт при напряжении 6 В, ток в цепи был 1 А. При включении двух ламп — это 12 Вт ток был 2 А, при 18 Вт — ток 3 А. А если бы мы включили трехваттную лампу, ток в цепи был бы всего 0,5 А.

Из рассмотренных опытов (см. последовательное соединение) можно было заметить, что при одном и том же токе (в наших примерах 1 А) мощность возрастает вместе с ростом напряжения. Или говоря другими словами,



При неизменности тока потребляемая мощность прямо пропорциональна напряжению.

Итак, мощность зависит от тока и напряжения. В одном случае (неизменяющееся напряжение) мощность прямо пропорциональна току. В другом случае (неизменяющийся ток) мощность прямо пропорциональна напряжению.

Сопоставляя эти оба вывода, можно заключить, что



Мощность определяется произведением тока и напряжения.

Если мощность (P) выражать в ваттах, ток (I) — в амперах, а напряжение (U) — в вольтах, то можем записать формулу мощности электрического тока так:

$$\text{Мощность} = \text{Ток} \times \text{Напряжение} \Rightarrow \text{или} \Leftarrow P = IU.$$

3.5. Сопротивление

При замыкании электрической цепи, на зажимах которой имеется разность потенциалов, возникает электрический ток. Свободные электроны под влиянием электрических сил поля перемещаются вдоль проводника. В своем движении электроны наталкиваются на атомы проводника и отдают им запас своей кинетической энергии, рис. 3.14.



Рис. 3.14. Перемещение свободных электронов под действием электрического поля

Скорость движения электронов непрерывно изменяется: при столкновении электронов с атомами, молекулами и другими электронами она уменьшается, потом под действием электрического поля увеличивается и снова уменьшается при новом столкновении. В результате этого в проводнике устанавливается равномерное движение потока электронов со скоростью несколько долей сантиметра в секунду.

Следовательно, электроны, проходя по проводнику, всегда встречают сопротивление своему движению. При прохождении электрического тока через проводник последний нагревается.



Электрическим сопротивлением проводника называется свойство тела или среды превращать электрическую энергию в тепловую при прохождении по нему электрического тока.

Вернемся вновь к рассмотренному ранее последовательному соединению ламп.

Как выше упоминалось, при последовательном включении ламп, все лампы должны быть одинаковыми. Что же будет, если мы включим последовательно разные лампы?

Возьмем для примера одну лампу мощностью 3 Вт и одну лампу — 6 Вт, рассчитанные на 6 В, и подключим их последовательно к батарее с напряжением 12 В.

Получим ли мы теперь на каждой из ламп половинное напряжение, т. е. 6 В? Нет. На 6-ваттной лампе напряжение будет всего лишь 4 В, на 3-ваттной лампе напряжение будет 8 В. Складывая эти напряжения 4 В + 8 В, мы получим в сумме 12 В, т. е. как раз напряжение источника.

Но как объяснить, что напряжение на одной лампе получается больше, чем на другой?

Ответ на этот вопрос таков: лампы оказывают различное сопротивление прохождению тока, а ток в обеих лампах одинаковый (лампы включены последовательно). Чтобы заставить один и тот же ток пройти через лампы с разным сопротивлением, нужно затратить разные напряжения.

В нашей первой схеме (параллельное включение) мы видели, что при одном и том же напряжении через лампу меньшей мощности проходит и меньший ток. Даже можно сказать точнее: через лампу, мощность которой в два раза меньше, проходит ток, также в два раза меньший. Значит, эта лампа оказывает в 2 раза большее сопротивление прохождению тока.

Если теперь лампы включены последовательно, тот же самый ток, который прошел через первую лампу, должен пройти и через вторую. Но сопротивление одной лампы в 2 раза больше сопротивления другой, поэтому на лампу с большим сопротивлением (и меньшей мощностью) придется в 2 раза большее напряжение.

Объяснить это можно следующим. Когда поток электронов встречает на своем пути сопротивление, электроны преодолевают его с трудом. Поэтому на входе сопротивления происходит накапливание электронов, а на выходе сопротивления электронов окажется меньше, чем на входе. Следовательно, вход сопротивления будет более отрицателен, чем выход, рис. 3.15. Созданное таким образом напряжение при прохождении тока через сопротивление называется падением напряжения. Оно тем больше, чем больше проходящий через сопротивление ток и чем больше само сопротивление.

Поток электронов, встретивших на своем пути сопротивление, можно сравнить с поведением людей, которые, стремясь выйти из помещения через узкий проход, скапливаются перед ним, рис. 3.16. Когда они, наконец, вырываются на простор, где можно свободно вздохнуть, то сразу понимают, что такое разность давлений или падение напряжения.

Понятие сопротивления играет в электротехнике очень важную роль. Дадим более точное определение этого понятия.

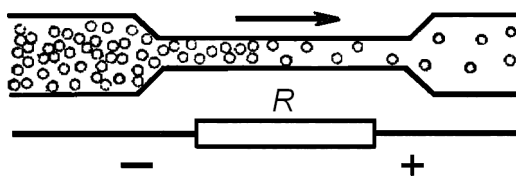


Рис. 3.15. На входе сопротивления происходит накопление электронов, а на выходе их меньше

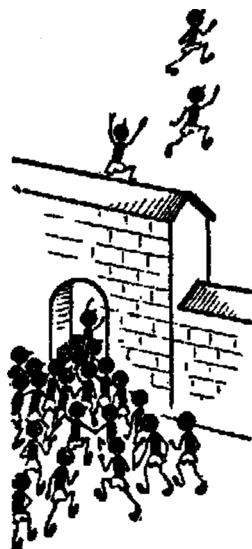


Рис. 3.16. Людей, столпившихся перед узким проходом, можно сравнить с потоком электронов встретившим на своем пути сопротивление



Сопротивление какого-либо участка электрической цепи называют отношением напряжения на этом участке цепи к току, проходящему по этому участку.

Иначе говоря,

$$\text{Сопротивление} = \frac{\text{Напряжение}}{\text{Ток}} \Rightarrow \text{или} \Leftarrow R = \frac{U}{I}.$$

Единицей электрического сопротивления является Ом.



Сопротивление в один Ом обладает такой проводник, по которому при напряжении в один вольт проходит ток, равный одному амперу.

Проделаем такой опыт. Намотаем в виде спирали несколько метров тонкой металлической проволоки и подключим эту спираль к батарее. Замеряем ток в цепи. Намотаем в виде спирали точно такой же отрезок проволоки, но большего диаметра. Подключим к батарее и замерим ток. Повторим эти опыты, предварительно укоротив проводники.

Проделанные опыты позволяют сделать вывод:



Длинный проводник и проводник малого сечения оказывают току большее сопротивление. Короткий проводник и проводник большого сечения оказывают току малое сопротивление, рис. 3.17.

Если взять два проводника из разного материала, но одинаковой длины и сечения, то проводники будут проводить ток по-разному. Это показывает, что сопротивление проводника зависит от материала самого проводника, рис. 3.18.

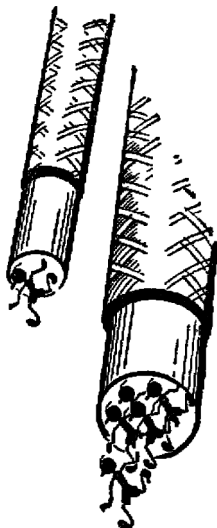


Рис. 3.17. Проводник большого сечения оказывает току меньшее сопротивление

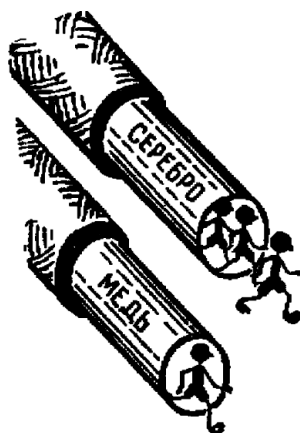


Рис. 3.18. Сопротивление проводника зависит от материала, из которого он изготовлен

Температура проводника также оказывает влияние на его сопротивление. С повышением температуры сопротивление металлов увеличивается, а сопротивление жидкостей и угля уменьшается. Только некоторые специальные металлические сплавы (манганин, константан, никелин и др.) с увеличением температуры своего сопротивления почти не меняют.

Итак, мы видим, что сопротивление проводника зависит от: длины проводника; поперечного сечения проводника, материала проводника; температуры проводника.

При сравнении сопротивления проводников из различных материалов необходимо брать для каждого образца определенную длину и сечение. Тогда мы можем судить о том, какой материал лучше или хуже проводит электрический ток.



Сопротивление проводника длиной 1 м, сечением 1 мм² называется удельным сопротивлением и обозначается греческой буквой ρ (ро).

В табл. 3.1 даны удельные сопротивления некоторых проводников.

Таблица 3.1. Удельные сопротивления различных проводников

Материал проводника	Удельное сопротивление $\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Серебро	0,016
Медь	0,0175
Алюминий	0,03
Вольфрам	0,05
Железо	0,13
Свинец	0,2
Никелин (сплав меди, никеля и цинка)	0,42
Манганин (сплав меди, никеля и марганца)	0,43
Константан (сплав меди, никеля и алюминия)	0,5
Ртуть	0,94
Нихром (сплав никеля, хрома, железа и марганца)	1,1

Из таблицы видно, что железная проволока длиной 1 м и сечением 1 мм² обладает сопротивлением 0,13 Ом. Чтобы получить 1 Ом сопротивления, нужно взять 7,7 м такой проволоки. Наименьшим удельным сопротивлением обладает серебро. 1 Ом сопротивления можно получить, если взять 62,5 м серебряной проволоки сечением 1 мм².

Серебро — лучший проводник, но большая стоимость серебра исключает его массовое применение. После серебра в таблице идет медь: 1 м медной проволоки сечением 1 мм² обладает сопротивлением 0,0175 Ом. Чтобы получить сопротивление 1 Ом, нужно взять 57 м такой проволоки.

Химически чистая, полученная путем рафинирования, медь нашла себе широкое применение в электротехнике для изготовления проводов, кабелей, обмоток электрических машин и аппаратов. Широко применяются также проводники из алюминия.

Сопротивление проводника можно определить также по формуле:

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

где R — сопротивление проводника в Ом; ρ — удельное сопротивление проводника; l — длина проводника в м; S — сечение проводника в мм².

Вернемся снова к нашим лампам. Сопротивление R нити рассмотренной нами 3-ваттной лампы, работающей при напряжении 6 В и пропускающей при этом через нить ток 0,5 А, равно:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6 \text{ В}}{0,5 \text{ А}} = 12 \text{ Ом}.$$

Сопротивление лампы 6 Вт, 6 В в два раза меньше. Действительно, при напряжении 6 В через лампу проходит ток 1 А. Следовательно ее сопротивление

$$R = \frac{U}{I} = \frac{6 \text{ В}}{1 \text{ А}} = 6 \text{ Ом}.$$

Выше было сказано, что сопротивление проводника зависит от температуры. Проведем следующий опыт. Намотаем в виде спирали несколько метров тонкой металлической проволоки и включим эту спираль в цепь батареи. Для измерения тока в цепь включим амперметр. При нагревании спирали в пламени горелки можно заметить, что показания амперметра будут уменьшаться. Это показывает, что с нагревом сопротивление металлической проволоки увеличивается.

У некоторых металлов при нагревании на $100\text{ }^\circ\text{C}$ сопротивление увеличивается на $40\text{--}50\%$. Имеются сплавы, которые незначительно изменяют свое сопротивление с нагревом. Некоторые специальные сплавы практически не меняют сопротивление при изменении температуры.

Способность металлов менять свое сопротивление с изменением температуры используется для устройств термометров сопротивления. Такой термометр представляет собой платиновую проволоку, намотанную на слюдяной каркас. Помещая термометр, например, в печь и измеряя сопротивление платиновой проволоки до и после нагрева, можно определить температуру в печи.



Изменение сопротивления проводника при его нагревании, приходящееся на 1 Ом первоначального сопротивления и на $1\text{ }^\circ\text{C}$ температуры, называется температурным коэффициентом сопротивления.

Если при температуре t_0 сопротивление проводника равно R_0 , а при температуре t равно R_t , то температурный коэффициент сопротивления

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0(t - t_0)}.$$

Замечание: расчет по этой формуле можно производить лишь в определенном интервале температур (примерно до $200\text{ }^\circ\text{C}$).

В табл. 3.2 приведены значения температурного коэффициента сопротивления для некоторых металлов.

Таблица 3.2. Значения температурного коэффициента для некоторых металлов

Металл	Температурный коэффициент
Серебро	0,0035
Медь	0,0040
Железо	0,0066
Вольфрам	0,0045
Платина	0,0032
Ртуть	0,0090
Никелин	0,0003
Константан	0,000005
Нихром	0,00016
Манганин	0,00005

Из формулы температурного коэффициента определим R_t :

$$R_t = R_0[1 \pm (t - t_0)].$$

До сих пор мы рассматривали сопротивление проводника как препятствие, которое оказывает проводник электрическому току. Но все же ток по проводнику проходит. Следовательно, кроме сопротивления (препятствия), проводник обладает также способностью проводить электрический ток, т. е. проводимостью.

Чем большим сопротивлением обладает проводник, тем меньшую он имеет проводимость, тем хуже он проводит электрический ток, и, наоборот, чем меньше сопротивление проводника, тем большей проводимостью он обладает, тем легче току пройти по проводнику. Поэтому сопротивление и проводимость проводника есть величины обратные.

Из математики известно, что число обратное 5, есть $\frac{1}{5}$ и, наоборот, число, обратное $\frac{1}{7}$, есть 7. Следовательно, если сопротивление проводника R , то проводимость определяется как $\frac{1}{R}$. Обычно проводимость обозначается буквой g .

Электрическая проводимость измеряется в $\frac{1}{\text{Ом}}$, или в сименсах.

3.6. Закон Ома

Рассматривая предыдущие опыты с лампами можно сделать вывод, что при постоянном напряжении ток в цепи будет тем больше, чем меньше сопротивление этой цепи, причем ток в цепи увеличивается во столько раз, во сколько раз уменьшается сопротивление цепи. Или другими словами



Ток на участке цепи прямо пропорционален напряжению на этом участке и обратно пропорционален сопротивлению того же участка.

Иначе говоря,

$$\text{Ток} = \frac{\text{Напряжение}}{\text{Сопротивление}} \Rightarrow \text{или} \Leftarrow I = \frac{U}{R}.$$

Эта зависимость известна под названием закона Ома.

Пользуясь формулой закона Ома, можно определить также напряжение и сопротивление в цепи.

$$U = IR,$$

т. е. напряжение в цепи равно произведению тока на сопротивление этой цепи, и

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

т. е. сопротивление цепи равно напряжению, деленному на ток цепи.

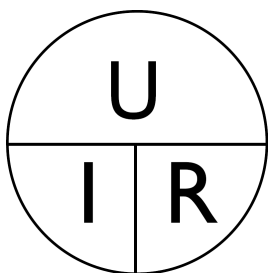


Рис. 3.19. Универсальная форма записи закона Ома

Закон Ома можно записать и в таком виде, рис. 3.19. Данная запись позволяет производить расчеты по любой из трех формул, рис. 3.20.

При рассмотрении электрической цепи мы до сих пор не принимали в расчет того, что путь тока проходит не только по внешней части цепи, но также и по внутренней части цепи, внутри самого элемента, аккумулятора или другого источника напряжения.

Электрический ток, проходя по внутренней части цепи, преодолевает ее внутреннее сопротивление и потому внутри источника происходит падение напряжения.

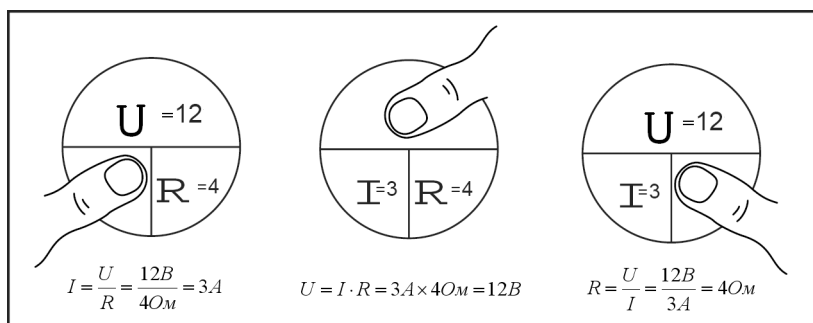


Рис. 3.20. Примеры вычислений с применением универсальной формы записи закона Ома

Следовательно, электродвижущая сила источника электрической энергии идет на покрытие внутренних и внешних потерь напряжения в цепи.

Как было сказано выше:

$$E = U + U_0,$$

где E — э.д.с.; U — напряжение в цепи (внешнее падение напряжения цепи); U_0 — внутреннее падение напряжения.

Выразив напряжения через ток и сопротивления — получим:

$$IR_0 + IR = I(R_0 + R);$$

$$I = \frac{E}{R_0 + R}.$$

Это и есть формула закона Ома для полной цепи.

Закон Ома для полной цепи читается так:



Ток в электрической цепи равен электродвижущей силе, деленной на сопротивление всей цепи (сумму внутреннего и внешнего сопротивлений).

Вольтметр, включенный на зажимы любого источника э.д.с. во время его работы, показывает напряжение на них или напряжение сети. При размыкании электрической цепи ток по ней проходить не будет. Ток не будет прохо-

дить также и внутри источника э.д.с., а следовательно не будет и внутреннего падения напряжения. Поэтому вольтметр при разомкнутой цепи покажет э.д.с. источника электрической энергии.

Таким образом, вольтметр, включенный на зажимы источника э.д.с. показывает:

- при замкнутой электрической цепи — напряжение сети;
- при разомкнутой электрической цепи — э.д.с. источника электрической энергии.



Пример. Электродвижущая сила элемента 1,8 В. Он замкнут на сопротивление $R = 2,7$ Ом. Ток в цепи равен 0,5 А. Определить внутреннее сопротивление R_0 и внутреннее падение напряжения U_0 .

$$R_0 + R = \frac{E}{I} = \frac{1,8}{0,5} = 3,6 \text{ Ом.}$$

Так как $R = 2,7$ Ом, то

$$R_0 = 3,6 - 2,7 = 0,9 \text{ Ом;}$$

$$U_0 = IR_0 = 0,5 \times 0,9 = 0,45 \text{ В.}$$

Из решенного примера видно, что показания вольтметра, включенного на зажимы источника э.д.с., не остаются постоянными при различных условиях работы электрической цепи. При увеличении тока в цепи увеличивается также внутреннее падение напряжения. Поэтому, при неизменной э.д.с., на долю внешней сети будет приходиться все меньшее и меньшее напряжение.

3.7. Соединение проводников между собой. Первый закон Кирхгофа

Отдельные проводники электрической цепи могут быть соединены между собой последовательно, параллельно и смешанно.

Последовательным соединением проводников называется такое соединение, когда конец первого проводника соединен с началом второго, конец второго проводника соединен с началом третьего и т. д., рис. 3.21.

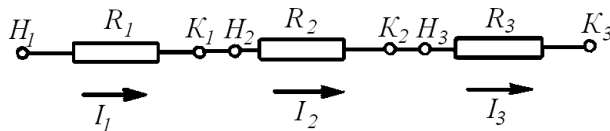


Рис. 3.21. Последовательное соединение проводников

Общее сопротивление цепи, состоящей из нескольких последовательно соединенных проводников, равно сумме сопротивлений отдельных проводников:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n.$$

Ток на отдельных участках последовательной цепи везде одинаков:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I.$$



Пример. На рис. 3.21 представлена электрическая цепь, состоящая из трех последовательно включенных сопротивлений $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = 5$ Ом. Требуется определить падение напряжения на зажимах цепи и напряжение на сопротивлениях, если ток в цепи равен 4 А.

Сопротивление всей цепи

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 2 + 3 + 5 = 10 \text{ Ом.}$$

По закону Ома напряжение на зажимах цепи равно току цепи, умноженному на ее сопротивление:

$$U = IR = 4 \cdot 10 = 40 \text{ В.}$$

Следовательно, вольтметр, присоединенный к зажимам H_1 и K_3 покажет напряжение 40 В.

В сопротивлении R_1 при протекании тока будет падение напряжения:

$$U_1 = IR_1 = 4 \cdot 2 = 8 \text{ В.}$$

Следовательно, вольтметр, присоединенный к зажимам H_1 и K_1 покажет напряжение 8 В.

В сопротивлении R_2 также происходит падение напряжение:

$$U_2 = IR_2 = 4 \cdot 3 = 12 \text{ В.}$$

Вольтметр, присоединенный к зажимам H_2 и K_2 покажет напряжение 12 В.

Падение напряжения в сопротивлении R_3 :

$$U_3 = IR_3 = 4 \cdot 5 = 20 \text{ В.}$$

Вольтметр, присоединенный к зажимам H_3 и K_3 , покажет напряжение 20 В.

Если вольтметр присоединить одним концом к зажиму H_1 , а другим концом к зажиму K_2 , то вольтметр покажет разность потенциалов между эти точками или сумму падений напряжения в сопротивлениях R_1 и R_2 ($8 + 12 = 20$ В).

Так как при последовательном соединении ток цепи на всех участках одинаков, то падение напряжения пропорционально сопротивлению данного участка, а общее напряжение цепи равно сумме падений напряжения на отдельных участках цепи

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n.$$

Параллельным соединением проводников называется такое соединение, когда начала всех проводников, соединяются в одну точку, а концы проводников — в другую точку, рис. 3.22. Начало цепи присоединяется к одному полюсу источника напряжения, а конец цепи — к другому полюсу.

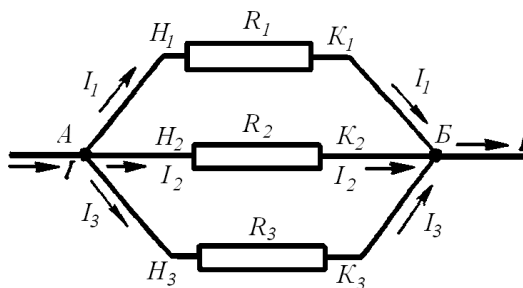


Рис. 3.22. Параллельное соединение проводников

Из рисунка видно, что при параллельном соединении проводников для прохождения тока имеется несколько путей. Ток протекая к точке разветвления A , растекается далее по трем сопротивлениям и равен сумме токов, уходящих от этой точки:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

или другими словами:



Сумма токов, направленных к точке разветвления, равна сумме токов, направленных от нее. Это первый закон Кирхгофа.

Перенеся токи в одну часть равенства, получим:

$$I + I_1 + I_2 + I_3 = 0,$$

т. е.



Алгебраическая сумма токов для любой узловой точки цепи всегда равна нулю.

Обычно при расчете электрических цепей направления токов в ветвях, присоединенных к какой либо точке разветвления, неизвестны. Поэтому для возможности самой записи уравнения первого закона Кирхгофа нужно перед началом расчета цепи произвольно выбрать так называемые положительные направления токов во всех ветвях и обозначить их стрелками на схеме.

Пользуясь законом Ома, можно вывести формулу для подсчета общего сопротивления при параллельном соединении потребителей.

Общий ток, приходящий к точке A , равен (см. рис. 3.22):

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

Токи в каждой из ветвей имеют значения

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U}{R_3}.$$

По первому закону Кирхгофа:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

или

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}.$$

Вынося U в правой части равенства за скобки, получим:

$$\frac{U}{R} = U \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right).$$

Сокращая обе части равенства на U , получим формулу подсчета общей проводимости:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \text{или} \Leftarrow g = g_1 + g_2 + g_3.$$

Таким образом, при параллельном соединении увеличивается не сопротивление, а проводимость. Если привести эту формулу к общему знаменателю, то получим:

$$\frac{1}{R} = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 R_2 R_3},$$

откуда эквивалентное сопротивление цепи

$$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}.$$

Следует заметить, что при подсчете общего сопротивления разветвления оно всегда получается меньше, чем самое меньшее сопротивление, входящее в разветвление.

Если сопротивления, включенные параллельно, равны между собой, то общее сопротивление R цепи равно сопротивлению ветви R_1 , деленному на число ветвей n :

$$R = \frac{R_1}{n}.$$



Пример. Пусть требуется определить токи в каждой ветви при параллельном их соединении, если общий ток в цепи $I = 22$ А, а сопротивления ветвей — $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = 4$ Ом; $R_3 = 6$ Ом, см. рис. 3.22.

Найдем общее сопротивление цепи:

$$g = g_1 + g_2 + g_3 = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{6+3+2}{12} = \frac{11}{12} \text{ Сим.}$$

отсюда

$$R = \frac{12}{11} = 1,09 \text{ Ом.}$$

Теперь все разветвления можно представить как одно эквивалентное сопротивление равное 1,09 Ом.

Падение напряжения на участке между точками A и B будет:

$$U = IR = 22 \cdot 1,09 \approx 24 \text{ В.}$$

Из схемы приведенной на рисунке видно, что все три сопротивления находятся под напряжением 24 В, так как они включены между точками A и B .

Рассматривая первую ветвь разветвления с сопротивлением R_1 , мы видим, что напряжение на этом участке 24 В, сопротивление участка 2 Ом. По закону Ома для участка цепи ток на этом участке будет:

$$I = \frac{U}{R_1} = \frac{24}{2} = 12 \text{ А.}$$

Ток во второй ветви

$$I = \frac{U}{R_2} = \frac{24}{4} = 6 \text{ А.}$$

Ток в третьей ветви

$$I = \frac{U}{R_3} = \frac{24}{6} = 4 \text{ А.}$$

Проверим по первому закону Кирхгофа

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 12 + 6 + 4 = 22 \text{ А.}$$

Следовательно, задача решена верно.

Как видно из примера, сопротивление первой ветви в два раза меньше сопротивления второй ветви, а ток первой ветви в два раза больше тока второй ветви. Сопротивление третьей ветви в три раза больше сопротивления первой ветви, а ток третьей ветви в три раза меньше тока первой ветви.

Отсюда можно сделать вывод, что токи в ветвях при параллельном соединении распределяются обратно пропорционально сопротивлениям этих ветвей. Таким образом, по ветвям с большим сопротивлением потечет ток меньший, чем по ветвям с малым сопротивлением.

Для двух параллельных ветвей можно также, конечно, пользоваться данной выше формулой. Однако общее сопротивление в этом случае легче подсчитать по формуле:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Рассмотрим распределение токов в более сложных цепях. Пусть, например, требуется найти токи во всех частях цепи, представленной на рис. 3.23. Эта цепь содержит как последовательное, так и параллельное включение сопротивлений.

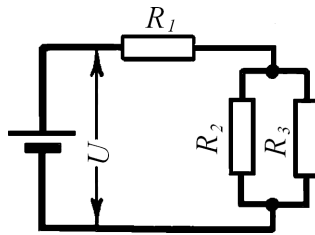


Рис. 3.23. Смешанное соединение сопротивлений

Смешанным соединением проводников называется такое соединение, где имеются и последовательное и параллельное соединение отдельных проводников.

К решению задачи можно подойти так: по правилу, выведенному выше, заменим параллельные ветви одним равноценным сопротивлением. Затем сложим это сопротивление с сопротивлением неразветвленного участка цепи, т. е. с последовательно включенным сопротивлением.

Разделив напряжение на общее сопротивление, мы найдем ток в неразветвленной части цепи. Умножив этот ток на сопротивление, равноценное сопротивлению параллельных ветвей, мы найдем ту часть напряжения, которая будет приложена к точкам разветвления. Деля это напряжение по очереди на сопротивление каждой из параллельных ветвей, мы найдем протекающие по ним токи.



Пример. Пусть источник напряжения U имеет напряжение 250 В, а его цепь состоит из последовательно включенного сопротивления $R_1 = 26$ Ом, вслед за которым включены параллельные между собой сопротивления $R_2 = 60$ Ом и $R_3 = 40$ Ом, рис. 3.23.

Решение. Сопротивление, равноценное двум параллельным ветвям:

$$R_{2,3} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{40 \cdot 60}{40 + 60} = 24 \text{ Ом.}$$

Сложив это сопротивление с последовательно включенным сопротивлением $R_1 = 25$ Ом, получим общее сопротивление цепи, соединенной с источником тока:

$$R = R_1 + R_{2,3} = 26 + 24 = 50 \text{ Ом.}$$

Деля напряжение источника питания на это общее сопротивление, найдем ток в неразветвленной части цепи

$$I_{\text{общ}} = \frac{U}{R} = \frac{250 \text{ В}}{50 \text{ Ом}} = 5 \text{ А.}$$

Произведение тока на равноценное сопротивление двух параллельных ветвей равно

$$IR_{1,2} = 5 \text{ А} \cdot 24 \text{ Ом} = 120 \text{ В.}$$

Это и есть напряжение на параллельных ветвях. Ток в первой из них

$$I_2 = \frac{120 \text{ В}}{60 \text{ Ом}} = 2 \text{ А.}$$

Ток во второй ветви

$$I_3 = \frac{120 \text{ В}}{40 \text{ Ом}} = 3 \text{ А.}$$

3.8. Цепь с двумя источниками тока

До сих пор во всех рассмотренных примерах мы имели дело с цепью, внутри которой включен только один источник тока. Рассмотрим теперь пример цепи, в которой сразу включено два источника тока.

Две батареи включены так, как показано на рис. 3.24. Электродвижущая сила первой батареи $E = 12$ В, э.д.с. второй — $E = 9$ В.

Сопротивления, обозначенные на рисунке буквами R_1 и R_2 , представляют собой внутренние сопротивления первой и второй батареи. Пусть эти сопротивления равны 0,5 Ом. Кроме того, между зажимами батарей включено сопротивление, равное 2 Ом.

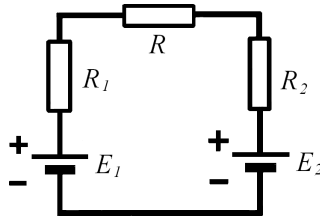


Рис. 3.24. Электрическая цепь с двумя источниками тока

Спрашивается: чему равен ток в рассматриваемой цепи и чему равны напряжения на зажимах первой и второй батареи?

Прежде всего, необходимо обратить внимание на то, в какой последовательности соединены батареи. Иначе говоря, в каком направлении стремится посылать ток первая батарея и в каком направлении стремится посылать ток вторая батарея.

Встречное включение. Знаки «+» и «-», поставленные около батарей, показывают нам, что первая батарея стремится посылать ток так, чтобы он протекал по ходу часовой стрелки. Напротив, вторая батарея стремится посылать ток в направлении, прямо противоположном.

Если бы э.д.с. батарей при их встречном включении были одинаковы, ток в цепи вовсе бы не мог протекать. Но в нашем примере э.д.с. первой батареи больше, и в цепи ток идет в том направлении, в каком его посылает первая батарея. Чему же равен этот ток?

Электродвижущая сила первой батареи должна теперь расходоваться не только на преодоление сопротивления проводов, но и на уравнивание встречной э.д.с., развиваемой второй батареей. В итоге в цепи будет протекать ток, равный по величине току, который мог бы создаваться э.д.с., равной разности э.д.с. первой и второй батарей.

Эта разность равна:

$$E_2 - E_1 = 12 - 9 = 3 \text{ В.}$$

Общее сопротивление всех последовательно включенных участков цепи равно:

$$R_1 + R + R_2 = 0,5 + 2 + 0,5 = 3 \text{ Ом.}$$

Следовательно, ток равен:

$$I = \frac{3 \text{ В}}{3 \text{ Ом}} = 1 \text{ А.}$$

Теперь ответим на второй вопрос: чему равно напряжение на зажимах первой батареи?

Очевидно, оно равно э.д.с. первой батареи за вычетом того напряжения, которое теряется в сопротивлении этой батареи, т. е. за вычетом 0,5 В (ток равен 1 А и сопротивление $R_1 = 0,5 \text{ Ом}$). Иначе говоря, напряжение на зажимах первой батареи равно 11,5 В.

Напряжение на зажимах второй батареи будет меньше еще на величину напряжения, приходящегося на сопротивление, включенное между батареями.

Это напряжение равно 2 В (ток $I = 1$ А, сопротивление $R = 2$ Ом). Следовательно напряжение на зажимах второй батареи равно:

$$11,5 \text{ В} - 2 \text{ В} = 9,5 \text{ В}.$$

Это напряжение оказывается больше э.д.с. второй батареи. Правильно ли мы выполнили решение?

Да, правильно: ведь источником энергии является только первая батарея, ток во второй батарее течет в направлении, противоположном тому току, который посылала бы эта батарея, если бы она работала отдельно от первой.

Вторая батарея является теперь потребителем (а не производителем) электрической энергии, но таким потребителем, который обладает э.д.с. Из 9,5 В, подведенных к зажимам второй батареи, 9 В расходуется на преодоление ее э.д.с. и 0,5 В — на потерю напряжения на внутреннем сопротивлении этой батареи.

Согласное включение. Рассмотрим другой случай: две батареи включены согласно, т. е. так, что они обе стремятся повысить ток в одном направлении, рис. 3.25. Теперь картина получается иной: обе батареи стремятся посылать ток в одном направлении (по часовой стрелке), и действие их э.д.с. складывается. В итоге в цепи должен протекать ток, равный сумме э.д.с. двух батарей, деленное на общее сопротивление цепи.

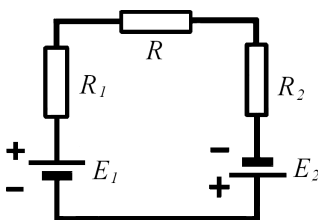


Рис. 3.25. Электрическая цепь с согласным включением источников тока

Пусть э.д.с. батарей и сопротивления цепи имеют прежние значения, в таком случае:

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R + R_2} = \frac{12 + 9}{0,5 + 2 + 0,5} = 7 \text{ А}.$$

3.9. Второй закон Кирхгофа

При расчете электрических цепей нам часто приходится встречаться с цепями, которые образуют сложные замкнутые контуры. В состав таких контуров, помимо сопротивлений, могут входить еще источники тока. Но все задачи на распределение токов в сложных цепях, сколько бы в таких цепях ни было источников тока и разнообразных ответвлений, могут быть решены на основании первого и второго закона Кирхгофа, если только известны все сопротивления и все э.д.с.

Второй закон Кирхгофа заключается в следующем.



Если обходить цепь тока и вновь вернуться в прежнюю точку, то какой бы путь обхода мы ни выбрали, сумма всех встреченных на пути э.д.с. должна быть равна сумме всех падений напряжений на отдельных участках (т. е. сумме всех произведений IR).

При этом, однако, речь идет об алгебраических суммах, т. е. о суммах, в которых отдельные слагающие могут оказаться отрицательными величинами. Отрицательные величины при этом, разумеется, должны вычитаться.

Электродвижущие силы, стремящиеся посылать ток в направлении нашего обхода, должны входить со знаком плюс, напротив, э.д.с., стремящиеся посылать ток в направлении противоположном нашему обходу, должны входить в сумму со знаком минус.

Точно так же произведения тока и сопротивления должны входить в нашу сумму со знаком плюс, если ток на соответствующем участке совпадает с направлением нашего обхода, и, напротив, со знаком минус, если ток на соответствующем участке направлен навстречу принятому обходу.

Направление обхода при этом может быть выбрано совершенно произвольно: изменение направления обхода вызовет изменение всех знаков в наших суммах. Справедливость равенства, написанного в соответствии со вторым законом Кирхгофа, не изменится.

Рассмотрим на примере сложной цепи (рис. 3.26), как нужно применять при расчетах законы Кирхгофа.

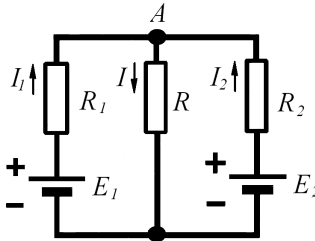


Рис. 3.26. Параллельная работа двух батарей

Две батареи с э.д.с. $E_1 = 12$ В и $E_2 = 9$ В и с внутренним сопротивлением $R_1 = 0,5$ Ом и $R_2 = 0,1$ Ом питают общего потребителя, имеющего сопротивление $R = 2,5$ Ом. Как в этом случае распределятся токи в ветвях цепи?

Пользуясь первым законом Кирхгофа, составляем такое равенство:

$$I_1 + I_2 = I,$$

так как к узловой точке A притекают токи I_1 и I_2 и утекает ток I .

Пользуясь вторым законом Кирхгофа, мы можем написать еще два равенства, обходя, например, нашу цепь один раз по внешнему пути (контур), составленному из двух батарей, а другой раз по внутреннему пути (контур), образованному первой батареей и потребителем. Если при этом мы будем обходить оба контура по часовой стрелке, мы придем к таким равенствам:

для внешнего контура

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2;$$

для внутреннего контура

$$E_1 = I_1 R_1 + IR.$$

Подставляя в эти уравнения известные нам числовые значения, получим:

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 &= I; \\ 12 - 9 &= 0,5I_1 = 0,1I_2; \\ 12 &= 0,5I_1 + 2,5I, \end{aligned}$$

т. е. систему из трех уравнений с тремя неизвестными токами: I_1 , I_2 и I .

Выразим значения тока I_2 при помощи первого и второго уравнений и приравняем друг к другу полученные результаты:

$$I_2 = I - I_1 = \frac{0,5I_1 - 12 + 9}{0,1} = 5I - 30.$$

Подставив в первое уравнение полученный результат, получим:

$$I = I_1 + I_2 = I_1 + 5I_1 - 30 = 6I_1 - 30.$$

Но из третьего уравнения можно найти, что

$$I = \frac{12 - 0,5I_1}{2,5} = 4,08 - 0,2I_1.$$

Приравнивая правые части обоих уравнений (левые части уравнений это ток I), получим:

$$6I_1 - 30 = 4,08 - 0,2I_1,$$

откуда

$$6,2I_1 = 34,08,$$

или $I_1 = 5,52$ А. После этого легко находится:

$$I = 6I_1 - 30 = 6 \cdot 5,52 - 30 = 3,12 \text{ А};$$

$$I_2 = I - I_1 = 3,12 - 5,52 = -2,1 \text{ А}.$$

Знак минус, в последнем уравнении, показывает, что ток во второй ветви идет в противоположном, а не в принятом направлении, т. е. вторая батарея является в этом случае потребителем (а не производителем) электрической энергии.

3.10. Конденсатор в электрической цепи

На рис. 3.27 показана цепь, содержащая батарею и конденсатор. После включения цепи, вольтметр, включенный в цепь, покажет полное напряжение батареи. Стрелка амперметра установится на нуле — ток через диэлектрик конденсатора протекать не может.

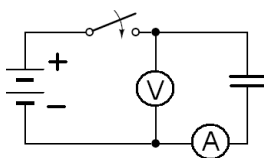


Рис. 3.27. Электрическая цепь с конденсатором

Но проследим внимательно за стрелкой амперметра при включении незаряженного конденсатора. Если амперметр достаточно чувствителен, а емкость конденсатора велика, то нетрудно обнаружить колебания стрелки: сразу после включения стрелка сойдет с нуля, а затем быстро вернется в исходное положение.

Этот опыт показывает нам, что при включении конденсатора (при его зарядке) в цепи протекал ток — в ней происходило передвижение зарядов: электроны с пластины, присоединенной к положительному полюсу источника, перешли на пластину, присоединенную к отрицательному полюсу.

Как только конденсатор зарядится, движение зарядов прекращается.

Отключая батарею и повторно замыкая ее на конденсатор, мы уже не обнаруживаем движения стрелки: конденсатор остается заряженным, и при повторном включении движения зарядов в цепи не происходит.

Для того чтобы вновь наблюдать отклонение стрелки, нужно замыкать батарею на разряженный конденсатор. С этой целью, предварительно отключив батарею, замкнем пластины конденсатора проволокой, при этом между клеммами конденсатора и подносимой к ним проволокой проскочит искра, тем самым легко убедиться, что при разряде конденсатора в его цепи опять же протекал ток.

Если замыкание проволокой произвести так, чтобы путь зарядов проходил через амперметр, легко увидеть, что его стрелка кратковременно отклонится. Отклонение стрелки теперь должно происходить, конечно, в другую сторону.

После разряда конденсатора можно повторить первый опыт — стрелка амперметра вновь покажет, что в цепи конденсатора передвигаются электрические заряды (проходит ток).

Попытаемся вычислить величину тока, протекающего в проводах, присоединенных к конденсатору.

Если за промежуток времени Δt напряжение конденсатора увеличилось на ΔU , то, значит, за это же время его заряд увеличился на

$$\Delta q = C \cdot \Delta U,$$

т. е. заряд конденсатора возрастает на произведение емкости и приращения напряжения.

Предположим, что напряжение на конденсаторе емкостью в $10 \text{ мкФ} = 10^{-5} \text{ Ф}$ возросло на 50 В ($\Delta U = 50 \text{ В}$) за время в одну десятую долю секунды ($\Delta t = 0,1 \text{ с}$). В таком случае за это же время заряд положительной пластины конденсатора увеличился на

$$\Delta q = 10^{-5} \text{ Ф} \cdot 50 \text{ В} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ к.}$$

Но для того чтобы такой заряд прошел по проводам за время $\Delta t = 0,1$ с, нужно, чтобы по ним протекал средний ток

$$I = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{0,1\text{с}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 5 \text{ мА}.$$

Зарядка конденсатора через сопротивление. Представим себе, что батарея с напряжением $U = 10$ В замыкается через сопротивление $R = 1000$ Ом на незаряженный конденсатор емкостью $C = 100$ мкФ, рис. 3.28.

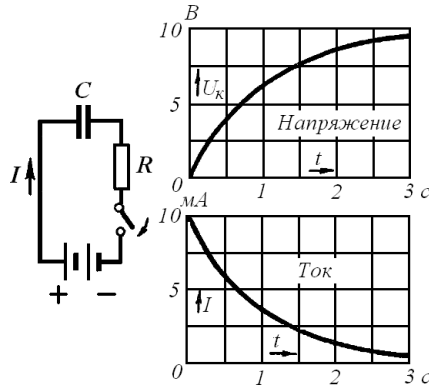


Рис. 3.28. Заряд конденсатора через сопротивление

В начальный момент, пока еще конденсатор не заряжен, его напряжение равно нулю. Значит, все напряжение источника ложится на сопротивление R . А это значит, что по закону Ома в цепи будет протекать ток

$$I_0 = \frac{U}{R} = \frac{10 \text{ В}}{1000 \text{ Ом}} = 10 \text{ мА}.$$

С течением времени, напротив, конденсатор зарядится, его напряжение будет равно напряжению батареи, в сопротивлении не будет тока, на нем не будет никакого напряжения. При этом заряд конденсатора должен быть равен

$$q = CU = 100 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \cdot 10 \text{ В} = 10^{-2} \text{ к}.$$

Поставим такой вопрос: как скоро заряд в одну сотую кулона может быть сообщен конденсатору?

Если бы в цепи ток не уменьшался, а оставался бы равным I_0 , т. е. 10 мА, то для этого потребовалось бы время, равное всего лишь 1 с.

$$\Delta t = \frac{q}{I_0} = \frac{10^{-2} \text{ к}}{10^{-1} \text{ А}} = 1 \text{ с}.$$

Но может ли долго протекать такой ток, как I_0 ? Если бы такой ток протекал четверть секунды, он уже сообщил бы конденсатору четверть полного заряда, а значит поднял бы его напряжение до четверти от полных 10 В.

Но когда напряжение конденсатора возросло до 2,5 В, ток, при этом, должен уменьшиться до 7,5 мА. В самом деле, напряжение батареи 10 В, а на конденсаторе 2,5 В, значит, только разность между ними приходится на сопротивление.

Опять же по закону Ома

$$I = \frac{10 \text{ В} - 2,5 \text{ В}}{1000 \text{ Ом}} = 7,5 \text{ мА}.$$

Но такой ток будет заряжать конденсатор медленнее, чем его заряжал ток 10 мА.

Из приведенного рассуждения ясно, что:

- нарастание напряжения на конденсаторе будет происходить, постепенно замедляясь;
- ток, достигая наибольшего значения в начальный момент, потом постепенно уменьшается;
- чем больше емкость (больше заряд) и чем больше сопротивление в цепи, тем медленнее происходит зарядка конденсатора.

На рис. 3.28 приведены кривые, показывающие, как происходит зарядка конденсатора.

Разряд конденсатора на сопротивление. Если отключить батарею и через сопротивление R замкнуть конденсатор, начнется процесс его разряда. На рис. 3.29 приведены кривые тока и напряжения конденсатора при его разряде.

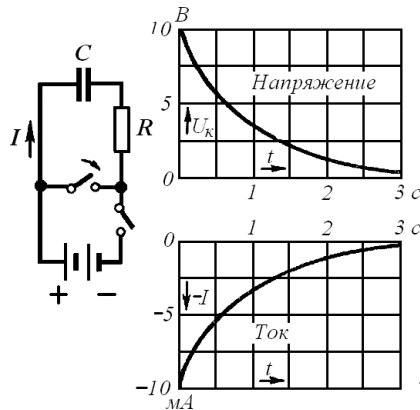


Рис. 3.29. Разряд конденсатора через сопротивление

Энергия электрического поля в конденсаторе. Заряженный конденсатор обладает определенным запасом энергии, заключенной в его электрическом поле.

Это можно заключить по тому, что заряженный конденсатор, отключенный от сети, способен некоторое время поддерживать электрический ток, об этом можно судить и по искре, наблюдаемой при разряде конденсатора.

Энергия, заключенная в конденсаторе, подводится к нему в то время, когда он заряжается от батареи, генератора и т. п. В самом деле, во время его зарядки в цепи течет ток и к его зажимам приложено напряжение, а значит, что

ему сообщается энергия. Полное количество энергии, запасенное конденсатором, может быть выражено формулой

$$W = \frac{U^2 C}{2}.$$

Энергия равна половине квадрата напряжения, умноженного на емкость.

Если напряжение выражено в вольтах, а емкость в фарадах, то энергия окажется выраженной в джоулях или ватт-секундах.

Так, энергия, запасенная в конденсаторе емкостью 100 мкФ при напряжении 100 В, равна:

$$W = \frac{100^2 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{2} = 5 \text{ Дж, или } 5 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

Это, конечно, не очень большая энергия (такая энергия поглощается лампочкой 5 Вт за 1 с). Но если конденсатор быстро разряжается (скажем, за одну тысячную долю секунды), то мощность происходящего разряда энергии, конечно, очень велика:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{5 \text{ Вт} \cdot \text{с}}{0,001 \text{ с}} = 5 \text{ кВт}.$$

Поэтому понятно, что при разряде большого конденсатора звук искры похож на хороший выстрел.

Быстрым разрядом энергии, запасенной в конденсаторе, иногда пользуются для сварки маленьких металлических изделий.

При разряде конденсатора на сопротивление энергия, заключенная в конденсаторе, переходит в тепло нагреваемого сопротивления.

3.11. Двухпроводная линия

Электрическая энергия от генератора (источника тока) к потребителю передается по проводам. Устройство, состоящее из прямого и обратного провода, изоляторов и опор называется электрической линией.

Электродвижущая сила и потеря напряжения. Проводниковая цепь внутри генератора так же, как и внешняя, обладает сопротивлением. Следовательно, часть того общего напряжения, которое создается в генераторе, тратится на преодоление сопротивления самого генератора, если только через генератор протекает ток.

Напряжение, теряемое в генераторе (потеря напряжения), равно произведению внутреннего сопротивления генератора и протекающего тока. Когда генератор нагружен током, напряжение на его зажимах меньше развиваемой им э.д.с. как раз на величину напряжения, теряемого в обмотке. Когда ток равен нулю, т. е. когда генератор не нагружен, напряжение на его зажимах равно его э.д.с.

Потеря напряжения имеет место не только внутри генератора, но и в проводах, соединяющих генератор с потребителем. Она равна произведению тока и сопротивления, т. е.

$$\Delta U = IR = I \frac{2l}{\rho S},$$

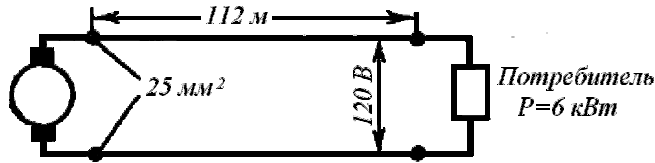
где ΔU — падение напряжения; $2l$ — длина двух проводов; ρ — удельное сопротивление провода; S — сечение провода.

При малой длине проводов сопротивлением их можно пренебречь. При большой длине их сопротивлением пренебрегать нельзя, так как при прохождении больших токов в линии будет значительное падение напряжения. Разность напряжения в начале и в конце линии $U_1 - U_2$, равная падению напряжения в линии, называется потерей напряжения, т. е.

$$U_1 - U_2 = \Delta U = IR.$$



Пример. Потребитель электроэнергии присоединен посредством проводов к генератору. Напряжение у потребителя $U = 120$ В. Потребляемая мощность $P = 6$ кВт (6000 Вт). Длина провода (в один конец) 112 м. Сечение провода $S = 25$ мм². Провода алюминиевые, их удельное сопротивление $\rho = 0,03$ Ом · мм²/м. Требуется найти напряжение на зажимах источника (генератора).



Решение. Зная мощность и напряжение потребителя, находим ток, текущий по проводам:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{6000 \text{ Вт}}{120 \text{ В}} = 50 \text{ А.}$$

Вычислим сопротивление проводов, общая длина которых (прямой и обратный путь тока) составляет

$$l = 2 \cdot 112 \text{ м} = 224 \text{ м.}$$

Находим:

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0,03 \frac{224}{25} = 0,27 \text{ Ом.}$$

Умножая ток на сопротивление проводов, вычислим потерю напряжения:

$$IR = 50 \text{ А} \cdot 0,27 \text{ Ом} = 13,5 \text{ В.}$$

Напряжение на зажимах генератора равно:

$$120 \text{ В} + 13,5 \text{ В} = 133,5 \text{ В.}$$

Вместе с потерей напряжения в проводах и внутри генератора происходит и потеря мощности.

Из выражения для мощности легко определить, что

$$\text{Потеря мощности} = \text{Ток} \times \text{Потеря напряжения.}$$

Зная потерю мощности и мощность, полезно передаваемую, нетрудно вычислить коэффициент полезного действия (к.п.д.):

$$\text{к.п.д.} = \frac{\text{Полезная мощность}}{\text{Полезная мощность} + \text{Потерянная мощность}}.$$

Чтобы выразить к.п.д. в процентах, полученный результат нужно еще умножить на 100.

3.12. Металлические проводники

Согласно современным представлениям кристалл металла состоит из положительных ионов и свободных электронов. Ионы металла располагаются на одинаковом расстоянии один от другого и образуют правильную фигуру кристаллической решетки. Внутри решетки, подобно молекулам газа в воздухе, хаотически двигаются свободные электроны.

В идеально правильной кристаллической решетке металла электроны двигались бы так же, как в пустоте. Однако включения посторонних примесей, искажающих решетку, а также тепловое движение атомов металла создают препятствия движению электронов. Часть электронов атомов металлов, покидая свои орбиты, может попасть в поле другого атома и, сталкиваясь с другими электронами, выбивать их со своих орбит, что приводит к образованию новых порций свободных электронов.

Электроны в атоме металла обладают не любыми, а только некоторыми, вполне определенными, значениями энергии (энергетические уровни). У большинства металлов заполненная и свободная зоны перекрываются, и между ними запретной зоны нет. Поэтому электроны металла легко переходят из заполненной зоны в свободную, что обуславливает высокую электропроводность металлов.

Если приложить к концам металлического проводника электродвижущую силу, то под действием электрического поля свободные электроны металла получат добавочную скорость, вызванную электрическим полем. С увеличением силы поля все большая и большая часть ранее хаотически двигавшихся электронов примет участие в направленном движении. В проводнике возникнет электрический ток.

Электроны при своем движении сталкиваются с составными частями атомов и молекул металла и передают им часть своей кинетической энергии, увеличивая их тепловое движение. В результате этого температура проводника повышается. Как было сказано выше, тепловое движение атомов металла затрудняет движение электронов. Следовательно, с увеличением температуры проводника электрическое сопротивление его увеличивается. Наличие примесей также приводит к увеличению сопротивления проводника.

3.13. Проводниковые материалы

Современная электротехника пользуется твердыми, жидкими и при соответствующих условиях газообразными проводниками. К твердым проводникам относятся металлы, их сплавы, контактные металлокерамические композиции и электротехнический уголь. К жидким проводникам относятся электролиты и расплавленные металлы. Газы в качестве проводников используются в ионных приборах.

Металлические вещества являются проводниками первого рода и характеризуются электронной проводимостью. Диапазон удельных сопротивлений металлических проводников весьма узок и составляет от $0,016 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ для серебра до $1,6 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ для жаростойких железохромоалюминиевых сплавов.

Электрическое сопротивление графита с увеличением температуры проходит через минимум с последующим постепенным повышением.

По роду применения проводниковые материалы подразделяются на группы:

- *проводники с высокой проводимостью* — металлы для проводов линий электропередачи и для изготовления кабелей, обмоточных и монтажных проводов для обмоток трансформаторов, электрических машин, аппаратуры, катушек индуктивности и т. п.;
- *конструкционные материалы* — бронзы, латуни, алюминиевые сплавы и т. п., применяемые для изготовления различных токоведущих частей;
- *сплавы высокого сопротивления* — предназначенные для изготовления дополнительных сопротивлений к измерительным приборам, образцовых сопротивлений и магазинов сопротивлений, реостатов и элементов нагревательных приборов, а также для изготовления термопар, компенсационных проводов и т. п.;
- *контактные материалы* — применяются для пар неразъемных, разрывных и скользящих контактов;
- *материалы для пайки* всех видов проводниковых материалов.

Кроме чисто электротехнических свойств, для проведения необходимой технологической обработки и обеспечения заданных сроков службы в эксплуатации, проводниковые материалы должны обладать достаточной нагревостойкостью, механической прочностью и пластичностью.

Медь. Чистая медь по электрической проводимости занимает следующее место после серебра, обладающего из всех известных проводников наивысшей проводимостью. Высокая проводимость и стойкость к атмосферной коррозии в сочетании с высокой пластичностью делают медь основным материалом для проводов.

На воздухе медные провода окисляются медленно, покрываясь тонким слоем окиси CuO , препятствующим дальнейшему окислению меди. Коррозию меди вызывают сернистый газ SO_2 , сероводород H_2S , аммиак NH_3 , окись азота NO , пары азотной кислоты и некоторые другие реактивы.

Проводниковую медь получают из слитков путем гальванической очистки ее в электролитических ваннах. Примеси, даже в ничтожных количествах, резко снижают электропроводность меди, делая ее малопригодной для проводников тока, поэтому в качестве электротехнической меди применяют лишь две ее марки М0 и М1.

Почти все изделия из проводниковой меди изготавливаются путем проката, прессования и волочения. Так, волочением могут быть изготовлены провода диаметром до 0,005 мм, ленты толщиной до 0,1 мм и медная фольга толщиной до 0,008 мм.

Проводниковая медь применяется как в отожженном после холодной обработки виде (мягкая медь марки ММ), так и без отжига (твердая медь марки МТ).

При температурах термообработки выше 900 °С вследствие интенсивного роста зерна механические свойства меди резко ухудшаются.

В целях повышения пластичности и термической устойчивости, медь легируют серебром в пределах 0,07—0,15 %, а также магнием, кадмием, цирконием и другими элементами.

Медь с присадкой серебра применяется для обмоток быстроходных и нагревостойких машин большой мощности, а медь легированная различными элементами, используется в коллекторах и контактных кольцах сильно нагруженных машин.

Латуни. Сплавы меди с цинком, называемые латунями, широко используются в электротехнике. Цинк растворяется в меди в пределах до 39 %.

В некоторых марках латуни содержание цинка может достигать до 43 %. Латуни содержащие до 39 % цинка обладают наибольшей пластичностью, поэтому из них изготавливают детали горячей или холодной прокаткой и волочением: листы, ленты, проволоку. Без нагрева из листовой латуни методом глубокой вытяжки и штамповкой можно изготовить детали сложной конфигурации.

Латуни с содержанием цинка свыше 39 % применяют главным образом для фасонных отливок. Эти латуни являются более твердыми и хрупкими и обрабатываются давлением только в горячем состоянии.

Присадка к латуням олова, никеля и марганца повышает механические свойства и антикоррозионную устойчивость, а добавки алюминия в композиции с железом, никелем и марганцем сообщают латуням кроме улучшения механических свойств и коррозионной стойкости высокую твердость. Однако присутствие в латунях алюминия затрудняет пайку, а проведение пайки мягкими припоями (оловянно-свинцовыми) становится практически невозможным.

Латуни марок Л68 и Л63 вследствие высокой пластичности хорошо штампуются и допускают гибку, легко паяются всеми видами припоев. В электромашиностроении широко применяются для различных токоведущих частей.

Латуни марок ЛС59-1 и ЛМ_ц58-2 применяются для изготовления роторных (беличьих) клеток электрических двигателей и для токоведущих деталей, изготовленных резанием и штамповкой в горячем состоянии; хорошо паяются различными припоями.

Латуни ЛА67-2,5 применяется для литых токоведущих деталей повышенной механической прочности и твердости, не требующих пайки мягкими припоями.

Латуни ЛК80-3Л и ЛС59-1Л широко применяются для литых токоведущих деталей электрической аппаратуры, для щеткодержателей и для заливки роторов асинхронных двигателей. Хорошо воспринимают пайку различными припоями.

Проводниковые бронзы. Проводниковые бронзы относятся к медным сплавам, необходимость применения которых в основном вызвана недостаточной в ряде случаев механической прочностью и термической устойчивостью чистой меди.

Характерной особенностью бронз является малая усадка по сравнению с чугуном и сталью и высокие литейные свойства, поэтому они применяются для отливки различных токоведущих деталей сложной конфигурации, предназначенных для электрических машин и аппаратов.

Общая номенклатура бронз весьма обширна, но высокой электропроводностью обладают лишь немногие марки бронз.

Кадмиевая бронза относится к наиболее распространенным проводниковым бронзам. Из числа всех марок кадмиевая бронза обладает наивысшей электрической проводимостью. Вследствие повышенного сопротивления истиранию и более высокой нагревостойкости эта бронза широко применяется для изготовления троллейных проводов и коллекторных пластин.

Бериллиевая бронза относится к сплавам, приобретающим прочность в результате старения. Обладает высокими упругими свойствами, устойчивыми при нагревании до 250 °С, и электрической проводимостью в 2—2,5 раза большей, чем проводимость других марок бронз общего назначения. Эта бронза нашла широкое применение для изготовления различных пружинных деталей, выполняющих одновременно и роль проводника тока, например: токоведущие пружины, отдельные виды щеткодержателей, скользящие контакты в различных приборах, штепсельные разъемы и т. п.

Фосфористая бронза обладает высокой прочностью и хорошими пружинными свойствами, из-за малой электропроводности применяется для изготовления пружинных деталей с низкими плотностями тока.

Характерной особенностью бронз является малая усадка по сравнению с чугуном и сталью и высокие литейные свойства, поэтому они применяются для отливки различных токоведущих деталей сложной конфигурации, предназначенных для электрических машин и аппаратов.

Литые токоведущие детали изготавливаются из различных марок машиностроительных литейных бронз с проводимостью в пределах 8—15 % проводимости чистой меди. Все марки бронз, предназначенных для литья, можно подразделить на оловянные и безоловянные. В безоловянных бронзах основными легирующими элементами являются: алюминий, марганец, железо, свинец и никель.

Алюминий. Характерными свойствами чистого алюминия является его малый удельный вес, низкая температура плавления, высокая тепловая и электрическая проводимость, высокая пластичность, очень большая скрытая теплота плавления и прочная, хотя и очень тонкая пленка окиси, покрывающая поверхность металла и защищающая его от проникновения кислорода внутрь.

Малая плотность делает алюминий основой легких конструкционных материалов. Большая пластичность позволяет применять к алюминию все виды обработки давлением и получать из него листы, прутки, проволоку, трубы, тончайшую фольгу, штампованные детали с глубокой вытяжкой и т. п.

Хорошая электрическая проводимость обеспечивает широкое применение алюминия в электротехнике. Так как плотность алюминия в 3,3 раза ниже,

чем у меди, а удельное сопротивление лишь в 1,7 раза выше, чем у меди, то алюминий, на единицу массы имеет вдвое более высокую проводимость, чем медь. Прочная пленка окиси, уже при комнатной температуре, быстро покрывает свежий срез металла, обеспечивая алюминию высокую устойчивость против коррозии в атмосферных условиях.

Сернистый газ, сероводород, аммиак и другие газы, находящиеся в воздухе промышленных районов, не оказывают заметного влияния на скорость коррозии алюминия. Действие водяного пара на алюминий также незначительно. В контакте с большинством металлов и сплавов, являющихся благородными по электрохимическому ряду потенциалов, алюминий служит анодом и, следовательно, коррозия его в электролитах будет прогрессировать. Чтобы избежать образования гальванопар во влажной атмосфере, место соединения алюминия с другими металлами герметизируется лакировкой или другим путем.

Длительные испытания проводов из алюминия показали, что они в отношении устойчивости против коррозии не уступают медным.

В табл. 3.3 приведены основные характеристики проводниковых материалов, а в табл. 3.4 дано сопротивление различных проводников по отношению к сопротивлению такого же проводника, но изготовленного из меди.

Таблица 3.3. Основные характеристики проводниковых материалов

Материал	Плотность, кг/м ³ · 10 ³	Температура плавления, °С	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, Ом · мм ² /м	Средний температурный коэффициент сопротивления от 0 до 100 °С, 1/град	Применение
Алюминий	2,7	660	0,026—0,028	$4 \cdot 10^{-3}$	Провода, кабели, шины, проводники короткозамкнутых роторов, корпуса и подшипниковые щиты малых электромашин
Бронза	8,3—8,9	885—1050	0,021—0,052	$4 \cdot 10^{-3}$	Кадмиевая бронза — контакты; фосфористая — пружины
Латунь	8,4—8,7	900—960	0,03—0,08	$2 \cdot 10^{-3}$	Контакты, зажимы
Медь	8,7—8,9	1080	0,0175—0,0182	$3 \cdot 10^{-2}$	Провода, кабели, шины
Олово	7,3	232	0,114—0,120	$4,4 \cdot 10^{-3}$	Припой для лужения и пайки в сплаве со свинцом
Свинец	11,34	327	0,217—0,222	$3,8 \cdot 10^{-3}$	Защитная обложка кабелей, вставки предохранителей, пластины аккумуляторов, припой в сплаве с оловом для лужения и пайки
Серебро	10,5	960	0,0160—0,0162	$3,6 \cdot 10^{-3}$	Контакты электроприборов и аппаратов
Сталь	7,8	1400	0,103—0,137	$62 \cdot 10^{-2}$	Шины заземления

Таблица 3.4. Сопротивление металлов или сплавов по сравнению с медью

Металл или сплав	Сопротивление по сравнению с медью
Серебро	0,9
Медь	1,0
Хром	1,6
Алюминий	1,67
Магний	2,8
Молибден	2,9
Вольфрам	3,6
Цинк	3,7
Латунь	4,5
Платина	5,5
Кобальт	6,0
Никель	6,5
Железо	7,7
Олово	8,5
Сталь	12
Свинец	13
Нейзильбер	17
Никелин	25
Манганин	26
Реотан	28
Константан	29
Чугун	30
Ртуть	60
Нихром	60
Уголь	15000

3.14. Сплавы высокого сопротивления

Сплавы высокого сопротивления делятся на три группы:

- сплавы для магазинов сопротивлений, различных эталонов, добавочных сопротивлений, шунтов;
- сплавы для сопротивлений и реостатов;
- сплавы для электронагревательных приборов и печей.

К сплавам первой группы предъявляются следующие требования: высокое удельное сопротивление, близкий к нулю температурный коэффициент сопротивления, постоянство сопротивления во времени; высокая стойкость к коррозии. К сплавам этой группы относятся сплавы на основе меди — манганин и константан.

Манганин отличается высоким удельным сопротивлением при малом температурном коэффициенте сопротивления, высокой стабильностью сопротивления во времени, высокой пластичностью и сопротивлением коррозии. Применяется для точных, образцовых сопротивлений.

В целях сохранения постоянства свойств сопротивлений рабочая температура их не должна превышать 60 °С. Для стабильности свойств манганина во времени он подвергается специальной низкотемпературной термической обработке с последующим длительным вылеживанием при комнатной температуре. Изготавливается манганин в виде проволоки и лент.

Менее прецизионным сплавом, чем манганин, является медно-никелевый сплав константан, который характеризуется очень малым температурным коэффициентом сопротивления, устойчивостью против коррозии, удовлетворительной жаростойкостью и высокими механическими свойствами.

Недостатком константана при применении его для изготовления образцовых сопротивлений является высокая термо-э.д.с. в паре с медью, в связи с чем он нашел широкое применение при изготовлении термопар для измерения температур до 900 °С.

Сплавы для сопротивлений и реостатов должны быть дешевыми, иметь большое удельное сопротивление и малый температурный коэффициент сопротивления. С этой целью для изготовления реостатов и других электротехнических приборов иногда применяют сплав, содержащий медь, никель и цинк — нейзильбер. Этот сплав дешевле, чем константан, однако проволока из нейзильбера вследствие содержания цинка после нагревания ее до 200—250 °С становится хрупкой.

При нагревании металла на его поверхности образуется оксидная пленка, которая должна предотвратить дальнейшее разрушение металла. Металлы: медь, железо и кобальт — имеют пористую оксидную пленку, поэтому при нагревании они быстро разрушаются. Такие металлы, как никель, хром и алюминий, покрываются при нагревании плотной оксидной пленкой, поэтому жаростойкие сплавы делают на основе этих металлов.

Жаростойкие сплавы помимо высокого удельного сопротивления и малого температурного коэффициента сопротивления должны обладать высоким пределом рабочей температуры, хорошо обрабатываться и быть достаточно механически прочными во всем диапазоне рабочих температур.

В настоящее время выпускаются окалиностойкие деформируемые жаростойкие сплавы девяти различных марок, которые можно подразделить на сплавы на основе хрома и никеля, называемые нихромом, и на жаростойкие сплавы на основе хрома — фехраль.

В табл. 3.5 приведены основные характеристики сплавов с большим удельным сопротивлением.

Таблица 3.5. Основные характеристики сплавов с большим удельным сопротивлением

Материал	Плотность, $\text{кг/м}^3 \cdot 10^3$	Температура плавления, °C	Наибольшая рабочая температура, °C	Удельное электрическое сопротивление при 20 °C, Ом · мм ² /м	Температурный коэффициент сопротивления при 20 °C, 1/град	Применение
Нихром	8,2	1360	1000	1,1	$1,7 \cdot 10^{-4}$	Лабораторные и промышленные печи с рабочей температурой до 900 °C
Фехраль	7,6	1450	850	1,2	$5 \cdot 10^{-5}$	Бытовые электронагревательные приборы и промышленные электропечи с рабочей температурой до 650 °C
Константан	8,8	1270	450—500	0,5	$(0,2—5) \cdot 10^{-3}$	Реостаты и резисторы приборов низкого качества точности. Нагревательные элементы с температурой до 450 °C
Манганин	8,3	940	250—300	0,46	$\pm(3—6) \cdot 10^{-5}$	Эталонные и образцовые сопротивления, магазины сопротивлений и сопротивления приборов высокой точности
Нейзильбер	8,4	1050	200—250	0,35	$2,9 \cdot 10^{-6}$	Реостаты

3.15. Контактные материалы

По роду работы различают три типа контактов: неподвижные, коммутрующие и скользящие.

Неподвижные контакты — зажимы, болтовые и винтовые соединения, скрутки, паяные и сваренные контакты. Качество зажимных контактов определяется их переходным сопротивлением, возникающим в местах непосредственного контакта. Улучшение поверхности и защита контактов от коррозии достигается путем пайки, сварки или покрытия коррозионно-устойчивыми хорошо проводящими металлами.

На воздухе при температурах до 75 °C все проводниковые металлы дают достаточно устойчивые переходные сопротивления. Важнейшим условием

при этом является обеспечение необходимых удельных давлений на контактную поверхность. Общей закономерностью для всех видов непаянных контактов является при прочих равных условиях обратная зависимость переходного сопротивления от нажатия. С повышением температуры за счет ускорения процесса коррозии переходное сопротивление резко возрастает, поэтому медные, алюминиевые и стальные контакты покрывают коррозионно-устойчивыми металлами.

При температуре 100–120 °С хорошо работают луженые, посеребренные или кадмированные контакты. Контакты из стали обязательно цинкуют или кадмируют.

Шинные контакты (обычно в виде полос), особенно при применении алюминия, рекомендуется зачищать стеклянной шкуркой под слоем вазелина, для меди и стали необходимо лужение оловянно-свинцовым припоем или чистым оловом.

Коммутирующие контакты. Материалы разрывных электрических контактов должны иметь малое удельное сопротивление и достаточно низкое и особенно стабильное переходное сопротивление, высокую стойкость против окисления, сваривания и эрозии, хорошую износоустойчивость и ряд технологических свойств.

Для изготовления маломощных разрывных контактов, применяемых главным образом в слаботочной технике, используют: металлы платиновой группы; золото и его сплавы; серебро и его сплавы; вольфрам, молибден и их сплавы.

Из электроосаждаемых контактов в виде тонких гальванических покрытий, работающих в отсутствие дуги, следует отметить серебро, золото, платину, палладий и особенно родий, сочетающий сравнительно низкое удельное сопротивление и очень высокую твердость.

Для изготовления мощных разрывных, а также прецизионных контактов в современной технике применяют различные металлокерамические композиции, так как использование металлов и их сплавов не дает достаточно удовлетворительных результатов. Металлокерамические контакты изготавливают из порошков металлов методом прессования из смеси заданного состава в форме уже готового изделия с последующим спеканием прессовок, повторным прессованием и отжигом.

Все марки контактов из металлокерамических композиций можно разбить на группы.

Контакты из композиции серебро—окись кадмия широко используются в технике низковольтного аппаратостроения, отличаются надежностью при повышенных токовых нагрузках и умеренных нажатиях на контакт. Обладают высокой износоустойчивостью, низким и стабильным переходным сопротивлением и повышенной дугостойкостью, но уступают по дугостойкости контактам из композиций с присадками вольфрама. Выпускаются для пайки и сварки с подслоем серебра.

Контакты из композиции серебро—окись меди обладают низким и устойчивым переходным сопротивлением, высокой электрической износоустойчивостью и сопротивлением привариванию. При высоких токовых нагрузках более

предпочтительны, чем контакты серебро—окись кадмия. Выпускаются для пайки и сварки с подслоем серебра.

Контакты из композиции серебро—никель устойчивы к электрическому износу, обладают низким и устойчивым переходным сопротивлением и применяются в низковольтной аппаратуре постоянного и переменного тока с умеренными нагрузками. Уступают контактам типа серебро—окись кадмия и серебро—окись меди по сопротивлению к привариванию, но более стойки, чем чистое серебро. Допускают пайку и сварку без подслоя серебра.

Контакты из композиции серебро—никель—графит. Присадка графита повышает дугостойкость и сопротивление привариванию и позволяет применять эти контакты в низковольтной аппаратуре со значительными нагрузками, а также в воздушных автоматических выключателях обычно в паре с контактами серебро—никель.

Контакты из композиции серебро—графит обладают высокой дугостойкостью, сопротивлением привариванию и устойчивостью к механическому истиранию. Электрическая стойкость и механическая прочность относительно невелики. Применяются в паре с контактами серебро—никель.

Контакты из композиции серебро—вольфрам высокоустойчивы к оплавлению, однако обладают повышенным переходным сопротивлением, возрастающим с увеличением присадки вольфрама. Применяются в воздушных высоковольтных выключателях в виде накладок на поверхности медных контактов.

Контакты из композиции серебро—кадмий—никель обладают более высокой электрической прочностью, чем контакты из серебра, и характеризуются особо стабильным и низким переходным сопротивлением. Применяются для низковольтных схем.

Контакты из композиции медь—вольфрам обладают высоким сопротивлением износу, привариванию и окислению при больших токовых нагрузках. В связи с повышенным переходным сопротивлением нашли себе применение в высоковольтных, преимущественно в масляных, выключателях в условиях сильного дугообразования.

Контакты из композиции медь—графит применяются для контактов, размыкающих токи в 30—80 кА. С целью гарантии от приваривания изготавливаются пористыми. Обладают невысокой прочностью. Рассчитываются на небольшое число отключений. Изготавливаются с медным подслоем.

3.16. Полупроводники

Свое название полупроводники получили оттого, что занимают промежуточное место между проводниками, обладающими большой электропроводностью, и изоляторами, которые почти не проводят электрического тока.

К полупроводникам относятся: окислы металлов (Al_2O_3 , Cu_2O , ZnO , TiO_2 , VO_2 , WO_2 , MO_3); сернистые соединения — сульфиды (Cu_2S , Ag_2S , ZnS , CdS , HgS); соединения с селеном — селениды; соединения с теллуром — теллуриды; некоторые сплавы (MgPb_2 , ZnSb , Mg_2Sn , CdSb , AlSb , InSb , ClSb); химические элементы — германий, кремний, теллур, селен, бор, сера, фосфор, мышьяк и т. п.).

Электрические свойства полупроводников резко отличаются от свойств проводников и изоляторов. Электропроводность полупроводников в сильной степени зависит от температуры, освещенности, наличия и интенсивности электрического поля, количества примесей.

При обычной температуре в полупроводниках есть некоторое количество свободных электронов, образовавшихся вследствие разрыва электронных связей. У полупроводников различают два вида проводимости: электронную и дырочную. Электронная проводимость осуществляется свободными электронами, а дырочная — передвижением связей, лишенных электронов.

Рассмотрим следующий опыт. Возьмем металлический проводник, и будем нагревать один его конец, тогда нагретый конец проводника получит положительный заряд, а холодный конец отрицательный заряд. Это объясняется перемещением электронов от горячего конца к холодному, в результате чего на горячем конце получается недостаток электронов (положительный заряд), а на холодном конце избыток электронов (отрицательный заряд).

Кратковременное протекание тока по проводнику было вызвано перемещением электронов с одного края на другой. Таким образом, здесь речь идет о проводнике с электронной проводимостью. Однако существуют вещества, которые при подобном опыте ведут себя иначе: Нагретый край такого вещества получает отрицательный заряд, а холодный край — положительный заряд. Это возможно, если предположить, что перенос тока осуществляется положительными зарядами.

Познакомимся с другим видом проводимости у полупроводников — дырочной проводимостью. В чистых полупроводниках все электроны, слабо связанные с ядрами, участвуют в электронных связях. На рис. 3.30а условно показана заполненная связь между двумя атомами вещества. «Дыркой» называется элемент кристаллической решетки вещества, потерявший электрон, что соответствует появлению положительного заряда, рис. 3.30б.

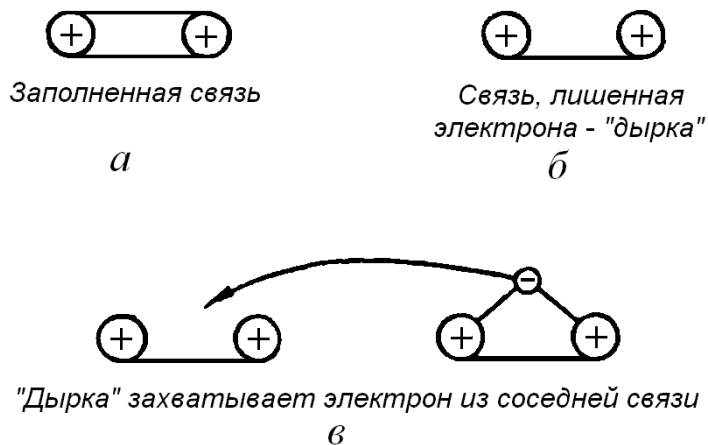


Рис. 3.30. Связь между атомами вещества

Освободившаяся связь может вновь оказаться заполненной, если «дырка» захватит электрон из соседней связи, рис. 3.30в. Это вызовет переход дырки

на новое место. В веществе полупроводника, находящегося в нормальных условиях, направление вылета электронов и место образования «дырки» носят хаотический характер.

Если к чистому полупроводнику приложить постоянное напряжение, то электроны и «дырки» будут перемещаться (первые против направления сил поля, вторые в противоположном направлении). Если число образовавшихся «дырок» будет равно числу освободившихся электронов, то, как это бывает у чистых полупроводников, проводимость получится невелика (собственная проводимость). Наличие даже небольшого количества посторонних примесей может изменить механизм электропроводности — сделать его электронным или дырочным.

Рассмотрим конкретный пример. В качестве полупроводника возьмем германий. В кристалле германия каждый атом связан с четырьмя другими атомами. При увеличении температуры или в результате облучения парные связи кристалла германия могут быть нарушены. При этом образуется равное количество электронов и «дырок».

Добавим к германию в качестве примеси мышьяк. Такая примесь обладает большим числом слабосвязанных электронов. Атомы примеси имеют свой энергетический уровень, располагающийся между энергетическими уровнями свободной и заполненной зон, ближе к последней.

Подобные примеси отдают свои электроны в свободную зону и называются донорными примесями. В полупроводнике окажется наличие свободных электронов, в то время все связи будут заполнены. Полупроводник будет обладать электронной проводимостью в свободной зоне.

Если теперь в качестве примеси к германию добавить не мышьяк, а индий, то произойдет следующее. Такая примесь обладает малым числом слабосвязанных электронов, а энергетический уровень примеси располагается между энергетическими уровнями свободной и заполненной зон, ближе к свободной зоне. Примеси этого рода принимают в свою зону электроны из соседней заполненной зоны и называются акцепторными примесями. В полупроводнике окажутся незаполненные связи — «дырки» при отсутствии свободных электронов. Полупроводник будет обладать дырочной проводимостью в заполненной зоне.

Теперь станет понятен опыт нагрева полупроводника, когда нагретый конец получил отрицательный заряд, а холодный конец — положительный заряд. Под действием тепла на горячем конце начнут разрушаться связи, возникнут «дырки» и свободные электроны. Если полупроводник содержит примеси, которые будут связывать свободные электроны, образуя при этом отрицательные ионы примеси, то дырки начнут переходить к холодному концу, заряжая его положительно, а нагретый конец полупроводника зарядится отрицательно.

Заканчивая рассмотрение полупроводников, делаем следующий вывод.

Добавлением к полупроводнику примесей можно придать ему преобладающую электронную или дырочную проводимость.

Полупроводники с электронной проводимостью называют полупроводниками *n*-типа (негативные), а с дырочной проводимостью — *p*-типа (позитивные).

3.17. Основные формулы цепей постоянного тока

Чтобы иметь все основные формулы у себя под рукой рекомендуем вырезать из плотного картона круг и нанести на него основные формулы, как на рис. 3.31.

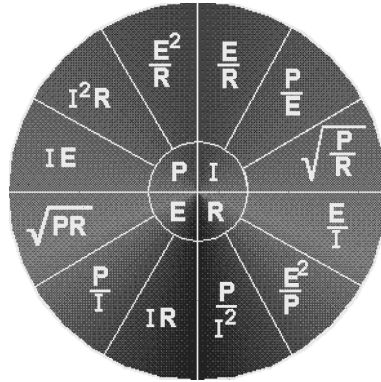
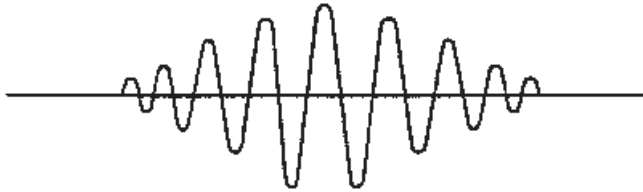


Рис. 3.31. Основные формулы цепей постоянного тока



Глава четвертая

ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА И ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ Э.Д.С.



4.1. Электролиз

Как было сказано выше, к числу проводников электрического тока наряду с металлами, их сплавами и углем относятся также растворы кислот, щелочей и солей. При прохождении тока через металлический проводник, в нем не произойдет ни каких изменений, как бы ни был велик ток и как бы долго он не протекал. Электрический ток в таких проводниках вызван движением свободных электронов вдоль проводника.

Ток, проходя по жидким проводникам, разлагает их на составные части. Поэтому жидкие проводники называются проводниками второго рода или электролитами в отличие от металлических проводников, которые называются проводниками первого рода. Разложение электролита под действием электрического тока называется электролизом.

Прделаем такой опыт. В сосуд с электролитом опустим две пластины (например, угольные), которые будут являться электродами. Присоединим отрицательный полюс источника постоянного тока к одному электроду (катоде), а положительный полюс — к другому электроду (аноду) и замкнем цепь. Явление электролиза будет сопровождаться выделением вещества на электродах. Как показывают опыты, при электролизе водород и металлы всегда выделяются на катоде. Отсюда следует, что прохождение тока по жидким проводникам связано с движением атомов вещества.

Что же представляет собой ток в электролитах?

Нейтральная молекула вещества, попадая в растворитель, распадается (диссоциируется) на части — ионы, несущие на себе равные и противоположные по знаку электрические заряды. Наряду с диссоциацией молекул в растворе происходит обратный процесс — воссоединения ионов в нейтральные молекулы.

Кислоты диссоциируют на положительно заряженные ионы водорода и отрицательно заряженные ионы кислотного остатка:



Щелочи диссоциируют на ионы металла и ионы водного остатка:



Соли диссоциируют на ионы металла и ионы кислотного остатка:



Если приложить к электродам постоянное напряжение, то между электродами образуется электрическое поле. Положительно заряженные ионы будут двигаться по направлению к катоду, отрицательно заряженные ионы — к аноду, рис. 4.1. Достигая электродов, ионы нейтрализуются.

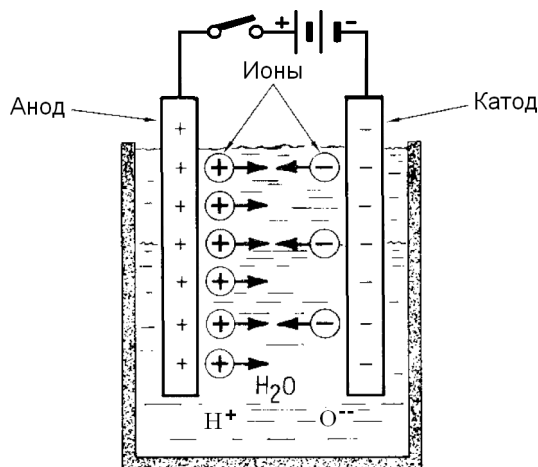


Рис. 4.1. Движение ионов в электрическом поле

Рассмотрим *электролиз воды*. В качестве электролита берется вода. Для лучшей проводимости в воду добавляют немного кислоты, щелочи или соли. При пропускании тока через ванну на обоих электродах (аноде и катоде) будет видно выделение газовых пузырьков. Если поместить над электродами опрокинутые пробирки с водой, то пузырьки газов будут подниматься вверх, вытесняя воду, рис. 4.2. Пробирка, покрывающая катод, наполнится газом вдвое быстрее, чем другая пробирка.

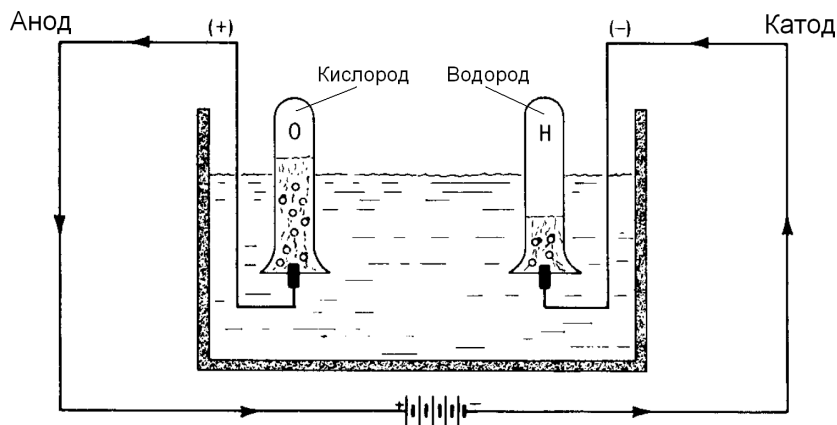


Рис. 4.2. Электролиз воды

Электролиз раствора медного купороса. Нальем в сосуд раствор медного купороса (сульфата меди) и в качестве электродов опустим две угольные пластины. Молекулы медного купороса распадаются на ионы Cu^{++} и SO_4^{--} . Подключим источник постоянного напряжения. Ионы начнут переходить к соответствующим электродам. Ион Cu^{++} , достигнув катода, получает от него электроны и в виде нейтральной молекулы меди оседает на угольной пластине.

Ион SO_4^{--} , подходя к аноду, отдает ему избыток электронов и превращается в нейтральный неустойчивый SO_4 , который распадается на SO_3 и O . Кислород будет выделяться на аноде, а SO_3 , вступая в соединение с водой, образует молекулу серной кислоты.

Количество меди, отлагаемой на аноде, с течением времени будет увеличиваться, а количество меди в растворе будет становиться меньше. Если же угольный анод заменить медной пластиной, то выделяющийся на аноде SO_4 , вступая в химическое соединение с веществом пластины дает вторичную реакцию, в результате которой получается молекула сульфата меди ($CuSO_4$).

В этом случае концентрация раствора не изменяется, но отложение меди на катоде сопровождается растворением медной пластины анода.

Из сказанного видно, что электрический ток в электролитах представляет собой движение заряженных частиц вещества — ионов. Таким образом, если металлические проводники обладают электронной проводимостью, то электролиты имеют ионную проводимость.

В проводниках второго рода, так же как и в проводниках первого рода, существует зависимость между напряжением (разностью потенциалов) и током, выраженная законом Ома.

Химические явления, подобные только что описанным, наблюдаются не только в растворе медного купороса. При протекании постоянного тока через растворы щелочей и кислот, через растворы любых солей протекают аналогичные химические превращения. Но если, например, взять опять тот же раствор медного купороса и присоединить его к источнику переменного тока, ток в электролите будет протекать и будет выделяться медь то на одной, то на другой пластине, причем на противоположной пластине в это же время будет происходить переход меди в раствор.

То ничтожное количество меди, которое успеет выделиться за одну сотую долю секунды, в следующий промежуток времени вновь будет переходить в раствор.

Электролиз широко применяется для получения чистых металлов, в частности, меди.

Для электролитической очистки меди (рафинирования) в ванны, заполненные электролитом, состоящим из подкисленного серной кислотой медного купороса, опускают тонкие медные пластины — катоды, на которых в процессе электролиза отлагается электролитическая медь. Анодом, который растворяется в электролите, служат пластины черновой меди, получаемой плавлением.

Гальванопластика, основы которой были разработаны в 1804 г. академиком Б. С. Якоби, представляет собой процесс осаждения металла на металлических или неметаллических изделиях, применяемый для получения копий с предметов имеющих сложную форму. Для получения копии (монет, медалей, барельефов и т. п.) делают слепки из какого-нибудь пластичного материала (например, воска). Для придания слепку электропроводности его покрывают графитовой пылью, погружают в ванну в качестве катода и получают на нем слой металла нужной толщины. Затем путем нагревания удаляют воск.

Гальваностегия — процесс покрытия металлического изделия слоем другого металла для защиты от коррозии или придания изделию красивого вида (хромирование, никелирование).

Предмет, предназначенный к гальваническому покрытию, тщательно очищают, полируют и обезжиривают, после чего в качестве катода погружают в гальваническую ванну. Электролитом служит раствор соли металла, которым осуществляется покрытие. Анодом служит пластина из того же металла.

Ток, пропускаемый через ванну, должен соответствовать величине покрываемой поверхности. Обычно при никелировании берут плотность тока, равную $0,4 \text{ А/дм}^2$. Для равномерного покрытия предмета его помещают между двумя анодными пластинами. После покрытия предмет вынимают из ванны, сушат и полируют.

Электрохимическое полирование — один из методов поверхностной обработки металлов. Он заключается в растворении всех выступов металла, вследствие чего поверхность становится зеркально гладкой.

4.2. Гальванические элементы

Химические источники тока, в которых происходят необратимые процессы преобразования химической энергии в электрическую, называются гальваническими элементами. Электрическая энергия, получаемая в этом случае, образуется за счет химических реакций, происходящих внутри элемента.

Рассмотрим принцип действия простейшего гальванического элемента. В сосуд с раствором серной кислоты (H_2SO_4) опустим цинковую пластину. Цинковая пластина в растворе кислоты начнет растворяться. Способность цинка легко отдавать свои электроны приводит к тому, что атом цинка, оставляя два своих электрона пластине, переходит в раствор в виде положительно-

го иона. Между цинковой пластиной и раствором возникнет некоторая разность потенциалов, которая приостанавливает дальнейшее растворение цинковой пластины.

Если опустить в раствор серной кислоты вторую цинковую пластину, то с ней произойдет то же, что и с первой пластиной. Потенциал обеих пластин будет одинаков, а разность потенциалов между ними будет равна нулю, рис. 4.3а. Опустим в раствор медную пластину. Обладая меньшей способностью растворения, медь по отношению к раствору будет иметь иную разность потенциалов, чем цинк. Теперь между медной и цинковой пластиной образуется разность потенциалов, рис. 4.3б.

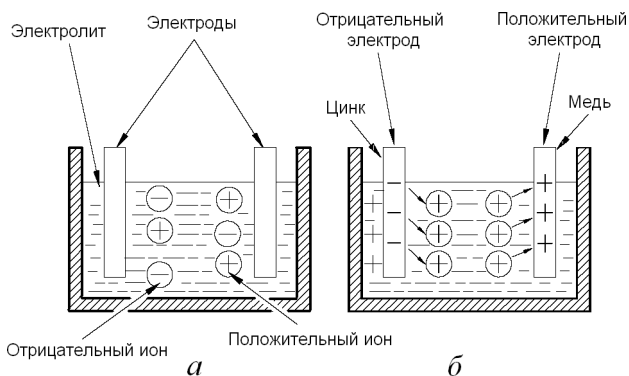


Рис. 4.3. Поведение различных пластин в растворе электролита

При замыкании полюсов элемента металлическим проводником электроны цинковой пластины будут переходить на медную пластину. Вследствие потери электронов потенциал между цинковой пластиной и раствором уменьшится и новая порция ионов цинка перейдет с пластины в раствор, причем сама пластина, при этом, обогатится электронами. Положительные ионы цинка, попав в раствор, соединяются с отрицательными ионами кислотного остатка SO_4^- и образуют молекулу сульфата цинка.

Положительный ион водорода H^+ , подходя к медной пластине, берет у нее свободный электрон и, нейтрализуясь, выделяется в виде пузырьков, покрывая медную пластину. В результате работы элемента цинковая пластина, растворяясь в кислоте, пополняется электронами, а медная пластина, отдавая электроны, сохраняет положительный заряд и покрывается пузырьками водорода.

Во внешней цепи происходит движение электронов от цинковой пластины к медной. Внутри электролита отрицательные ионы движутся от меди к цинку, а положительные ионы — от цинка к меди. Яркость лампочки включенной в цепь работающего медно-цинкового элемента (рис. 4.4), быстро уменьшается. Это объясняется тем, что медная пластина совместно с водородом, который покрывает эту пластину, образует своеобразную гальваническую пару, своего рода особый элемент, э.д.с. которого направлена против э.д.с. самого элемента. Это явление носит название поляризация.

Вследствие сильной поляризации медно-цинковый элемент не нашел себе применения на практике. К числу не поляризуемых элементов относит-

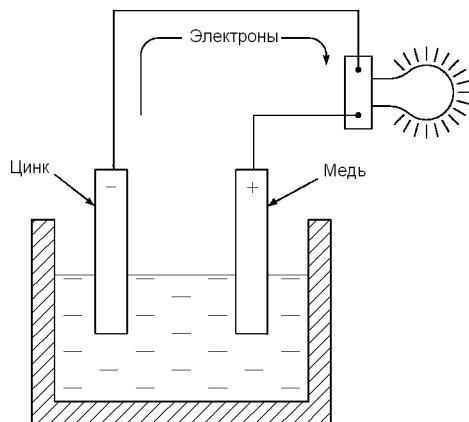
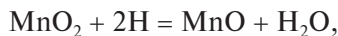


Рис. 4.4. Во внешней цепи батареи проходит ток, вызывая свечение лампочки

ся угольно-цинковый элемент. В качестве электродов у него служат угольный стержень и цинковый стакан, электролитом — раствор нашатыря (NH_4Cl). Угольный стержень опущен в мешочек с перекисью марганца, которая устраняет поляризацию и называется деполяризатором. Э.д.с. такого элемента 1,45 В. Во время работы угольно-цинкового элемента водород, выделяющийся из раствора, вступает в реакцию с перекисью марганца:



в результате чего получается вода, и поляризация элемента не происходит.

Обычно угольно-цинковые элементы выполняются в виде так называемых сухих элементов.

На рис. 4.5 изображен сухой элемент с марганцевой деполяризацией. Элемент помещен в цинковый стакан, который одновременно является отрицательным полюсом элемента. Стакан сверху оклеен картоном. В середине стакана находится угольный стержень, являющийся положительным полюсом элемента. Вокруг угольного стержня расположен деполяризатор, состоящий из размолотых зерен перекиси марганца, графита и сажи, замоченных в растворе нашатыря. Деполяризатор помещается в мешочек из миткаля. Для изоляции деполяризатора от цинка на дно цинкового стакана положена картонная прокладка.

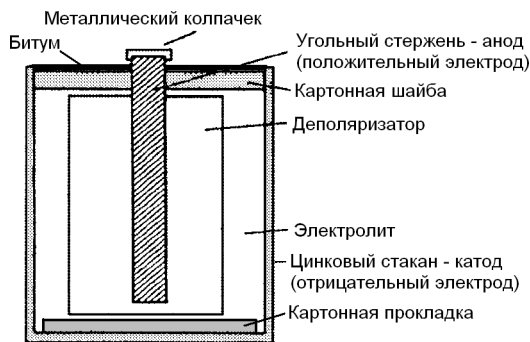


Рис. 4.5. Угольно-цинковый элемент с деполяризацией

Снаружи мешочек окружен пастообразным электролитом, состоящим из муки, пропитанной раствором нашатыря. Для предохранения пасты от загнивания в ее состав входит хлорид цинка. Вверху мешочек с деполяризатором прикрывают картонной прокладкой (шайбой), поверх которой заливают расплавленным битумом.

Количество электричества в ампер-часах, которое может отдать элемент при определенных условиях разряда, называется емкостью элемента. Испытания элементов показывают, что емкость их зависит:

- от величины разрядного тока: чем больше разрядный ток, тем меньшую емкость можно получить от элемента;
- от режима работы элемента (непрерывный, с перерывами);
- от температуры: чем ниже температура, тем меньше емкость элемента;
- от величины напряжения, до которого производится разряд.

4.3. Аккумуляторы

Химические источники тока, работоспособность которых после разряда можно восстановить путем заряда, т. е. путем пропускания тока в направлении обратном тому, который был при разряде, называются аккумуляторами.

При разряде аккумулятора происходит превращение химической энергии в электрическую, при заряде, наоборот, электрическая энергия превращается в химическую.

Конструктивное исполнение аккумуляторов может быть различным, но в основном аккумуляторы, как и гальванические элементы, состоят из двух электродов, разделенных слоем электролита. В настоящее время наибольшее распространение получили свинцовые (кислотные) и кадмиево-никелевые, железо-никелевые (щелочные) аккумуляторы.

Свинцовые (кислотные) аккумуляторы. Свинцовый аккумулятор состоит из двух блоков пластин, между которыми находятся прокладки, называемые сепараторами, рис. 4.6. Один блок образуется положительными пластинами, спаянными между собой при помощи свинцовой полосы. Другой блок состо-

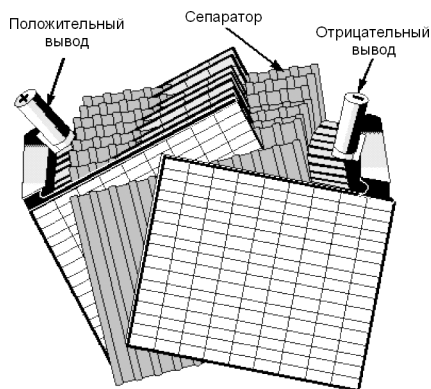


Рис. 4.6. Блоки пластин свинцового аккумулятора

ит из отрицательных пластин, расположенных между пластинами первого блока. Блоки с пластинами опущены в специальный сосуд с электролитом.

Пластины аккумулятора бывают поверхностные и массовые.

Поверхностные пластины изготавливаются из чистого свинца. Для увеличения площади поверхности пластин их делают ребристыми.

Массовые пластины представляют собой свинцовую решетку, в ячейки которой запрессовывают активную массу. Пластины после изготовления подвергаются специальной электролитической обработке — формовке. В результате чего на положительной пластине образуется перекись свинца, а на отрицательных пластинах — чистый (губчатый) свинец. По цвету пластины можно определить их полярность: положительная пластина имеет красновато-коричневый цвет, отрицательная — серый цвет.

Электролитом в аккумуляторе служит 25—35 % раствор серной кислоты. У заряженного аккумулятора активная масса положительной пластины — анода, состоит из перекиси свинца, а активная масса отрицательной пластины — катода, из губчатого свинца.

Заряженный аккумулятор, замкнутый на сопротивление, является источником питания. Такой режим работы аккумулятора называется разрядом.

При разряде перекись свинца и металлический свинец электродов переходят в сульфаты свинца с выделением воды. Это вызывает уменьшение концентрации электролита (снижение его плотности), его проводимости и э.д.с. аккумулятора.

При заряде реакция идет в обратном порядке.

Электродвижущая сила заряженного аккумулятора 2,2 В. При разряде напряжение на зажимах аккумулятора сначала быстро падает с 2,2 В до 2 В, а затем медленно до 1,8 В. Разряжать аккумулятор ниже 1,75—1,8 В нельзя во избежание его порчи, так как окись свинца пластин, соединяясь с серной кислотой, дает трудно-растворимый крупнозернистый сульфат свинца, что сильно понижает плотность раствора аккумулятора и затрудняет протекание химических реакций. Переход активной массы пластин в крупнозернистый сульфат называется сульфатацией.

При заряде через аккумулятор должен проходить ток, имеющий направление, противоположное току при разряде, поэтому положительный зажим (плюс) источника, от которого будет заряжаться аккумулятор, должен быть соединен с плюсом аккумулятора, а минус аккумулятора — с минусом источника.

При заряде напряжение на аккумуляторе сначала быстро растет до 2,2 В, а затем медленно до 2,3 В. Когда процесс заряда закончится, начинается выделение водорода, который в виде пузырьков поднимается на поверхность электролита (кипение аккумулятора). В это время напряжение достигает 2,6—2,7 В и заряд следует прекратить, отсоединив аккумулятор.

Количество электричества, которое можно получить от заряженного аккумулятора, называется его емкостью и измеряется в ампер-часах.

Отношение полученной от аккумулятора при разряде энергии, к затраченной при заряде, называется коэффициентом полезного действия. К.п.д. свинцовых аккумуляторов составляет 75—84 %.

При работе аккумулятора имеют место потери на саморазряд. Саморазряд вызывается случайными примесями в электролите, порождает дополнительные химические реакции и потерю энергии.

Щелочные аккумуляторы. Щелочные аккумуляторы состоят из двух блоков пластин, опущенных в закрытый стальной сосуд, наполненный электролитом, рис. 4.7.

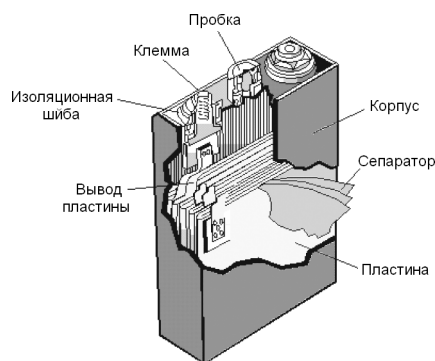


Рис. 4.7. Щелочной аккумулятор

Щелочные аккумуляторы бывают двух типов: кадмиево-никелевые (типа КН) и железо-никелевые (типа ЖН).

Активной массой положительных пластин для обеих типов щелочных аккумуляторов является гидрат окиси никеля. Для отрицательных пластин аккумуляторов типа КН активной массой является окись кадмия с железом, а для ЖН — химически чистое железо.

Пластины щелочных аккумуляторов представляют собой стальные никелированные рамки с ячейками, в которые помещают пакетики из тонкой (0,1 мм) никелированной перфорированной стали. В пакетики запрессовывается губчатая активная масса.

В железо-никелевых аккумуляторах число отрицательных пластин на единицу больше, чем положительных, и блок отрицательных пластин соединен с корпусом. В кадмиево-никелевых аккумуляторах число положительных пластин на единицу больше, чем отрицательных, и корпус соединен с блоком положительных пластин.

Сосудом щелочных аккумуляторов служит стальная сваренная коробка, в крышке которой имеются три отверстия: два для вывода зажимов и одно для заливки электролита и выхода газов.

Электролитом щелочных аккумуляторов является электролит едкого кали КОН с удельным весом 1,18—1,20.

При разряде щелочных аккумуляторов гидрат окиси никеля переходит в гидрат закиси никеля, а губчатое железо (кадмий) — в гидрат закиси железа (кадмия). При заряде реакция идет в обратном направлении.

В начале заряда щелочного аккумулятора на один элемент подается около 1,55 В, затем напряжение постепенно увеличивают и доводят его в конце заряда до 1,75—1,8 В.

Напряжение заряженного щелочного аккумулятора, отключенного от зарядного агрегата, составляет 1,25—1,3 В. Разряжать щелочной аккумулятор можно только до напряжения 1,0—1,1 В. При понижении температуры против нормальной (+25 °С) емкость щелочных аккумуляторов уменьшается на 0,5 % на каждый градус понижения температуры.

Внутреннее сопротивление щелочных аккумуляторов значительно выше, чем кислотных, поэтому, с одной стороны, они имеют более низкий к.п.д., а с другой, менее чувствительны к коротким замыканиям.

Щелочные аккумуляторы имеют следующие преимущества перед кислотными:

- обладают большой выносливостью и механической прочностью — не боятся сильных токов разряда, тряски, ударов, и даже коротких замыканий;
- при длительном бездействии несут малые потери на саморазряд и не портятся, имеют большой срок службы;
- при работе выделяют меньшее количество вредных газов и испарений;
- имеют меньший вес, чем свинцовые;
- менее требовательны в отношении постоянного квалифицированного ухода.

Недостатки щелочных аккумуляторов по сравнению со свинцовыми: меньшая э.д.с.; более низкий к.п.д. (52—55 %); более высокая стоимость.

4.4. Соединение источников питания

Если номинальные напряжение и ток потребителя превышают соответствующие величины источника питания, то последние соединяются для совместной работы последовательно, параллельно или группами, образуя батареи элементов.

Последовательное соединение — это такое соединение источников питания, когда минус каждого предыдущего элемента соединяется с плюсом последующего элемента. На рис. 4.8 представлено последовательное соединение 4 элементов.

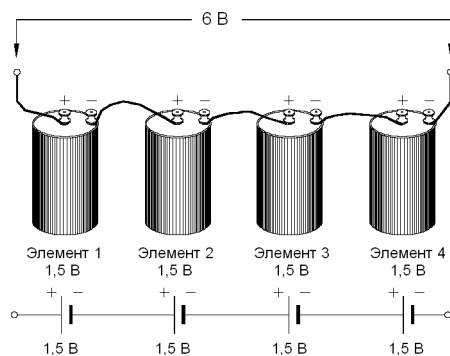


Рис. 4.8. Последовательное соединение элементов

Последовательное соединение применяют в том случае, если напряжение U потребителя больше э.д.с. отдельного элемента E_0 , а номинальный ток потребителя не превышает разрядного тока элемента.

При последовательном соединении элементы должны иметь одинаковые значения э.д.с и одинаковое направление их. В этом случае э.д.с. батареи:

$$E = nE_0,$$

внутреннее сопротивление ее:

$$R = nR_0,$$

а разрядный ток батареи равен разрядному току одного элемента.

Параллельное соединение. Если плюсы нескольких источников питания соединить между собой и вывести общий плюс, а минусы этих же источников питания также соединить между собой и вывести общий минус, то такое соединение будет называться параллельным. На рис. 4.9 представлено параллельное соединение 3 элементов.

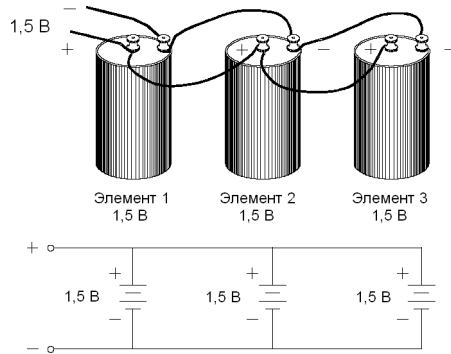


Рис. 4.9. Параллельное соединение элементов

Параллельное соединение применяется в том случае, если ток потребителя I больше разрядного тока элемента I_p , а напряжение потребителя равно напряжению элемента. При этом соединении э.д.с. батареи равна э.д.с. элемента:

$$E = E_0,$$

внутреннее сопротивление батареи:

$$R = \frac{R_0}{n},$$

а разрядный ток батареи равен разрядному току элемента, умноженному на число элементов:

$$I = I_0 n.$$

Обязательным условием для параллельного соединения источников питания является равенство их э.д.с., внутренних сопротивлений и емкостей, так

как иначе между отдельными элементами батареи будут протекать уравнивающие токи, вредные для батареи.

Смешанное (групповое) соединение. Комбинируя последовательное и параллельное соединения источников питания мы получим смешанное соединение. На рис. 4.10 представлено смешанное соединение 12 элементов состоящее из трех параллельных групп по четыре элемента в каждой группе.

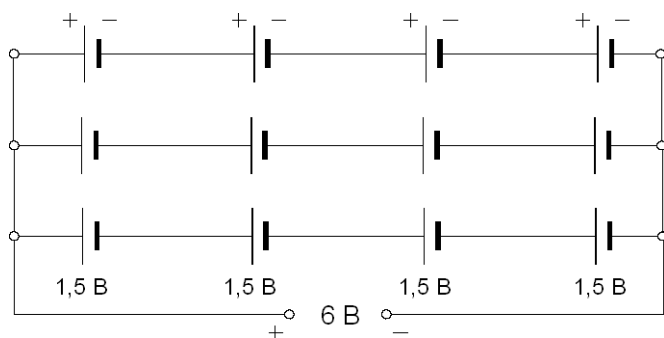
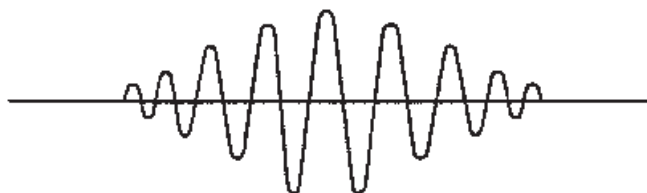


Рис. 4.10. Смешанное соединение элементов

Смешанное соединение применяется в том случае, если напряжение и ток потребителя больше напряжения и разрядного тока одного элемента.

Мы разобрали ряд случаев соединения источников э.д.с. Выясним теперь, какой способ соединения является наиболее экономичным с точки зрения максимальной отдачи мощности во внешней цепи. Математика дает ответ на этот вопрос. Оказывается, что для выделения во внешней цепи максимально полезной мощности необходимо равенство сопротивлений внутренней и внешней части цепи, т. е.

$$R = R_0.$$



Глава пятая

ТЕПЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА



5.1. Закон Джоуля — Ленца

Электрический ток в проводниках представляет собой направленное движение электронов. При столкновении движущихся электронов с ионами, атомами или молекулами вещества, кинетическая энергия движущихся электронов частично передается ионам, атомам или молекулам, вследствие чего происходит нагревание проводника. Таким образом, электрическая энергия преобразуется в тепловую, которая тратится на нагрев провода и рассеивается в окружающую среду.

Количество тепловой энергии, ежесекундно выделяющееся в проводнике сопротивлением R , когда по нему проходит ток I , или другими словами, скорость преобразования электрической энергии в тепловую, определяется мощностью и выражается формулой

$$\frac{\text{Тепловая энергия}}{\text{Время прохождения тока}} = \text{Ток} \times \text{Ток} \times \text{Сопротивление.}$$

Так как частное от деления энергии на время равно мощности, то

$$\text{Мощность} = \text{Ток} \times \text{Ток} \times \text{Сопротивление} \Rightarrow \text{или} \Leftarrow P = I \cdot I \cdot R.$$

Электрическая энергия, переходящая в тепловую,

$$W = Pt = I^2 Rt.$$

Так как $1 \text{ Дж} = 0,24 \text{ калории}$, то выделенное в сопротивлении тепло:

$$Q = 0,24I^2 Rt.$$

Нагревание проводов током служило предметом исследований Э. Х. Ленца. Независимо от него такие же исследования проводил Джоуль. Открытый ими закон и получил название Джоуля — Ленца.



Количество тепла, выделенного током в проводнике, пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени прохождения тока.

Преобразование электрической энергии в тепло находит полезное применение в разнообразных нагревательных устройствах и осветительных приборах и устройствах.

В остальных приборах и устройствах преобразование электрической энергии в тепловую является непроизводительным расходом энергии (потерями), снижающим к.п.д. их. Кроме того, тепло, вызывая нагревание этих устройств, ограничивает их нагрузку, а при перегрузке повышение температуры может привести к повреждению изоляции или сокращению срока работы установки.

5.2. Допустимый ток в проводе

Все проводники при прохождении по ним электрического тока нагреваются и отдают свое тепло в окружающую среду (воздуху, жидкости, твердому телу). Температура проводника будет повышаться до тех пор, пока количество, полученное проводником, не станет равным количеству тепла, отдаваемому проводником окружающей среде.

Трудно заметить нагревание провода сечением 4 мм^2 , когда по нему проходит ток 5 А . Но попробуйте пропустить через такой провод ток 200 А — провод очень скоро сильно нагреется. Если же взять провод сечением 120 мм^2 , то нагревание, которое в этом случае будет производить ток 200 А , будет также очень незначительно. Но нагревание проводов, хотя бы и слабое, все же обязательно сопутствует току. Чем больше ток в проводах, тем сильнее они нагреваются.

При нагревании провода приращение его температуры зависит от массы провода и количества выделившегося в нем тепла. Скорость отдачи тепла в окружающую среду пропорциональна разности температур провода и среды. В начале нагревания током температура провода и среды одинаковы, следовательно, в окружающую среду тепло почти не отдается, практически все тепло идет на нагревание провода, температура провода быстро растет.

С ростом температуры провода увеличивается разность температур провода и среды. Увеличивается отдача проводом тепла в окружающую среду, рост температуры провода замедляется. При некоторой температуре устанавливается равновесие между выделенным током теплом и отдаваемым проводом теплом в окружающую среду. Температура провода достигает установившегося значения.

Время нагрева до установившейся температуры неодинаково для различных устройств: от долей секунды для нити лампы накаливания до нескольких часов для электрических машин значительной мощности.

Нагрев провода допускается до определенных значений, определяемых родом и свойствами изоляции. Ток, при котором нагревание достигает допустимой температуры, называется допустимым током провода.

Нагревание проводов, предназначенных, например, для осветительной сети, должно быть невелико, так как иначе может разрушиться их изоляция и даже произойти пожар. По данным статистики, электропроводки являются наиболее пожароопасным видом электроустановок, так как на них приходится примерно 41 % всех пожаров, связанных с электрооборудованием и электроустройствами.

Пожарная опасность электропроводок характеризует два основных пожароопасных проявления электрического тока:

- способность самой электропроводки в определенных аварийных ситуациях (короткое замыкание, перегрузка и т. п.) стать источником пожара (воспламенение изоляции с последующим возгоранием поддерживающих конструктивных элементов);
- способность образовывать в момент короткого замыкания расплавленные частицы проводниковых металлов.

Наиболее распространенными причинами пожарной опасности электропроводок являются перегрузки и короткие замыкания.

Перегрузка — вид аварийного режима, возникающего вследствие подключения к электропроводке потребителей, номинальный ток которых превышает допустимый (по условиям нагрева) для данного сечения проводника.

Перегрузка проводов токами, превышающими длительно допустимые для данного сечения проводника, часто приводит к тепловому старению изоляции. Относительный срок службы изоляции определяется по эмпирическому «восьмиградусному» правилу, согласно которому повышение температуры проводника на 8 °С снижает срок службы изоляции вдвое.

Старение изоляции характеризуется уменьшением ее эластичности и механической прочности. Следствием этого могут быть электрический пробой изоляции и повреждение электроустановки, а при наличии горючей изоляции и пожароопасной среды — пожар или взрыв.

Короткое замыкание — это не предусмотренное нормальными условиями работы замыкание токоведущих частей или соединение их через ничтожно малое сопротивление. Ток короткого замыкания в десятки раз превышает допустимый ток и может вызвать механические и тепловые повреждения или разрушения отдельных участков проводов. Опасность пожара при коротком замыкании заключается в воспламенении изоляции в любом месте электропроводки из-за значительной величины тока короткого замыкания.

В целях экономии металла стараются пропускать по проводам наибольший ток, но для каждого проводника существует температура, выше которой проводники нельзя нагревать. Поэтому в зависимости от тока проходящего по проводам, материала проводов и изоляции, способа прокладки (от способа прокладки зависит отдача тепла в окружающую среду) выбирают сечение проводов, табл. 5.1—5.3.

Тепловой нагрев проводника не всегда является нежелательным. Тепловое действие электрического тока имеет многочисленное практическое применение, и тепло, выделяемое током, проходящим по проводнику, часто стараются получить в большом количестве. Ниже описаны некоторые случаи практического применения тепловых действий тока.

Таблица 5.1. Токовые нагрузки на провода и шнуры с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными и алюминиевыми жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки на провода, проложенные открыто, А	Токовые нагрузки на провода, проложенные в одной трубе, А						
		одножильные, при числе проводов					многожильные, при числе жил	
		2	3	4	5—6	7—9	2	3
0,5	11/—	—	—	—	—	—	—	—
0,75	15/—	—	—	—	—	—	—	—
1	17/—	16/—	15/—	14/—	11/—	11/—	15/—	14/—
1,5	23/—	19/—	17/—	16/—	15/—	14/—	18/—	15/—
2,5	30/24	27/20	25/19	25/19	20/16	19/15	25/19	21/16
4	41/32	38/28	35/28	30/23	24/20	21/18	32/25	27/21
6	50/39	46/36	42/32	40/30	34/26	31/25	40/31	34/26
10	80/60	70/50	60/47	50/39	54/37	50/35	55/42	50/38
16	100/75	85/65	80/60	75/55	68/54	63/50	80/60	70/55
25	140/105	115/85	100/80	90/70	95/72	88/66	100/75	85/65
35	170/130	135/100	125/95	115/85	—	—	125/95	100/75
50	215/165	185/140	170/130	150/120	—	—	160/125	135/105
70	270/210	225/175	210/165	185/140	—	—	195/150	175/135
95	330/255	275/215	255/200	225/175	—	—	245/190	215/165
120	385/295	315/245	290/220	260/200	—	—	295/230	250/190
150	440/340	360/275	330/255	—	—	—	—	—

Примечания. 1. При определении числа проводов, проложенных в одной трубе, нулевой рабочий провод четырехпроводной системы трехфазного тока в расчет не принимается.

2. Числитель — нагрузки для медных жил, знаменатель — для алюминиевых.

Таблица 5.2. Токовые нагрузки на кабели с медными и алюминиевыми жилами, с резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и негорючей резиновой оболочках, бронированные и небронированные при прокладке на воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки на провода и кабели, А		
	одножильные	двужильные	трехжильные
1,5	23/—	19/—	19/—
2,5	30/23	27/21	25/19
4	41/31	38/29	35/27
6	50/38	50/38	42/35
10	80/60	70/55	55/42
16	100/75	90/70	75/60
25	140/105	115/90	95/75

Окончание табл. 5.2

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки на провода и кабели, А		
	одножильные	двужильные	трехжильные
35	170/130	140/105	120/90
50	215/165	175/135	145/110
70	270/210	215/165	180/140
95	325/250	260/200	220/170
120	385/295	300/230	260/200
150	440/340	350/270	305/235
185	510/395	405/310	350/270
240	605/465	—	—

Примечания. 1. Числитель — нагрузки для медных жил, знаменатель — для алюминиевых жил.

2. Токовые нагрузки относятся к проводам и кабелям с заземляющей жилой и без нее.

Таблица 5.3. Допустимые токовые нагрузки на кабели с алюминиевыми жилами в пластмассовой изоляции, в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированные и небронированные

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Токовые нагрузки на провода и кабели, А									
	одножильные на воздухе	Двужильные		Трехжильные						
		на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	в траншее при количестве кабелей				
						2	3	4	5	6
2,5	23	21	34	19	29	27	26	25	25	25
4	31	29	42	27	38	35	34	33	33	32
6	38	38	55	32	46	43	41	40	40	39
10	60	55	80	42	70	65	63	61	60	59
16	75	70	105	60	90	84	81	78	77	76
25	105	90	135	75	115	107	104	100	99	98
35	130	105	155	90	140	130	126	122	120	119
50	165	135	205	110	175	163	156	152	150	149
70	210	165	245	140	210	195	189	183	180	178
95	250	200	295	170	255	237	230	228	219	217
120	295	230	340	200	295	274	265	257	254	250
150	340	270	390	235	335	312	302	291	288	285
185	390	310	440	270	385	358	347	335	331	327
240	465	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Для четырехжильных кабелей применять нагрузки, указанные для трехжильных

5.3. Источники света

Основную часть информации человек получает через органы зрения, и носителем этой информации является излучение, называемое светом. Благодаря действию светового излучения человек может не только воспринимать зрительные образы предметов, но и видеть окружающий его мир во всем разнообразии красок.

Современное общество немыслимо без повсеместного использования искусственного света. Осветительные установки создают необходимые условия освещения, которые обеспечивают зрительное восприятие (видение), дающее около 90 % информации, получаемой человеком из окружающего мира. Без современных средств освещения невозможна работа ни одного предприятия, особенно важную роль свет играет для работников шахт, рудников, предприятий имеющих здания без окон, метрополитена, многих взрыво- и пожароопасных производств. Без искусственного света не может обойтись ни один современный город, невозможно строительство, а также работа транспорта в темное время суток.

В настоящее время наиболее широкое применение для освещения получили лампы накаливания, люминесцентные и дуговые.

Лампа накаливания была изобретена русским ученым А. Н. Лодыгиным и впервые демонстрировалась им еще в 1873 г.

Принцип действия лампы накаливания основан на сильном нагревании проводника (нити накаливания) при прохождении по нему электрического тока. При этом проводник начинает испускать, кроме тепловой, еще и световую энергию. Чтобы нить накаливания не перегорала, ее помещают в стеклянную колбу из которой выкачан воздух.

Первоначально в качестве нити накаливания применялась угольная нить, полученная прокаливанием растительных волокон. Лампы с такой нитью излучали слабый желтоватый свет, потребляя большую мощность. Угольная нить, накаливаясь до температуры 1700 °С, постепенно выгорала, что приводило к сравнительно быстрой гибели лампы.

В настоящее время в лампах накаливания вместо угольной нити применяется нить, изготовленная из тугоплавких металлов — осмия или вольфрама, рис. 5.1. Вольфрамовая нить накаливаясь в пустотных лампах до 2200 °С, испускает более яркий свет и потребляет меньшую мощность, чем угольная нить.

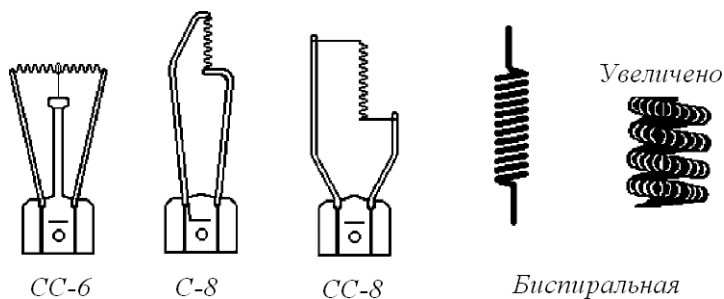


Рис. 5.1. Форма нити накала современных ламп накаливания

Выгорание нити накаливания уменьшается, если стеклянную колбу (баллон) лампы наполнить газом, не поддерживающим горения, например азотом или аргоном. Такие лампы получили название газополных. Температура нити при работе такой лампы достигает 2800°C .

Наполнение ламп газовой криптоно-ксеноновой смесью дает увеличение срока службы ламп на 30—40 %. Эти лампы имеют повышенную яркость, благодаря применению биспиральной нити накала, представляющей собой спираль, свернутую из спиральной проволоки.

Наша промышленность выпускает осветительные лампы накаливания на напряжение 12, 24, 36 и 220 В. Для специальных целей лампы изготавливаются на другие напряжения. На рис. 5.2 приведено устройство лампы накаливания.

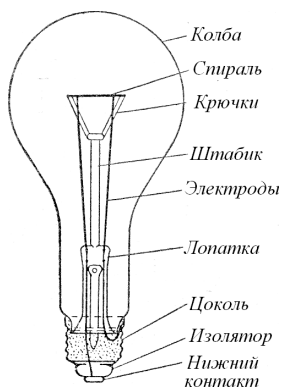


Рис. 5.2. Устройство лампы накаливания

Срок службы ламп накаливания зависит, главным образом, от распыления вольфрамовой нити. При высокой температуре накала нити вольфрам испаряется, оседая на стенках колбы, образуя темный налет, поглощающий световой поток. Нормальным сроком службы лампы считается 1000 часов ее работы.

Срок службы лампы, световой поток и световая отдача ее в очень большой степени зависят от напряжения сети (табл. 5.4), поэтому лампа должна работать при номинальном напряжении или при напряжении, незначительно отличающимся от номинального.

Лампы накаливания имеют очень низкий коэффициент полезного действия. В них превращается в световую энергию только 4—5 % всей потребляемой лампой электрической энергии. Остальная энергия превращается в тепло.

Перспективной разновидностью ламп накаливания являются галогенные лампы, которые все активнее приходят на смену существующим уже более 120 лет обычным лампам.

В состав газа, наполняющего эти лампы, вводятся галогены (фтор, хлор, бром или йод). За счет галогенов вольфрам, который в обычных лампах накаливания оседает на стенках колбы, постоянно восстанавливается на нити накала. Благодаря этому можно изготавливать лампы, в которых не происходит снижения светового потока за счет осаждения слоя металла на стенках колбы. В результате удастся получать компактные лампы, обладающие ярким и стабильным светом.

Таблица 5.4. Зависимость параметров ламп накаливания от фактически подводимого напряжения

Напряжение, %	Ток, %	Мощность, %	Сопротивление, %	Световой поток, %	Световая отдача, %	Срок службы, %
50	69	34	74	6,5	19	—
55	72	40	76	10	25	—
60	76	46	78	14,5	31	—
65	79	52	81	20,5	39	—
70	83	58	84	27	47	—
75	86	64	88	35	55	—
80	89	71	90	45	63	—
85	92	78	93	56	72	1000
90	95	85	95	70	82	500
92	96	88	96	75	85	350
94	97	91	97	81	89	260
96	98	94	98	86	92	200
98	99	97	99	93	96	130
100	100	100	100	100	100	100
102	101	103	101	107	104	75
104	102	107	102	115	107	60
106	103	110	102	122	111	40
108	105	114	103	129	113	—
110	106	117	103	137	117	—

Галогенные лампы отличаются от ламп общего применения особой компактностью, существенно более белым светом, улучшенной цветопередачей, двойным сроком службы. Современные галогенные лампы предлагают целый ряд существенных преимуществ:

- неизменно яркий свет в течение всего срока службы;
- красивый, сочный свет, обеспечивающий великолепную цветопередачу и возможность создания привлекательных световых эффектов;
- больше света при такой же мощности благодаря более высокой световой отдаче, а следовательно и повышенная экономичность;
- увеличенный срок службы;
- уменьшенные размеры.

Люминесцентные лампы. В последние десятилетия широкое распространение получили люминесцентные лампы, которые имеют ряд существенных преимуществ, в числе которых:

- высокая световая отдача, достигающая 75 лм/Вт;
- большой срок службы, достигающий у стандартных ламп до 10 000 ч;
- возможность иметь источники света различного спектрального состава при лучшей, для большинства типов ламп, цветопередаче, чем у ламп накаливания;

- относительно малая (хотя и создающая ослепленность) яркость, что в ряде случаев является достоинством.

Основными недостатками ламп являются:

- относительная сложность схемы включения;
- ограниченная единичная мощность и большие размеры при данной мощности;
- невозможность переключения ламп, работающих на переменном токе, на питание от сети постоянного тока;
- зависимость характеристики от температуры внешней среды; для обычных ламп оптимальная температура окружающего воздуха 18—25 °С; при отклонении температуры от оптимальной, световой поток и световая отдача снижаются;
- значительное снижение светового потока к концу срока службы — до 54 % номинального;
- вредные для зрения пульсации светового потока с частотой 100 Гц при переменном токе 50 Гц.

Люминесцентная лампа (рис. 5.3) состоит из стеклянной трубки 1, на концах которой укреплены цоколи 2, с вольфрамовыми биспиральными электродами 3, покрытыми пленкой окиси бария, облегчающей эмиссию электронов с поверхности спирали. После откачки воздуха в трубку вводится некоторое количество ртути и аргона.



Рис. 5.3. Люминесцентная лампа

Внутренняя поверхность трубки покрыта люминофором или смесью люминофоров. Смесью люминофоров светится в результате воздействия на нее ультрафиолетового излучения паров ртути, которое возникает при движении через них электронов под действием электрического поля, созданного между электродами.

Люминофоры в зависимости от их состава дают световой поток разных цветов. По цветности излучения люминесцентные лампы делятся: лампы дневного света — ДС; лампы белого света — БС; лампы холодного белого света — ХБС; лампы теплого белого света — ТБС. Лампы ДС и ХБС применяются для освещения работ, требующих безошибочного определения цветовых оттенков. Лампы БС и ТБС применяются при необходимости иметь цветность освещения, близкой к естественному.

На рис. 5.4 приведена маркировка отечественных люминесцентных ламп.

Люминесцентные лампы делятся на осветительные общего назначения и специальные. К люминесцентным лампам общего назначения относят лампы мощностью от 15 до 80 Вт с цветовыми и спектральными характеристиками, имитирующими естественный свет различных оттенков. Для классификации люминесцентных ламп специального назначения используют различные параметры. По мощности их разделяют на маломощные (до 15 Вт) и мощные



Рис. 5.4. Маркировка отечественных люминесцентных ламп

(свыше 80 Вт); по типу разряда — на дуговые, тлеющего разряда и тлеющего свечения; по излучению — на лампы естественного света, цветные лампы, лампы со специальными спектрами излучения, лампы ультрафиолетового излучения; по форме колбы — на трубчатые и фигурные; по светораспределению — с ненаправленным светоизлучением и с направленным, например, рефлекторные, шелевые, панельные и др.

У ламп с улучшенным качеством цветопередачи после букв, обозначающих цвет, стоит буква Ц, а при цветопередаче особо высокого качества — буквы ЦЦ. Маркировка ламп тлеющего разряда начинается с букв ТЛ.

Лампы дуговые ртутные высокого давления. Прямая ртутно-кварцевая горелка (трубка), находящаяся внутри баллона лампы (рис. 5.5), содержит дозированную капельку ртути и аргон при давлении 30 мм рт. ст. Горелка создает интенсивное ультрафиолетовое невидимое и голубовато-зеленое видимое излучение. Ультрафиолетовое излучение поглощается люминофором, которым

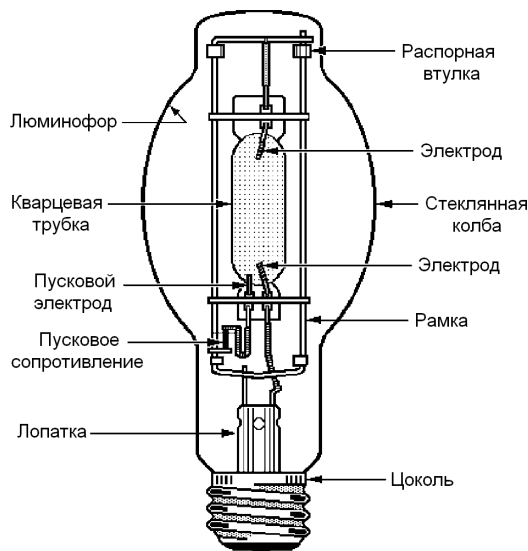


Рис. 5.5. Дуговая ртутная лампа высокого давления (ДРЛ)

покрыта внутренняя стенка баллона лампы, и превращается в видимый свет. Цвет суммарного излучения близок к белому. Доля красного излучения — 5–8 %.

Достоинствами газоразрядных ламп высокого давления являются: высокая световая отдача (до 55 лм/Вт); большой срок службы (10 000 ч); компактность; не критичность к условиям внешней среды (кроме очень низких температур).

Недостатками ламп следует считать:

- преобладание в спектре лучей сине-зеленой части, ведущее к неудовлетворительной цветопередаче, что исключает применение ламп в случаях, когда объектами различения являются лица людей или окрашенные поверхности;
- длительность разгорания при включении (примерно 7 мин) и начало повторного зажигания после даже очень кратковременного перерыва питания лампы лишь после остывания (примерно 10 мин);
- пульсации светового потока, больше чем у люминесцентных ламп;
- значительное снижение светового потока к концу срока службы.

Газоразрядные лампы высокого давления применяются для уличного освещения и освещения больших производственных площадей. Постепенно ртутные лампы большой мощности вытесняются натриевыми. Но при этом быстрыми темпами увеличивается число светильников с ртутными лампами мощностью 50, 80, 125 Вт, которые применяются для освещения дворов и парков.

Натриевые лампы высокого давления (рис. 5.6) имеют максимальную световую отдачу среди газоразрядных ламп. Основными областями применения являются освещение транспортных магистралей архитектурная подсветка, освещение для выращивания растений и внутреннее освещение на предприятиях тяжелой промышленности, кроме того, широко применяются для освещения спортивных сооружений, аэродромов, общественных сооружений и т. п. Очень большой срок службы и почти не изменяющиеся значения светового потока при длительных сроках службы делают эти лампы самыми экономичными газоразрядными лампами высокого давления.

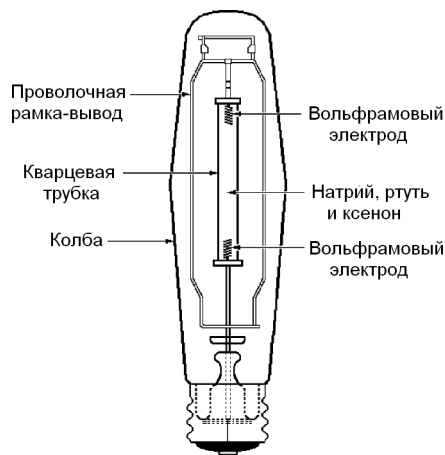


Рис. 5.6. Натриевая лампа высокого давления

5.4. Электрические нагревательные приборы

Электрические нагревательные приборы получили очень большое распространение в домашнем быту и в промышленности. Основной частью нагревательного прибора является нагревательный элемент. Под нагревательным элементом понимают нагревательное сопротивление, его изоляцию, каркас и защитную оболочку.

Нагреватели подразделяются на открытые, защищенные и герметичные. Открытые нагреватели передают тепло излучением и конвекцией. Нагреватели защищенного типа и герметичного исполнения передают тепло в основном конвекцией.

Наиболее широко распространены трубчатые электронагревательные элементы — ТЭНы (рис. 5.7), которые можно устанавливать почти во все нагревательные приборы. Однако во многих низкотемпературных приборах используют открытые спирали, защищенные самой конструкцией прибора, как более простые и дешевые.

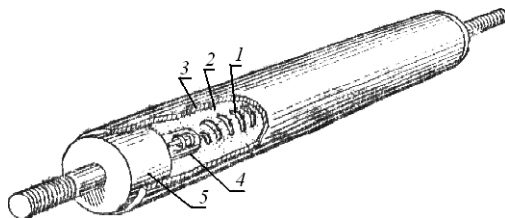


Рис. 5.7. Трубчатый электронагреватель (ТЭН): 1 — спираль; 2 — теплоизоляционный материал; 3 — металлическая трубка; 4 — токоведущий стержень; 5 — изоляционная втулка

Заводы серийно выпускают трубчатые электронагреватели диаметром трубки 9—16 мм с толщиной стенки — 0,8—1,5 мм и максимальной длиной до 6 м. Нагревательная спираль, как правило, изготавливается из проволоки сплава Х20Н80 и Х15Н60 диаметром 0,2—1,6 мм.

Внешняя трубка выполняется из стали Ст10 или 1Х18Н10Т, меди, латуни, алюминия. При изготовлении ТЭНы заполняют периклазом (плавная окись магния), затем обжимают и герметизируют. Трубке нагревателя можно придать любую желаемую форму при условии, что изгиб делается в холодном состоянии после отжига трубки, радиус изгиба не меньше 2,5 диаметров трубки. Спираль при этом сохраняет центральное положение в трубке.

Срок службы ТЭНов 10 000 часов, гарантийный срок 3000 часов.

Открытые спирали можно навить в тисках или на токарном станке, рис. 5.8. Спирали небольшого диаметра навивают в тисках на цилиндрической оправке. Диаметр оправки должен быть несколько меньше внутреннего диаметра спирали, так как спираль после снятия ее с оправки немного расхохотится, т. е. увеличивается в диаметре. На конце оправки делают прорезь шириной на 0,1—0,2 мм больше диаметра проволоки, из которой навивается спираль.

Конец нихромовой проволоки заправляют в прорезь и загибают проволоку под углом, для того чтобы она при навивке не соскочила с оправки. Оправку со вставленной в ее прорези проволокой зажимают в тисках между дере-

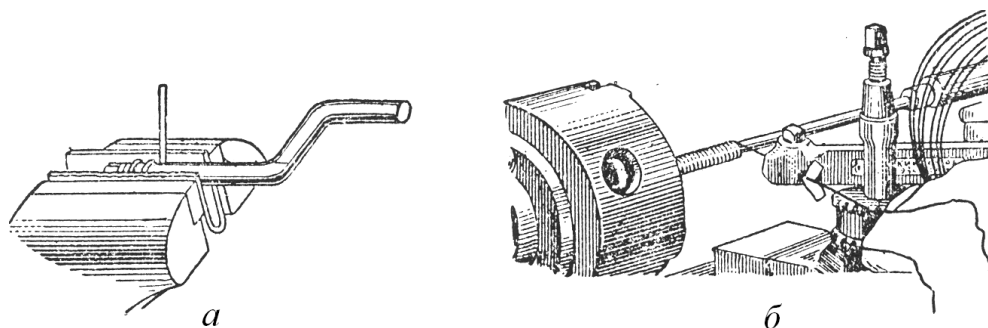


Рис. 5.8. Навивка пружины: *а* — в тисках с помощью изогнутого стержня; *б* — на токарном станке

вянными или свинцовыми нагубниками (зажим должен быть такой силы, чтобы оправка могла туго вращаться в нагубниках) и, придерживая левой рукой проволоку, начинают правой рукой вращать оправку при помощи рукоятки.

Закончив навивку спирали, откусывают конец проволоки острогубцами. Затем отрезают противоположный конец проволоки, вставленный в оправку.

Зная температуру и мощность спирали, размеры проволоки можно подобрать из табл. 5.5.

Таблица 5.5. Выбор нихромовой проволоки в зависимости от температуры и мощности спирали

Температура, °С			Мощность и длина проволоки	Диаметр нихромовой проволоки, мм											
Спираль в изоляции из периклаза в канавках конфорки	Спираль в керамической изоляции пластинчатого элемента	Открытой спирали, в воздухе		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
916	—	600	кВт	0,58	0,82	1,19	1,46	1,75	2,07	2,4	2,66	3,02	3,36	3,74	4,08
			м	7,5	8,6	9,6	10,7	11,6	12,5	13,3	14,5	15,3	16,0	16,7	17,5
686	1140	450	кВт	0,55	0,75	0,95	1,16	1,39	1,62	1,88	2,13	2,33	2,66	2,93	3,23
			м	9,1	9,5	12,0	13,3	14,5	15,8	17,9	18,2	19,3	20,3	21,4	22,2
610	886	350	кВт	0,47	0,62	0,82	1,03	1,16	1,35	1,55	1,75	1,95	2,18	2,41	2,66
			м	10,8	11,0	14,2	15,9	17,5	19,1	20,5	22,1	23,5	24,7	26,1	26,9
457	750	300	кВт	0,42	0,57	0,72	0,89	1,05	1,21	1,39	1,58	1,76	1,98	2,18	2,4
			м	11,8	12,9	15,5	17,4	19,2	21,0	22,7	24,2	25,9	27,2	28,8	29,7
382	638	250	кВт	0,37	0,48	0,65	0,76	0,91	1,05	1,21	1,37	1,53	1,7	1,9	2,0
			м	13,6	15,7	18,2	20,4	22,5	24,7	26,6	28,4	30,5	32,0	33,7	40,1
305	507	200	кВт	0,33	0,42	0,54	0,66	0,78	0,9	1,03	1,16	1,3	1,45	1,6	1,74
			м	15,4	18,5	20,9	23,5	25,9	28,4	30,6	32,8	35,2	36,8	38,6	45,5

Нагревательные провода и кабели. За последнее десятилетие, кроме нагревательных элементов (ТЭНов и спиралей), началось применение нагревательных проводов и кабелей. Рабочий диапазон нагревательных проводов от $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Широкая гамма нагревательных проводов позволяет решать любые задачи по нагреву различных объектов во многих отраслях промышленности: нефтепереработке, в строительстве, химической и фармацевтической промышленности, легкой и пищевой промышленности.

Нагревательные провода лучшее решение для подогрева трубопроводов любой длины, резервуаров, бункеров, печей обжига. Они могут применяться в нагревательных элементах литевых машин, экструдеров и термопластавтоматов.

Среднетемпературные нагревательные провода применяются для промышленных и бытовых нагревательных устройств, работающих при воздействии агрессивных сред и высокой влажности, табл. 5.6.

Таблица 5.6. Среднетемпературные нагревательные провода

Характеристика	СНО1Х0,5	СНО1Х0,8	СНО1Х1,2
Максимальная рабочая температура, $^{\circ}\text{C}$	200	200	200
Наружный диаметр провода, мм	1,3	1,6	2,0
Мощность нагревательной секции, Вт	540	940	1520
Длина нагревательной секции, м	16,8	25	34,7
Удельная тепловая мощность, Вт/м	32	38	44
Материал изоляции (негорючий)	Пленка ПМФ		

Лента углеродная нагревательная гибкая ЛУНГ (рис. 5.9) предназначена для подогрева трубопроводов, технологического оборудования, насосов, емкостей шнеков и т. п. Лента ЛУНГ содержит нагревательный элемент, изготовленный из углеродной ленты, защитное электроизоляционное покрытие, состоящее из фторопластовой пленки и стеклоткани или стеклоткани с силиконовым покрытием. Низкотемпературные выводы, соединенные с нагревательным элементом, служат для подключения питающего напряжения. Нагревательный элемент и концевые заделки герметизированы для защиты от воздействия внешней среды.

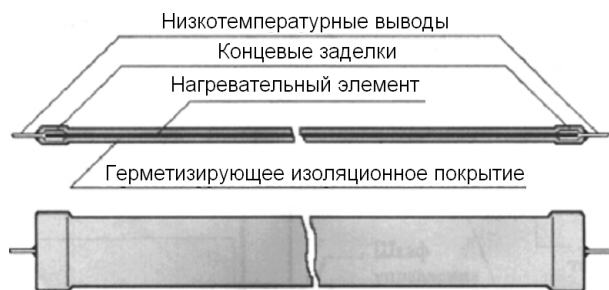


Рис. 5.9. Лента углеродная нагревательная гибкая ЛУНГ

Лента ЛУНГ обладает большой гибкостью и позволяет производить ее монтаж методом намотки на обогреваемое оборудование сложной геометрической формы. Лента допускает многократное повторное использование с осуществлением ее монтажа и демонтажа.

Основные характеристики ленты ЛУНГ:

- номинальная мощность — 500 Вт, 1300 Вт;
- номинальное напряжение — 220 В;
- температура на активной части — не более 220 °С, 300 °С;
- длина активной части — 7,5 м, 6 м;
- ширина активной части — 60 мм, 80 мм;
- толщина активной части — 4 мм.

В случаях, когда при эксплуатации нагревательных лент температура на ее поверхности может превышать допустимую температуру, необходимо предусматривать автоматическое регулирование температуры.

Саморегулирующиеся нагревательные кабели параллельного сопротивления применяются в промышленности для защиты от замерзания и поддержания технологической температуры: в строительстве — для предотвращения образования льда на кровельных свесах, водостоках, пандусов и лестницах; для горячего водоснабжения — поддержание выбранной потребителем температуры горячей воды, а также для внутренних работ при утеплении полов и промерзающих стен.

Греющий кабель крепится к трубопроводу клейкой лентой из стеклоткани, и благодаря своей гибкости, хорошо прилегает к трубопроводу, следуя его конфигурации. Колебания температуры окружающей среды автоматически компенсируются саморегулированием кабелем. Вырабатываемая тепловая мощность регулируется автоматически.

При наложении кабеля внахлест, греющий кабель уменьшает вырабатываемую тепловую мощность в местах нахлеста. Поэтому его монтаж максимально прост. Кроме того, он не перегорает и не перегревается. Нагревательные кабели параллельного сопротивления позволяют производить монтаж путем нарезки греющего кабеля требуемой длины.

Нагреватель греющего кабеля состоит из двух параллельных проводников и специального греющего элемента, изготовленного из полимерного материала и токопроводящей сажи. Нагревательные кабели параллельного сопротивления автоматически регулируют тепловыделение при изменении внешней температуры.

При понижении температуры окружающей среды материал сердечника микроскопически сжимается, в полимере создаются многочисленные электрические дорожки. Сопротивление кабеля уменьшается. Ток протекает через эти цепи, увеличивает температуру нагревателя. И, наоборот, при повышении окружающей температуры количество электрических дорожек автоматически уменьшается, что понижает мощность кабеля. На горячих участках расширение токопроводящего полимера будет почти полным. Сопротивление очень высокое, а ток и потребляемая мощность практически равны нулю.

Кабели могут быть отрезаны нужной длины по месту без ущерба для характеристик, табл. 5.7.

Таблица 5.7. Техническая характеристика кабеля параллельного сопротивления

Марка кабеля	Мощность, Вт/м		Максимальная рабочая температура, °С
	В воздухе	В талой воде	
25FSR-CT	25	38	65
31FSR-CT	31	43	65
31FSP-CF	31	52	110
50FSP-CF	50	80	110
17FSLe-CT	17	32	65
23FSLe-CT	23	39	65

Примечание. В таблице приведены характеристики, предотвращающие замерзание воды в трубах при температурах внешней среды до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Инфракрасный нагрев. Инфракрасное излучение позволяет передавать энергию при отсутствии непосредственного контакта между источником и приемником энергии и подчиняется тем же законам, что и электромагнитные колебания других диапазонов спектра (видимое, ультрафиолетовое). Инфракрасное излучение обладает значительным тепловым воздействием.

Источником инфракрасного излучения является любое тело, имеющее температуру выше абсолютного нуля. От тел, нагретых до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, перенос тепла происходит главным образом посредством конвекции, а при температуре $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ на излучение приходится 80 % энергии. Температура излучающего тела определяет как величину потока излучения, так и его спектральный состав.

Инфракрасные облучатели применяются:

- в сельском хозяйстве для разведения и выращивания птицы, поросят, телят, жеребят. Преимущества при облучении животных: более быстрый рост благодаря увеличению аппетита животных и улучшенному усвоению кормов. Повышение сопротивляемости организма к болезням. У молодняка нет больше необходимости скучиваться в стремлении согреться, поэтому и потеря при выращивании становится меньше. Гигиенически чистые стойла благодаря сухой подстилке.
- при обработке продуктов питания для пастеризации и сушки;
- в промышленности для сушки лаков и красок, для процессов обжига.

Инфракрасные облучатели, имеют большое биологическое значение, эффективность которых базируется, главным образом, на их глубоком внутреннем воздействии и регулировании тепла в организме. Клетки и органы, подвергаемые облучению, активизируются, и в результате расширения сосудов, лучше снабжаются кровью. Тем самым обеспечивается ускоренный вывод шлаков обмена веществ и мобилизация антигенов в теле.

Результатом этого является смягчение болей при таких болезнях, как ревматизм, боли в мышцах, гриппозные инфекции и многое другое. Через систему кровообращения полученное тепло физиологически распределяется по всему телу.

В качестве источников инфракрасного излучения применяют специальные лампы. Лампы инфракрасного излучения — термоизлучатели — имеют

относительно низкую по сравнению с осветительными лампами температуру тела накала. Их максимум излучения смещен в сторону длинноволновой части спектра.

В зеркальных термоизлучателях ИКЗ и ИКЗК (с окрашенной колбой) баллон лампы заполнен смесью аргона и азота. Внутренняя поверхность баллона зеркализирована тонким слоем алюминия, что позволяет сконцентрировать излучаемый поток (около 40 %) в заданном направлении. Биспиральное тело накала имеет температуру 2200—2400 °С и расположено в фокусе параболы. В табл. 5.8 приведены характеристики основных типов инфракрасных ламп.

Таблица 5.8. Технические характеристики инфракрасных ламп

Наименование	Номинальное напряжение сети, В	Мощность, Вт	Габариты, мм		Срок службы, ч	Тип цоколя	Угол излучения, град.	Колба
			высота	диаметр				
ИКЗ 215-225-250	220	250	175	134	5000	E27	80	Прозрачная
ИКЗ(М) 215-225-250	220	250	175	134	5000	E27	80	Матированная
ИКЗ215-225-500	220	500	250	134	5000	E40	80	Прозрачная
ИКЗК 215-225-250	220	250	195	130	5000	E27	80	Красная
РЛЗС 215-225-500	220	500	—	—	5000	E40	—	—

5.5. Электрическая дуга

Если взять концы двух проводников, присоединить к полюсам источника тока, и сблизить их почти вплотную, то между концами проводников образуется искра. Вследствие плохого контакта концы проводников будут нагреваться, и если теперь развести их, то искра переходит в дугу, излучая ослепительный свет.

Электрическая дуга была впервые получена русским академиком В. В. Петровым в 1802 г. В качестве проводников для получения дуги использовались угли, которые не плавятся при высокой температуре.

Электрическая дуга представляет собой непрерывный поток электронов и ионов, образующихся между двумя электродами в той или иной среде.

Дуга состоит из трех основных частей — анодной и катодной областей и столба дуги. В процессе горения дуги на поверхности электродов образуются активные пятна, через которые проходит весь ток дуги. Активное пятно, находящееся на катоде называется катодным, находящееся на аноде — анодным.

Для создания и поддержания дуги необходимо ионизировать воздух или газ в дуговом промежутке. Непрерывная ионизация воздуха или газа обеспечивается электронами, вылетающими с поверхности отрицательно заряженного электрода. Эти электроны сталкиваются с атомами или молекулами газообразных веществ, находящихся в пространстве между электродами, возбуждают и ионизируют их. В процессе горения дуги, отрицательно заряженные части-

цы бомбардируют анод, а положительно заряженные — катод; при этом кинетическая энергия частиц превращается в тепловую и световую.

Выделение тепловой и световой энергии в сварочной дуге происходит неравномерно. Электроны, достигшие анода, отдают ему свою энергию. Здесь образуется сильно нагретое «анодное пятно». Положительные ионы плазмы движутся к катоду и, отдавая ему энергию, формируют так называемое «катодное пятно». Обычно в дуге преобладает электронная составляющая тока, вследствие чего на аноде выделяется больше тепла, чем на катоде. Считается, что на анод приходится 43, а на катод — 36 % энергии, остальная рассеивается в столбе дуги. Необходимое условие существования дуги — поддерживаемая ионной бомбардировкой высокая температура катода, благодаря которой происходит эмиссия электронов, ионизирующих газ в столбе дуги.

Температура электрической дуги зависит от материала электродов: при угольных электродах на катоде она составляет около 3200 °С; на аноде — около 3900 °С; при металлических электродах соответственно 2400 и 2600 °С. В центре дуги по ее оси, температура достигает 6000—8000 °С.

Тепло, выделяемое дугой, широко используется для сварки металлов. Сжатая дуга (плазма) применяется для резки металлов, в том числе тугоплавких.

Большинство современных сварочных процессов были разработаны в первой половине 20-го века, хотя начало свое они берут в веке 19-м. Так, в 1802 году впервые в мире профессор Санкт-Петербургской медикохирургической академии Василий Владимирович Петров (1761—1834) открыл и наблюдал дуговой разряд от построенного им сверхмощного «Вольтового столба». Этот столб состоял из 2100 пар разнородных кружков (из меди и цинка), которые были проложены бумажными кружками, смоченными водным раствором нашатыря. Тогда это был наиболее мощный источник электрического тока.

Продлав большое количество опытов, профессор Петров показал возможность использования электрической дуги для освещения и плавления металлов. Он первым предложил применить электрическую дугу в качестве источника теплоты для мгновенного расплавления металлов.

Изначально в дуговой сварке не использовали расходных сварочных материалов, и основным видом электросварки была сварка дугой с использованием неплавящегося угольного электрода. Впервые она была применена в 1881 году Августом де Меританом. Спустя короткое время, в 1888 году, Н. Г. Славянов заменил уголь на голый металлический электрод (пруток), обычно изготавливавшийся из холоднокатаной стали (например, телеграфной проволоки, проволоки для изгороди и т. п.). Тем самым было положено начало дуговой сварке плавящимся электродом.

Ручная дуговая сварка — процесс, использующий для плавления электрическую дугу между электродом и основным металлом (сварочной заготовкой). В ходе выполнения соединения плавится как металл, так и электрод, рис. 5.10.

В процессе электрической дуговой сварки основная часть теплоты, необходимая для нагрева и плавления металла, получается за счет дугового разряда, возникающего между свариваемым металлом и электродом. При этом под

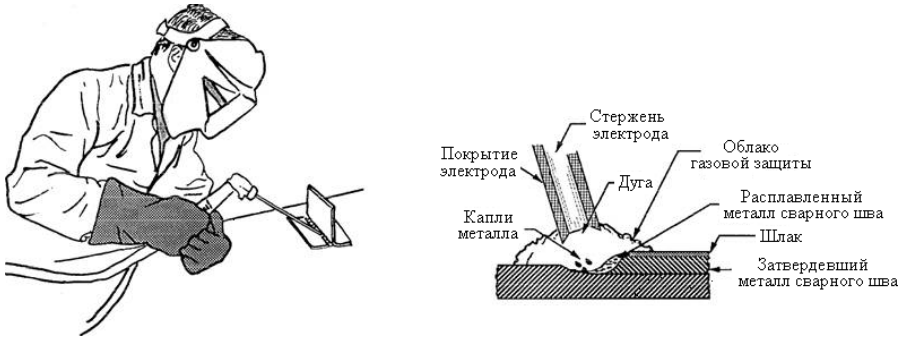


Рис. 5.10. Ручная дуговая сварка покрытым электродом

воздействием тепла, выделяемого дугой, кромки свариваемых деталей и торец (конец) электрода расплавляются и образуется сварочная ванна. При затвердевании расплавленного металла получается сварной шов.

Количество теплоты, выделяемое при горении дуги, может меняться путем изменения величины сварочного тока, длины дуги и полярности.

При ручной дуговой сварке электрод фиксируется в специальном держателе, с помощью которого сварщик контролирует его перемещение.

При сварке неплавящимся электродом используется тепло, образующееся при горении электрической дуги между электродом и основным металлом. Присадочный материал, если требуется для усиления шва (валика), подается в зону сварки отдельно в виде проволоки, как правило, того же или близкого состава, что и свариваемый металл, рис. 5.11.

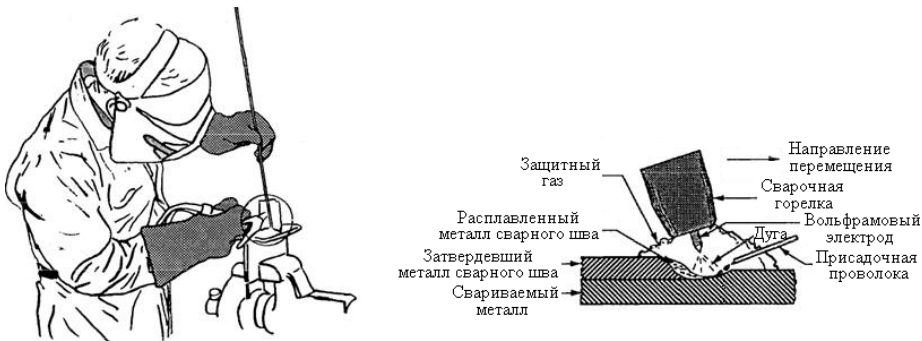


Рис. 5.11. Сварка неплавящимся электродом в среде защитного газа

Для сварки неплавящимся электродом в среде защитного газа используется специальная горелка, в которой в токопроводящем устройстве закреплен вольфрамовый электрод. К горелке по специальным шлангам подводится токоведущий провод и инертный газ.

При сварке плавящимся электродом в среде защитного газа (рис. 5.12), сварочная проволока подается в зону сварки с помощью специального устройства — механизма подачи.

Истекающая из сопла горелки струя газа оттесняя воздух, образует вокруг дуги облако и надежно защищает электрод, дугу и сварочную ванну от окис-

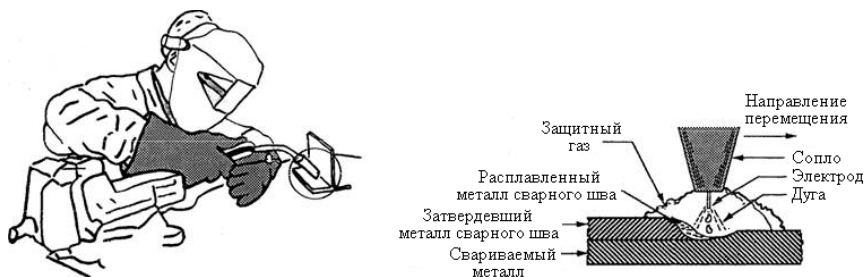


Рис. 5.12. Сварка плавящимся электродом в среде защитного газа

ления и азотирования. Кроме защиты от воздействия воздуха, инертные газы вследствие ионизации создают лучшие условия для устойчивого горения дуги.

Газ подается через сопло держателя, окружающего электрод. В качестве защитных газов применяют инертные газы (аргон, гелий) и активные газы (углекислый газ, азот, водород и др.), а иногда — смеси двух газов и более.

Сварка в среде защитных газов в зависимости от степени механизации процессов подачи электродной или сварочной проволоки и перемещения сварочной горелки может быть ручной, полуавтоматической и автоматической.

При ручной сварке неплавящимся электродом в среде защитного газа, сварщик вручную контролирует движение горелки и подачу в зону сварки проволоки. Горелки небольших размеров охлаждаются воздухом, большие оборудованы системой водяного охлаждения.

Нагрев изделия в зоне сварки можно регулировать путем изменения величины электрического тока и длины дуги. Величина электрического тока выбирается в зависимости от диаметра электрода, толщины и вида свариваемого металла.

Области применения сварки в защитных газах охватывают широкий круг материалов и изделий при изготовлении конструкций ответственного назначения (узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпуса и трубопроводы химических аппаратов и т. п.), либо деталей из коррозионно-стойкой стали и некоторых других материалов.

Аргонодуговую сварку применяют для сварки цветных металлов (алюминий, магний, медь) и тугоплавких металлов (титан, ниобий, ванадий, цирконий) и их сплавов, а также легированных и высоколегированных сталей.

При сварке под флюсом сварочная проволока и флюс одновременно подаются в зону горения дуги. Сущность процесса сварки под флюсом заключается в том, что дуга между основным металлом и голой электродной проволокой горит под жидким слоем расплавленного флюса в пространстве, образованном парами и газами, выделяемыми в столбе дуги, рис. 5.13.

Незначительное избыточное давление, возникающее в газовом пространстве, и слой флюса толщиной 30—50 мм надежно предохраняют расплавленный металл от вредного воздействия окружающего воздуха, в значительной степени уменьшают разбрызгивание металла, улучшают формирование шва, использование тепла дуги и материала электродной проволоки.

Электродная проволока подается в зону сварки специальным механизмом со скоростью, равной скорости ее плавления, и таким образом автоматически

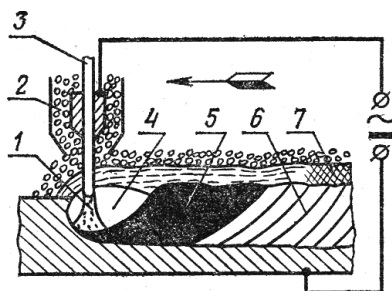


Рис. 5.13. Сварка под флюсом: 1 — электрическая дуга; 2 — флюс; 3 — электродная проволока; 4 — газовое пространство; 5 — ванна расплавленного металла; 6 — сварной шов; 7 — шлаковая корка

поддерживается горение дуги. Для получения шва деталь или дугу механизированным способом перемещают одну относительно другой.

Сварка под слоем флюса применяется для соединения средних и больших толщин металла на автоматических установках.

5.6. Термоэлектричество. Термопары

Рассмотрим, что называется термоэлектричеством. Если взять два разнородных металла, спаять их концы, а два других конца присоединить к гальванометру, то при нагреве места спая металлов гальванометр покажет наличие тока в цепи, рис. 5.14. Совокупность пары металлов, используемая в этом случае, называется термопарой или термоэлементом. Появившийся в цепи ток называется термоэлектрическим, а э.д.с., порождающая этот ток, называется термоэлектродвижущей силой.

Термоэлектродвижущая сила по величине довольно мала и приблизительно пропорциональна разности температур спая и окружающей среды. В табл. 5.9 приведены термо-э.д.с. некоторых пар металлов при разности температур спая и окружающей среды 100 °С.

Таблица 5.9. Термоэлектродвижущая сила термопар

Металлы спаев	Величина э.д.с., В
Медь—железо	+0,001
Медь—константан	-0,0047
Серебро—константан	-0,0041
Серебро—никель	-0,0024
Платина—платинородий (сплав 90 % платины и 10 % родия)	-0,001

Знак плюс обозначает, что ток идет через нагретый спай от первого металла ко второму. Важнейшим применением термоэлементов является использование их для измерения температуры. Термометр, действие которого основано на применении термопар, устроен следующим образом.

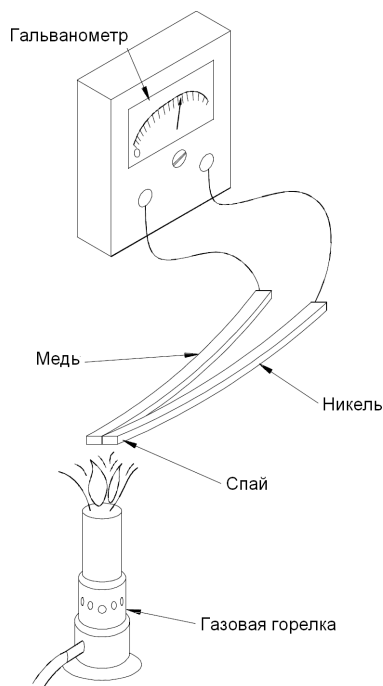
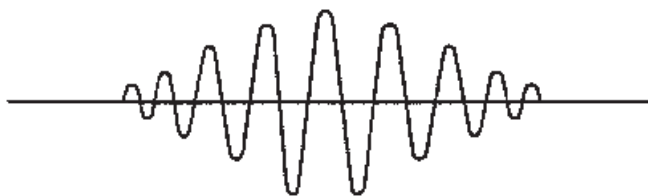


Рис. 5.14. Термоэлектричество

В фарфоровой трубке помещают две проволоочки (например, из платины и платинородия). Место спая проволок помещают в зону высокой температуры. Свободные концы проволок присоединяют к зажимам гальванометра, шкала которого проградуирована в градусах Цельсия. Термометры дают возможность измерять высокие (до $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше) и низкие температуры. Точность термопар выше точности термометров другого типа.



Глава шестая

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ



6.1. Магниты и магнитное поле

Свойство предметов притягивать железные предметы и отклонять стрелку компаса всем хорошо знакомы.

Компасная стрелка — это тоже магнит, но очень маленький и легкий. Стрелка укреплена на игле и может свободно поворачиваться. Если ничто не мешает стрелке, она повернется так, что один из ее концов обращается к северу, а другой — к югу. Это удивительное свойство компасной стрелки было открыто более 3000 лет назад в Китае и с тех пор применяется путешественниками.

Каждый магнит, как бы мы его не делили, обладает двумя полюсами — северным (*N*) и южным (*S*), рис. 6.1. Северный полюс компасной стрелки обращается к северу, а южный — к югу. Простой опыт (рис. 6.2) показывает, что



Одноименные полюсы магнитов отталкиваются один от другого, а разноименные — притягиваются.

Сама наша земля — это огромный магнит: около северного географического полюса лежит ее южный магнитный полюс, а около южного географического полюса лежит ее северный полюс, рис. 6.3. Поэтому-то к северному географическому полюсу и притягивается северный полюс магнитной стрелки.

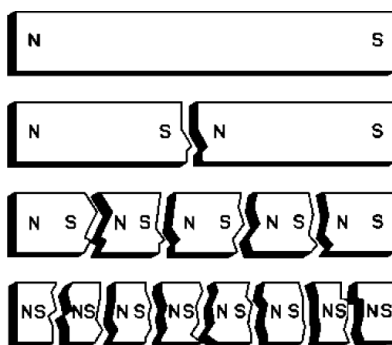


Рис. 6.1. Как бы мы не делили магнит, он все равно обладает двумя полюсами

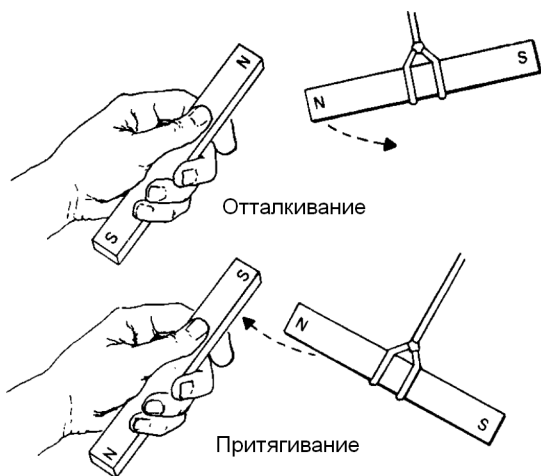


Рис. 6.2. Взаимодействие двух магнитов

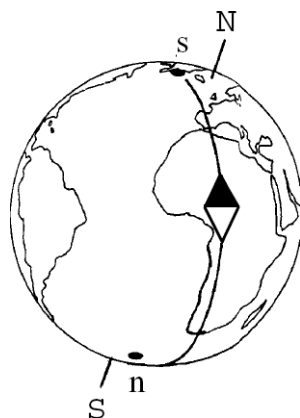


Рис. 6.3. К северному географическому полюсу земли притягивается северный полюс магнитной стрелки

От концов компасной стрелки до магнитных полюсов земли несколько тысяч километров. Как же они воздействуют на таком расстоянии на компас?

Обычно взаимодействие между телами происходит при их соприкосновении. Действительно, если нужно затянуть гайку, мы, прежде всего, приводим в соприкосновение с ней ключ и поворачиваем его — ключ касается гайки, рука налегает на ключ.

Положим на стол стальной шарик (например, от подшипника) и приблизим к нему магнит. Шарик покатится к магниту прежде, чем они коснутся друг друга, рис. 6.4.

Значит, магнитные свойства заключены не только в теле самого магнита с его полюсами, но и в окружающем его пространстве. В пространстве, окружающем магнит существует магнитное поле.

Магнитное поле — один из видов материи, один из видов ее проявления. Магнитное поле может наблюдаться как в воздухе, так и в безвоздушном пространстве. Ему не мешают ни камни, ни дерево, ни металлы — оно как бы пронизывает их. Железо и его сплавы способны усиливать магнитное поле.

В магнитном поле заключена энергия. В самом деле, под действием магнитного поля возникают силы, приводящие в движение тела: поворачиваю-

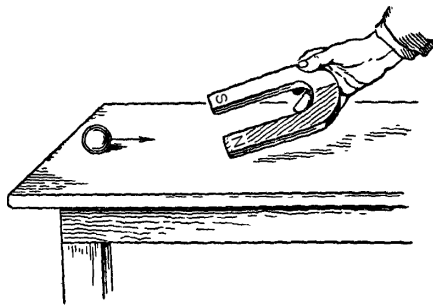


Рис. 6.4. Магнит действует на расстоянии

щие стрелку компаса, притягивающие гвозди, заставляющие катиться шарик. За счет энергии, запасенной в магнитном поле, совершается работа.

Проведем в магнитном поле ряд непрерывных линий так, чтобы эти линии всюду совпадали с направлением силы поля (с направлением магнитной индукции). Полученная картина может служить изображением магнитного поля.

Если перемещать вдоль линии магнитного поля маленькую, свободно подвешенную компасную стрелку, то ее ось всюду будет совпадать с ближайшим участком линии, рис. 6.5.

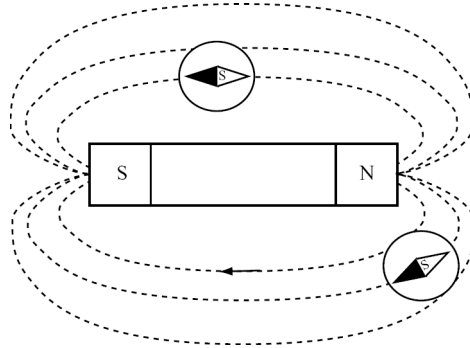


Рис. 6.5. Магнитное поле стержневого магнита

Для того чтобы по рисунку можно было судить о силе магнитного поля, условились проводить линии тем ближе одна к другой, чем сильнее поле.

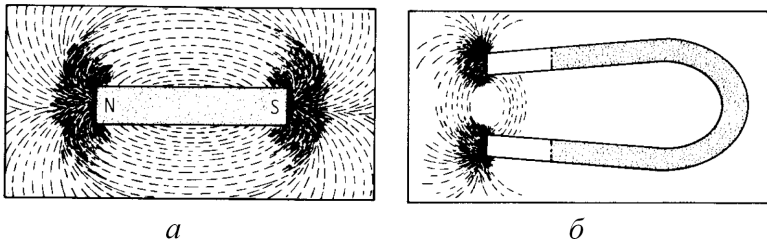


Рис. 6.6. Железные опилки располагаются на картоне, создавая изображение магнитного поля: *a* — магнитное поле стержневого магнита; *б* — магнитное поле подковообразного магнита

Прделаем такой опыт. Накроем магнит куском плотного картона и посыпем сверху картон железными опилками. Опилки расположатся так, как расположились бы маленькие компасные стрелки. Картины, полученные посредством опилок, дают наглядное представление о поле, рис. 6.6.

6.2. Магнитное поле вокруг проводника с током

Электрический ток производит магнитное действие. Другими словами, вокруг проводника с током образуется магнитное поле. Это замечательное открытие, и его дальнейшее изучение привели к созданию электрических машин (электродвигателей и генераторов), электромагнитов и т. п.

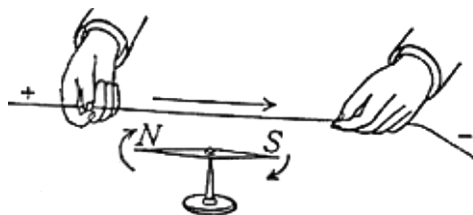


Рис. 6.7. Магнитная стрелка возле проводника с током стремится повернуться к нему перпендикулярно

Ясно, что изучающим электротехнику очень важно понять законы взаимодействия электрического тока и магнитного поля.

Если к прямолинейному проводнику, по которому проходит электрический ток, поднести магнитную стрелку, то она будет стремиться стать перпендикулярно плоскости, проходящей через ось проводника и центр вращения стрелки, рис. 6.7. Это указывает на то, что на стрелку действует особая сила, которая называется магнитной силой. Кроме действия на магнитную стрелку, магнитное поле оказывает влияние на движущиеся заряженные частицы и на проводники с током, находящиеся в магнитном поле.

Если продеть через толстый картон проводник и пропустить по нему электрический ток, то стальные опилки, насыпанные на картон, расположатся вокруг проводника по концентрическим окружностям, представляющим собой в данном случае так называемые магнитные индукционные линии. Мы можем передвигать картон вверх или вниз по проводнику, но расположение стальных опилок не изменится. Следовательно, магнитное поле возникает вокруг проводника по всей его длине.

Если на картон поставит маленькие магнитные стрелки, то, меняя направление тока в проводнике, можно увидеть, что магнитные стрелки будут поворачиваться, рис. 6.8. Это показывает, что направление магнитных индукционных линий меняется с изменением направления тока в проводнике.

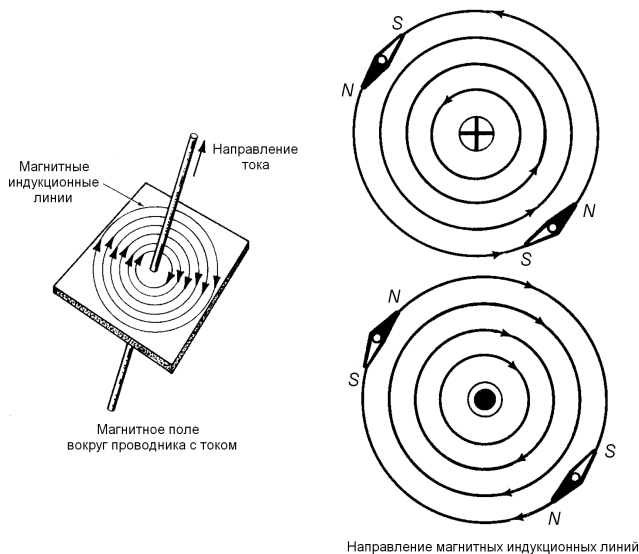


Рис. 6.8. Магнитное поле вокруг проводника с током

Чтобы показать направление тока в проводнике, изображенном в разрезе, принято условное обозначение, которым мы в дальнейшем будем пользоваться. Если мысленно поместить в проводнике стрелку по направлению тока (от плюса к минусу), то в проводнике, ток в котором течет от нас, увидим хвост оперения стрелы (крестик). Если же ток направлен к нам, увидим острие стрелы (кружок), рис. 6.9.

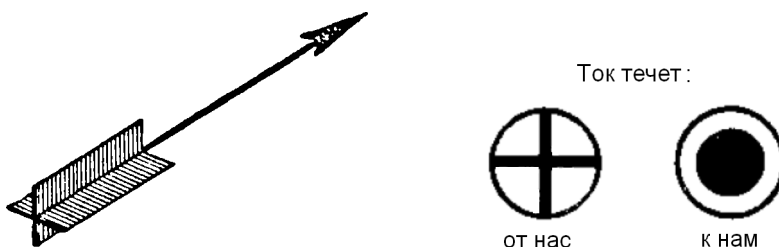


Рис. 6.9. Условные обозначения тока в проводнике

Направление магнитных индукционных линий вокруг проводника с током можно определить по «правилу буравчика-штопора», рис. 6.10.

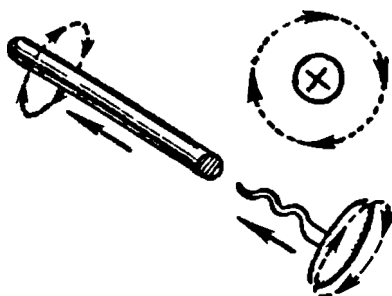


Рис. 6.10. Определение магнитных индукционных линий вокруг проводника с током по правилу буравчика-штопора



Если поступательное движение буравчика-штопора совпадает с направлением тока (от плюса к минусу), то направление вращения рукоятки укажет направление магнитных линий.

Однако следует учесть — в мировой практике это правило не существует. Правило штопора, впоследствии буравчика — советское изобретение 20—30-х годов прошлого столетия. Во всем мире применяется правило правой руки, когда речь идет о направлении тока, т. е. от плюса к минусу (рис. 6.11), и правило левой руки — когда речь идет о направлении движения электронов, т. е. от минуса к плюсу.



Если правой рукой обхватить проводник с током так, чтобы большой палец показывал направление тока в проводнике, то пальцы сжатой руки укажут направление магнитных линий.

Правило левой руки звучит аналогично правилу правой руки.

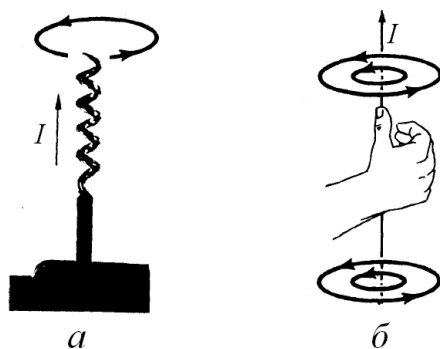


Рис. 6.11. Буравчик-штопор (а) и определение магнитных индукционных линий вокруг проводника с током по правилу правой руки



Если левой рукой обхватить проводник с током так, чтобы большой палец показывал направление движения электронов в проводнике, то пальцы сжатой руки укажут направление магнитных линий, рис. 6.12.

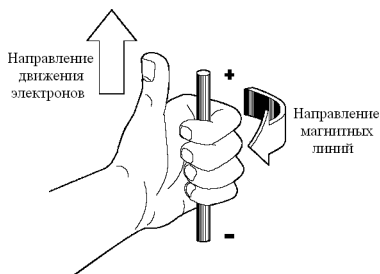


Рис. 6.12. Определение магнитных индукционных линий вокруг проводника с током по правилу левой руки

Возьмем проводник, согнутый по кругу, и пропустим по нему ток, рис. 6.13. Из чертежа видно, что магнитные линии по-прежнему замыкаются вокруг проводника с током и имеют форму окружностей. Магнитные линии с одной стороны входят в плоскость кругового проводника, с другой стороны выходят. Магнитное поле кругового тока напоминает собой поле очень короткого магнита, ось которого совпадает с перпендикуляром в середине плоского контура.

Если свернуть провод спиралью, намотав его на катушку, то одинаково направленные поля отдельных витков сложатся друг с другом, усиливая поле внутри катушки. Направление магнитных линий совпадает с осью катушки, и поле достигает там наибольшей величины, рис. 6.14. В том месте, где магнитные линии входят в соленоид, образуется южный полюс, где выходят — северный.

Поле внутри катушки приблизительно однородно, т. е. сила поля остается приблизительно одинаковой в разных точках. Одинаковыми будут и расстояния между соседними магнитными линиями, имеющими наибольшую плотность внутри катушки.

Наглядную картину о магнитном поле одиночного витка и катушки с током можно получить с помощью опилок, рис. 6.15.

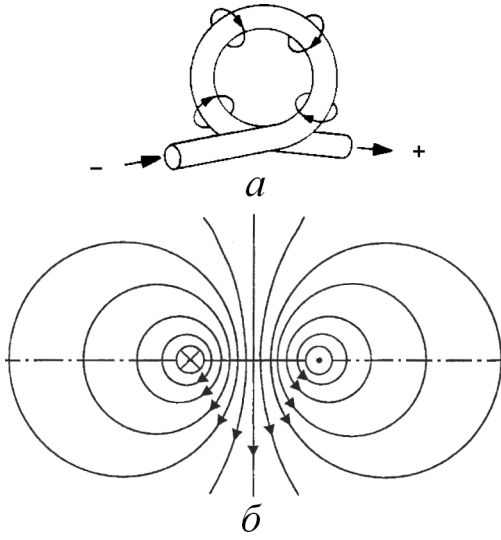


Рис. 6.13. Круговой проводник с током (а) и его магнитное поле (б)

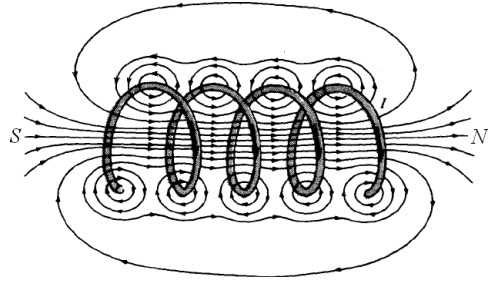


Рис. 6.14. Магнитное поле катушки с током

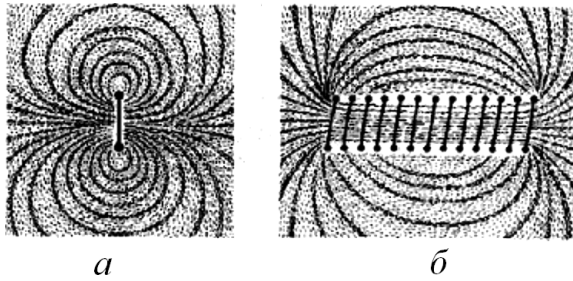


Рис. 6.15. Картина магнитного поля кругового проводника (а) и катушки с током (б) полученная с помощью стальных опилок

Для определения полюсов соленоида пользуются правилом левой руки, применяя его следующим образом: если положить левую руку на соленоид так, чтобы пальцы руки указывали направление движения электронов в проводнике, то большой палец покажет направление магнитного поля, рис. 6.16.

Соленоид, внутри которого находится стальной (железный) сердечник, называется электромагнитом, рис. 6.17. Магнитное поле у электромагнита

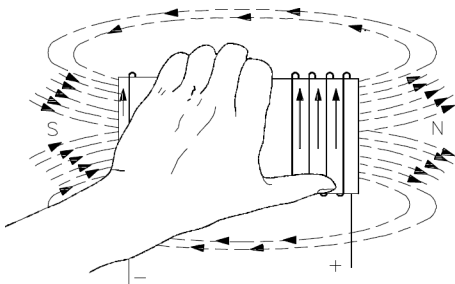


Рис. 6.16. Определение полюсов соленоида



Рис. 6.17. Электромагнит

сильнее, чем у соленоида, так как стальной сердечник, вложенный в соленоид, намагничивается и результирующее магнитное поле усиливается. Полюсы у электромагнита можно определить, так же как и у соленоида.

6.4. Проводник с током в магнитном поле

Если внести проводник с током в магнитное поле (рис. 6.18), то увидим, что в результате сложения магнитных полей магнита и проводника произойдет усиление результирующего магнитного поля с одной стороны проводника и ослабление магнитного поля с другой стороны проводника. В результате действия двух магнитных полей произойдет искривление магнитных линий и они, стремясь сократиться, будут выталкивать проводник.

Направление силы, действующей на проводник с током в магнитном поле, можно определить по правилу левой руки.

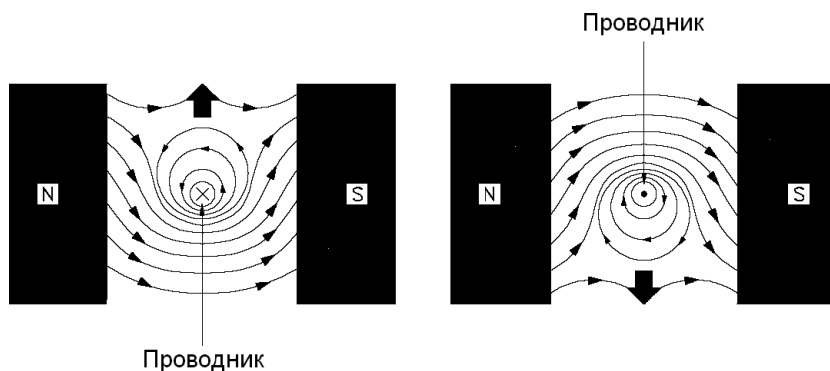


Рис. 6.18. Взаимодействие проводника с током и магнитного поля



Если левую руку расположить в магнитном поле так, чтобы магнитные линии выходящие из северного полюса, как бы входили в ладонь, а четыре вытянутых пальца совпадали с направлением тока в проводнике, то большой палец руки покажет направление действия силы, рис 6.19.

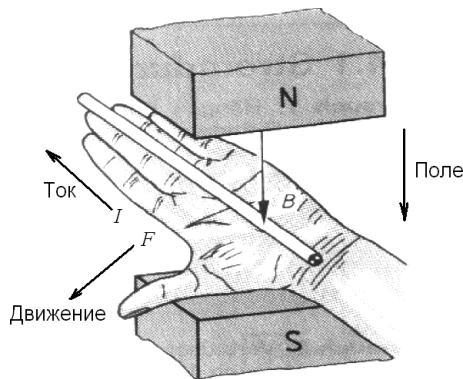


Рис. 6.19. Определение направления силы, действующей на проводник с током по правилу левой руки

Направление силы, действующей на проводник, можно изменить, либо меняя полюсы и этим изменяя направление магнитного поля, либо меняя направление тока в проводнике.

Если же поменять направление магнитного поля и направление тока в проводнике, то направление силы, действующей на проводник, не изменится.

Если расположить прямолинейный проводник перпендикулярно к направлению поля, то опыт показывает, что на проводник действует сила F , прямо пропорциональная произведению магнитной индукции B , длине проводника l и току I .

Это означает, двукратное увеличение магнитного поля B приводит к двукратному увеличению силы F , десятикратное увеличение тока I влечет за собой десятикратное увеличение силы и т. д.

Сказанное можно представить такой закономерностью:

$$F = BIL = \frac{B \cdot A \cdot c}{m},$$

где F — сила; B — индукция; I — ток; l — длина проводника.

6.3. Магнитная индукция или сила магнитного поля

Мы несколько раз говорили, что магнитное поле может быть сильнее или слабее и что оно имеет направление. Действительно, вспомним, что в разных точках пространства около полюсов магнита стрелка компаса поворачивается по разному.

Магнитные явления имеют большое значение в электротехнике, поэтому займемся подробным рассмотрением магнитного поля. Установим, прежде всего, количественную меру, пользуясь которой можно сравнит между собой разные магнитные поля, и произвести расчеты.



Сила магнитного поля определяется количественным значением величины, носящей название магнитной индукции, а также ее направлением.

Определяя скорость тела, недостаточно сказать 50 м/с, нужно еще сказать, в каком направлении это тело движется, например, под углом 45° к горизонту в направлении с востока на запад.

В этом отношении магнитная индукция похожа на такие величины, как скорость. Для ее полного определения нужно знать не только ее значение, но и направление.

Направление. В качестве направления магнитной индукции (силы магнитного поля) принято считать то направление, в котором располагается северный коней магнитной стрелки.

Количественное значение. Мерой количественного значения магнитной индукции может служить механическая сила, действующая на проводник с

током. Чем больше сила, испытываемая проводником, тем сильнее магнитное поле.

Единицы измерения магнитной индукции. Сила магнитного поля (магнитная индукция) измеряется отношением механической силы, действующей на участок провода, по которому проходит ток, к произведению тока и длины участка провода, причем провод должен располагаться перпендикулярно направлению поля.

Из написанного следует, что

$$B = \frac{F}{I \cdot l} = \frac{N}{A \cdot m} = \frac{Дж/м}{A \cdot m} = \frac{В \cdot к}{A \cdot m^2} = \frac{В \cdot A \cdot с}{A \cdot m^2} = \frac{В \cdot с}{m^2} = \frac{Вб}{m^2} = Тл.$$

Единица вольт-секунда называется вебер, а вебер, деленный на квадратный метр — тесла.

Магнитная индукция — векторная величина. Направление вектора магнитной индукции совпадает с направлением поля в данной точке.

Произведение магнитной индукции B на площадь S , перпендикулярную к вектору магнитной индукции, называется магнитным потоком, т. е.

$$\Phi = BS = Тл \cdot m^2 = \frac{Вб}{m^2} \cdot m^2 = Вб,$$

из приведенного выражения видно, что магнитный поток измеряется в веберах.

Магнитная индукция земного поля порядка $5 \cdot 10^{-5}$ Тл. В электрических машинах и трансформаторах магнитная индукция порядка 1 Тл. В лабораторных условиях достигаются поля порядка нескольких десятков тесла.

6.5. Взаимодействие проводников с током

Мы уже знаем, во-первых, что проводники с током создают вокруг себя магнитное поле, во-вторых, что проводник с током, находясь в магнитном поле, подвергается воздействию силы.

Из этого вытекает такое следствие: два провода с током должны взаимодействовать один на другой. В самом деле, если близко один от другого расположены проводники с током одного направления, то магнитные линии этих проводников, охватывающие оба проводника, обладая свойством продольного натяжения и стремясь сократиться, будут заставлять проводники притягиваться, рис. 6.20а и рис. 6.21.

Магнитные линии двух проводников с токами разных направлений, в пространстве между проводниками, направлены в одну сторону. Магнитные линии, имеющие одинаковое направление, обладают свойством бокового распора. Поэтому проводники с токами противоположного направления отталкиваются один от другого, рис. 6.20б.

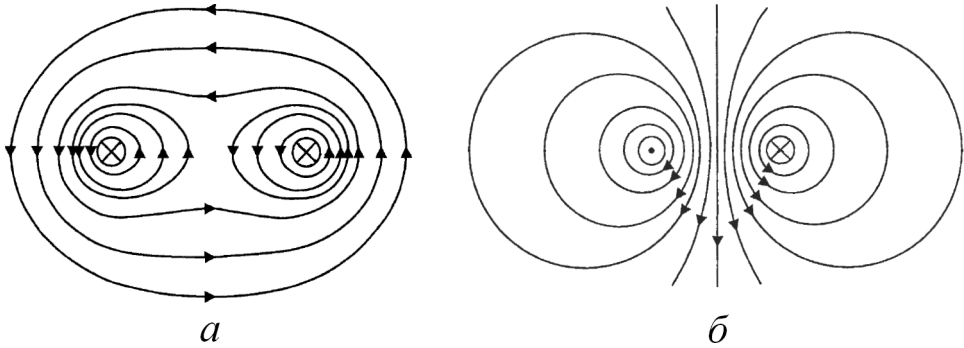


Рис. 6.20. Магнитные поля двух проводников с током: *a* — проводящим в одну сторону; *б* — проводящим в разные стороны

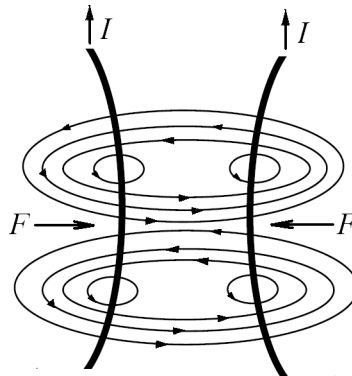


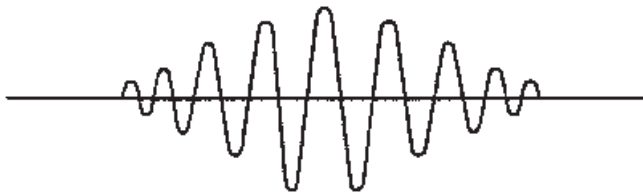
Рис. 6.21. Взаимодействие двух проводников с током

Сила, с которой первый ток, направленный на нас, действует на второй, равна по величине и противоположна по направлению той силе, с которой второй ток действует на первый ток:

$$F_1 = B \cdot I \cdot l = F_2.$$



Между направленными в противоположные стороны токами существуют силы отталкивания. Между токами одинакового направления существуют силы притяжения.



Глава седьмая

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ



7.1. Получение наведенной электродвижущей силы (э.д.с.)

Возьмем постоянный магнит, и будем вводить его в катушку, рис. 7.1а. Мы увидим, что стрелка гальванометра, включенного в цепь, отклонится (например, вправо). Это указывает на появление э.д.с. и тока в катушке.

Если прекратить движение магнита, то стрелка гальванометра вернется в нулевое положение, рис. 7.1б. Это показывает, что для появления индуцированной э.д.с. мало иметь магнитное поле и проводник, нужно еще, чтобы они двигались одно относительно другого.

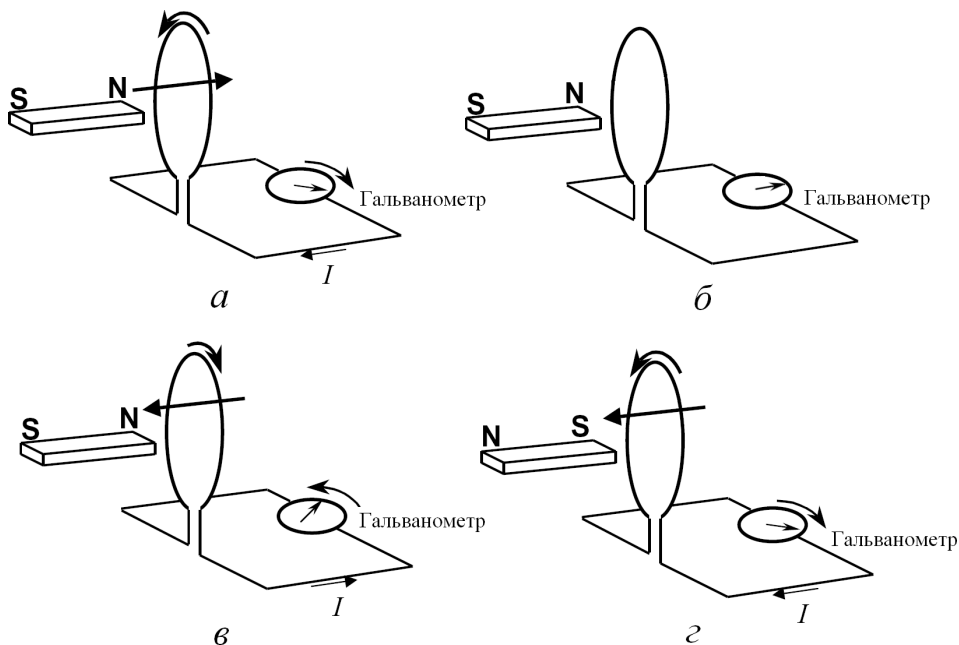


Рис. 7.1. Зависимость направления наведенной э.д.с. от направления магнитного поля и направления движения магнитного поля по отношению к проводнику (примечание: катушка условно изображена одним витком)

Вынимая магнит из катушки (рис. 7.1*в*), можно заметить, что стрелка гальванометра отклонится, но уже в другую сторону (влево). Это показывает, что направление наведенной э.д.с. зависит от направления движения магнитного поля, пересекающего неподвижный проводник, или от направления движения проводника, пересекающего магнитное поле.

В приведенном опыте мы видели, что при введении постоянного магнита в катушку стрелка гальванометра отклонялась вправо в том случае, когда магнит был расположен северным полюсом к катушке. Если повернуть магнит южным полюсом к катушке и снова ввести его во внутрь катушки, то стрелка гальванометра отклонится в другую сторону, т. е. влево, рис. 7.1*г*. Это показывает, что направление наведенной э.д.с. зависит еще и от направления магнитного поля.



Явление возникновения э.д.с. в контуре при пересечении его магнитным полем называется электромагнитной индукцией.

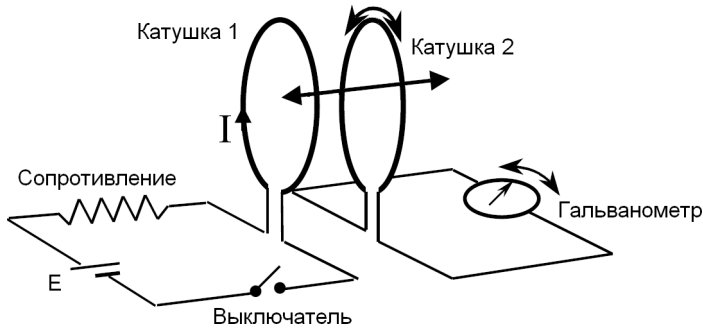


Рис. 7.2. Перемещение катушек относительно друг друга вызывает появление э.д.с. во второй катушке

Если к замкнутой на гальванометр катушке (рис. 7.2), не имеющей тока, приближать или удалять катушку, по которой проходит электрический ток, то в катушке 2 будет индуцироваться (наводиться) э.д.с.

7.2. Взаимоиндукция

Если вблизи замкнутой на гальванометр катушки, не имеющей тока, расположить катушку, по которой проходит электрический ток, то во второй катушке при изменении тока либо при размыкании или замыкании цепи первой катушки будет индуцироваться (наводиться) э.д.с., рис.7.3. Но первая катушка, по существу дела, ничем не отличается от второй, поэтому изменяя ток во второй цепи, мы, конечно, обнаружили бы наведение э.д.с. в первой цепи.



Наведение э.д.с. в одной цепи, вызванное изменением тока в другой, называется взаимной индукцией (наведением).

Величина наводимой э.д.с. прямо пропорциональна скорости изменения тока.

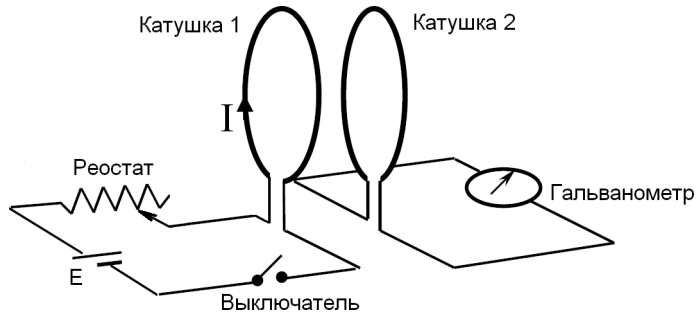


Рис. 7.3. Взаимоиндукция, вызванная изменением тока в первой катушке

Электродвижущая сила взаимной индукции возникает потому, что с изменением тока связано изменение магнитного потока. Поэтому взаимную индуктивность можно рассматривать и как коэффициент пропорциональности между током одной цепи и магнитным потоком, сцепленным с другой цепью.

Почему мы говорим о потоке? Связано ли с этим словом представление о каком-то течении чего-то магнитного? В самом деле, говоря «электрический ток», мы представляем себе движение (поток) электрических зарядов. Также ли обстоит дело и в случае магнитного потока? Нет, когда мы говорим «магнитный поток», мы имеем в виду только определенную меру магнитного поля (произведение силы поля на площадь).

Явление взаимной индукции имеет очень большое значение в современной электротехнике. На явлении взаимной индукции основана работа трансформатора, о котором будет рассказано позже.

7.3. Самоиндукция

Мы уже несколько раз рассматривали опыт, когда в первой катушке изменяется ток. Изменение тока первой катушки сопровождается изменением магнитного потока, сцепленного со второй катушкой. Изменение этого потока создает э.д.с. во второй катушке.

Пора задать вопрос, почему мы говорим только о второй катушке. Ведь известно, что проводник, по которому течет электрический ток, окружен магнитным полем. Если изменить величину или направление тока в проводнике или размыкать и замыкать электрическую цепь, питающую проводник с током, то магнитное поле, окружающее проводник с током, будет изменяться. Изменяясь, магнитное поле проводника пересекает этот же самый проводник и наводит в нем э.д.с. Это явление называется самоиндукцией. Сама индуктированная э.д.с. называется э.д.с. самоиндукции.



Когда изменение тока наводит э.д.с. в той самой цепи, в которой ток изменяется, тогда говорят о собственной индукции или о самоиндукции.

В тех случаях, когда с протеканием тока связан большой магнитный поток, например, многovitковая катушка со стальным сердечником, явление самоиндукции проявляется очень отчетливо.

Явление самоиндукции можно сравнить с инерцией тела. Когда тело приходит в движение, оно не мгновенно получает предельную скорость. Скорость постепенно увеличивается от нуля, причем это увеличение скорости связано с затратой энергии на преодоление инерции.

При размыкании цепи ток не исчезает мгновенно, а спадает постепенно, так как уменьшающееся магнитное поле будет индуцировать э.д.с. самоиндукции, совпадающую по направлению с током и ток будет поддерживаться за счет энергии поля, накопленной цепью при ее включении.

Вероятно, каждому приходилось наблюдать большую искру (или дугу), сопровождающую отключение катушки со стальным сердечником. Откуда возникает большое напряжение, способное зажигать эту дугу между расходящимися контактами рубильника? Это напряжение создается э.д.с. самоиндукции. При выключении рубильника ток начинает быстро уменьшаться, уменьшение тока сопровождается уменьшением магнитного потока, а быстрое изменение потока способно создавать большую э.д.с.

7.4. Индуктивность

Всякий контур электрической цепи с током, например каждый виток катушки, пронизывается собственным магнитным потоком, алгебраическая сумма которых называется потокосцеплением самоиндукции катушки. Величина, равная отношению потокосцепления самоиндукции к току, составляет индуктивность контура или катушки

$$L = \frac{\Psi_L}{I},$$

где Ψ_L — потокосцепление самоиндукции; I — ток, проходящий по катушке.

При неизменной магнитной проницаемости среды магнитные потоки и потокосцепления самоиндукции пропорциональны току и, следовательно, индуктивность катушки будет постоянной.

Индуктивность зависит от формы и размеров катушки (контура), числа витков ее и магнитной проницаемости среды (сердечника катушки)

Единица измерения индуктивности

$$L = \frac{\Psi_L}{I} = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}} = \text{Ом} \cdot \text{с} = \text{Гн}.$$

Ом-секунда называется Генри. Генри очень крупная единица, поэтому часто пользуются более мелкими единицами: миллигенри и микрогенри.

7.5. Направление и величина наведенной э.д.с.

Наведенная э.д.с. возникает в трех случаях:

- когда движущийся проводник пересекает неподвижное магнитное поле или, наоборот, перемещающееся магнитное поле пересекает неподвиж-

- ный проводник; или когда проводник и магнитное поле, двигаясь в пространстве, перемещаются один относительно другого;
- когда переменное магнитное поле одного проводника, действуя на другой проводник, наводят в нем э.д.с. (взаимоиндукция)
 - когда изменяющееся магнитное поле проводника наводит в нем самом э.д.с. (самоиндукция).

Таким образом, всякое изменение во времени величины магнитного потока, пронизывающего замкнутый контур (виток, рамку), сопровождается появлением в проводнике наведенной э.д.с.

Как было отмечено выше, направление наведенной э.д.с. зависит от направления движения проводника и от направления магнитного поля.

Для определения направления наведенной э.д.с. в проводнике служит «правило правой руки». Оно заключается в следующем:



Если расположить правую руку в магнитном поле вдоль проводника так, чтобы магнитные линии, выходящие из северного полюса, входили в ладонь, а большой отогнутый палец совпадал с направлением перемещения проводника, то четыре вытянутых пальца будут показывать направление наведенной э.д.с. в проводнике, рис. 7.4.

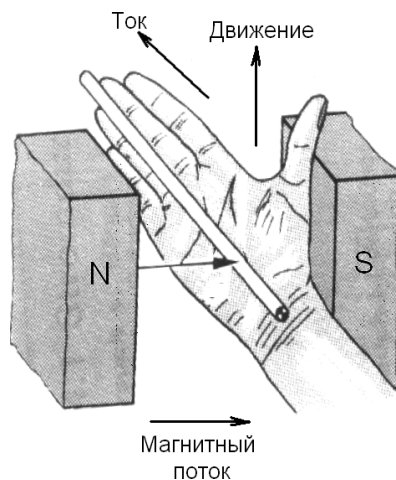


Рис. 7.4. Определение направления наведенной э.д.с. по «правилу правой руки»

В случае, когда проводник остается неподвижным, а магнитное поле движется, для определения направления наведенной э.д.с. нужно предположить, что поле остается неподвижным, а проводник движется в сторону, обратную движению поля, и применить также «правило правой руки».

Явление индуктированной э.д.с. можно объяснить при помощи электронной теории.

Поместим проводник в магнитное поле. Свободные электроны проводника будут находиться в беспорядочном тепловом движении. Положительные и отрицательные заряды равномерно расположены по всему объему проводника и взаимно нейтрализуют друг друга. Будем перемещать проводник с определенной скоростью в однородном магнитном поле (рис. 7.5) перпендикулярно

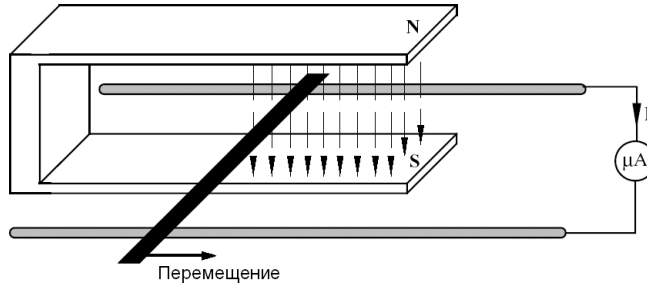


Рис. 7.5. Перемещение проводника в магнитном поле

вектору магнитной индукции. Вместе с проводником перемещаются атомы и их ядра и электроны.

На электрические заряды проводника в этом случае будет действовать сила, под действием которой свободные электроны начнут двигаться вдоль проводника. В нашем примере электроны движутся от дальнего края к ближнему, что соответствует направлению тока от ближнего края к дальнему. Направление наведенной э.д.с. и тока в проводнике, как легко убедиться, согласуется с правилом правой руки.

Величина наведенной э.д.с. в проводнике зависит:

- от величины индукции B магнитного поля, так как чем гуще расположены магнитные индукционные линии, тем большее число их пересечет проводник за единицу времени;
- от скорости движения проводника v в магнитном поле, так как при большой скорости движения проводник может больше пересечь индукционных линий в секунду.

Направление наводимой э.д.с. — это то направление, в котором под ее действием в замкнутой цепи должен протекать ток.

Величина наведенной э.д.с. может быть найдена по формуле:

$$e = B \cdot L \cdot v,$$

где B — индукция магнитного поля; l — длина проводника, находящегося в магнитном поле; v — скорость перемещения проводника.

Данная формула справедлива, когда проводник расположен под прямым углом к направлению магнитного поля и к направлению перемещения и когда направление перемещения тоже образует прямой угол с направлением поля.

7.6. Закон Ленца

В 1834 г. русский академик Э. Х. Ленц, известный своими многочисленными исследованиями в области электромагнитных явлений, дал универсальное правило для определения направления индуцированной э.д.с. в проводнике. Это правило, известное как закон Ленца, может быть сформулировано так:



Направление наведенной э.д.с. всегда таково, что вызванный ею ток и его магнитное поле имеют такое направление, которое препятствует происходящим изменениям.

Справедливость закона Ленца подтверждается следующим.

Если расположить проводник в магнитном поле так, как показано на рис. 7.6а, то при движении проводника вправо, он будет пересекать это магнитное поле. Тогда в проводнике наводится (индуцируется) э.д.с., направление которой можно определить по правилу правой руки. В нашем случае направление наведенной э.д.с. будет «к нам».

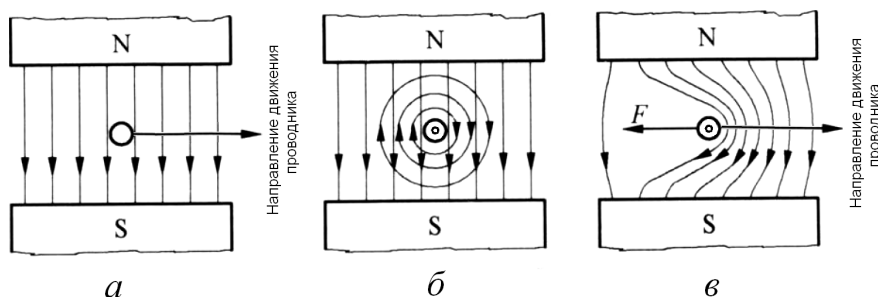


Рис. 7.6. Противодействие проводника с наведенным током своему движению

Посмотрим теперь, как будет себя наш проводник с током в магнитном поле, рис. 7.6б. Из предыдущего нам известно, что проводник с током в магнитном поле будет выталкиваться. Направление выталкивания определим по правилу левой руки. В нашем случае сила выталкивания направлена влево. Таким образом, наведенный ток, взаимодействуя с магнитным полем, мешает движению проводника, т. е. противодействует причине, которая его вызвала, рис. 7.6в.

Для следующего опыта соберем цепь, показанную на рис. 7.7, вводя постоянный магнит северным концом в катушку, заметим отклонение стрелки гальванометра. Опыт показывает, что направление наведенного тока в катушке будет по часовой стрелке. Пусть ему соответствует отклонение стрелки влево от среднего нулевого положения. Следовательно, катушка как бы превратилась в соленоид, и указанное направление тока создает слева ее северный полюс, а справа — южный. Так как одноименные полюса магнита и соленоида будут отталкиваться, то наведенный ток в катушке будет мешать движению постоянного магнита, т. е. будет противодействовать причине, которая его вызвала.

Если будем вынимать постоянный магнит из катушки, то стрелка гальванометра отклонится в противоположную сторону от нулевого деления. Этому

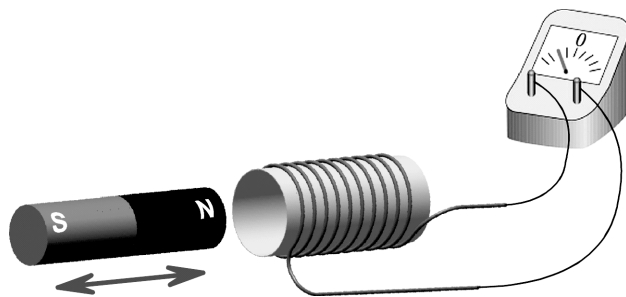


Рис. 7.7. Противодействие соленоида движению магнита

отклонению стрелки гальванометра соответствует и противоположное направление наведенного тока в катушке.

Определяя полюса катушки по правилу правой руки, найдем, что южный полюс будет теперь с левой стороны катушки, а северный справа. Разноименные полюса магнита и соленоида, притягиваясь, будут тормозить движение магнита. Значит, наведенный ток опять будет противодействовать причине, которая его вызвала.

7.7. Закон полного тока

Магнитное поле, создаваемое током, пропорционально току — чем больше ток, тем сильнее поле. Удвоение тока приводит к удвоению индукции. Так обстоит дело, когда магнитное поле создается в любой среде (воздух, керамика, медь и т. п.), за исключением железа и других материалов, подобных железу по магнитным свойствам (никель, кобальт, разные стали, чугун и т. п.). Эти материалы называются ферромагнитными, т. е. магнитными, как железо (феррум).

Обратимся сначала к рассмотрению магнитного поля токов в отсутствие ферромагнитных тел. Изобразим магнитное поле рядом линий, если вдоль какой-нибудь из линий значение магнитной индукции остается постоянным, то для такой линии очень просто выражается один из основных законов магнитного поля — закон полного тока.



Произведение магнитной индукции B на длину замкнутой линии l равно полному току, охваченному этой линией.

или

$$B \cdot l = I.$$

На практике встречается не очень много случаев, когда можно считать индукцию одной и той же вдоль целой замкнутой линии поля. Но такие случаи все же есть, и приведенное здесь выражение для закона полного тока оказывается очень полезным.

7.8. Намагничивание ферромагнетиков

При внесении ферромагнитного сердечника в слабое магнитное поле, например катушки с током, магнитная индукция поля возрастает в сотни или тысячи раз. Эта индукция намного больше индукции, которую тоже самое намагничивающее действие может создать во всех других ферромагнитных телах (в воздухе, меди, стекле, бронзе, воде и т. п.).

Магнитные свойства ферромагнетиков объясняются наличием в них самопроизвольно намагниченных микроскопических областей, которые, ради простоты, можно рассматривать как элементарные магнетики. Под действием внешнего поля, например магнитного поля катушки с током, эти магнетики

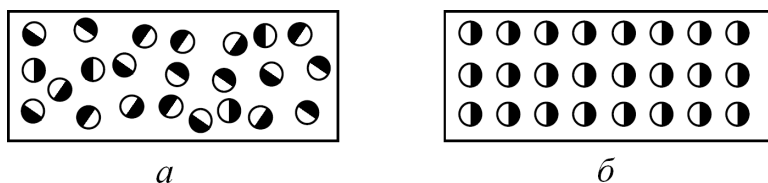


Рис. 7.8. Ферромагнетик в исходном состоянии (а) и под воздействием магнитного поля (б)

поворачиваются в направлении поля, вызывая этим усиление индукции, рис. 7.8. В магнитной цепи, состоящей преимущественно из ферромагнитных участков, можно получить значительную магнитную индукцию при относительно малой магнитодвижущей силе.

Прделаем ряд опытов, для этого на железный сердечник нанесем две изолированные обмотки. Изменяя ток в первой обмотке, и наблюдая за величиной э.д.с., наводимой во второй обмотке, легко проследить за всеми изменениями магнитного потока, происходящими при изменении тока.

В табл. 7.1 и рис. 7.9 представлены результаты наблюдений, произведенные над катушкой с железным сердечником из чистого отожженного железа. Кривую изображенную на рис. 7.9 можно разделить на три участка:

- прямолинейный участок, который показывает, что магнитная индукция быстро растет почти пропорционально напряженности поля;
- участок изгиба кривой, который характеризует замедление роста магнитной индукции;
- участок магнитного насыщения — здесь зависимость между B и H снова прямолинейна, но рост магнитной индукции значительно замедлен по сравнению с первым участком.

Магнитное насыщение ферромагнетиков объясняется тем, что почти все элементарные магнитики ориентированы вдоль поля.

Таблица 7.1. Магнитная индукция катушки с током

Напряже- ние U , В	Сопротивле- ние катушки R , Ом	Ток I , А	Число витков катушки N	Средняя дли- на магнитной линии l , м	Напряженность поля H , А/м	Абсолютная магнитная проницаемость μ_a	Магнитная индукция B , Тл
0	25	0	150	0,15	0	200	0
20	25	0,8	150	0,15	800	200	0,2
40	25	1,6	150	0,15	1600	180	0,36
60	25	2,4	150	0,15	2400	145	0,435
80	25	3,2	150	0,15	3200	112	0,448
100	25	4	150	0,15	4000	90	0,45

Рассмотренная нелинейная зависимость указывает на то, что абсолютная магнитна проницаемость ферромагнитных материалов $\mu_a = B/H$ непостоянна и зависит от напряженности магнитного поля, а следовательно, и от тока намагничивающей катушки.

Продолжим наши опыты. Будем уменьшать ток в витках катушки. Напряженность поля, а вместе с ней и магнитная индукция будут уменьшаться. Ко-

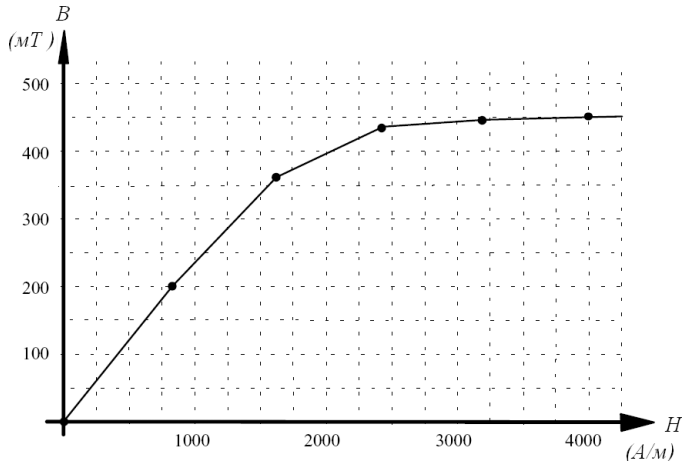


Рис. 7.9. Начальная кривая намагничивания железа

гда ток в обмотке катушки будет равен нулю, напряженность поля также будет равна нулю. Однако стальной сердечник будет сохранять некоторую магнитную индукцию.

Индукция, которая остается в ферромагнитном теле при напряженности поля, равной нулю, называется остаточной индукцией или остаточным магнетизмом.

Наименьшим остаточным магнетизмом обладает чистое железо, мягкая сталь, сплавы железа с кремнием (электротехническая сталь), сплавы железа с никелем (пермаллой). Эти металлы и сплавы легко намагничиваются и так же легко размагничиваются. Они нашли себе применение при изготовлении сердечников электромагнитов, трансформаторов, полюсных наконечников, якорей генераторов и т. п.

Наибольшим остаточным магнетизмом обладают специальные сорта твердых сталей: вольфрамовой, хромистой, кобальтовой, никельалюминиевой. Эти стали применяются для изготовления постоянных магнитов.

7.9. Гистерезис

В предыдущей главе мы рассмотрели намагничивание катушки с железным сердечником. Увеличивая проходящий по виткам обмотки ток мы добились насыщения сердечника. Если теперь, достигнув точки насыщения, уменьшать H , то будет уменьшаться и B . Однако уменьшение B при уменьшении H , т. е. при размагничивании, будет происходить с запаздыванием по отношению к уменьшению H . Величина остаточной индукции при $H = 0$, в нашем опыте, составила 250 мТ, рис. 7.10.

Для того чтобы магнитная индукция в сердечнике стала равной нулю, необходимо намагнитить материал в обратном направлении, т. е. перемагнитить его. Для этой цели направление тока в обмотке меняется на противоположное. Направление магнитных линий и напряженность поля также изменится.

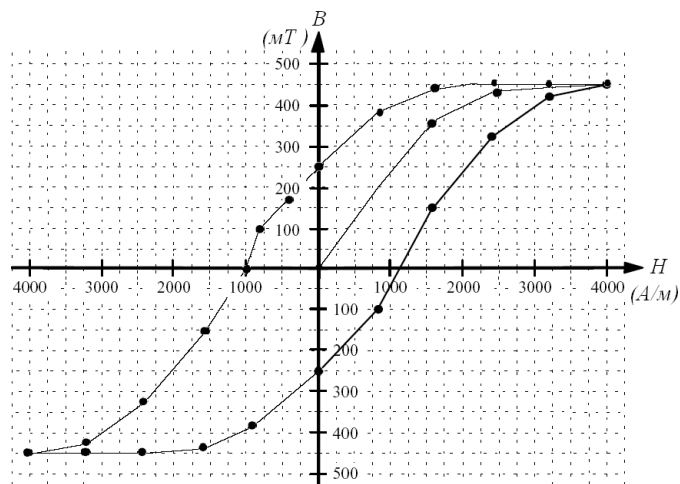


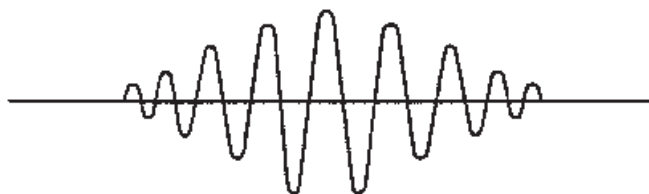
Рис. 7.10. Петля гистерезиса

При напряженности поля -1000 А/м (в нашем опыте) индукция в сердечнике равна нулю и материал сердечника полностью размагничен. Значение напряженности поля, при которой магнитная индукция сердечника становится равной нулю, является определенной характеристикой материала и называется задерживающей (коэрцитивной) силой.

Повторяя процесс перемагничивания, мы получим замкнутую кривую, называемую петлей гистерезиса. На этом опыте легко убедиться, что намагничивание и размагничивание сердечника (появление и исчезновение полюсов, магнитной индукции или магнитного потока) отстают от момента появления и исчезновения намагничивающей и размагничивающей силы (тока в обмотке катушки).

Явление гистерезиса можно иными словами охарактеризовать как отставание изменений магнитной индукции от изменений магнитного поля. Перемагничивание материала связано с затратой некоторого количества энергии, которая выделяется в виде тепла, нагревающего материал.

Гистерезис особенно сильно сказывается, если материал сердечника обладает большим остаточным магнетизмом, например, углеродистая сталь. Явление гистерезиса в большинстве случаев вредно. Оно сопровождается нагревом сердечника, лишней затратой мощности источника тока и гудением сердечника вследствие перемены полярности и поворотом элементарных частиц материала сердечника.



Глава восьмая

ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК



8.1. Получение переменного тока

Читателю, конечно, известно, что на электростанциях вырабатывается для потребителей не постоянный, а переменный ток. Электрическая осветительная сеть в домах и квартирах, в театрах и ресторанах, так же как и силовая электрическая сеть на заводах и фабриках, питается переменным током.

Широкое распространение переменного электрического тока не случайно. Переменный ток легко получить в генераторах за счет механической энергии. Его напряжение удобно повышать и понижать с помощью трансформаторов.

Для преобразования механической энергии в электрическую необходимо энергию движения преобразовывать в энергию электрического тока. Электрический ток при этом возбуждается путем электромагнитной индукции.

Явление электромагнитной индукции может получить техническое применение лишь в том случае, если мы сумеем непрерывно наводить напряжение в электрических цепях. Спросим себя, может ли э.д.с., наведенная в каком-нибудь контуре, сохранять неизменными как свою величину, так и свое направление.

Чтобы обеспечить постоянство э.д.с., надо или непрерывно увеличивать сцепленный с контуром магнитный поток, или, наоборот, уменьшать его. Если магнитный поток будет в равные промежутки времени получать одинаковые приращения, то э.д.с. будет неизменной по величине.

Ясно, что нельзя неограниченно увеличивать магнитную индукцию. Для нее существует предел, обусловленный и экономической целесообразностью, и сегодняшним уровнем техники. Этим пределом и определяется тот промежуток времени, в течении которого наведенная э.д.с., а следовательно и электрический ток могут оставаться постоянными.

Между тем от генераторов требуется непрерывная работа, исчисляемая не секундами и минутами, а месяцами и годами. При таких обстоятельствах индуктированное напряжение может быть лишь изменяющимся. Магнитный поток сквозь площадку рамки должен попеременно увеличиваться и уменьшаться, и тогда его величина не превзойдет заданного предела.

Если сопротивление, к которому подключается источник изменяющегося во времени напряжения, не обладает свойством односторонней проводимо-

сти, как, например, диод, то протекающий по цепи ток также будет переменным.

На рис. 8.1 показано устройство для получения переменного тока. Стальной сердечник придает магнитным линиям желательную форму: между полюсами получается приблизительно однородное поле. В этом поле равномерно вращается прямоугольная рамка. Концы рамки присоединены при помощи скользящих контактов к вольтметру.

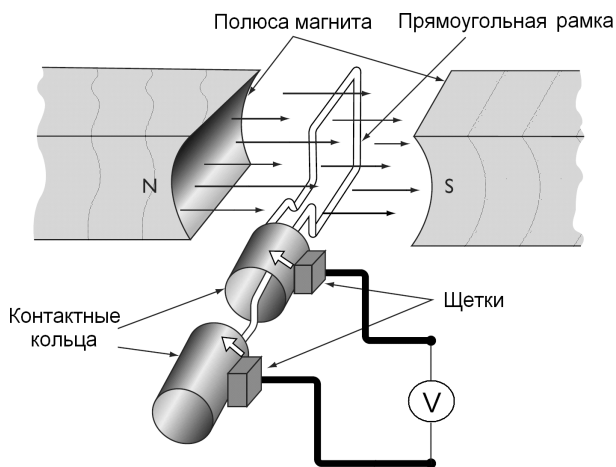


Рис. 8.1. Схема генератора переменного тока

Магнитный поток между полюсами магнита постояен, но та его доля, которая сцепляется с вращающейся рамкой, будет неодинакова в различные моменты времени.

Изменение величины магнитного потока, пронизывающего виток, происходит непрерывно, хотя поток, созданный магнитом, остается неизменным. Следовательно, в рамке будет наводиться э.д.с. И действительно, опыт показывает, что стрелка вольтметра отклоняется.

Проследим шаг за шагом, как будет изменяться э.д.с. рамки при ее равномерном вращении, рис. 8.2. Очевидно, что достаточно проследить за изменением э.д.с. на протяжении одного полного оборота рамки. После того как сделан полный оборот, рамка возвращается в исходное положение, и происходящие в ней явления будут повторяться в той же последовательности. В рамке будет наводиться периодическая э.д.с., длительность которой равна времени одного полного оборота.

На первый взгляд может показаться, что период э.д.с. равен времени не полного оборота, а полуоборота. Ведь после того как рамка сделает один полуоборот, она, казалось бы, займет прежнее положение в магнитном поле. Чтобы разобраться в этом, обратимся к рис. 8.3, где изображены последовательные положения рамки через четвертую часть от полного оборота.

Сличим положения рамки при угле поворота 90° и 270° . В обоих случаях рамка сцеплена с одинаковыми по величине магнитными потоками. Но есть и существенное различие. Определим направление тока в рамке по правилу ле-

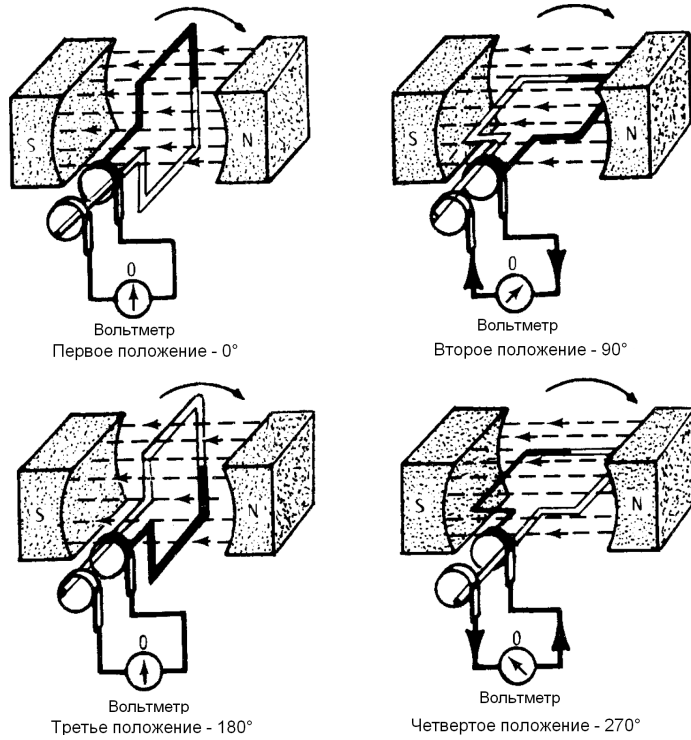


Рис. 8.2. Получение переменного тока

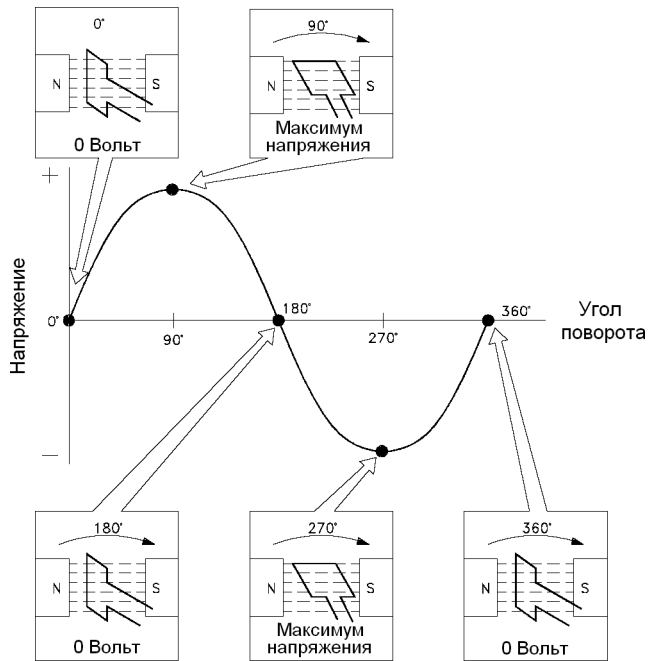


Рис. 8.3. Изменение напряжения на концах вращающейся рамки

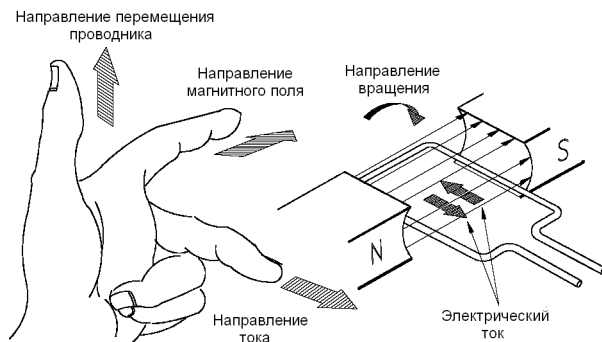


Рис. 8.4. Определение направления тока в рамке генератора по правилу левой руки

вой руки, рис. 8.4. Ток в левом проводе направлен на нас, а в правом — от нас. Но дело в том, что когда рамка сделает полуоборот, левый провод превратится в правый. Таким образом, хотя величина тока в эти моменты одинакова, однако направления токов оказываются противоположными.

Если в положениях 0 , 180 и 360° э.д.с. и ток оказываются равными нулю, то в положении 90 и 270° они должны достичь своих наибольших значений. Любопытно, что как раз в этот момент времени сцепленный с рамкой магнитный поток равен нулю. Но скорость его изменения в этот момент оказывается наибольшей, так как провода рамки движутся поперек магнитных линий.

С подобными явлениями мы встречаемся очень часто в повседневной практике. Так, например, раскачиваясь на качелях, легко заметить, что когда качели отклоняются от своего нижнего положения, скорость их движения постепенно убывает. Наибольшее отклонение всегда бывает в тот момент, когда скорость уменьшается до нуля. Затем скорость движения качелей меняет свое направление на обратное. Скорость постепенно увеличивается и достигает наибольшей величины, когда качели проходят свое исходное положение, т. е. тогда, когда отклонение от исходного положения равно нулю.

Аналогично работает поршневая установка изображенная на рис. 8.5. Поршень A (генератор) двигаясь вниз, постепенно замедляет скорость, оста-

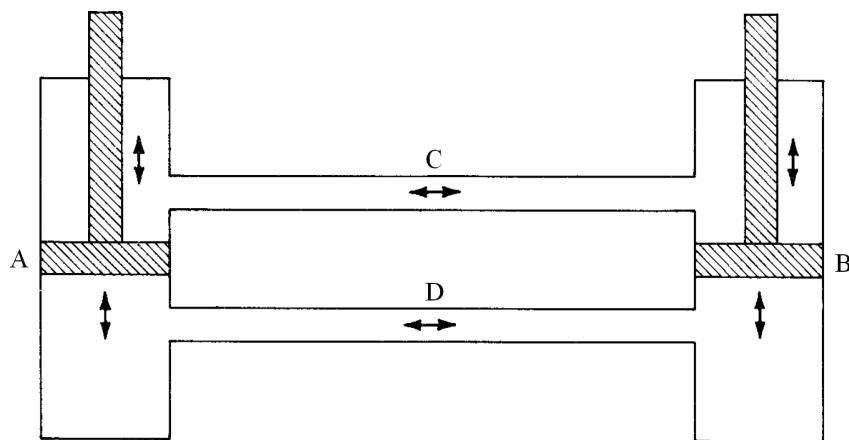


Рис. 8.5. Поршневая установка — аналог цепи переменного тока

навливается и начинает двигаться в обратную сторону. Дойдя до верхней точки, он снова начинает двигаться вниз. Вода (электроны) текущая по трубам (проводам) *C* и *D*, то в одну сторону, то в другую, приводит в движение поршень *B* (механизм).

Во всех этих случаях происходит периодическое изменение величин, характеризующих данный процесс. Величина отклонения качелей или маятника от положения равновесия и скорость их движения являются периодическими величинами.

8.2. Генератор переменного тока

Переменный ток впервые применил П. Н. Яблочков в 1876 г. По его проекту были построены генераторы переменного тока.

Принцип устройства генератора по существу ничем не отличается от устройства только что рассмотренного витка (рамки). В современных генераторах обмотка, состоящая из нескольких последовательно соединенных витков, обычно расположена на статоре, магнит (или электромагнит) при этом укрепляется на валу ротора. Ротор соединен при помощи какого-нибудь привода, например ременной передачи, с двигателем. Очевидно, что при этом принцип действия генератора остается неизменным.

Конструкция генератора переменного тока показанная на рис. 8.4, не может быть практически использована. Недостатком ее является трудность создания однородного магнитного поля и большое магнитное сопротивление магнитному потоку, который значительный путь проходит по воздуху.

В конструкциях современных электрических машин между полюсами электромагнита помещают стальной барабан (ротор), в пазы которого укладывают проводники обмотки. Магнитным линиям в этом случае приходится проходить по воздуху короткий путь между сталью полюсов и барабаном. Можно доказать, что магнитные линии, проходя воздушный промежуток, будут входить в барабан в радиальном направлении и в таком же направлении будут выходить из него, чтобы попасть в другой полюс.

Обратимся к уже рассмотренному примеру вращения рамки в магнитном поле. Электродвижущая сила наводилась в рамке при ее вращении в поле за счет изменения сцепленного с рамкой магнитного потока. Точно такое же изменение сцепленного с рамкой магнитного потока можно получить и в неподвижной рамке, если вращать электромагнит внутри рамки, рис. 8.6.

Так как в современных генераторах обмотка не вращается, то нет необходимости в скользящих контактах для присоединения нагрузки. Это значительно упрощает их эксплуатацию, рис. 8.7. Если же магнитное поле создается не постоянным магнитом, а электромагнитом, скользящие контакты все же остаются, но по ним протекает ток электромагнита, который значительно меньше, чем ток в обмотке, и работа контактов облегчается.

Обычно каждый тип генератора рассчитан только на одну определенную скорость вращения. Большинство генераторов делают 3000 оборотов в минуту (сокращено об/мин). В минуте 60 с. Следовательно, генератор совершает 50 об/с.

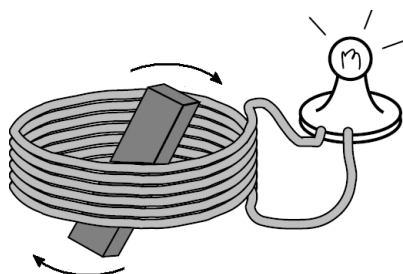


Рис. 8.6. Вращение магнита внутри рамки (катушки) вызывает появление тока

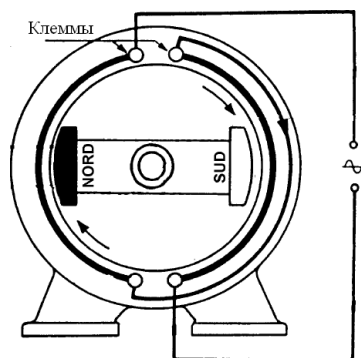


Рис. 8.7. Генератор переменного тока

Продолжительность одного оборота или периода составляет:

$$\frac{1}{50} = 0,02 \text{ с.}$$

Для того чтобы узнать период переменного тока, получаемого от генератора, необходимо посмотреть технический паспорт генератора. На щитке (шильдике), прикрепленном к каждому генератору, также имеются необходимые данные. Однако в паспорте и табличке на щитке указан не период, а частота переменного тока.



Частотой переменного тока называется число периодов изменения тока за одну секунду.

Частота переменного тока обозначается буквой f , период — буквой T . Следовательно,

$$f = \frac{1}{T}.$$

Для единицы частоты принято наименование Гц (герц).

Для генераторов, работающих на электростанциях России, стран ближнего и значительной части дальнего зарубежья, установлена стандартная частота 50 Гц (в Америке и некоторых странах — 60 Гц). Такова же частота тока в обычной осветительной сети, а также в сетях заводов и фабрик. Поэтому частоту 50 Гц называют обычно промышленной частотой.

8.3. Синусоида

Чтобы получить исчерпывающее представление о повторяющемся каждый период или, как говорят, периодическом явлении, достаточно изучить его в промежутке времени, равном одному периоду. Так, например, зная, как изменяется продолжительность дня в течение какого-нибудь одного года, мож-

но указать, чему равна продолжительность дня в любом году. Этой цели служат раз и навсегда составленные таблицы, приводимые в календарях.

Подобные таблицы можно составить для периодических токов и э.д.с. Период разбивается на несколько частей, например на 24. Замеряя значения тока в начале периода, затем в момент времени, наступающий, например, через $1/24$ часть периода. Следующее измерение производится снова с промежутком времени $1/24$ часть периода и т. д.

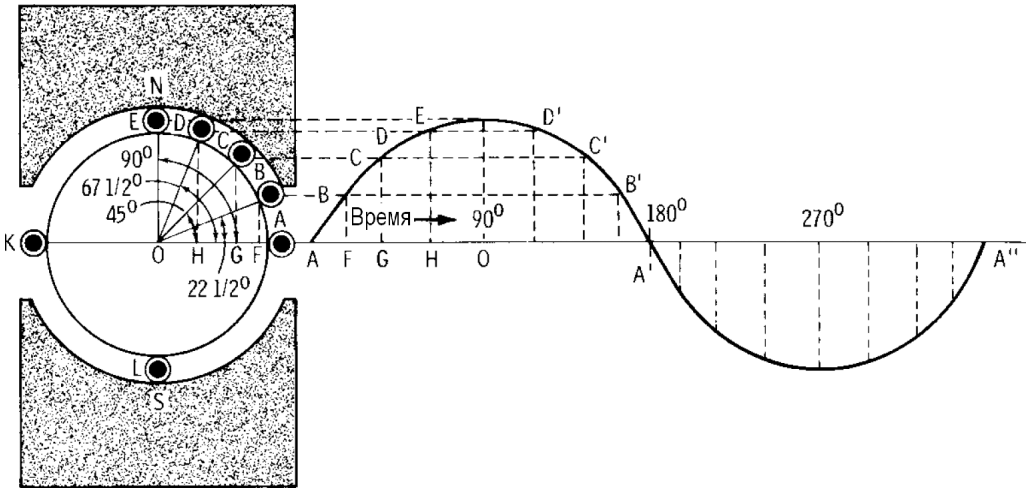


Рис. 8.8. Графическое построение синусоиды

Наша задача облегчается тем обстоятельством, что стандартами предписывается заводам изготовлять генераторы с вполне определенным изменением э.д.с. в течение периода, т. е. чтобы в проводнике катушки индуктировалась э.д.с. изменяющаяся по закону синуса. Такая э.д.с. называется синусоидальной. Изображающая эту э.д.с. кривая может быть найдена простым построением, рис. 8.8.

8.4. Начальная фаза синусоиды

Две синусоиды с разными начальными фазами. Двое получили одинаковое задание: построить кривую синусоидальной э.д.с., амплитуда которой равна 200 В, а период 0,02 с. Казалось бы, мы в праве ожидать, что будут построены две вполне одинаковые кривые. Но нам приносят кривые, показанные на рис. 8.9. Надо решить, принять ли работу или забраковать ее.

Бросается в глаза, что кривые построены в разных масштабах. Чтобы построить синусоиду, нужно выбрать два масштаба: один для изображаемой величины, в нашем примере — для э.д.с., и другой для времени. В вертикальном направлении отсчитывается величина э.д.с., и должно быть указано, какое количество вольт соответствует 1 мм графика.

В горизонтальном направлении отсчитывается время, и 1 мм графика соответствует вполне определенное количество секунд. Выбор масштаба произ-

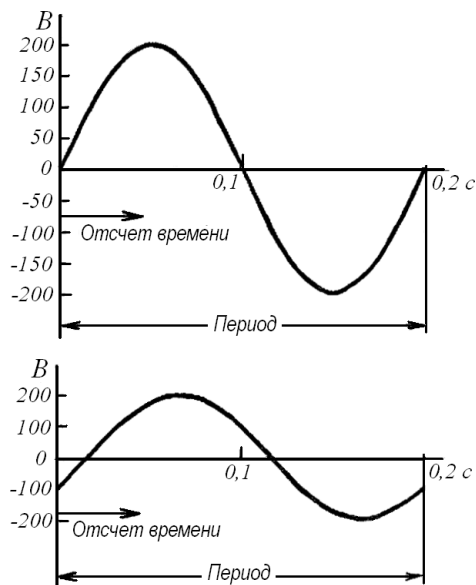


Рис. 8.9. Две синусоиды с разными начальными фазами и в разных масштабах

волен, и основным соображением, определяющим этот выбор, является наглядность чертежа.

Вооружившись измерительной линейкой, мы убеждаемся в том, что оба чертежа выполнены в точном соответствии исходным данным. Обе кривые соответствуют определению синусоиды. Но одна синусоида начата от нулевого значения и в начале возрастает, а другая синусоида начата от значения половины отрицательной амплитуды, и в начале убывает. Какое же из двух построений правильное?

Синусоида является периодической кривой и, следовательно, не имеет ни начала, ни конца. На наших чертежах мы обычно строим один из периодов синусоиды. После того как такое построение выполнено, уже не трудно продолжить кривую как угодно далеко вправо и влево. Что считать началом периода, совершенно безразлично.

Подытоживая наши рассуждения, мы можем сделать заключение, что обе кривые построены в точном соответствии с заданием.

Синусоида характеризуется тремя величинами. Чтобы полностью описать периодическое явление, протекающее по синусоидальному закону, мы должны указать амплитуду, период и то значение синусоиды, которое мы хотим считать ее началом. На последнем признаке синусоиды надо остановиться подробнее.

Допустим, мы хотим считать началом периода тот момент, когда синусоида принимает значение, равное одной трети своей амплитуды. Такое определение было бы недостаточным — указанное значение наступает четырежды на протяжении одного периода. Удобнее пользоваться понятием начальной фазы. Для этого нужно вернуться к рис. 8.8.

Соединим какую-нибудь из отметок, сделанных нами на окружности, с ее центром. На рис. 8.8 такое построение выполнено для отметок $A-E$. Радиус принадлежащий отметке A , назовем начальным. Итак, для исчерпывающе-

го определения синусоиды достаточно указать ее амплитуду, период и начальную фазу.

Необходимость определения начальной фазы. Необходимость определения начальной фазы легко вытекает из следующего простого примера.

Представьте себе два последовательно включенных генератора, частота и амплитуды э.д.с. которых одинакова. Спрашивается: можно ли заранее определить, какое суммарное напряжение будет в каждый момент времени?

Очевидно, что нельзя.

Согласное включение двух генераторов. Если генераторы имеют одинаковую начальную фазу, то кривые напряжения (синусоиды в данном случае) для каждого генератора, изображенные на одном и том же чертеже в одинаковом масштабе, совпадут.

Следовательно, общее (суммарное) напряжение обеих генераторов будет всегда вдвое больше напряжения каждого генератора в отдельности.

Обычно такое включение называется согласным.

Встречное включение двух генераторов. Предположим, что один генератор имеет начальную фазу, равную нулю, а другой — равную 180° , т. е. величина напряжения первого генератора в любой момент времени имеет то же значение, что и величина напряжения второго генератора, однако знаки напряжения (+ или -) не будут совпадать.

В моменты времени, когда напряжение первого генератора положительно, напряжение второго генератора отрицательно, и наоборот.

Учитывая, что напряжения складываются алгебраически, приходим к выводу, что результирующее напряжение в каждый момент времени равно нулю.

Заметим, что если фазы генератора отличаются на 180° , то говорят, что генераторы работают в противофазе или соединены встречно.

Сдвиг фазы. Очевидно, что две синусоиды, имеющие разные начальные фазы, как бы сдвинуты одна относительно другой по горизонтали. Поэтому разность начальных фаз двух синусоид и называют обычно сдвигом фазы.

Сложение двух синусоид дает опять синусоиду. Непосредственным построением суммарных кривых для любых двух синусоид, в том числе и с разными амплитудами, можно убедиться, что полученная кривая имеет опять-таки форму синусоиды, у которой может оказаться измененной начальная фаза или амплитуда, или то и другое вместе.

Таким образом,



Сумма двух синусоид также является синусоидой.

8.5. Закон Ома и Джоуля — Ленца в цепи переменного тока

Закон Ома. Опыт показывает, что закон Ома сохраняет свою силу и для переменного тока. Поэтому, если по сопротивлению протекает переменный ток, на его концах будет переменное напряжение, пропорциональное току. В частности, в те моменты времени, когда ток становится равным нулю, нулю равно и напряжение на проводнике. Кривые на рис. 8.10. показывают, что си-

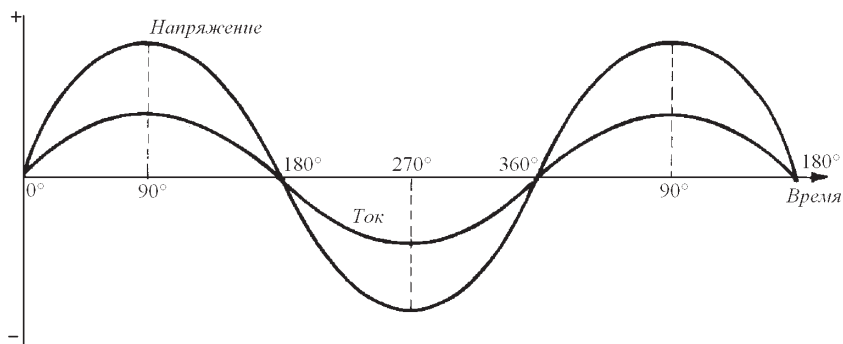


Рис. 8.10. Сдвиг фаз между током и напряжением на сопротивлении отсутствует

нусоиды тока и напряжения имеют одинаковую начальную фазу. В этом случае говорят, что ток и напряжение совпадают по фазе.

Мощность в цепи переменного тока. Определение мощности, данное для цепи постоянного тока, полностью сохраняет свою силу и для цепей переменного тока: мощность равна произведению тока на напряжение. Мощность переменного тока также будет переменной величиной. Однако закон изменения мощности будет иным, чем закон изменения тока и напряжения.

И ток, и напряжение изменяют свое направление дважды в течение периода. Из графика на рис. 8.10 следует, что знаки тока и напряжения всегда одинаковы. Припомним правило алгебры: результатом перемножения двух чисел, имеющих одинаковые знаки, т. е. + и + или – и –, будет положительное число. Следовательно, мощность в нашей цепи будет всегда положительна. Это означает, что нагрев проводника происходит независимо от того, в каком направлении протекает ток.

Построим кривую мощности, получая каждую ее точку путем перемножения соответствующих значений напряжения и тока, рис. 8.11. Попробуем подсчитать ту энергию, которая затрачивается за период на нагревание проводника.

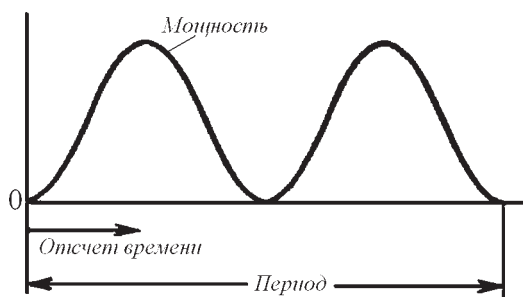


Рис. 8.11. Кривая мощности переменного тока, протекающего по сопротивлению

Если бы мощность была постоянной, подсчет не вызвал бы затруднений. Энергия равнялась бы произведению постоянной мощности и того промежутка времени, за который подсчитывается работа. Но как решить ту же задачу, если мощность изменяется?

Средняя мощность за период. Здесь удобно воспользоваться средним значением мощности за период. Чтобы найти среднюю мощность, делят период на равное число частей, например на 12, нумеруют отметки, начиная от нуля, подсчитывают мощность для моментов соответствующих всем отметкам, кроме нулевой, результаты складывают и сумму делят на число отметок. Мы приведем здесь лишь результат этого подсчета. Он гласит:



Средняя мощность равна половине своего наибольшего значения.

Это верно при условии, что ток и напряжение совпадают по фазе.

Таким образом, работа переменного тока за период равна произведению средней мощности и продолжительности периода, рис. 8.12.

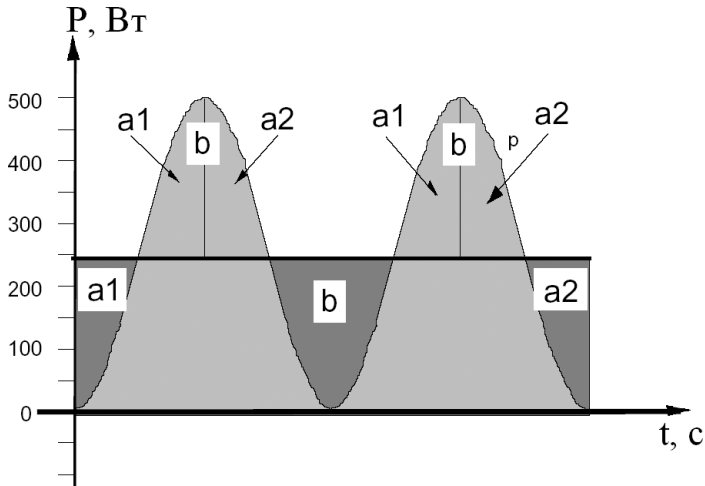


Рис. 8.12. Работа переменного тока за период равна произведению средней мощности и продолжительности периода

Наибольшая мощность равна произведению амплитудных значений тока и напряжения. Следовательно, средняя мощность:

$$P = \frac{1}{2} I_M U_M,$$

где I_M и U_M означают амплитуды тока и напряжения.

Закон Ома для того момента времени, когда ток и напряжение принимают свои амплитудные (максимальные) значения, записывается в виде:

$$U_M = R I_M.$$

Объединяя обе формулы, находим:

$$P = \frac{1}{2} R I_M^2.$$

Действующие значения тока и напряжения. Очевидно, что при одинаковых сопротивлениях и одинаковой мощности амплитуда переменного тока должна быть больше значения соответствующего постоянного тока. Сравнивая выражения для средней мощности при переменном токе и мощности постоянного тока, приходим к выводу, что

$$I_m^2 = 2I^2,$$

т. е. квадрат амплитуды переменного тока должен быть вдвое больше квадрата постоянного тока, что может быть записано и так:

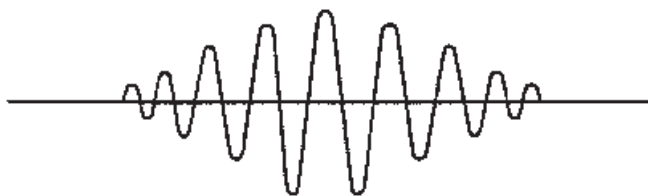
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707I_m.$$

Следовательно, если бы в сопротивлении протекал постоянный ток, составляющий 0,707 от амплитуды переменного тока, мощность тока была бы такой, как при протекании переменного тока. Этот ток принято называть действующим значением переменного тока.

Подобно этому величина

$$U = 0,707U_m$$

называется действующим значением переменного напряжения.



Глава девятая

ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА



9.1. Индуктивность в цепи переменного тока

Самоиндукция. Цепь переменного тока имеет ряд характерных особенностей. Мы знаем, что протекание тока связано с возникновением магнитного потока и что магнитные линии этого потока всегда пронизывают цепь создавшего их тока. Направление магнитных линий зависит от направления тока в цепи. Следовательно, в цепи переменного тока направление магнитных линий меняется каждые полпериода. Перемена направления тока неизбежно связана с переходом его через нулевое значение.

Всякое изменение тока в электрической цепи, вследствие пересечения проводника своим же собственным магнитным полем, вызывает возникновение в нем индуктированной э.д.с. — э.д.с. самоиндукции.

Как нам уже известно, э.д.с. самоиндукции зависит от скорости изменения тока в цепи и от индуктивности этой цепи (числа витков, наличия стальных сердечников).

В цепи переменного тока э.д.с. самоиндукции возникает непрерывно, так как ток в цепи непрерывно изменяется.

Электродвижущая сила самоиндукции. Итак, в цепи действуют, во-первых, напряжение источника тока (генератора), и, во-вторых, напряжение, возникающее в результате явления самоиндукции. Наконец, протекание в цепи тока — все равно постоянного или переменного — создает в сопротивлении цепи падение напряжения, величина которого определяется законом Ома.

Получается та же картина, как если бы в цепи постоянного тока существовали два источника напряжения, две э.д.с. Но в этом случае необходимо выяснить, как направлено действие этих источников, т. е. складываются ли эти э.д.с., увеличивая тем самым ток в цепи, или же, наоборот, они действуют навстречу друг другу.

Оказывается, что на протяжении одного периода переменного тока имеют место оба явления. В некоторой части периода напряжение генератора и напряжение самоиндукции направлены одинаково, т. е. их величины складываются. В другой же части периода направление напряжения генератора оказывается противоположным напряжению самоиндукции, и их величины уже вычитаются одна из другой.

Дело в том, что



Напряжение самоиндукции всегда направлено таким образом, что оно препятствует изменению тока, стремясь поддержать его величину на одном и том же уровне.

Положение вещей здесь примерно такое же, как и при вращении тяжелого маховика. До тех пор, пока мы раскручиваем маховик и стремимся увеличить его скорость, маховик действует как тормоз, он препятствует увеличению скорости. Если же мы захотим остановить маховик и начнем уменьшать его скорость, маховик начнет действовать как двигатель и будет сопротивляться нашим попыткам остановить его.

Чем больше масса маховика, тем труднее изменить величину его скорости. Чем больше напряжение самоиндукции, тем труднее изменить величину тока. Отсюда следует, что самоиндукция представляет собой как бы сопротивление протеканию переменного тока.

Реактивное сопротивление. При постоянном токе число магнитных линий постоянно, и напряжение самоиндукции не возникает. Таким образом, индуктивная цепь оказывает переменному току большее сопротивление, чем постоянному.

Поскольку э.д.с. самоиндукции зависит от скорости изменения пронизывающего его потока, то значение возросшего сопротивления должно зависеть от длительности периода переменного тока. Чем короче период, чем больше частота переменного тока, тем больше скорость изменения магнитного потока. Следовательно, чем больше частота тока в катушке, тем больше величина напряжения самоиндукции, тем большее сопротивление оказывается цепью переменному току.

Если бы в цепи действовало одно лишь напряжение самоиндукции, то сопротивление такой цепи оказалось бы по закону Ома равным

$$\frac{\text{Напряжение самоиндукции}}{\text{Ток}} = \text{Индуктивное (реактивное) сопротивление.}$$

Реактивное сопротивление в формулах обозначается буквой x .

Если бы в цепи полностью отсутствовало напряжение самоиндукции, например если бы цепь питалась от источника постоянного напряжения, то по закону Ома

$$\frac{\text{Падение напряжения в сопротивлении цепи}}{\text{Ток}} = \text{Сопротивление цепи.}$$

Активное сопротивление. Сопротивление цепи постоянному току называют активным (или омическим) сопротивлением.

Полное сопротивление. Цепь переменного тока часто ведет себя таким образом, как будто в ней, кроме омического сопротивления, находится еще и индуктивное сопротивление. Однако то правило, которым мы пользовались для сложения сопротивлений в неразветвленной цепи постоянного тока, здесь уже не годится. Расчет показывает, что для получения величины полного сопротивления цепи переменного тока нужно построить прямоугольный треуголь-

ник, сторонами которого служили бы величины омического и индуктивного сопротивлений. Полное сопротивление изобразится тогда гипотенузой такого треугольника, рис. 9.1. Если, например, омическое сопротивление цепи равно 3 Ом, а индуктивное 4 Ом, то полное сопротивление будет равно 5 Ом.

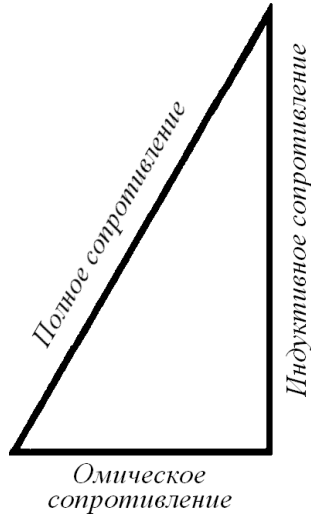


Рис. 9.1. Полное сопротивление цепи переменного тока равно гипотенузе прямоугольного треугольника, катеты треугольника равны соответственно индуктивному и омическому сопротивлениям

Полное сопротивление равно отношению величин переменного напряжения источника и тока в цепи. Полное сопротивление обозначается буквой z .

Понятно, что здесь речь идет не о мгновенных, а о действующих значениях тока и напряжения.

9.2. Фазовый сдвиг в индуктивной цепи

Синусоиды тока и напряжения сдвинуты по фазе. При наличии самоиндукции не только увеличивается сопротивление цепи, но нарушается и одновременность хода изменения напряжения и тока. Синусоида тока оказывается сдвинутой по фазе относительно синусоиды напряжения.

Сдвиг фаз между переменными напряжением и током означает, что они проходят через свои нулевые и максимальные значения не одновременно. Длительность же периодов напряжения и тока при этом не изменяется и остается одинаковой.

Например, в момент, когда внешнее напряжение равно нулю, в цепи будет проходить ток, величина и направление которого определяются напряжением самоиндукции. Наоборот, в тот момент, когда ток в цепи проходит через нулевое значение, напряжение источника не равно нулю.

Отсутствие тока объясняется тем, что в этот момент напряжение источника равно по величине и противоположно по направлению напряжению самоиндукции. Иными словами, напряжение самоиндукции в этот момент полно-

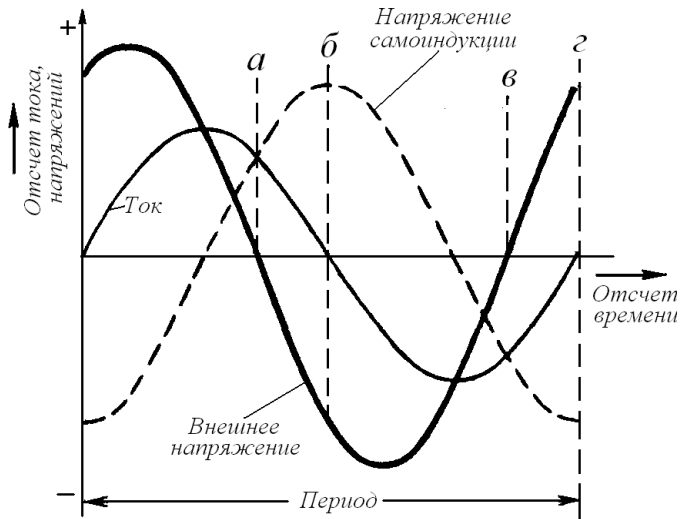


Рис. 9.2. Между током и приложенным напряжением в цепи с индуктивностью существует сдвиг фаз

стью уравновешивает напряжение источника. Процесс этот уясняется из рассмотрения графика на рис. 9.2.

Мы видим, что напряжение самоиндукции усложняет явление. Когда ток, пройдя через нулевое значение, начинает увеличиваться, напряжение самоиндукции оказывается направленным прямо противоположно току, стремясь помешать его возрастанию. Наоборот, при спаде тока (после перехода через максимальное значение) напряжение самоиндукции направлено одинаково с током, тем самым, препятствуя его уменьшению.

Нетрудно убедиться, что когда величина тока равна нулю (моменты времени \bar{b} и \bar{c}), напряжение источника полностью уравновешивается напряжением самоиндукции. Наоборот, когда напряжение источника равно нулю (моменты времени \bar{a} и \bar{v}), величина тока поддерживается напряжением самоиндукции.



Следствием сдвига фаз между током и напряжением у потребителя является невозможность использовать ту энергию, которая доставляется ему генератором.

Положительная и отрицательные мощности. Чтобы убедиться в этом, нарисуем еще раз график тока и напряжения, опустив для наглядности кривую напряжения самоиндукции, рис. 9.3. Рассмотрение его показывает, что направление тока в цепи может или совпадать с напряжением источника, или быть ему прямо противоположным.

Мощность электрической цепи равна произведению значений тока и напряжения:

$$P = UI.$$

Следовательно, при сдвиге фаз мощность может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Но что такое отрицательная мощность?

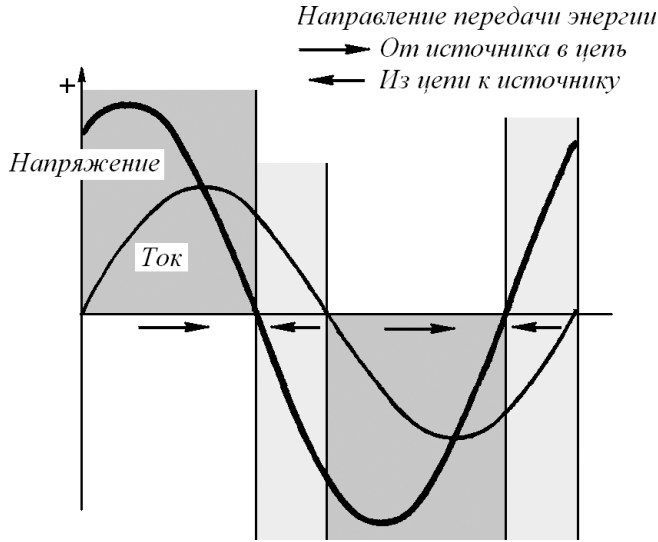


Рис. 9.3. Благодаря сдвигу фаз напряжение и ток могут быть направлены в противоположные стороны, в это время цепь возвращает часть энергии источнику

Ответом на этот вопрос является схема на рис. 9.4. Аккумуляторная батарея в зависимости от положения переключателя будет присоединена или к генератору постоянного напряжения, или к нагрузке (сопротивлению). Напряжение батареи (ее э.д.с.) всегда направлено от ее положительного полюса во внешнюю цепь. Это направление показано стрелкой 1.

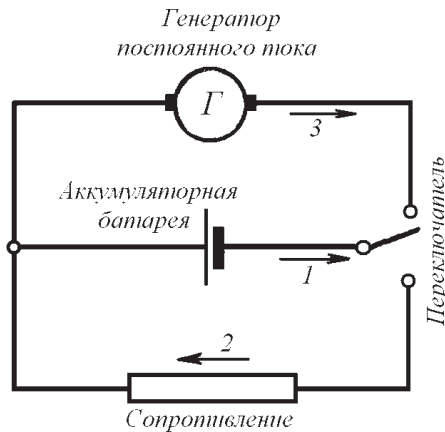


Рис. 9.4. Когда ток и напряжение батареи совпадают по направлению, она разряжается, расходуя свою энергию; если направление напряжения батареи противоположно току, она заряжается, получая энергию от генератора

Переведем переключатель в нижнее положение, т. е. присоединим батарею к нагрузке. Через нагрузку пройдет ток, направление которого обозначено стрелкой 2. Батарея будет расходовать энергию, необходимую для поддержания тока в цепи. В этом случае направление тока совпадает с направлением напряжения батареи.

Теперь переведем переключатель в верхнее положение, присоединим батарею к генератору постоянного тока. Напряжение генератора направлено по стрелке \mathcal{E} , т. е. навстречу напряжению батареи. Если напряжение генератора больше э.д.с. батареи, то ток будет идти от генератора к батарее. Генератор будет заряжать батарею, сообщая ей запас энергии. Направление зарядного тока (стрелка \mathcal{I}) будет противоположно направлению батареи.

Итак, если ток и напряжение имеют одинаковые направления, то источник, в нашем примере аккумуляторная батарея, расходует свою энергию. Наоборот, при противоположных направлениях тока и напряжения источник получает энергию из цепи. Положительный знак мощности соответствует передаче энергии от источника в цепь, а отрицательный знак мощности — передаче энергии из цепи к источнику.

Сдвиг фаз и мощность. Вернемся теперь к рис. 9.3. Оказывается, что при наличии фазового сдвига между напряжением и током энергия, посылаемая генератором, может быть потреблена в цепи лишь частично, так как только в течение части периода энергия передается к источнику. Кроме того, энергия генератора расходуется не только на тепло в активном сопротивлении. Часть отдаваемой генератором энергии запасается в магнитном поле цепи. Уменьшение тока в цепи означает и уменьшение запаса энергии в ее магнитном поле. Освобождающаяся при этом энергия возвращается обратно источнику.

Получается любопытная картина: индуктивный потребитель, т. е. потребитель, в цепи которого существует напряжение самоиндукции, не может полностью израсходовать полученную от генератора энергию.



Сдвиг фаз уменьшает полезную мощность.

Рассмотрим, как сложатся условия работы в цепи, где напряжение самоиндукции отсутствует.

При отсутствии самоиндукции отношение между током и напряжением в любой момент времени остается постоянным, а именно:

$$\frac{P}{I} = R.$$

Но цепь уже не возвращает энергию генератору. Напряжение и ток в любой момент времени имеют одинаковые направления. Знак мощности всегда положителен. Потребляемая в цепи мощность увеличилась, так как прекратился возврат энергии генератору.

9.3. Работа генератора на индуктивную нагрузку

Увеличим еще больше тот сдвиг фаз, который существовал на рис. 9.3. Это достигается уменьшением омического сопротивления в цепи переменного тока. Например, омическое сопротивление катушки из толстых проводов может оказаться в несколько десятков раз меньше величины индуктивного со-

противления. Влияние омического сопротивления при этом делается несущественным.

Происходящие здесь явления уясняются из рассмотрения рис. 9.5. Сдвиг фаз между током и напряжением достиг четверти периода. Это значит, что моменты прохождения тока и напряжения через свои нулевые и максимальные значения разделены промежутком времени в четверть периода.

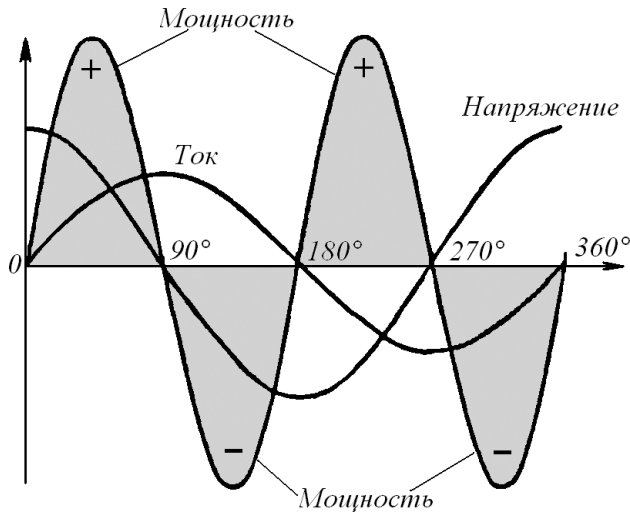


Рис. 9.5. Сдвиг фаз между напряжением и током равен $1/4$ периода, средняя мощность за полпериода равна нулю

Построим на графике кривую изменения мощности генератора. Мощность в любой момент времени равна произведению тока и напряжения. Эта кривая показывает, что мощность, отдаваемая генератором в цепь, в точности равна мощности, отдаваемой в следующую четверть периода цепью в генератор. Генератор не совершает никакой полезной работы, а перебрасывает энергию в цепь, с тем, чтобы вслед за тем получить ее обратно. Средняя мощность генератора оказывается равной нулю

К тому же выводу мы придем, воспользовавшись законом Джоуля — Ленца. Так как активное сопротивление цепи равно нулю, то нулю равна и потребляемая мощность.

Нагревание обмоток. В действительности средняя мощность генератора не точно равна нулю. Соединительные провода между генератором и нагрузкой, а также обмотка самого генератора обладают каким-то сопротивлением, хотя и очень маленьким.

При протекании тока в обмотке генератора и соединительных проводах они нагреваются, на что и расходуется некоторая мощность.

Двигатель, вращающий вал генератора, будет затрачивать мощность на нагревание проводов и обмотки, а также на преодоление силы трения в подшипниках генератора.

Как ни мала энергия, расходуемая на нагрев обмотки генератора, с ней все же приходится считаться. Соединительные провода имеют хорошее есте-

ственное охлаждение (в 1 м длины провода рассеивается небольшая мощность).

Обмотка генератора выполняется из длинного провода и имеет много витков, расположенных близко друг к другу. Даже если в каждом из них выделяется немного тепла, то при большом количестве витков общее количество выделяющегося тепла может быть очень большим. В этом случае и принудительная вентиляция генератора может оказаться не в состоянии отвести сконцентрированное в обмотке тепло.

Предельные значения тока генератора. Для любого генератора существует предельное значение тока, который может быть пропущен через его обмотки. Если этот предел будет превзойден, обмотки генератора перегреются.

Создается удивительное положение вещей. Генератор может не вырабатывать никакой мощности и, тем не менее, быть перегруженным. Ясно, что сдвиг фаз — крайне нежелательное явление.

9.4. Коэффициент мощности

Итак, величина потребляемой мощности зависит от величины сдвига фаз между напряжением и током. Следовательно, приведенная выше формула мощности недостаточна для подсчета средней мощности переменного тока. Мощность в цепи переменного тока будет меньше, чем в цепи постоянного тока. Только при отсутствии сдвига фаз мы получим одинаковые значения мощности в обеих цепях.

Следовательно, формула мощности нуждается в поправочном множителе и притом меньше единицы. Этот поправочный множитель учитывает величину фазового сдвига. Он называется коэффициентом мощности и сокращенно обозначается $\cos \varphi$ (читается: косинус фи).

Если при отсутствии сдвига фаз формула для мощности имела вид:

$$P = UI,$$

то при наличии сдвига фаз между током и напряжением формула примет такой вид:

$$P = UI \cos \varphi,$$

где по прежнему I и U — действующие значения тока и напряжения.

Как определить коэффициент мощности. Вспомним, что для мощности переменного тока мы имели еще одну формулу, а именно:

$$P = I^2 R.$$

Эта формула сохраняет свою силу и при сдвиге фаз. Если

$$UI \cos \varphi = I^2 R,$$

то после сокращения общего множителя I мы получим равенство

$$U \cos \varphi = IR,$$

которому можно придать такую форму:

$$\frac{R}{\left(\frac{U}{I}\right)} = \frac{R}{Z} = \cos \varphi.$$

В левой части этого равенства дробь, числитель которой представляет собой омическое сопротивление цепи, а знаменатель — полное. Отношение этих сопротивлений равно коэффициенту мощности.

Этот поправочный множитель может быть получен и из треугольника сопротивлений, поскольку он равен отношению величин омического и полного сопротивлений. Ясно, что этот множитель всегда меньше единицы, так как катет меньше гипотенузы.

В лампах накаливания почти нет сдвига фаз между током и напряжением. Контур, образуемый нитью лампы, имеет незначительную площадь, а следовательно, пронизывается ничтожно малым магнитным потоком. Коэффициент мощности достигает своего наибольшего значения, т. е. равен единице.

Величина коэффициента мощности в трансформаторах и электродвигателях зависит от степени их загрузки. У двигателя, нагрузка которого совпадает с его номинальной (т. е. указанной на шильдике) мощностью, коэффициент мощности обычно равен 0,8—0,9, а у крупных двигателей даже выше. Если двигатель загружен лишь частично, коэффициент мощности резко снижается.



Пример. В качестве примера определим величину рабочего тока двигателя, на щитке которого написано «4 кВт, 220 В, $\cos \varphi = 0,8$ ».

Если бы коэффициент мощности равнялся единице, то рабочий ток двигателя был бы равен

$$\text{Ток} = \frac{\text{Мощность}}{\text{Напряжение}} = \frac{4000 \text{ Вт}}{220 \text{ В}} = 18,2 \text{ А}.$$

В действительности коэффициент мощности равен 0,8, а следовательно, заданная мощность может быть получена лишь при повышенном значении тока. Поэтому

$$I = \frac{18,2}{0,8} = 22,7 \text{ А}.$$

Этот ток можно пропускать через обмотку двигателя, не перегревая ее. Если бы удалось каким-нибудь образом устранить сдвиг фаз между током и напряжением, то эта величина тока соответствовала бы потребляемой мощности 5 кВт.

9.5. Конденсаторы в цепи переменного тока

Мы знаем, что в цепи, составленной из источника постоянной э.д.с. и конденсатора, ток протекать не будет. Электродвижущая сила источника будет уравновешена напряжением между обкладками конденсатора. Напряжение на конденсаторе обусловлено наличием заряда на его обкладках. Величина заряда равна произведению емкости конденсатора и приложенного напряжения.

Составим цепь из источника постоянной э.д.с., конденсатора и переключателя, рис. 9.6. Точки *a* и *b* могут по нашему желанию присоединяться или к

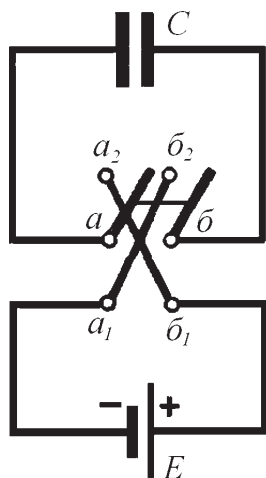


Рис. 9.6. Цепь, состоящая из источника постоянной э.д.с., конденсатора и переключателя

точкам a_1 и b_1 , или к точкам a_2 и b_2 . В первом случае правая обкладка конденсатора будет заряжаться положительно, а левая — отрицательно. Если же соединить зажимы a , b , a_2 и b_2 , то положительный заряд получит правая обкладка конденсатора.

Будем непрерывно переводить переключатель из одного положения в другое. Каждое переключение означает изменение полярности конденсатора. Чтобы зарядить или перезарядить конденсатор, нужно изменить количество электронов на его обкладках. В промежутке между двумя переключениями электроны проходят путь от одной обкладки до другой. Кратчайший путь закрыт диэлектриком, изолирующим одну обкладку от другой. Остается путь через батарею (генератор), и по нему будут двигаться заряды.

Итак, во внешней цепи будет происходить перемещение зарядов, т. е. протекать электрический ток. Направление тока будет все время меняться, т. е. ток будет переменным. Величина тока будет тем больше,

чем больше величина заряда, переносимого с обкладки на обкладку, и чем меньше время переноса.



Но, *Может ли электрический ток протекать в разомкнутой цепи?*

Наш повседневный опыт дает на это отрицательный ответ. Чтобы погасить лампу, выключить телевизор, остановить двигатель, мы размыкаем цепь, после чего лампа гаснет, экран телевизора тухнет, двигатель останавливается. В чем же здесь дело?

Дело в том, что разомкнутый выключатель представляет собой конденсатор с ничтожно малой емкостью. К зажимам выключателя подводится полное напряжение сети, и если напряжение переменное, то в подводящих проводах будет протекать ток, как это было сказано выше. Но этот ток настолько мал, что он не нагреет нить лампы даже на одну сотую долю градуса и не сдвинет с места диск электрического счетчика.

Конденсатор в цепи синусоидального тока. Вернемся к схеме на рис. 9.6 и заменим источник постоянной э.д.с. источником синусоидальной э.д.с. Переключатель становится лишним, так как и без него напряжение на конденсаторных обкладках будет менять свой знак. Перезарядка конденсатора вызывает перемещение зарядов по цепи, рис. 9.7.

Предположим, что сопротивление проводов, соединяющих генератор с конденсатором, весьма мало (толстые короткие провода). Тогда можно не считаться с происходящей в них потерей мощности. В самом конденсаторе мощность теряться не может, так как в нем нет тока проводимости. Тем не менее, генератор загружен.

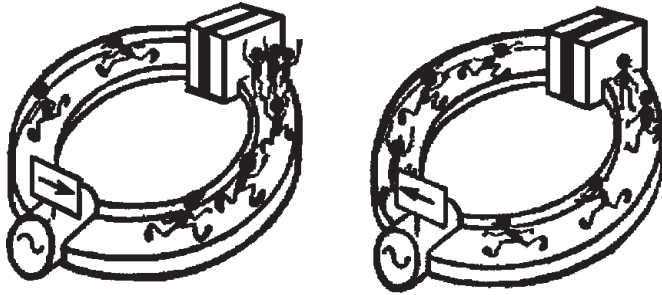


Рис. 9.7. Перезарядка конденсатора вызывает перемещение зарядов по цепи

Нарисуем кривую напряжения на конденсаторе, рис. 9.8. Наибольшему напряжению соответствует и наибольшее значение заряда на обкладках конденсатора. В тот момент, когда конденсатор разрядится полностью, напряжение между его обкладками делается равным нулю. Короче говоря, величина напряжения изменяется вместе с величиной заряда — напряжение и заряд пропорциональны друг другу.

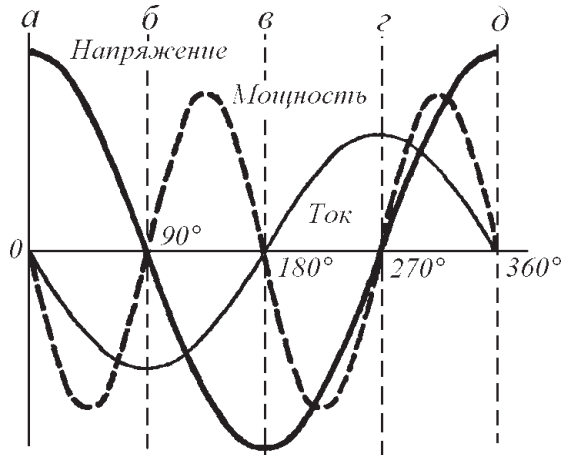


Рис. 9.8. Сдвиг фаз между напряжением и током конденсатора равен $1/4$ периода, средняя мощность равна нулю

Если в цепи не происходит перемещения зарядов, то ток равен нулю. Чем быстрее уходят заряды с обкладок, тем больше разрядный ток. Чем быстрее появляются заряды, тем больше зарядный ток конденсатора.

В момент времени *a* (рис. 9.8) напряжение конденсатора, а следовательно, и его заряд достигают максимума. Притока новых зарядов уже нет. Ток равен нулю.

Далее заряды начинают уходить с обкладок конденсатора. В цепи протекает разрядный ток. Очевидно, что его направление прямо противоположно направлению напряжения на конденсаторе, ведь сейчас ток стремится уменьшить величину напряжения.

К моменту времени *б* конденсатор полностью разрядится и начнет заряжаться вновь, но уже в противоположном направлении, т. е. с переменной зна-

ка зарядов на обкладках. Теперь ток и напряжение направлены одинаково, ибо ток стремится увеличить значение напряжения.

В момент времени v изменившее свой знак напряжение вновь достигает максимума, а величина тока спадает до нуля. Конденсатор начнет разряжаться.

Промежутки времени от v до z и от z до d соответствуют промежуткам времени от a до b и от b до v . Разница лишь в том, что направление напряжения на конденсаторе изменилось.

Сдвиг фаз между током и напряжением. Сопоставим полученные результаты с ранее полученными результатами, т. е. когда в цепи присутствует индуктивность, рис. 9.9. В обоих случаях фазовый сдвиг между напряжением и током составляет четверть периода (90°). Но есть и существенное различие. Ток индуктивного потребителя (рис. 9.9б) отстает от напряжения на 90° . Это означает, что максимум тока наступает через четверть периода после того, как наступит максимум напряжения. Ток емкостного потребления (рис. 9.9в), т. е. конденсатора, опережает напряжение на 90° . Это означает, что максимум тока наступает за четверть периода до того, как наступит максимум напряжения.

Действительно, если положить начальную фазу напряжения на конденсаторе и напряжения самоиндукции на катушке равной нулю, то фаза тока в

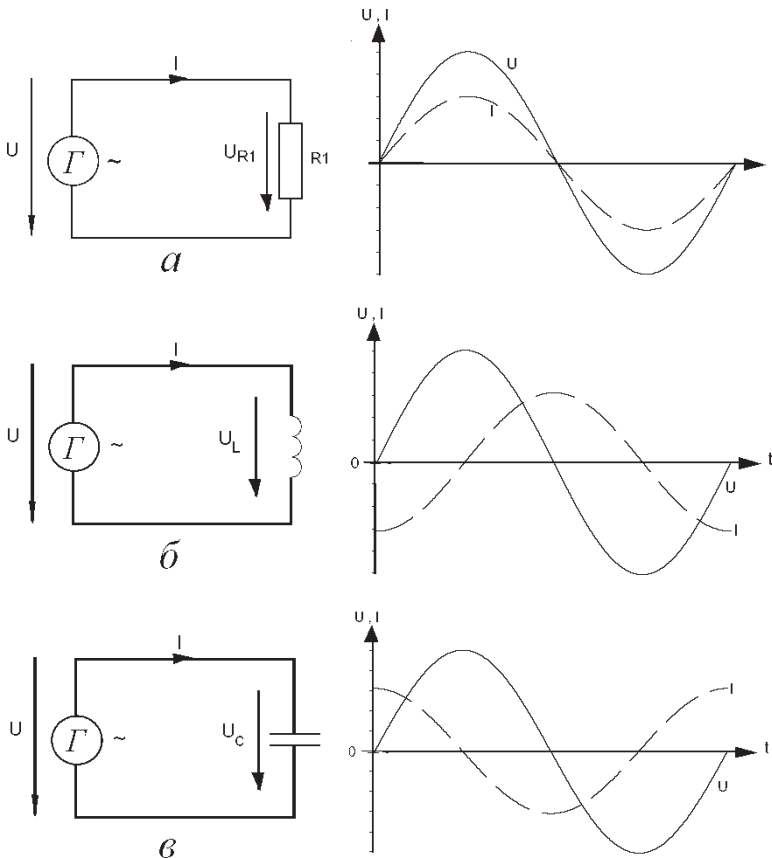


Рис. 9.9. Графики тока и напряжения в различных цепях: a — с активным сопротивлением; $б$ — с индуктивностью; $в$ — с емкостью

конденсаторе будет $+90^\circ$, а фаза тока в индуктивности -90° . Токи в конденсаторе и индуктивности в начальный момент имеют максимальные значения, но разные знаки.

Ток в конденсаторе имеет положительное значение, ток в индуктивности — отрицательное.

В следующие моменты времени напряжение растет, приближаясь к своему амплитудному значению, а ток в конденсаторе уменьшается от амплитудного значения до нуля. Следовательно, максимум тока в конденсаторе достигается раньше максимума напряжения.

Напряжение пройдет свой максимум прежде, чем ток в индуктивности достигнет своего положительного максимума. Следовательно, максимум тока в индуктивности достигается позже максимума напряжения.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что



Ток в конденсаторе опережает напряжение.

Ток в индуктивности отстает от напряжения.

9.6. Компенсация сдвига фаз

Параллельное включение индуктивности и емкости. Посмотрим, что будет, если соединить параллельно индуктивный и емкостный потребители, рис. 9.10. В качестве индуктивного потребителя возьмем электродвигатель, рабочий ток которого 22,7 А, напряжение генератора равно 220 В.

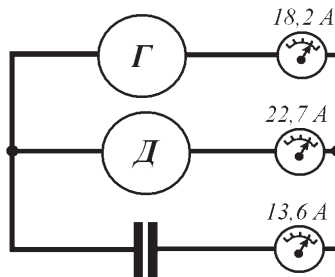


Рис. 9.10. Нагрузкой генератора являются двигатель и конденсатор, показания амперметра в цепи генератора меньше не только суммы показаний обоих потребителей, но и показаний амперметра в цепи двигателя

Максимальное значение тока равно его амплитудному значению, которое в $\sqrt{2}$ раз больше действующего значения, т. е. максимальный ток равен $22,7 \cdot \sqrt{2} = 32,3$ А. Аналогично максимальное значение напряжения равно $220 \cdot \sqrt{2} = 311$ В.

В качестве емкостного потребителя возьмем конденсатор, зарядный ток которого при максимальном напряжении 311 В равен 19,3 А (максимальное значение).

Ток генератора равен сумме токов обоих потребителей. На рис. 9.11 показаны токи обоих потребителей и ток генератора. Оказывается, что ток генератора находится в фазе с его напряжением, т. е. сдвиг фаз уничтожился.

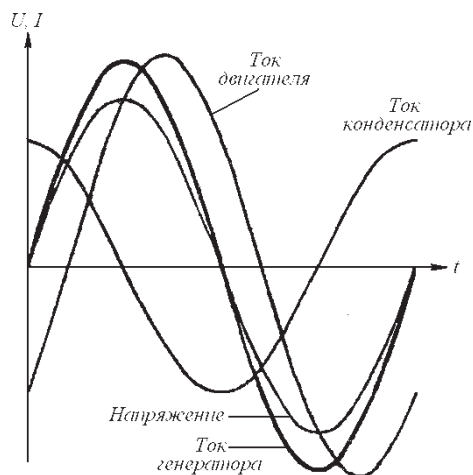


Рис. 9.11. Ток двигателя и конденсатора, складываясь, дают ток генератора

Мы пришли к замечательному результату: параллельное присоединение надлежащим образом рассчитанных конденсаторов уничтожает сдвиг фаз между током и напряжением, улучшает коэффициент мощности, доводя его до единицы. Генератор уже не обменивается энергией с потребителем.

Переброска энергии продолжается, но обмениваются энергией оба потребителя, минуя генератор и линию передачи. Ни генератор, ни линия не участвуют в этой «игре»: генератор уже не вырабатывает той энергии, которая не может быть потреблена в цепи, а линия не передает ее. Потери, связанные с передачей энергии, сокращаются.

В этом прямая выгода компенсации сдвига фаз.

9.7. Расчет простейших цепей переменного тока

Рассмотрим цепь, показанную на рис. 9.12. К источнику переменного напряжения присоединены катушка K и измерительные приборы — амперметр, вольтметр и ваттметр. Пусть показания этих приборов соответственно равны 5 А, 120 В и 360 Вт.

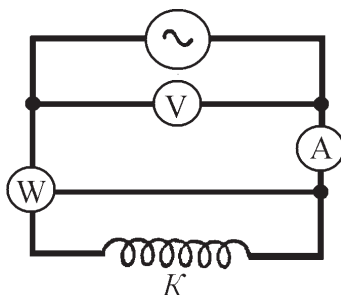


Рис. 9.12. К генератору присоединена катушка индуктивности и приборы для измерения мощности W (ваттметр), напряжения V (вольтметр) и тока A (амперметр)

Прежде всего, обращает на себя внимание несоответствие показаний этих приборов. Казалось бы, что току в 5 А и напряжению 120 В должна соответствовать мощность 600 Вт. Ваттметр же показывает 300 Вт.

Причина этого несоответствия была описана выше: потребитель, в данном примере катушка, возвращает генератору часть энергии, и, следовательно, в цепи должен существовать сдвиг фаз. Коэффициент мощности оказывается равным:

$$\cos \varphi = \frac{360}{5 \cdot 120} 0,6.$$

Заменим катушку K катушкой K_1 . Пусть в этом случае приборы покажут 10 А, 120 В и 300 Вт. Спросим себя, облегчились ли условия работы генератора от такой замены.

На первый взгляд может показаться, что, поскольку мощность уменьшилась с 360 до 300 Вт, нагрузка генератора также уменьшилась и второй режим легче первого. Но такое заключение было бы ошибочным, так как ток генератора возрос вдвое. Например, если обмотка генератора рассчитана на длительное протекание тока 8 А, то второй режим нужно признать недопустимым.

Полная мощность генератора. Итак, нагрузка генератора определяется проходящим по его обмотке током. На практике чаще оценивают нагрузку генератора произведением тока и напряжения:

$$S = UI.$$

Это произведение носит название полной мощности генератора.

Полная мощность генератора является важной его характеристикой. Как мы уже выяснили, каждый генератор может отдавать ток, не превосходящий определенной величины. Следовательно, если величина напряжения генератора имеет определенное значение, то при любом характере нагрузки нельзя, без риска повредить генератор, превысить допустимое значение полной мощности.



Чем больше полная мощность генератора, тем сильнее нагружен генератор и тем больше греется обмотка генератора.

Активная мощность. Очевидно, что максимальная полезная мощность, отдаваемая генератором в нагрузку, также не может превосходить допустимую полную мощность и лишь в случае отсутствия сдвига фаз может быть ей равна.

Мощность, забираемая потребителем,

$$P = UI \cos \varphi$$

называется активной мощностью. Во избежание путаницы полную мощность измеряют не в ватах, а в вольт-амперах (ВА).

Так, в наших примерах полная мощность составляла 600 ВА в первом случае и 1200 ВА во втором случае. Ясно, что для генератора второй режим тяжелее первого. Каждый генератор рассчитан на определенную величину полной мощности.

Следует еще отметить, что отношение активной мощности и полной мощности равно коэффициенту мощности:

$$\frac{P}{S} = \cos \varphi.$$

Теперь поставим себе задачу найти омическое, реактивное и полное сопротивление обеих катушек. В первом случае полное сопротивление будет:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{120}{5} = 24 \text{ Ом},$$

а во втором

$$Z_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{120}{10} = 12 \text{ Ом}.$$

Омическое сопротивление катушек может быть найдено при помощи закона Джоуля — Ленца:

$$P = I^2 R.$$

Разделив обе части этого равенства на величину тока, мы приходим к соотношению:

$$U \cos \varphi = IR.$$

Далее, приняв во внимание, что частное от деления напряжения на ток равно полному сопротивлению, найдем окончательно:

$$R = Z \cos \varphi,$$

откуда для первой катушки получается 14,4 Ом, а для второй 3 Ом.

Наконец, реактивное сопротивление катушки найдем, применив теорему Пифагора к треугольнику сопротивлений. Получается для первой катушки

$$X = \sqrt{24^2 - 14,4^2} = 19,2 \text{ Ом}$$

и для второй катушки

$$X = \sqrt{12^2 - 3^2} = 11,6 \text{ Ом}.$$

9.8. Последовательное соединение двух катушек

Теперь соединим две катушки последовательно. Омическое сопротивление обеих катушек будет равняться сумме омических сопротивлений, т. е.

$$14,4 + 3 = 17,4 \text{ Ом}.$$

Но нельзя складывать арифметически полные сопротивления обеих катушек. Следовательно, величина тока, который будет проходить в цепи, нам пока неизвестна. Но ясно, что обе катушки будут иметь одинаковый ток, обозначим его через I .

В первой катушке возникает напряжение самоиндукции, равное $I \cdot x$, т. е. $19,2 \cdot I$. Напряжение самоиндукции на второй катушке составит $11,6 \cdot I$ вольт. Оба напряжения действуют в одной и той же цепи, и, следовательно, суммарное напряжение самоиндукции составит:

$$19,2I + 11,6I = 30,8I,$$

этому соответствует реактивное сопротивление $30,8 \text{ Ом}$.

Полное сопротивление обеих катушек при их последовательном соединении будет равно:

$$\sqrt{17,4^2 + 30,8^2} = 35,4 \text{ Ом},$$

откуда ток в цепи

$$I = \frac{120}{35,4} = 3,39 \text{ А};$$

полная мощность

$$S = 120 \cdot 3,39 = 407 \text{ ВА};$$

коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{17,4}{35,4} = 0,492$$

и активная мощность

$$P = 407 \cdot 0,492 = 200 \text{ Вт}.$$

Реактивная мощность. Теперь составим цепь из катушки K и конденсатора C , соединенных параллельно, т. е. в рассмотренную ранее схему введем конденсатор, рис. 9.13. Конденсатор должен быть выбран с таким расчетом, чтобы ток генератора был в фазе с его напряжением.

Как было сказано выше, полное сопротивление как конденсатора, так и катушки состоит из активного и реактивного сопротивлений. Поэтому схему на рис. 9.13 можно представить и в таком виде, рис. 9.14.

По аналогии с активной мощностью

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R$$

и полной мощностью

$$S = UI = I^2 Z$$

мы назовем реактивной мощностью произведение квадрата тока и реактивного сопротивления

$$Q = I^2 x.$$

Так как

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

то

$$S = I^2 Z = I^2 \sqrt{R^2 + x^2} = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

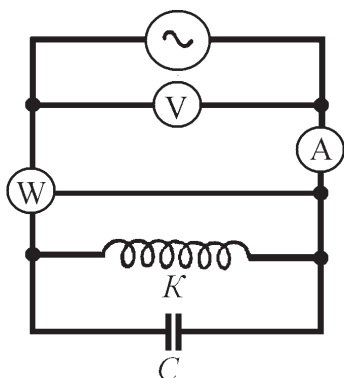


Рис. 9.13. Катушка и конденсатор соединены параллельно

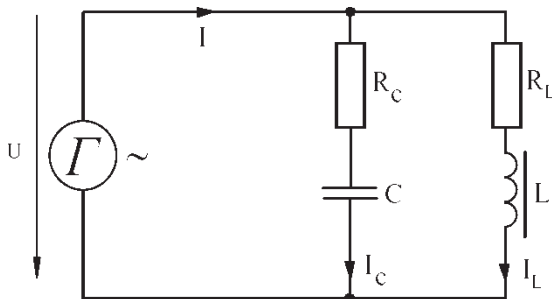


Рис. 9.14. Цепь состоящая из активных и реактивных сопротивлений

При отсутствии сдвига фаз реактивная мощность равна нулю и полная мощность равна активной. Наоборот, где сдвиг фаз составляет четверть периода, как, например, в цепи конденсатора, там нулю равна активная мощность и полная мощность равна реактивной.

Компенсация сдвига фаз в цепи генератора наступит в том случае, когда реактивные мощности катушки и конденсатора будут равны друг другу.

Вычислим реактивную мощность катушки, используя данные, приведенные в главе 9.7.

$$Q = 5^2 \cdot 19,2 = 480 \text{ вар},$$

т. е. реактивных вольт-ампер.

В цепи конденсатора это значение будет совпадать с полной мощностью (в нашем примере считаем, что в конденсаторе отсутствует ток утечки, т. е. $R_c = 0$), и, следовательно, ток в цепи конденсатора

$$I = \frac{480}{120} = 4 \text{ А},$$

откуда реактивное сопротивление конденсатора

$$x_c = \frac{120}{4} = 30 \text{ Ом}.$$

Отметим, что емкость конденсатора (в микрофарадах) может быть (при частоте 50 Гц) найдена по формуле

$$C = \frac{3180}{x_c},$$

откуда можно найти, что в нашем примере $C = 106 \text{ мкФ}$.

Ток генератора найдется из условия равенства активной и полной мощностей. Так как активная мощность у нас равна 360 Вт, то ток генератора будет равен 3 А.

9.9. Поверхностный эффект

Сущность этого явления заключается в следующем. Как известно, магнитные линии поля прямолинейного проводника имеют форму концентрических окружностей. Магнитное поле образуется как внутри проводника, так и в пространстве, окружающем проводник. Прямолинейный проводник с током мы можем разбить на отдельные нити тока, параллельные друг другу.

Чем ближе такая нить лежит к оси самого проводника, тем больший магнитный поток, замыкающийся внутри проводника, ее охватывает. Индуктивность нити тока и индуктивное сопротивление пропорциональны магнитному потоку, сцепленному с ней. Поэтому внутренние нити проводника, по которым проходит переменный ток, имеют большее индуктивное сопротивление, чем наружные периферийные нити.

Последнее вызывает неравномерное распределение тока по сечению проводника, так что плотность тока будет возрастать от оси к поверхности проводника. Это явление называется поверхностным эффектом.

Неравномерное распределение плотности тока приводит к увеличению сопротивления проводника. Сопротивление проводника переменному току с учетом поверхностного эффекта называют активным сопротивлением в отличие от сопротивления (омического), которое оказал бы проводник постоянному току.

При стандартной частоте 50 Гц, небольшом сечении и медных проводах явление поверхностного эффекта проявляется слабо. При высокой частоте, большом сечении и железных проводах оно значительно.

9.10. Принцип действия трансформатора

Трансформатором называется аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения, но той же частоты, рис. 9.15.

Устройство трансформатора следующее, рис. 9.16. На сердечник из специальной трансформаторной стали, намотаны две или более обмотки. Обмот-

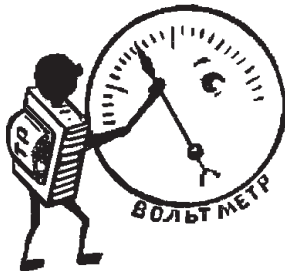


Рис. 9.15. Трансформатор преобразует переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения

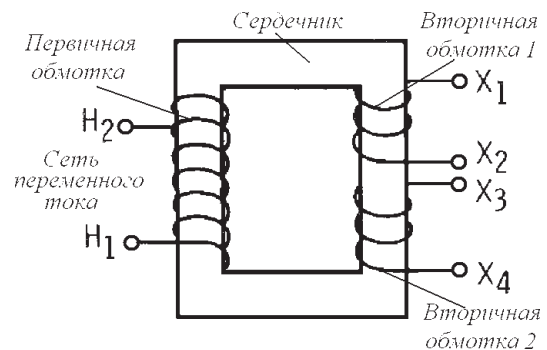


Рис. 9.16. Схема устройства трансформатора

ка, к которой подводится напряжение, называется первичной. Ток, проходя по первичной обмотке, создает магнитное поле, индукционные линии которого замыкаются по сердечнику. Обмотка, в которой будет наводиться э.д.с., используемая далее во внешней цепи, называется вторичной обмоткой.

Работа трансформатора основана на использовании явления взаимоиндукции. Если первичную обмотку питать переменным синусоидальным током, то в замкнутой вторичной обмотке также будет протекать переменный синусоидальный ток и лампы, включенные в нее, будут гореть ровно, не мигая.

9.11. Передача электроэнергии на расстояние

Мы неоднократно подчеркивали, что одной из наиболее существенных задач техники является передача энергии на расстояние.

Схема передачи энергии ясна: находящийся в месте сосредоточения запасов топлива (или иных источников энергии) генератор преобразует энергию вращения своего вала в электромагнитную. Электромагнитная энергия доставляется по проводам линии передачи к потребителю. Этим потребителем могут быть электродвигатели, осветительные установки, электрические печи и т. п.

Основная трудность, возникающая при передаче всякой, в том числе и электромагнитной энергии, заключается в необходимости предотвратить ее рассеяние в окружающую среду.

Коэффициент полезного действия. Избежать потерь в линиях передачи нельзя. Приходится лишь заботиться об их снижении.

Наличие потерь в линии приводит к тому, что мощность, получаемая потребителем, будет меньше той мощности, которая вырабатывается генератором. Разница в мощности пойдет на покрытие потерь.

Отношение мощности, доставляемой потребителю к мощности, вырабатываемой станцией (генератором) называется отдачей или коэффициентом полезного действия (к.п.д.) линии. Это отношение всегда меньше единицы. Чем выше к.п.д. линии, тем меньше бесполезных потерь.

Мы знаем, что мощность будет тем больше, чем больше напряжение, ток и коэффициент мощности ($\cos \varphi$). Если напряжение, ток и $\cos \varphi$ у потребителей были теми же, что и на станции, то передача энергии происходила бы без потерь.

Закон Ома вскрывает причину потерь напряжения в линии. Провода линии передачи всегда обладают сопротивлением. Протекание по ним тока обуславливает падение напряжения. Потребитель получает пониженное напряжение, а, следовательно, и пониженную мощность. Эти рассуждения легко проверить на числовом примере.

Генератор, напряжение которого 120 В, питает нагревательный прибор. Сопротивление прибора 10 Ом. Провода, соединяющие генератор с прибором, имеют сопротивление по 1 Ом каждый. Общее сопротивление цепи составляет, таким образом, $10 + 1 + 1 = 12$ Ом.

Ток в цепи определяется по закону Ома:

$$I = \frac{120 \text{ В}}{12 \text{ Ом}} = 10 \text{ А.}$$

Напряжение потерянное в проводах, равно $10 \text{ А} \cdot 1 \text{ Ом} = 10 \text{ В}$ в прямом проводе и столько же в обратном. Полная потеря напряжения составит 20 В . Чтобы найти напряжение у потребителя, нужно вычесть из генераторного напряжения потерю напряжения в линии. На долю потребителя остается, таким образом,

$$120 \text{ В} - 20 \text{ В} = 100 \text{ В}.$$

Мощность, вырабатываемая генератором, равна произведению напряжения генератора на ток цепи, т. е.

$$120 \text{ В} \cdot 10 \text{ А} = 1200 \text{ Вт} \text{ или } 1,2 \text{ кВт}.$$

Мощность, доставляемая потребителю, равна произведению напряжения у потребителя на ток цепи, т. е.

$$100 \text{ В} \cdot 10 \text{ А} = 1000 \text{ Вт} \text{ или } 1 \text{ кВт}.$$

Потеря мощности в линии составляет 200 Вт , а к.п.д. линии равен

$$\frac{1000 \text{ Вт}}{1200 \text{ Вт}} = 0,833 \text{ или } 83,3 \%$$

В этом подсчете мы предполагали, что сдвиг фаз между током и напряжением у потребителя отсутствует. Нетрудно убедиться в том, что наличие сдвига фаз у потребителя снизило бы дополнительно к.п.д. линии передачи. В самом деле, дополнительная передача энергии от генератора к потребителю и обратно — от потребителя к генератору, привела бы к тому, что та же мощность передавалась бы током большей величины, а, следовательно, и потери в линии увеличились бы. Попутно отметим, что борьба за высокий коэффициент мощности есть одновременно борьба за лучшее использование линий передачи, за увеличение их к.п.д.

Как бороться с потерей напряжения, а, следовательно, и с потерей мощности в линии?

Закон Ома подсказывает решение вопроса. Так как потеря напряжения в линии равна произведению тока и сопротивления проводов, то надо подумать, как уменьшить величины сопротивления и тока.

Сопротивление провода равно:

$$R_{\text{пр}} = \frac{\rho (\text{удельное сопротивление}) \times l (\text{длина провода})}{S (\text{сечение провода})}.$$

Следовательно, материал провода должен иметь малое удельное сопротивление. Этому требованию удовлетворяют, например, медь и алюминий. Далее, длина проводов должна быть как можно меньше. Но не всегда можно удовлетворить этому условию. Ведь длина проводов определяется расстоянием от электростанции до потребителя, расположение же электростанции определяется близостью источников энергии (топливных и водяных). Все, что мы можем сделать — это выбрать наиболее короткую трассу линии.

Напряжение линии передачи. Наконец, уменьшение сопротивления линии можно достичь увеличением сечения проводов. Но здесь возникает новое осложнение. Увеличение сечения увеличивает количество металла, потребного для изготовления проводов, т. е. удорожает стоимость линии. Если взять сече-

ние проводов слишком большим, то расходы на сооружение линии поглотят ту экономию. Поэтому сечение проводов можно увеличивать лишь до известного предела.

Остается уменьшить ток, но при этом нельзя забывать, что потребитель требует от нас определенной мощности. Эту мощность мы должны ему доставить. Можно ли при этих условиях уменьшать величину тока?

Оказывается, что можно. Ведь передаваемая мощность зависит не только от тока, но и от напряжения. Если уменьшить величину тока, скажем в 10 раз, то достаточно увеличить напряжение в 10 раз, чтобы величина передаваемой мощности осталась неизменной.

Мы пришли к весьма важному выводу:



Уменьшение потерь, в линии достигается увеличением напряжения, при котором происходит передача энергии.

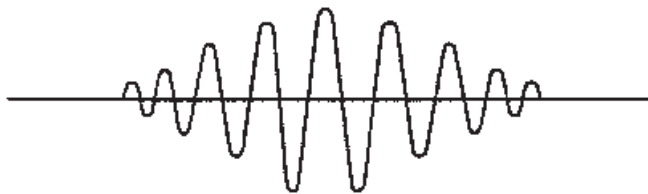
Вот почему мы строим линии передачи высокого напряжения. Обычно линии передачи бывают воздушные и реже кабельные — из-за высокой стоимости.

Ясно, что применение высоких напряжений усложняет конструкцию линий передачи. Всякое же усложнение конструкции должно быть оправдано. Поэтому уместно поставить вопрос, до каких пор следует повышать рабочее напряжение линии.

Обратимся к только что разобранным примеру. Пусть расстояние между генератором и потребителем увеличилось в четыре раза. Очевидно, что во столько же раз увеличится сопротивление проводов. Подсчитаем, какое напряжение следует поддерживать на станции, чтобы та же мощность, в нашем примере 1 кВт, передавалась при тех же потерях.

Потери в проводах равны $I^2 \cdot R$. Увеличение сопротивления в четыре раза означает, что ток должен уменьшиться в вдвое. Чтобы сохранить неизменной передаваемую мощность, необходимо повысить напряжение в 2 раза.

Подсчет этот является, конечно, приблизительным, так как в нем не принято во внимание сдвига фаз между напряжением и током. Но совершенно очевидно, что чем длиннее линия передачи, тем большим должно ее рабочее напряжение. Конечно, с ростом длины линии удорожается передача энергии. Передавать на большие расстояния дорогостоящую энергию нет смысла. Но дешевая энергия, например энергия больших быстрых рек, может с выгодой передаваться на сотни километров.



Глава десятая

ТРЕХФАЗНЫЙ ТОК



10.1. Многофазные токи

Многофазной системой называется совокупность переменных э.д.с. (токов, напряжений и т. п.) одной частоты и сдвинутых по фазе одна относительно другой на какие-либо углы. Если амплитуды отдельных э.д.с. равны и э.д.с. сдвинуты по фазе друг относительно друга на углы, равные $\frac{2\pi}{m}$ (где m — число фаз), то такая система называется симметричной многофазной системой.

Каждая э.д.с. может действовать в своей самостоятельной цепи и не быть связанной с другими э.д.с. Такая система называется несвязанной.

Однофазная цепь, входящая в состав данной многофазной цепи, называется фазой. Отдельные фазы несвязанной системы электрически и магнитно не связаны между собой, в работе не зависят одна от другой и их можно рассчитывать по формулам расчета цепей однофазного тока.

Недостатком не связанной многофазной системы является большое число проводов, равное $2m$. Так, например, для передачи энергии по трехфазной системе потребуется шесть проводов.

Многофазная система, у которой отдельные фазы электрически соединены одна с другой, называется связанной многофазной системой. Связанные системы широко применяются на практике.

Многофазный ток обладает важными преимуществами: во-первых, при передаче одной и той же мощности многофазным током требуется меньшее сечение проводов, чем при однофазном токе; во-вторых, с помощью неподвижных катушек или обмоток он создает вращающееся магнитное поле, используемое в работе двигателей и различных приборов переменного тока.

10.1. Трехфазный переменный ток

Из систем многофазного тока наибольшее применение на практике получил трехфазный переменный ток.

Трехфазный ток является одним из замечательнейших изобретений в области электротехники. В 1891 г. русский инженер М. О. Доливо-Доброволь-

ский впервые осуществил передачу энергии трехфазным током на расстояние 175 км. Передаваемая мощность составляла более 220 кВт. Современные линии передачи простираются на сотни и тысячи километров, передают мощности в сотни тысяч киловатт, но способ передачи тот же, что и в первой установке Доливо-Добровольского.

Система трехфазного тока получила повсеместное применение, как обеспечивающая наиболее выгодную передачу энергии и позволяющая применять простые и надежные в работе трехфазные электродвигатели, генераторы и трансформаторы.

Простейший генератор трехфазного тока (рис. 10.1) отличается от однофазного, рассмотренного ранее, тем, что на якорь наложены три обмотки (катушки), сдвинутые друг относительно друга по окружности цилиндра на углы 120° .

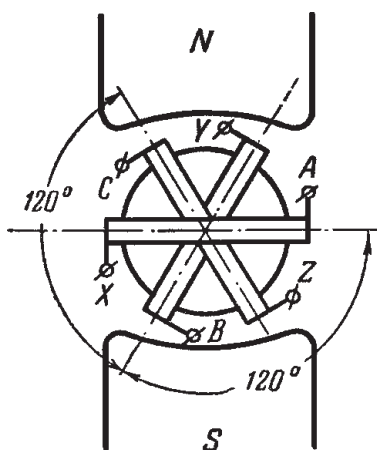


Рис. 10.1. Простейший генератор трехфазного тока

При вращении якоря с неизменной скоростью в обмотках наводится э.д.с. одной частоты и с одинаковыми амплитудами. За один оборот якоря э.д.с. каждой из обмоток пройдет полный цикл изменений, что соответствует периоду T э.д.с. Вследствие сдвига обмоток в пространстве на углы 120° э.д.с., наведенные в них, сдвинуты по фазе друг относительно друга на $1/3$ периода.

В тот момент, когда плоскость первой катушки расположена перпендикулярно к линиям магнитного поля, поток сквозь катушку является наибольшим. Но в этот же момент времени другие две катушки сцепляются с меньшими магнитными потоками, т. е. находятся в иных условиях. Можно сказать, что явления во второй катушке повторяют явления в первой катушке, но с опозданием, т. е., э.д.с. второй катушки отстает от первой катушки. Величина этого отставания составляет одну треть периода, или 120° .

Графики э.д.с. трехфазного генератора показаны на рис. 10.2, а векторная диаграмма на рис. 10.3.

Направления э.д.с. в обмотках генератора от концов фаз (зажимы X, Y, Z) к началам их (зажимы A, B, C) примем за положительные.

Каждая обмотка трехфазного генератора может замыкаться на свою внешнюю цепь. В этом случае получается несвязанная трехфазная шестипроводная

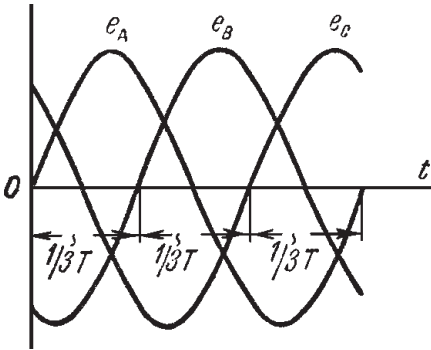


Рис. 10.2. График симметричных э.д.с. трехфазной системы

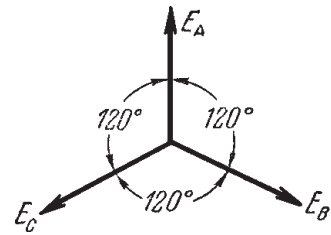


Рис. 10.3. Векторная диаграмма симметричных э.д.с.

система. На практике обычно обмотки трехфазного генератора соединяются звездой или треугольником. В этом случае вместо шести проводов применяют три или четыре провода, что экономичней.

10.2. Соединение звездой

Если фазные обмотки генератора или потребителя соединить так, чтобы концы обмоток были замкнуты в одну общую точку, а начала обмоток подключены к линейным проводам, то такое соединение называется звездой и обозначается знаком Y .

На рис. 10.4 обмотки генератора и потребителя соединены звездой. Точки, в которых соединены концы фазных обмоток генератора или потребителя, называются соответственно нулевыми точками генератора и потребителя. Обе точки соединены проводом, который называется нулевым или нейтральным проводом. Остальные три провода трехфазной системы, идущие от генератора к потребителю, называются линейными проводами. Таким образом, генератор соединен с потребителем четырьмя проводами. Поэтому эта система называется четырехпроводной системой трехфазного тока.

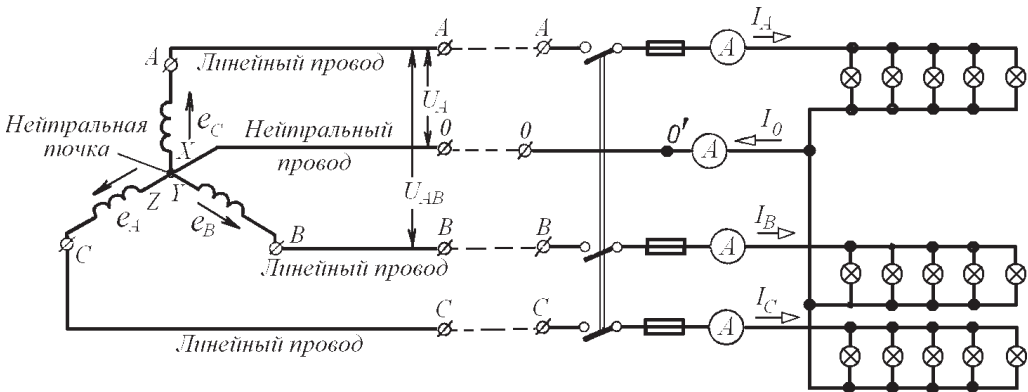


Рис. 10.4. Четырехпроводная сеть трехфазного тока

Напряжения, измеряемые между началом фаз генератора или потребителя и нулевой точкой или нулевым проводом, называются фазными напряжениями и обозначаются U_A , U_B , U_C или в общем виде U_ϕ . Напряжения, измеряемые между началами фаз A и B , B и C , C и A генератора или потребителя, называются линейными напряжениями и обозначаются U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} или в общем виде U_L .

Зависимость между линейным и фазным напряжением:

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

т. е., при соединении звездой линейное напряжение в $\sqrt{3}$ раз больше фазного напряжения.

Если включить одинаковые сопротивления между нулевым и линейными проводами (рис. 10.4), то через каждое из них будут протекать токи одинаковой величины. В цепи нет реактивных элементов — реактивных катушек и конденсаторов, и, следовательно, синусоиды тока будут иметь те же начальные фазы, что и фазные напряжения. Иными словами, токи будут совпадать по фазе с соответствующими напряжениями.

Итак, три синусоиды токов будут иметь одинаковые амплитуды, а их фазовые углы будут отличаться друг от друга на $1/3$ периода, но геометрическая сумма токов трех фаз, если их амплитуды равны, равна нулю.

В нашем примере, сумма трех токов протекающих в трех цепях ламп, равна току в нулевом проводе. Если сумма трех фазных токов равна нулю, то тока в нулевом проводе не будет.

Если нагрузка будет содержать реактивные элементы, но будет одинакова во всех трех фазах, то каждый из токов будет сдвинут относительно своего фазного напряжения на один и тот же угол. Три синусоиды токов будут иметь одинаковые амплитуды при разнице начальных фаз в 120° и, следовательно, их сумма будет равна нулю.

При равномерной нагрузке фаз нулевой провод оказывается лишним, его можно не прокладывать и перейти к передаче тока по трем проводам.

Потребители, включенные звездой с неравномерной нагрузкой фаз, нуждаются в нулевом проводе. К таким потребителям, как, например, при осветительной нагрузке, подводятся четыре провода.

Сечение нейтрального провода берут равным (или несколько меньшим) сечению линейных проводов, так как ток в нейтральном проводе обычно меньше, чем токи в линейных проводах.

При неодинаковых сопротивлениях фаз приемников, при нейтральном проводе напряжение на каждой фазе приемника равно

$$\frac{U_L}{\sqrt{3}} = 0,58 U_L,$$

которое и является номинальным для приемника. Обрыв нейтрального провода вызовет изменение напряжения на фазах приемников. В фазе приемника с меньшим сопротивлением напряжение уменьшится и может достичь нулевого значения при сопротивлении фазы равной нулю.

В фазе с большим сопротивлением напряжение увеличится и может достичь значения линейного напряжения, что не допустимо, так как в $\sqrt{3}$ раз

превышает номинальное напряжение приемника, и при осветительной нагрузке лампы, включенные в эту фазу, перегорят. Во избежание разрыва в нейтральном проводе не устанавливают предохранители и выключатели.

10.3. Соединение треугольником

Кроме соединения звездой, генераторы или потребители трехфазного тока могут включаться треугольником.

При соединении треугольником к началам фаз генератора A, B, C присоединяются линейные провода (рис. 10.5), при этом конец первой фазы X соединяется с началом второй фазы B , конец второй — Y соединяется с началом третьей фазы C и конец третьей — Z с началом первой фазы A .

Недопустимо неправильное соединение обмоток генератора треугольником. Допустим, что соединение обмоток генератора в треугольник выполнено неверно: пусть, например, конец обмотки второй фазы соединен с концом обмотки первой фазы, начало второй фазы — с началом третьей фазы, а конец третьей, как полагается, с началом первой, т. е. вторая катушка перевернута. Что произойдет в таком случае? Внутри такого треугольника будет протекать очень большой ток короткого замыкания, который приведет к аварии.

Действительно, сопротивление генераторных обмоток очень мало, они образуют замкнутую цепь, а в этой цепи действует сумма э.д.с. первой обмотки, э.д.с. третьей обмотки и взятая с обратным знаком э.д.с. второй обмотки (так как она включена теперь навстречу двум другим обмоткам). Сумма э.д.с. теперь уже не будет равна нулю в любой момент времени.

Подобно обмоткам генератора нагрузку в трехфазной системе можно соединять треугольником. В этом случае потребитель оказывается включенным не на фазное, а на линейное (или междуфазное) напряжение.

Напряжение у потребителя теперь в $\sqrt{3}$ (в 1,732) раза больше фазного напряжения генератора. Когда мы имели дело с соединением в звезду, фазные токи были равны токам в проводах линии, т. е. линейным токам. В соединении треугольником, ток, протекающий из линии к любому из зажимов тре-

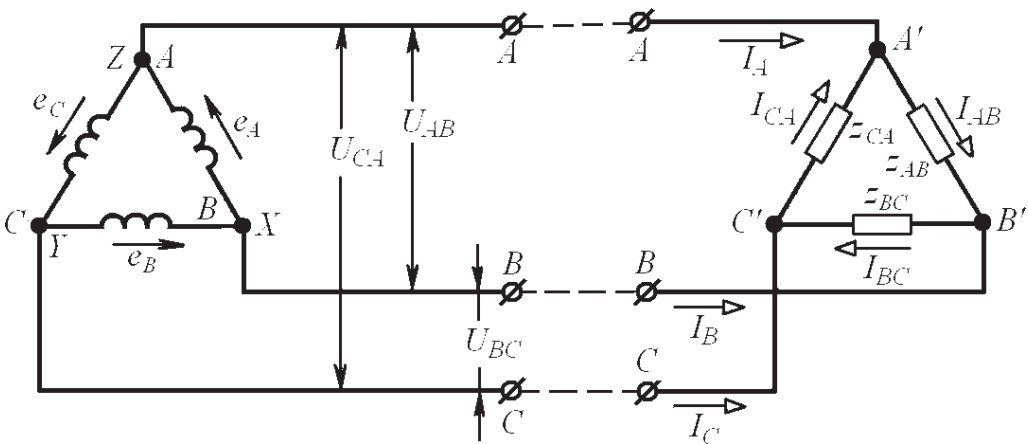


Рис. 10.5. Трехфазная система соединенная треугольником

угольника, разветвляется на два тока, текущих по двум сторонам треугольника, примыкающим к данному зажиму.

Ток в проводах линии — линейный ток, в $\sqrt{3}$ раза больше тока в сторонах треугольника (фазного тока).

10.4. Мощность трехфазного тока

Как нам уже известно, активная мощность однофазного переменного тока подсчитывается по формуле:

$$P = I_{\phi} U_{\phi} \cos \varphi,$$

где I_{ϕ} и U_{ϕ} — фазные значения тока и напряжения; φ — угол сдвига фаз между ними.

Мощность, отдаваемая каждой из фаз генератора, равна фазному напряжению, умноженному на фазный ток генератора и на соответствующий $\cos \varphi$, т. е. равна мощности однофазного переменного тока.

При равномерной нагрузке трехфазной системы мощность, потребляемая каждой фазой, одинакова и поэтому мощность всех трех фаз в три раза больше

$$P = 3I_{\phi} U_{\phi} \cos \varphi.$$

Возьмем соединение звездой. Для него:

$$I_{\text{л}} = I_{\phi}; \quad I_{\text{л}} = I_{\phi} \sqrt{3}.$$

Подставляя в формулу мощности трех фаз линейные значения тока и напряжения, получим:

$$P = 3I_{\text{л}} \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cos \varphi.$$

Тогда формула активной мощности трехфазного тока при соединении звездой примет вид:

$$P = \sqrt{3} I_{\text{л}} U_{\text{л}} \cos \varphi \text{ Вт.}$$

Полная мощность

$$S = \sqrt{3} I_{\text{л}} U_{\text{л}} \text{ ВА.}$$

Для соединения треугольником:

$$U_{\text{л}} = U_{\phi}; \quad I_{\text{л}} = I_{\phi} \sqrt{3}.$$

Подставляя в формулу мощности трех фаз линейные значения тока и напряжения присоединении потребителя в треугольник, получим те же выражения, что и для соединения звездой.

Таким образом, активную и полную мощность трехфазной системы можно рассчитать по формулам:

$$P = \sqrt{3}IU \cos \varphi \text{ Вт};$$

$$S = \sqrt{3}IU \text{ ВА.}$$

Не нужно забывать, что эти формулы пригодны только для равномерной нагрузки.

10.5. Создание вращающегося магнитного поля при помощи трехфазного тока

Замечательной особенностью трехфазного тока является его способность создавать вращающееся магнитное поле.

Если на стальное кольцо намотаем три пары катушек, сдвинутых одна от другой на 120° , то получим три электромагнита, рис. 10.6. Внутри кольца с катушками поместим стальной цилиндр.

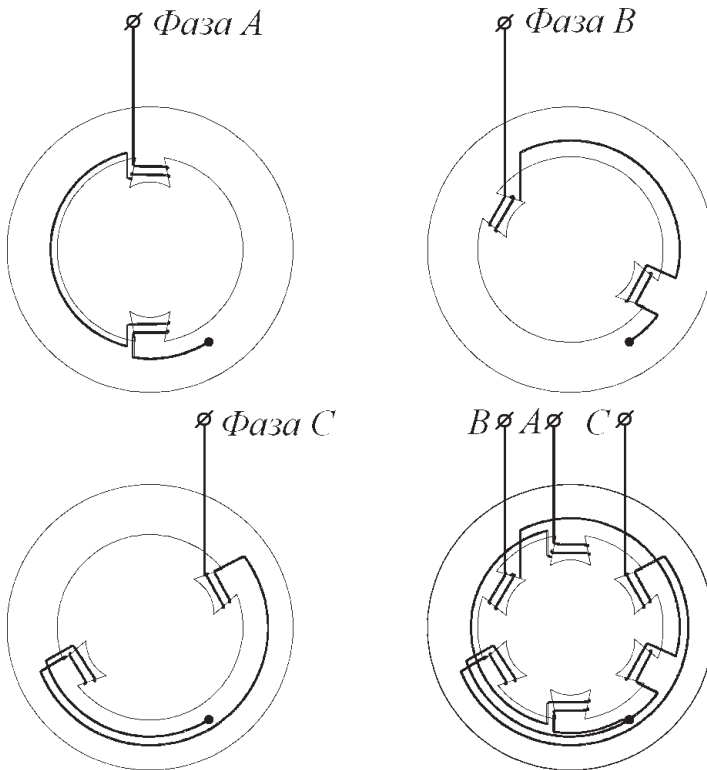


Рис. 10.6. Три пары катушек образуют три пары полюсов

Пропустим по катушкам трехфазный переменный ток. Будем считать положительным направлением тока, когда он течет от начала к концу катушки.

На рис. 10.7 даны кривые изменения трехфазного переменного тока и соответствующее им магнитное поле создаваемое в стальном цилиндре. Разберем положение *a*. Кривые показывают что ток фазы *A* и *B* равны половине своей амплитуды, а ток фазы *C* достиг своего максимального значения и имеет противоположное направление. Магнитный поток создаваемый фазой *C* имеет вверх северный полюс, а внизу — южный полюс.

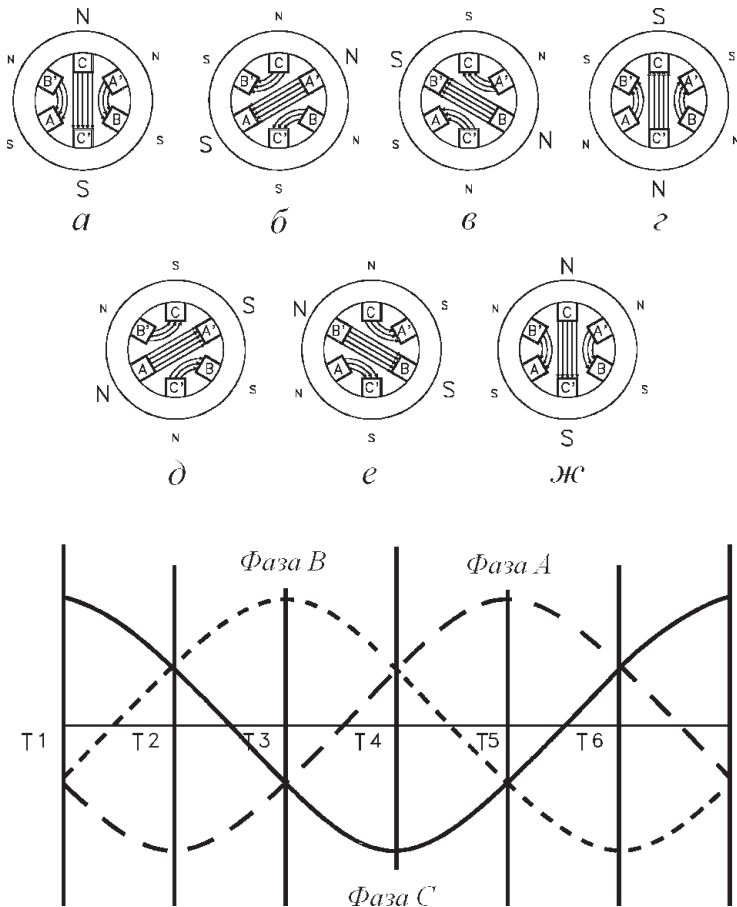


Рис. 10.7. Получение вращающегося магнитного поля при помощи трехфазного тока

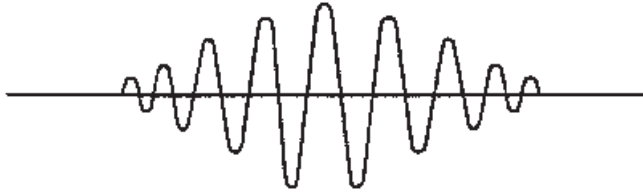
Рассматривая различные положения от *a* до *ж*, соответственно отмеченные на рис. 10.7 и находя направления токов и магнитных потоков каждой фазы, видим, что вектор магнитного потока по величине не меняется, но положение его в пространстве различно: он вращается. Таким образом, внутри кольца будет создано вращающееся магнитное поле.

Направление вращения магнитного поля зависит от порядка чередования фаз. Меняя последовательность фаз, можно изменить направление вращения поля. Для этой цели практически достаточно поменять местами два любых фазных провода, идущих к обмоткам.

Вращающееся магнитное поле нашло широкое практическое применение.

Если внутри стального кольца с тремя обмотками на нем поместить стальной же барабан и по обмоткам пропустить трехфазный переменный ток, то образовавшееся вращающееся магнитное поле будет пересекать барабан, индуцируя в нем токи, которые, взаимодействуя с вращающимся магнитным полем, приведут барабан во вращение.

В синхронных и асинхронных двигателях переменного тока использована указанная выше способность трехфазного переменного тока создавать вращающееся магнитное поле. Устройство этих двигателей будет подробно описано ниже.



Глава одиннадцатая

ТРАНСФОРМАТОРЫ



11.1. Принцип действия трансформатора

В 1876 г. П. И. Яблочков предложил пользоваться трансформатором для питания свечей. В дальнейшем конструкции трансформаторов разрабатывал другой русский изобретатель, механик И. Ф. Усагин, который предложил применять трансформатор для питания не только свечей Яблочкова, но и других потребителей электрической энергии.

Возьмем один виток провода и присоединим к источнику переменного напряжения. Возникший в витке ток создаст вокруг себя магнитное поле. Мы можем распорядиться направлением линий этого поля по нашему усмотрению, создав для них стальной магнитопровод. Ничтожное число магнитных линий, замыкающихся помимо стали в воздухе, можно не принимать во внимание. Получится показанная на рис. 11.1 схема.

Добавим еще один виток, расположив его так, чтобы он полностью охватывал магнитный поток стального сердечника, и изолируем его от первого витка. Оба витка будут вполне самостоятельными электрическими цепями. Связь между ними осуществляется исключительно магнитным полем.

Всякое изменение тока в первом витке вызовет изменение магнитного потока. Закон электромагнитной индукции утверждает, что изменение магнитного потока обуславливает появление индуктированного напряжения. Это справедливо как для первого витка, так и для второго, ибо они пронизываются

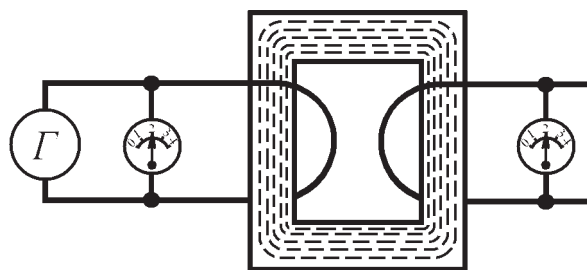


Рис. 11.1. Первичная и вторичная обмотка трансформатора имеют по одному витку; напряжения на концах обеих обмоток одинаковы

ся одним и тем же магнитным потоком. Очевидно, что и направление индуцированного напряжения будет одинаковым в обоих витках.

Обратимся ко второму закону Кирхгофа. Напряжение генератора (его э.д.с.) должно быть уравновешено напряжением в цепи. В нашей цепи падение напряжения обусловлено двумя причинами: во-первых, наличием сопротивления у витка и, во-вторых, изменением магнитного потока, т. е. появлением э.д.с. самоиндукции. Влияние сопротивления витка невелико, и падение напряжения, вызванное им, составит незначительную часть генераторного напряжения.

Что же будет происходить во втором витке? Попытаемся применить к нему второй закон Кирхгофа. Цепь, правда, не замкнута, но это не препятствие к применению закона Кирхгофа, а лишь осложнение.

Мы знаем, что наведенное во втором витке напряжение немногим отличается от генераторного. Тока в цепи нет, она разомкнута. Но на концах витка, на его зажимах, будет существовать напряжение, в точности равное наведенному.

Напрашивается сравнение между вторым витком нашей схемы и холостым ходом генератора. Присоединив к свободным концам какую-нибудь нагрузку и замкнув тем самым цепь, мы получим ток, а, следовательно, и потребление мощности. Что же получается в этом случае?

Прежде чем ответить на этот вопрос, обратим внимание на ту двойную роль, которую играет в нашей схеме наведенное напряжение. В первом витке, т. е. в цепи, где находится источник энергии, наведенное магнитным потоком напряжение выполняет примерно ту же роль, что и сопротивление — препятствует прохождению тока в цепи.

Прямо противоположную картину мы имеем во втором витке. Там напряжение, наведенное тем же самым магнитным потоком, является уже не сопротивлением в цепи источника напряжения, а источником напряжения, к которому можно присоединить нагрузку. Попутно отметим, что величина напряжения в обеих витках оказывается одинаковой.

А теперь замкнем второй виток хотя бы через лампу накаливания, рабочее напряжение которой соответствует напряжению между разомкнутыми концами витка. Опыт показывает, что она будет гореть. Сразу возникает вопрос, откуда взялась необходимая для ее горения энергия?

Единственным источником энергии является генератор. Но, во-первых, он находится в другой электрической цепи, а во-вторых, непонятно, почему он стал отдавать энергию именно после того, как мы подключили нагрузку (лампу).

Генератор, который, быть может, находится вдали и от стального сердечника и лампы, «узнал», что мы замкнули цепь второго витка, «подсчитал», какая именно мощность нам требуется, и каким-то непонятным образом начал снабжать нас энергией в требуемых количествах.

Все это объясняется чрезвычайно просто: ток в цепи второго витка создал свое магнитное поле, которое налагается на магнитное поле тока первого витка. Мы знаем, что здесь возможны два случая: либо второе поле усилит первое, либо, наоборот, ослабит его. Вопрос этот решается в зависимости от того, как направлены оба тока.

Оба тока переменные, т. е. их направление меняется каждые полпериода. Поэтому сравнивать между собой их направление можно лишь для какого-то пусть произвольного, но все же одного и того же момента времени.

В лампах нет сдвига фаз между током и напряжением, а сопротивление второго витка значительно меньше сопротивления лампы. Если бы второй виток являлся генератором, то мы сказали бы, что ток лампы находится в фазе с генераторным напряжением. Применительно к нашей схеме мы скажем, что ток лампы находится в фазе, стало быть, одинаково направление с тем напряжением, которое наведено во втором витке первоначальным магнитным потоком.

Но это же самое напряжение наведено и в первом витке, и направление его таково, что оно препятствует протеканию тока.



Одно и то же напряжение является причиной появления тока во втором витке и помехой для протекания тока в первом витке.

Значит, токи обеих витков имеют разные направления (если не в течение всего периода, то на протяжении большей его части). Отсюда чрезвычайно важный вывод:



Нагрузочный ток второго витка стремится размагнитить железный сердечник.

Но попытка уменьшить магнитный поток будет пресекаться увеличением тока в первом витке. Действительно, если магнитный поток уменьшится, уменьшится напряжение самоиндукции и доля напряжения генератора, уравновешиваемая падением напряжения в омическом сопротивлении первой обмотки, должна возрасти, а это значит, что должен возрасти ток, но если ток начнет возрастать, начнет возрастать и магнитный поток. В итоге в трансформаторе установится равновесие намагничивающего действия первичной обмотки и размагничивающего действия вторичной. Магнитный поток будет поддерживаться на уровне, приблизительно соответствующим холостому ходу, т. е. разомкнутому второму витку.

Итак мы решили задачу передачи энергии из цепи в цепь, но от нас требуется умение повышать напряжение. С этой целью заменим второй виток схемы обмоткой из двух витков, рис. 11.2.

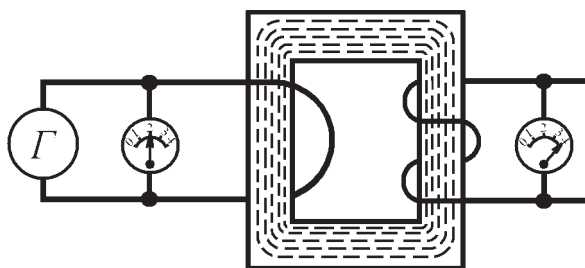


Рис. 11.2. Первичная обмотка трансформатора имеет один виток, вторичная — два; напряжение на концах вторичной обмотки вдвое больше, чем в первичной

Все наши рассуждения, примененные к одному витку предыдущей схемы, остаются справедливыми для каждого витка новой схемы. Витки соединены последовательно, и их напряжения сложатся. На свободных концах получится напряжение, вдвое большее, чем то, которым обладает каждый из витков в отдельности, и вдвое больше, чем мы имеем на генераторной (первичной) стороне. Задача повышения напряжения решена.

Добавим на первичной стороне еще один виток. Обе обмотки, и первичная и вторичная, будут состоять из двух витков каждая, рис. 11.3.

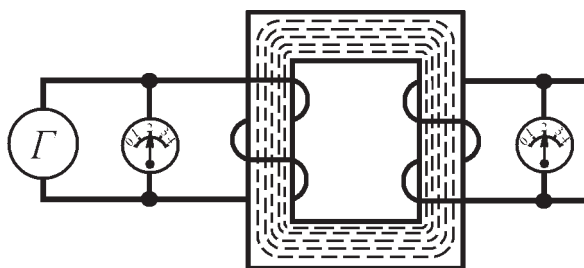


Рис. 11.3. Первичная и вторичная обмотка трансформатора имеют по два витка; обмотки имеют одинаковое напряжение

Генераторное напряжение распределится поровну между обоими витками первичной обмотки. Напряжение, приходящееся на каждый виток, будет вдвое меньше, чем в предыдущих схемах.

Оба витка пронизываются одним и тем же магнитным потоком. Так как каждый виток требует половинного значения индуктированного напряжения, то в железном сердечнике возникает магнитный поток в 2 раза меньший, чем в предыдущих схемах, где первичная обмотка состояла из одного витка. Это обстоятельство чрезвычайно важно, так как оно позволяет задавать нам по нашему выбору значения магнитной индукции в трансформаторе. В самом деле, увеличивая число витков в первичной обмотке, мы уменьшаем величину магнитного потока, а, следовательно, и магнитной индукции.

Этот способ уменьшения магнитной индукции может оказаться выгоднее, чем увеличение сечения сердечника. Магнитную индукцию мы назначаем с таким расчетом, чтобы не допустить чрезмерных потерь в стали. В результате к.п.д. (отдача) современных крупных трансформаторов чрезвычайно высок, превышает иногда 99 % (теряется менее 1 % мощности).

Теперь посмотрим, что будет происходить во вторичной обмотке. В каждом ее витке будет индуктироваться напряжение, равное напряжению одного витка первичной обмотки. Число витков в обеих обмотках одинаково. Одинаковыми будут первичное и вторичное напряжения.

Удалим один виток из вторичной обмотки. Получится схема, показанная на рис. 11.4 и отличающаяся от предыдущей схемы лишь тем, что генератор и нагрузка поменялись местами.

Явления в первичной обмотке ничем не будут отличаться от того, что мы имели в предыдущей схеме, но на концах вторичной обмотки мы получим половинное напряжение. Вместо того чтобы повысить напряжение, трансформатор понизил его.

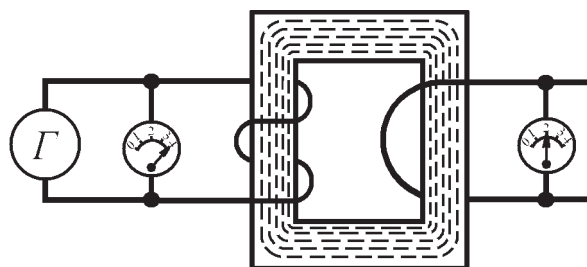


Рис. 11.4. Первичная обмотка трансформатора имеет два витка, вторичная — один виток; напряжение на концах вторичной обмотки вдвое меньше, чем на первичной

Способность трансформатора понижать напряжение используется очень широко. Напряжение на приемном конце линии передачи может составлять и 110 и 220 кВ. К источнику столь высокого напряжения нельзя присоединить ни двигатель ни лампы, нужно позаботиться о его снижении.

Забираемая из генератора энергия почти полностью передается во вторичную цепь. Если не считаться с наличием потерь в трансформаторе, то можно приравнять друг к другу мощности первичной и вторичной цепей. Отсюда мы сделаем тот вывод, что понижение трансформатором напряжения приводит к соответствующему увеличению тока, и наоборот.

10.2. Устройство трансформатора

Работа трансформатора основана на использовании явления взаимной индукции. Трансформатор (рис. 11.5) имеет обычно две магнитосвязанные обмотки с разным числом витков, помещенные для усиления магнитной связи на стальном, замкнутом магнитопроводе — сердечнике. Сердечник для уменьшения потерь энергии от вихревых токов набирается из стальных листов толщиной 0,5—0,35 мм, а при повышенной частоте тока — из более тонких листов (0,2—0,1 мм). Листы перед сборкой, покрываются с двух сторон лаком для изоляции друг от друга. Трансформаторная сталь содержит 4—5 % кремния, при этом значительно уменьшаются потери от гистерезиса и вихревых токов.

Те части сердечника, на которых располагаются обмотки, называются стержнями, а части, замыкающие их, называются яром. Внутреннее про-

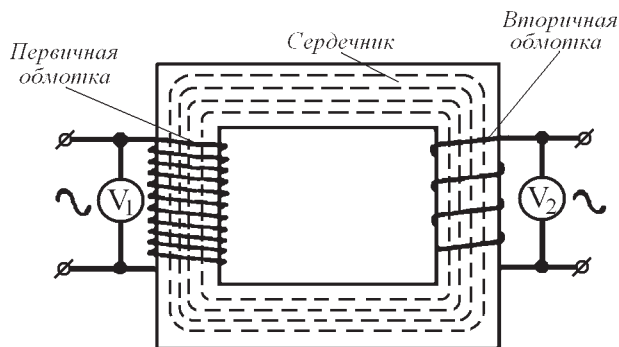


Рис. 11.5. Схема устройства однофазного трансформатора

странство между стержнем и ярмом служит для размещения обмоток и называется окном.

Сборка сердечника производится внахлестку. На рис. 11.6б показаны два слоя листов, которые накладываются друг на друга при сборке сердечника трансформатора. При такой сборке достигается минимальный воздушный зазор в стыках.

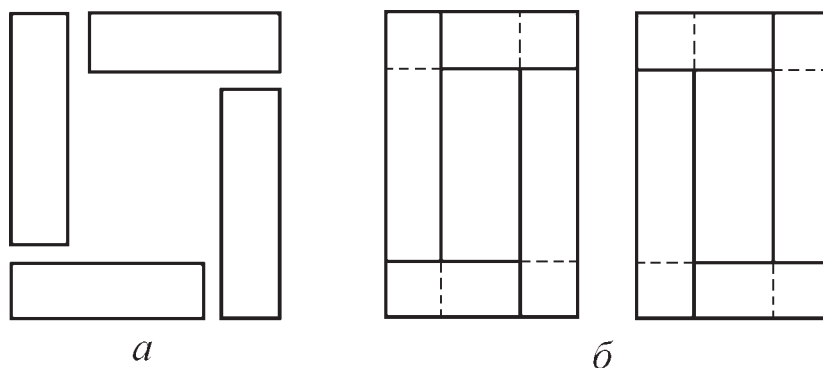


Рис. 11.6. Листы трансформаторной стали подготовленные для сборки однофазного трансформатора (а) и расположение листов при сборке сердечника (б)

Листы предварительно стягиваются изолированными болтами в пакеты сначала так, чтобы на стержни можно было надеть изолированные обмотки (рис. 11.7), а затем окончательно, чтобы после установки обмоток замкнуть магнитопровод. Сечение стержней, получаемое при этом, показано на рис. 11.8 — квадратное при малой мощности или крестовидное, приближающееся к кругу, при средней и большой мощности трансформаторов.

Обмотки трансформаторов представляют собой катушки разных конструкций. Различают обмотку низшего напряжения (*НН*), рассчитанную на низшее напряжение трансформатора, которая помещается ближе к стержню, и обмотку высшего напряжения (*ВН*), рассчитанную на высшее напряжение и помещаемую поверх обмотки (*НН*), концентрически с ней.

В однофазных трансформаторах каждая обмотка делится пополам и помещается на двух стержнях, рис. 11.9. Обе половины обмотки *НН* и обмотки *ВН* соединяются так, чтобы э.д.с. половин обмоток складывались.

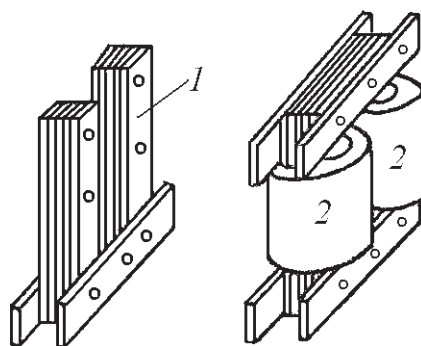


Рис. 11.7. Сборка сердечника трансформатора: 1 — стержень магнитопровода; 2 — обмотка

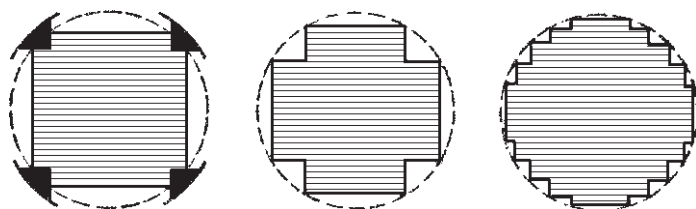


Рис. 11.8. Сечения сердечников трансформаторов

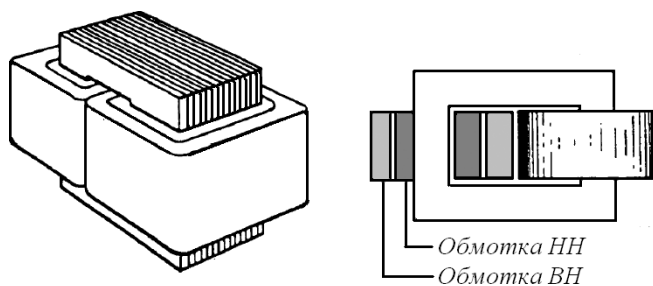


Рис. 11.9. Однофазный трансформатор

Начала и концы обмоток трансформаторов обозначаются буквами латинского алфавита. Начала обмоток обозначают A, B, C и a, b, c , а концы — X, Y, Z и x, y, z . Заглавные буквы приняты для обмоток высшего напряжения, а строчные — для обмоток низшего напряжения.

Та обмотка, к которой энергия подводится, называется первичной, а та, от которой энергия отдается потребителю, называется вторичной. Энергия передается с первичной обмотки на вторичную при помощи магнитного потока, связывающего обмотки. Если напряжение вторичной обмотки меньше, чем первичной, то трансформатор называется понижающим. Если наоборот, напряжение вторичной обмотки выше, чем первичной — трансформатор повышающий.

Трансформатор изображенный на рис. 11.10а называется стержневым. Он наиболее распространен в практике. Однако существуют трансформаторы бронзового типа (рис. 11.10б), у которых магнитопровод разветвлен и охватывает обмотки как бы броней.

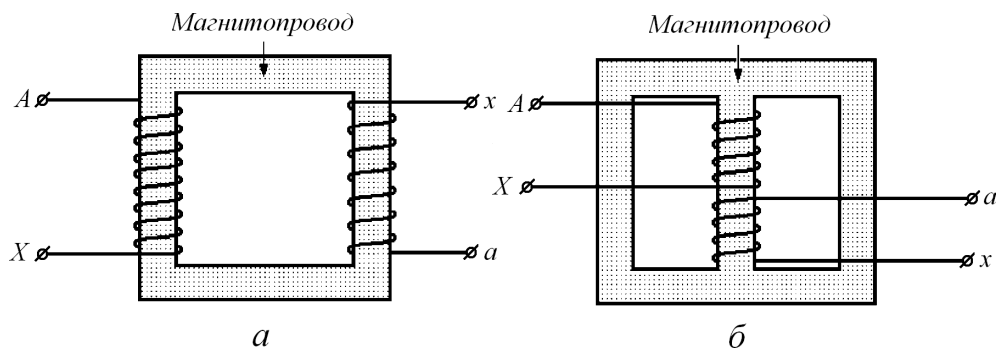


Рис. 11.10. Трансформатор стержневого (а) и бронзового (б) типа

Номинальной мощностью трансформатора называется мощность его вторичной обмотки, обозначенная на щитке трансформатора и выраженная в вольт-амперах или киловольт-амперах.

11.3. Трехфазный трансформатор

Трансформирование трехфазного тока на мощных трансформаторных подстанциях производится тремя однофазными трансформаторами, соединенными в треугольник или звезду, и образующие трехфазную группу. Однако на распределительных подстанциях большей частью применяются специальные трехфазные трансформаторы стержневого типа, представляющие выгоду в стоимости установки по сравнению с трехфазной группой.

Устройство трехфазного трансформатора показано на рис. 11.11*в*. Расположение листов сердечника при сборке дано на рис. 11.11*б*.

Каждый стержень служит для размещения обмоток одной фазы. Обмотки помещают концентрически, причем обмотки низшего напряжения ближе к стержню. На рис. 11.11 обмотки условно показаны сдвинутыми одна от другой по оси стержня.

Как первичные, так и вторичные обмотки могут соединяться в звезду (Y) или в треугольник (Δ). Однако ГОСТ оставляет только три схемы: звез-

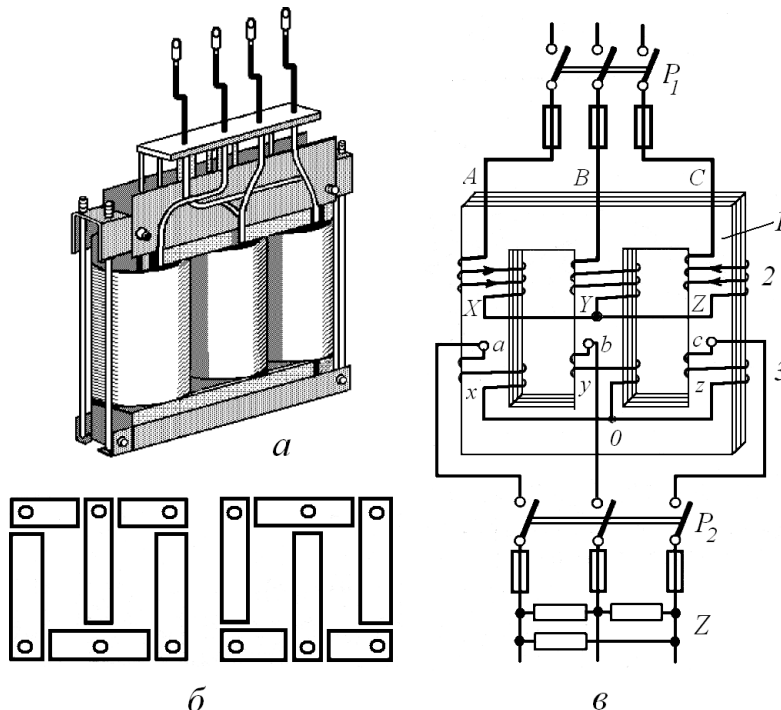


Рис. 11.11. Трехфазный трансформатор: *а* — внешний вид; *б* — листы стали при сборке трансформатора; *в* — устройство трансформатора; 1 — магнитопровод; 2 — обмотка высшего напряжения; 3 — обмотка низшего напряжения

да—звезда с нулем (Y/Y_0), звезда—треугольник (Y/Δ) и звезда с нулем—треугольник (Y_0/Δ). Числитель в обозначении показывает соединение обмотки VH , знаменатель — HH .

Если смотреть на трансформатор сверху, то можно видеть, что обмотки навиты по стрелке часов (вправо). Такая намотка называется правой (бывает и левая обмотка).

11.4. Автотрансформаторы

Автотрансформатором называется такой трансформатор, у которого обмотка низшего напряжения является частью обмотки высшего напряжения, рис. 11.12. Эта часть выполняется проводом другого сечения или, если разница в токах I_1 и I_2 невелика, одного сечения. При коэффициенте трансформации, близком к единице, автотрансформатор выгоднее трансформатора с двумя обмотками.

Устройство автотрансформатора основано на следующем. Приложенное к обмотке AX первичное напряжение $U_1 = U_{AX}$ равномерно распределяется на все витки обмотки w_1 . Таким образом, напряжение на один виток равно $U_1 : w_1$. Вторичное напряжение $U_2 = U_{ab}$ получается умножением напряжения витка на число витков w_2 обмотки ab , т. е.

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

Автотрансформатор будет понижающим. Однако, если подвести номинальное напряжение к зажимам x_1, x_2 , то на зажимах AX получится вторичное напряжение $U_2 > U_1$ и автотрансформатор будет повышающим.

Общий недостаток автотрансформаторов — это электрическая связь между обмотками. При высоком напряжении выбирают коэффициент трансформации $k < 2-2,5$, так как вторичная цепь должна иметь такую же изоляцию относительно земли, как и первичная.

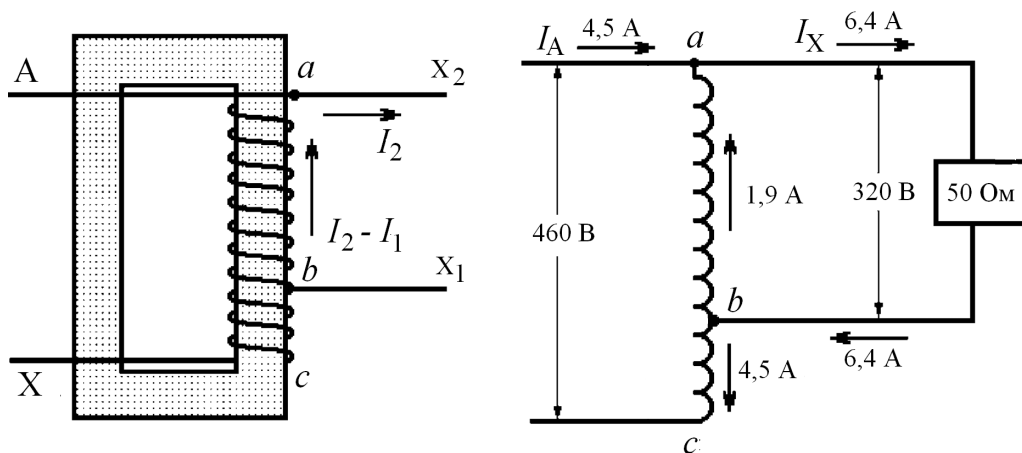


Рис. 11.12. Автотрансформатор

11.5. Измерительные трансформаторы

В цепях высокого напряжения, для безопасности обслуживания измерительных приборов, а также там, где надо расширить их пределы измерений, применяются специальные измерительные трансформаторы.

На рис. 11.13 показана схема включения электроизмерительных приборов с измерительными трансформаторами. Все параллельные измерительные цепи ваттметров, счетчиков, амперметров и т. п. включаются на вторичную обмотку трансформатора напряжения, первичная обмотка которого подключена к питающей цепи. Трансформатор напряжения работает аналогично силовым трансформаторам, рассмотренным ранее. Вторичная обмотка его рассчитана обычно на 100 В. Если трансформатор не перегружать выше его номинальной мощности, то его коэффициент трансформации $k_U = U_1 : U_2 = w_1 : w_2$ остается постоянным. Тогда первичное напряжение $U_1 = k_U U_2$.

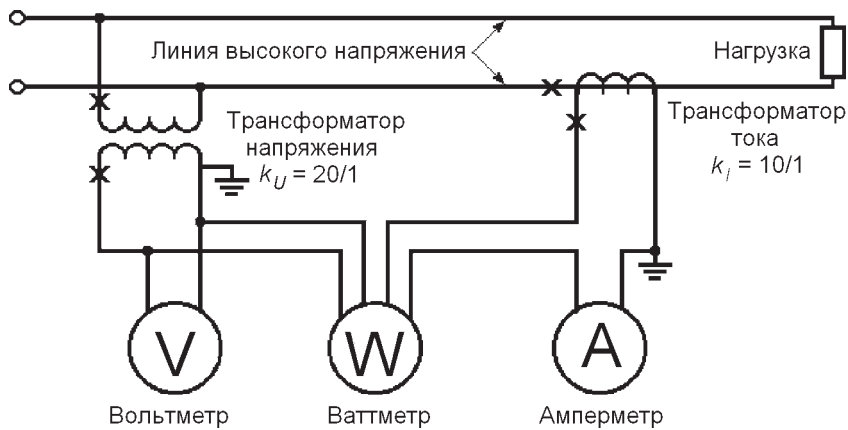


Рис. 11.13. Включение измерительных трансформаторов и приборов

Первичная обмотка трансформатора тока включается в рассечку линии как амперметр и имеет малое число витков, иногда один-два или часть шиннопровода, рис. 11.14. Вторичная обмотка трансформатора тока имеет большее число витков, рассчитывается обычно на ток 5 А и включается последовательно с обмотками тока ваттметров, счетчиков, амперметров и т. п. Как было выяснено ранее:

$$k_I = \frac{I_1}{I_2} \approx \frac{w_2}{w_1}.$$

Если сопротивление соединительных проводов и подключенных обмоток измерительных приборов не выше допустимой для трансформаторов величины, то $k = \text{const}$. Тогда $I_1 = k I_2$.

На измерительных приборах, предназначенных для постоянной работы с измерительными трансформаторами, имеется обозначение, для каких измерительных трансформаторов они предназначены, например, на вольтметре

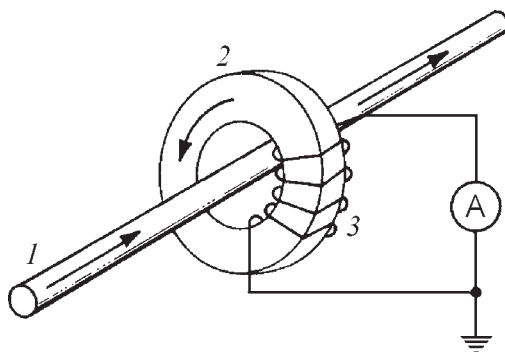


Рис. 11.14. Устройство трансформатора тока: 1 — первичная обмотка (полувиток); 2 — магнитопровод; 3 — вторичная обмотка

имеется надпись — 10 000/100, что обозначает, прибор может работать с трансформатором напряжения имеющим первичное напряжение 10 000 В, а вторичное 100 В. На амперметре обозначается, например, 100/5 — это означает, что данный прибор рассчитан на работу с трансформатором тока у которого ток в первичной цепи равен 100 А, а во вторичной цепи — 5 А. На шкалах этих приборов показаны значения тока, напряжения и мощности первичной цепи.

Когда измерительные трансформаторы включаются в цепь высокого напряжения, их вторичные обмотки и корпус заземляются для безопасности, на случай повреждения изоляции обмоток.

Для защиты от коротких замыканий трансформатор напряжения защищается предохранителями. В цепи трансформатора тока, наоборот, ставить нельзя по следующим причинам. Если разомкнуть вторичную обмотку, то резко возрастает магнитный поток трансформатора, что вызывает перегрев сердечника трансформатора. Кроме того, одновременно с этим недопустимо возрастает э.д.с. вторичной обмотки, возникает опасность пробоя изоляции обмотки и поражения током обслуживающего персонала.

На рис. 11.15 показаны токоизмерительные клещи. Это трансформатор тока с разъемным сердечником и с амперметром, подключенным к вторичной обмотке. Первичной обмоткой служит провод, ток в котором измеряют.

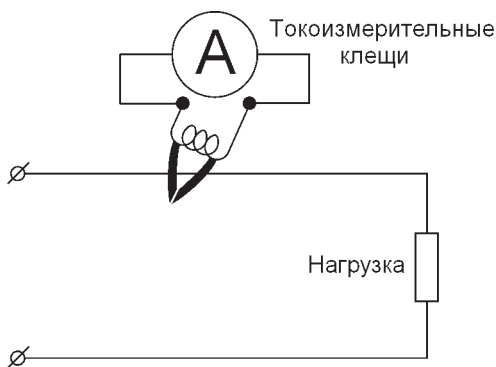


Рис. 11.15. Схема измерения тока токоизмерительными клещами

11.6. Потери в трансформаторе

Говоря о работе трансформатора, мы почти не касались явлений, происходящих в его стальном сердечнике. Мы считались лишь с тем, что магнитная проницаемость стали весьма велика, благодаря чему все линии магнитного потока замкнулись в сердечнике.

Сопоставим теперь два факта: во-первых, сталь является проводником электрического тока и, во-вторых, в стали существует переменный магнитный поток.

На первый взгляд между ними нельзя установить никакой связи, но, продумав внимательным образом закон электромагнитной индукции, мы убедимся, что это не так, что следствием этого факта будет появление электрического тока в стали.

Всякое изменение магнитного потока внутри какого-нибудь замкнутого контура индуцирует в нем напряжение. Если этим замкнутым контуром является проводниковая цепь, то в ней появится ток.

Что же будет происходить в контуре, показанном пунктирной линией на рис. 11.16а?

Чертеж представляет сердечник трансформатора. Обмотка с него снята, чтобы не усложнять чертеж. Чтобы мы имели возможность заглянуть «внутрь» стали, сплошной магнитопровод показан разрезанным.

Линии переменного магнитного потока замыкаются внутри стали. Часть линий пронизывает наш контур. Налицо изменение магнитного потока в контуре, а, следовательно, и индуктивное напряжение.

А так как сталь является проводником, то в ней должны протекать электрические токи.

Чтобы понять суть этого явления, вообразим, что сердечник сделан из какого-то материала, который с одной стороны, обладает такой же магнитной проницаемостью, как сталь, а с другой стороны, не проводит тока, т. е. является диэлектриком.

Далее, предположим, что показанный на чертеже контур представляет собой уложенный в сердечник виток стальной проволоки. Тогда наша схема мало чем будет отличаться от схемы трансформатора, а наш виток — от вто-

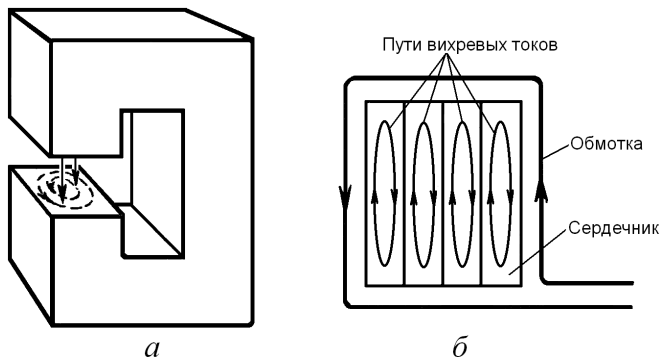


Рис. 11.16. Образование вихревых токов в железном сердечнике (а), а раслаивая сердечник на изолированные друг от друга стальные листы, мы уменьшим потери от вихревых токов

ричной обмотки, работающей в условиях короткого замыкания. Единственное различие состоит в том, что вторичная обмотка трансформатора пронизывается не полным магнитным потоком сердечника, а какой-то его частью. Это обстоятельство лишь снизит величину индуктированного в витке напряжения.

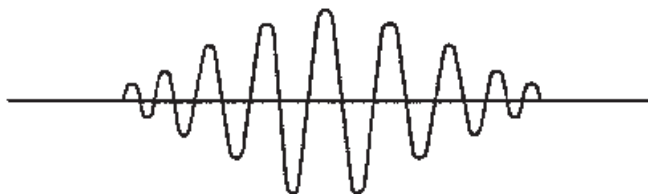
Чтобы перейти от рассмотренной картины к действительной, нам нужно лишь представить себе, что проводящей является не часть стального сердечника, не один мысленно выделенный из его объема виток, а весь сердечник. Следовательно, токи будут протекать по всей толще сердечника, охватывая линии магнитного потока. Эти токи называются вихревыми. Разумеется, они будут переменными.

Протекание тока по проводнику неизбежно связано с потерями. Вихревые токи будут нагревать сердечник. Это не только означает лишнюю затрату мощности, но и представляет опасность для изоляции обмоток, которая может разрушиться под влиянием высокой температуры. Нужно принимать меры к уменьшению величины вихревых токов.

Уменьшение токов достигается расслоением сердечника. Сердечник делается не сплошным, а собирается из отдельных изолированных друг от друга стальных листов. Изоляция препятствует токам переходить от листа к листу, они вынуждены замыкаться вдоль показанных на рис. 11.16б путей. Магнитный поток распределяется поровну между отдельными листами, поэтому индуктированное в каждом листе напряжение будет во столько раз меньше напряжения витка, сколько листов имеет сердечник. Налицо — увеличение сопротивления току, а, следовательно, и снижение его величины. Присадка к железу небольших количеств кремния еще больше увеличивает сопротивление.

Вихревые токи не являются единственной причиной нагревания стали и связанных с этим потерь. Если намагнитить сталь, а затем вновь размагнитить ее, то часть энергии окажется потерянной, и пойдет на нагревание стали. Чем чаще происходит перемагничивание, т. е. чем больше частота переменного магнитного потока, тем больше величина потерь. Потерями на перемагничивание — их иначе называют потерями от гистерезиса, подвержены главным образом железо и его сплавы.

Расходуемая на покрытие этих потерь мощность зависит еще и от величины магнитной индукции, которая существовала в намагниченной стали, и от сорта стали. Добавление к стали различных примесей снижает величину потерь от гистерезиса.



Глава двенадцатая

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА



12.1. Назначение машин постоянного тока

Устройства, предназначенные для превращения механической энергии в электрическую или обратно, называются электрическими машинами. Машина, превращающая механическую энергию в электрическую, называется генератором. Когда машина превращает электрическую энергию в механическую, она называется электродвигателем.

Электрические машины постоянного тока применяются в установках для электролиза, а также там, где необходимо создание больших вращающих моментов и широкого регулирования скорости — электрическая тяга, шахтные подъемники, прокатные станы и т. п. В автоматике они применяются как измерители скорости вращения, исполнители передаваемых сигналов и как преобразователи сигналов.

Первый работающий двигатель постоянного тока был изобретен и сконструирован русским академиком Б. С. Якоби более 150 лет назад.

О том, как устроен генератор переменного тока, было рассказано выше. Почти также устроен и генератор постоянного тока (рис. 12.1), но он имеет

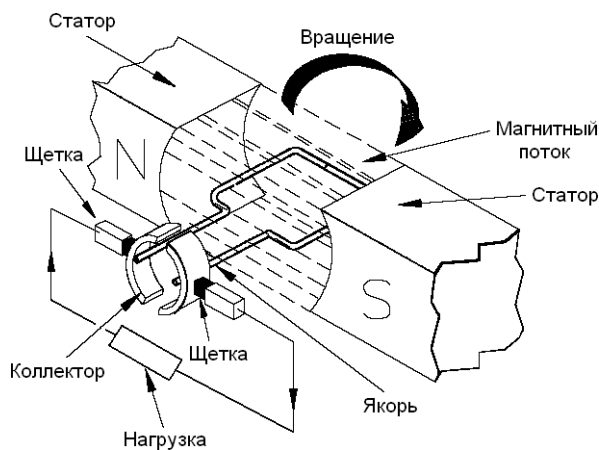


Рис. 12.1. Генератор постоянного тока

устройство, выпрямляющее переменный ток и превращающее его в постоянный. Это устройство называется коллектором.

В генераторе происходит превращение механической энергии, т. е. энергии вращения, в электрическую энергию. Механический двигатель вращает ротор генератора. Превращение энергии основано на законе электромагнитной индукции. Вращение ротора происходит в магнитном поле, а на поверхности ротора уложена обмотка, в витках которой индуцируется напряжение. В обмотке ротора возникает э.д.с. Если замкнуть обмотку через какое-нибудь сопротивление, в ней появится ток.

Вместо постоянного магнита можно использовать электромагнит, возбуждая магнитное поле постоянным током. Условимся относительно некоторых названий. Обмотку электромагнита, создающую магнитное поле, будем называть обмоткой возбуждения (рис. 12.2), а ту часть машины, на которой она расположена — индуктором. Обмотку, в которой индуцируется напряжение, будем называть якорной обмоткой, а ту часть, где она расположена — якорем.



Рис. 12.2. Обмотка возбуждения машины постоянного тока

В машинах постоянного тока якорь является ротором, а индуктор — статором.

Итак, основными элементами машины постоянного тока являются электромагниты, коллектор и якорь, к рассмотрению их мы и переходим.

12.2. Магнитная система машин постоянного тока

Электромагнит должен создать магнитное поле, линии которого сцепляются с витками якорной обмотки. Магнитные линии, проходящие мимо обмотки, совершенно бесполезны. Величина магнитного потока должна быть по возможности большой, так как чем больше магнитный поток, тем больше величина напряжения, индуцируемого в якоре. По этим соображениям желательно направить путь магнитных линий по стали, так как намагниченная сталь создает внутри себя добавочный магнитный поток. Поэтому и сердечник электромагнита и якорь должны быть сделаны из стали.

Путь магнитных линий в генераторе постоянного тока показан на рис. 12.3. Здесь нужно обратить внимание на направление токов в обмотках возбуждения. Применяв правило штопора и к верхнему и к нижнему сердечникам, мы увидим, что создаваемые ими магнитные линии имеют в якоре одно и то же направление и, следовательно, магнитные потоки складываются. Верхний сердечник является южным полюсом, нижний — северным. Такая магнитная система имеет одну пару полюсов.

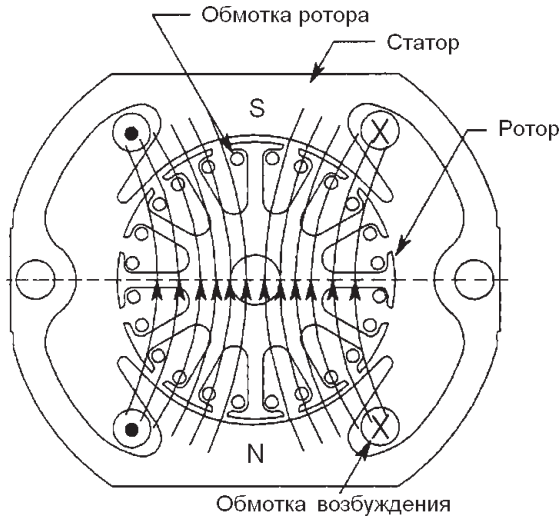


Рис. 12.3. Магнитное поле генератора постоянного тока

На рис. 12.4 изображена более сложная магнитная система. Здесь мы имеем два северных и два южных полюса. Направление токов в обмотках возбуждения выбирается с таким расчетом, чтобы соседние полюсы были разноименными, т. е. чтобы рядом с северным находился южный полюс, и т. п. Такая магнитная система имеет две пары полюсов. Существуют машины с большим числом полюсов, но их число будет непременно четным.

Часть пути магнитные линии должны все же проходить по воздуху. Якорь должен вращаться, а для этого необходим воздушный зазор между ним и полюсами. Однако величину этого зазора делают настолько малой, насколько это позволяет неизбежное изнашивание подшипников машин (нельзя допустить того, якорь при вращении ударялся в полюсы).

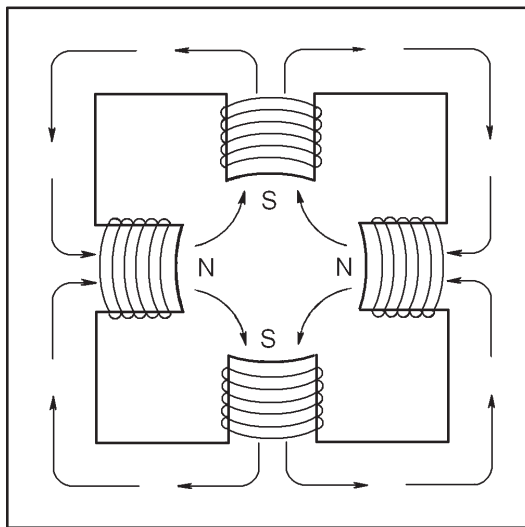


Рис. 12.4. Магнитная система четырехполюсной машины постоянного тока

Величина магнитного потока зависит от размеров и материала машины, числа витков и величины протекающего по ним тока. В тех случаях, когда требуется изменить величину магнитного потока, в цепь обмотки возбуждения вводят добавочное сопротивление.

12.3. Коллектор

Прежде чем говорить об устройстве якорной обмотки, рассмотрим к тому, что делается в каждом из ее витков в отдельности. Обратившись к рис. 12.5, мы увидим, что в тот момент, когда плоскость витка перпендикулярна направлению магнитных линий, напряжение в нем будет равно нулю. Если к концам витка присоединена какая-нибудь нагрузка, то ток в ней в этот момент также равен нулю.

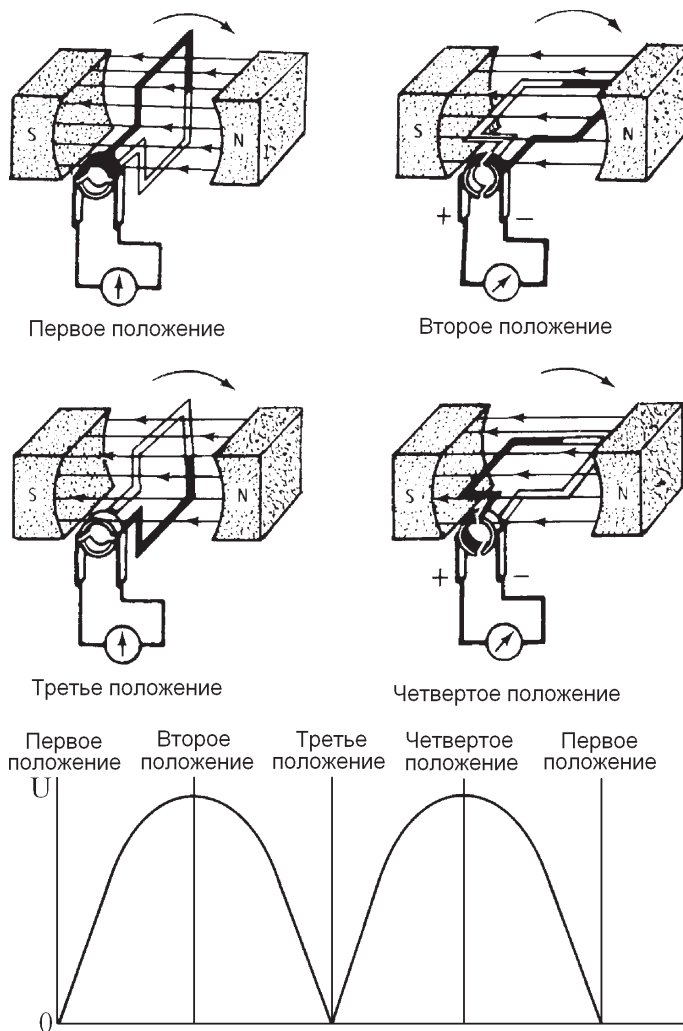


Рис. 12.5. Получение постоянного тока

В сложных обмотках, составленных из многих витков, плоскость которых не совпадает друг с другом, напряжение будет проходить через нулевые значения не одновременно. Но как бы не были расположены отдельные витки, нулевые значения напряжения будут наступать в одном и том же месте, а именно на нейтральной линии. Очевидно, что нейтральная линия располагается симметрично относительно северного и южного полюсов. В частности, в четырехполюсной машине имеется не одна, а две нейтральные линии.

Предположим теперь, что в тот момент, когда ток в витке равен нулю, происходит пересоединение проводов, связывающих генератор с потребителем, т. е. нагрузкой. Разметим как-нибудь концы вращающегося витка, например обозначим один конец цифрой 1, другой цифрой 2. То же самое сделаем и с отходящими проводами, обозначив один из них цифрой 3, другой цифрой 4, рис. 12.6. В течение одного полупериода ток в витке генераторной обмотки направлен так, как это показано на верхней схеме. Пусть на протяжении этого полупериода конец 1 соединен с концом 3, а конец 2 с концом 4. Ток у потребителя направлен от конца 3 к концу 4.

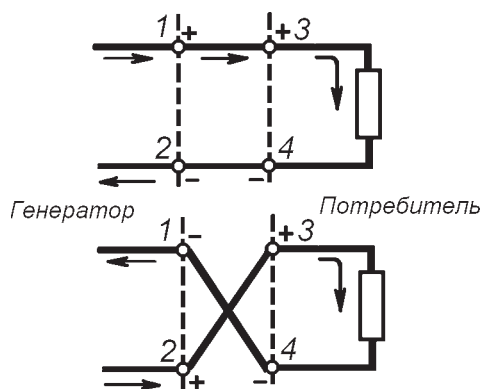


Рис. 12.6. Если пересоединять каждые полпериода концы, то ток у потребителя будет иметь постоянное направление

После того как этот полупериод закончился, ток в генераторе изменит свое направление. Но в этот же момент времени происходит пересоединение нагрузочных концов, и теперь конец 1 соединяется с концом 4, а конец 2 с концом 3. Ясно, что ток потребителя по-прежнему направлен от конца 3 к концу 4.

Итак, направление тока у потребителя остается постоянным, но величина его будет меняться. В течение полупериода ток будет меняться по синусоиде, но по синусоиде выпрямленной. В сложных обмотках, витки которой сдвинуты в пространстве, ток второго витка также будет выпрямленной синусоидой и, сложившись с током предыдущего витка, он сгладит колебания величин тока, рис. 12.7. При большом числе витков получается почти неизменный ток.

Устройство, служащее для подобного выпрямления, носит название коллектора, рис. 12.8. В простейшем случае коллектор представляет собой две половины кольца изолированные друг от друга, рис. 12.9. К этим полукольцам и присоединяются концы обмотки, в которой наводится переменное напряжение.

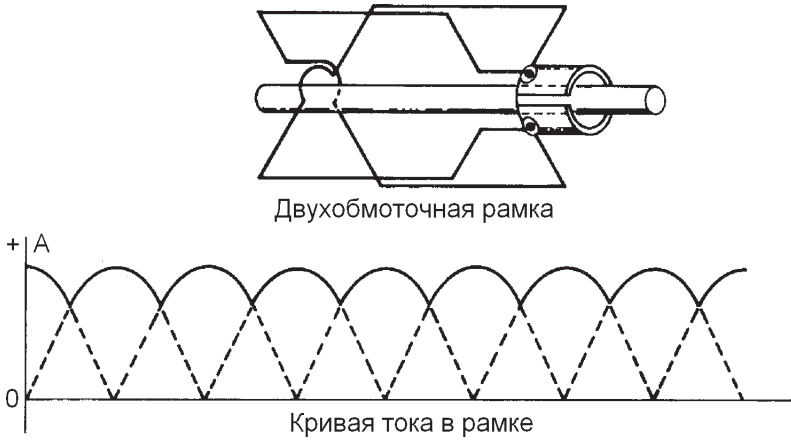


Рис. 12.7. График тока двухобмоточной рамки, катушки которой сдвинуты на 90°

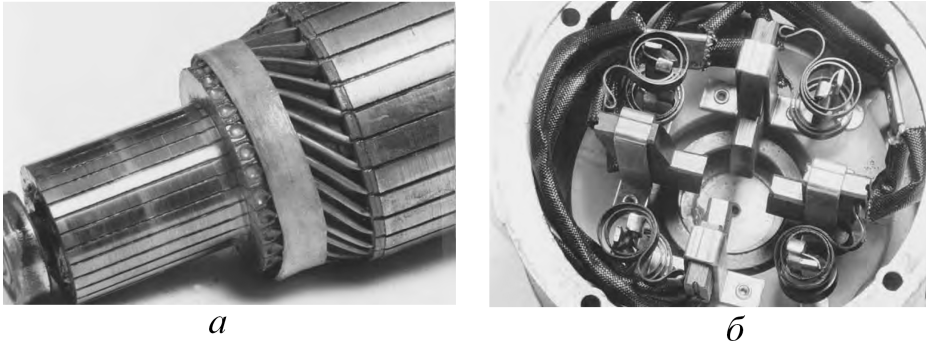


Рис. 12.8. Коллектор машины постоянного тока (а) и щеточный механизм (б)

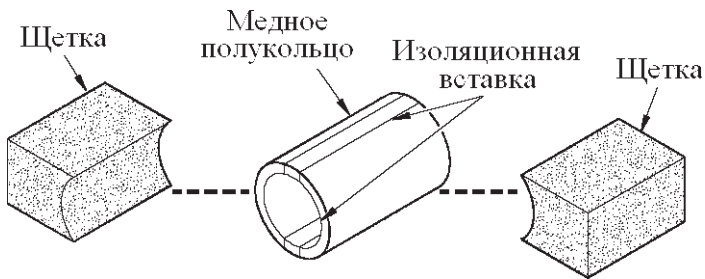


Рис. 12.9. Устройство простейшего коллектора

К поверхности этих вращающихся полуколец прижаты неподвижно закрепленные угольные (или меднографитовые) щетки, соединяющие обмотку генератора с внешней цепью.

Если установить щетки на нейтральной линии, мы получим устройство, автоматически осуществляющее переключение, как раз соответствующее переключению, показанному на рис. 12.6.

Генератор с одной парой коллекторных пластин (два полукольца) будет давать ток постоянный по направлению, но не по величине. За каждые пол-оборота ток возрастает от нуля до наибольшей величины и вновь спадает до нуля.

12.4. Якорные обмотки

Обмотка машин постоянного тока состоит из одинаковых частей, называемых секциями, рис. 12.10. Число витков в секции может быть от одного и более. Начало и конец каждой секции припаиваются (или приклепываются) к петушкам двух коллекторных пластин (ламелей), находящихся рядом или на некотором расстоянии друг от друга. Так как начало каждой секции, и конец предыдущей секции припаиваются к одной коллекторной пластине, то образуется замкнутая обмотка.

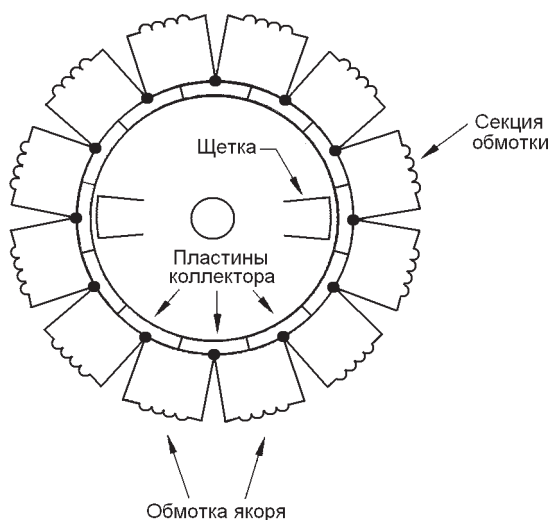


Рис. 12.10. Замкнутая обмотка ротора

Боковые части секции (рис. 12.11а) лежат в пазах. При вращении в них наводится э.д.с., потому они и называются активными сторонами. Остальные части секций лежат на торцах якоря, вне пазов. Они называются лобовыми частями и в них э.д.с. не наводится. Активные стороны лежат в пазах в два слоя: нечетные сверху, а четные внизу, у дна паза. Упрощенная схема обмотки якоря, составленная из секций, показана на рис. 12.11б. Число витков в секции принято равным единице.

Активные стороны, лежащие в пазах, идущие от нас за плоскость рисунка, изображены кружками, а лобовые части сплошными линиями на лицевой стороне торца якоря и пунктиром на торце за плоскостью рисунка. Таким образом, из коллекторной пластины № 1 провод идет в верхний слой паза 1, затем по невидимому торцу (пунктир) в нижний слой паза 4 и из него в коллекторную пластину № 2. Из коллекторной пластины № 2 провод идет в верхний

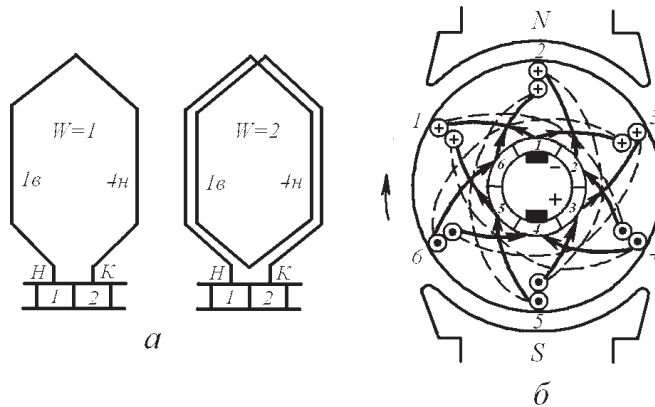


Рис. 12.11. Секция обмотки якоря (а) и схема обмотки якоря (б)

слой паза 2 и т. д. После полного обхода якоря обмотка замыкается на себя у коллекторной пластины № 1.

Если обмотка якоря вращается по направлению, указанному на рис. 12.11б, то активных частях ее проводов появится э.д.с., направление которой определено правилом правой руки. В каждой секции наводится э.д.с. и, естественно, что сумма их всех в замкнутой на себя обмотке равна нулю. Однако при обходе всей обмотки можно заметить, что в одной части проводов э.д.с. имеет одно направление, в другой части — противоположное. Это указывает на наличие двух параллельных ветвей обмотки.

На рис. 12.12 показано, как образуются параллельные ветви между коллекторными пластинами 1 и 4. Цифры на рисунке обозначают номер паза, а буквы рядом слой — верхний (е) или нижний (н). Оказывается, что коллекторная пластина 4 является точкой высшего, а коллекторная пластина 1 — низшего потенциала. На эти места и ставятся щетки. На рис. 12.11 щетки по-

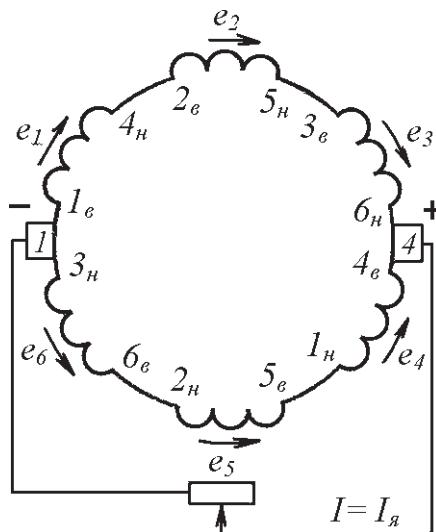


Рис. 12.12. Упрощенное изображение обмотки якоря

казаны условно расположенными внутри коллектора, в действительности же они всегда расположены на его наружной поверхности.

В момент времени, соответствующий положению якоря, показанного на рис. 12.11б, между щетками будет действовать разность потенциалов, равная напряжению машины

$$U = e_1 + e_2 + e_3 = e_6 + e_5 + e_4.$$

Можно заметить, что при повороте якоря на угол 60° величина напряжения U и полярность щеток сохранятся прежними, так как шестой паз займет место первого, первый — второго и т. д. На схеме на рис. 12.12 секция (3в-6н) из верхней параллельной ветви переключится в нижнюю, а равноценная ей секция (3н-6в) переключится из нижней ветви в верхнюю. Такое же положение будет и при повороте на любой угол (для данного примера), кратный 60° .

Однако при повороте якоря на угол, меньший, чем 60° (в данном примере) положение будет несколько иное. В этом положении секции (3в-6н) и (3н-6в) замкнуты щетками накоротко и, следовательно, исключены из параллельных ветвей обмотки якоря, напряжение машины теперь определяется суммой э.д.с.

$$U = e_1 + e_2 = e_5 + e_4,$$

а сами e_1 и e_2 будут иметь другие значения, чем при первом положении якоря. Очевидно, напряжение будет меньше чем при положении якоря, представленном на рис. 12.11. При вращении машины ее напряжение будет непрерывно колебаться в некоторых пределах.

Чем больше секций включено в параллельную ветвь, тем меньше величина пульсаций напряжения U . В современных машинах пульсации настолько малы, что напряжение считается постоянным.

12.5. Рабочий режим машин постоянного тока

Чем больше магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения, чем больше скорость вращения якоря и чем больше проводов в обмотке якоря включено последовательно, тем выше будет напряжение на зажимах генератора.

Меняя ток возбуждения и скорость вращения генератора, мы тем самым можем регулировать ее напряжение. Если генератор не нагружен, т. е. если в обмотке нет тока, мощность, затрачиваемая на его вращение, определяется почти исключительно теми незначительными, но неизбежными потерями мощности, которые вызываются наличием трения. Но присоединим к щеткам машины какую-либо замкнутую цепь — в обмотке потечет ток, этот ток будет взаимодействовать с магнитным полем полюсов, препятствуя вращению якоря. Чем больше будет ток, тем большее усилие нужно прилагать для того, что бы поддержать вращение машины, иначе говоря, тем большую механическую мощность нужно затрачивать.

Это понятно: чем больше ток, тем больше мощность, отдаваемая машиной во внешнюю цепь (при неизменном напряжении).

Разберемся в этих вопросах несколько подробнее. Предположим, что величина тока в обмотке возбуждения не меняется и, следовательно, не меняет-

ся величина магнитного потока. При этом условии величина э.д.с. якоря будет зависеть лишь от скорости его вращения. В неподвижном якоре она будет равна нулю, в медленно вращающемся якоре она будет мала, с увеличением скорости вращения она будет возрастать. По закону электромагнитной индукции величина наводимой э.д.с. тем больше, чем больше скорость изменения магнитного потока. Если увеличить скорость вращения якоря вдвое, то вдвое возрастает величина э.д.с. Иными словами, отношение э.д.с. якоря к его скорости вращения есть величина постоянная, т. е.

$$\frac{E}{n} = \text{const},$$

где E — э.д.с. якоря; n — число его оборотов в минуту.

Теперь предположим, что якорь вращается с какой-то постоянной скоростью, и будем менять величину тока возбуждения, а вместе с ним и величину магнитного потока. В итоге получим, что при постоянной скорости вращения э.д.с. якоря пропорциональна величине магнитного потока, т. е.

$$\frac{E}{\Phi} = \text{const}.$$

Что же произойдет, если мы будем одновременно менять и скорость вращения и величину магнитного потока, но так, что бы их произведение осталось неизменным? В этом случае э.д.с. якоря меняться не будет. В самом деле, если, не меняя потока, увеличить втрое скорость вращения, то э.д.с. увеличится также втрое. Если затем уменьшить величину потока втрое, то величина э.д.с. уменьшится втрое, примет свою первоначальную величину. Это приводит нас к очень важному соотношению

$$\frac{E}{\Phi \cdot n} = \text{const}.$$

Для оценки механической мощности, развиваемой электрической машиной, удобнее всего исходить из величины момента силы. Напомним, что моментом силы называется произведение силы на плечо. Плечом в данном случае является радиус якоря. Так как радиус якоря является постоянной величиной, то момент пропорционален той силе, с которой магнитное поле машины действует на протекающие по якору токи. Сила, действующая на один провод нам известна, она равна произведению:

Сила = Ток \times Длина провода \times Магнитная индукция \Rightarrow или $\Leftarrow F = I \cdot l \cdot B$.

Сила, действующая на обмотку в целом, будет соответственно больше.

Нас интересует не величина момента, а то, как он будет изменяться в зависимости от магнитного потока машины и нагрузочного тока. Увеличивая или уменьшая магнитный поток, мы уменьшаем и притом во столько же раз величину магнитной индукции. Соответственно изменится и величина развиваемого машиной момента. Обозначив его через M , мы можем написать:

$$\frac{M}{\Phi \cdot I} = \text{const}.$$

12.6. Способы возбуждения машин постоянного тока

Электрические машины постоянного тока разделяются на несколько типов, отличающихся друг от друга по своим эксплуатационным свойствам, зависящим в основном от способа питания их обмоток возбуждения.

Электрической машиной постоянного тока с независимым возбуждением (рис. 12.13а) называется такая у которой ток в обмотку возбуждения поступает от постороннего, независимого источника энергии. Эти машины применяются в автоматических устройствах и там, где напряжение на зажимах якоря малое (6—8 В) или высокое (свыше 500 В).

Машиной постоянного тока с параллельным возбуждением (рис. 12.13б) называется такая, обмотка возбуждения которой присоединена к зажимам якоря параллельно внешней цепи.

Машина с последовательным возбуждением (рис. 12.13в) имеет обмотку возбуждения соединенную последовательно с внешней цепью.

Машина смешанного возбуждения (рис. 12.13г и д) имеет две обмотки возбуждения, последовательную (сериесную C) и параллельную (шунтовую $Ш$). Эти машины обладают улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Все генераторы, кроме генераторов с независимым возбуждением, называются генераторами с самовозбуждением, т. е. ток в обмотку возбуждения поступает из самой машины.

На первый взгляд здесь имеется противоречие. Ведь если генератор не возбужден, то в якоре не может возникать ни э.д.с. ни ток. Спрашивается, каким же образом генератор может вызвать появление тока в обмотке возбуждения?

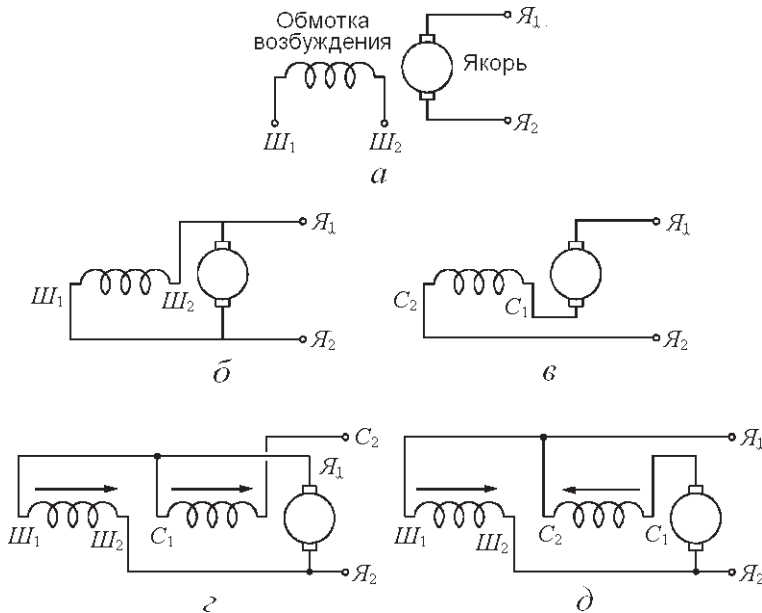


Рис. 12.13. Схемы соединения обмоток возбуждения с якорем: а — независимое; б — параллельное; в — последовательное; г и д — смешанное

Вспомним, что однажды намагниченное железо сохраняет магнитные свойства и после того, как исчез намагничивающий ток. Сердечники, на которых расположены обмотки возбуждения, являются постоянными магнитами, хотя и очень слабыми. Начнем вращать якорь. В его обмотке появится незначительная э.д.с., а так как якорь соединен с обмоткой возбуждения, то в последней возникает незначительный ток.

Но как бы ни был слаб ток возбуждения, он создаст вокруг себя магнитное поле. Если направление вращения выбрано правильно, то это магнитное поле усилит поле, существовавшее ранее, э.д.с. якоря возрастет, а вместе с ней будет возрастать и ток возбуждения. Такими последовательными ступенями мы доведем ток до его расчетного значения.

Однако, если направление вращения выбрано ошибочно, самовозбуждение наступить не сможет, так как э.д.с. якоря будет ослаблять то поле, которое существовало благодаря остаточному намагничиванию. В этом случае необходимо переключить концы обмоток возбуждения.

Рассмотрим, как будет изменяться величина напряжения генератора в зависимости от нагрузки. Напомним, что напряжение генератора меньше его э.д.с. на величину падения напряжения внутри генератора. Падение напряжения определяется по закону Ома: оно равно произведению тока в якоре и его внутреннего сопротивления

$$U = E - IR.$$

В генераторе с параллельным возбуждением под сопротивлением R нужно понимать сопротивление обмотки якоря, в генераторах с последовательным и со смешанным возбуждением в сопротивлении R входит сопротивление якоря и последовательной обмотки возбуждения.

Задача оказывается более сложной, чем может показаться с первого взгляда. Дело в том, что даже при постоянной скорости вращения генератора величина его э.д.с. не будет оставаться постоянной, а будет зависеть от тока нагрузки. Так, например, из нашей формулы следует, что в генераторах с параллельным возбуждением появление тока в якоре вызовет уменьшение напряжения по сравнению с тем, что наблюдалось при холостом ходе машины.

Но дело этим не ограничится. Напряжение на концах обмотки возбуждения также равно величине напряжения U и, снизив ее, мы уменьшим величину тока возбуждения, а следовательно, и магнитного потока и э.д.с. якоря. Мы видим, что колебания напряжения не равны величине $I \cdot R$, а больше ее. Поэтому всегда приходится предусматривать добавочное сопротивление в цепи обмотки возбуждения. Изменяя величину этого сопротивления, мы можем сохранить напряжение постоянным.

Иначе обстоит дело в генераторах последовательного возбуждения. При отсутствии нагрузки его э.д.с. почти равна нулю, так как машина не возбуждена. С увеличением тока растут оба члена в правой части нашей формулы. Растет и их разность, т. е. напряжение, но лишь до известного предела. Отметим, что генераторы с последовательным возбуждением встречаются на практике крайне редко.

Генератор со смешанным возбуждением является одновременно генератором и с параллельным и с последовательным возбуждением. Нагрузочный ток

стремится и снизить напряжение и увеличить его. Можно добиться такого соотношения токов намагничивания обеих обмоток возбуждения, что изменение нагрузки почти не влияет на величину напряжения генератора.

12.7. Обратимость машин постоянного тока. Работа двигателя

Всякая машина постоянного тока может работать и генератором и двигателем. Присоединим машину с параллельным возбуждением к сети постоянного тока. Соединим щетку (+) с положительным полюсом сети, а щетку (-) с отрицательным полюсом. В якоре машины потечет ток, имеющий направление, прямо противоположное току, протекающему в якоре, когда машина работает генератором. Направление тока в обмотке возбуждения сохранит прежнее направление. Применяя правило левой руки можно определить направление силы действующей теперь на якорь.

Эта сила будет стремиться вращать якорь в ту же сторону, в которую он вращался при работе генератором. Об этом можно было бы догадаться и непосредственно: в самом деле, ток теперь течет в другом направлении, чем когда машина работала генератором, а при работе генератором взаимодействие тока и магнитного поля препятствовало вращению якоря.

Итак, когда мы машину постоянного тока подключим к сети, в ней потечет ток, и она будет вращаться.

Но с какой скоростью она будет вращаться и чему будет равен ток, протекающий через нее? Попробуем найти ответ на эти вопросы.

Если бы якорь машины был неподвижен, например, наглухо заторможен, ток, протекающий через якорь, был бы чрезвычайно велик. Для того чтобы его подсчитать, можно воспользоваться законом Ома. Приложенное к якору напряжение нужно разделить на внутреннее сопротивление цепи якоря. Так как это сопротивление не велико, то ток в ней будет очень большим. Напротив, в параллельной обмотке возбуждения ток будет не больше нормальной величины, ее сопротивление неизменно, а на полное напряжение она включена и при нормальной работе.

Освободим теперь якорь и дадим ему возможность вращаться. В обмотке вращающегося якоря немедленно начнет наводиться напряжение, при этом тем большее, чем больше будет скорость его вращения. Это напряжение будет направлено навстречу приложенному извне напряжению. Оно будет стремиться посылать ток в обратном направлении.

Таким образом, в обмотке машины будет действовать разность напряжений: приложенного извне и наводимого в самой обмотке (противодействующая э.д.с.). Если эту разность разделить на электрическое сопротивление машины, то получится ток, протекающий в машине.

Чем больше будет величина наведенного напряжения, чем больше будет скорость вращения двигателя с параллельным возбуждением, тем, очевидно, будет больше разность внешнего и наводимого напряжений, а, следовательно, тем меньше будет ток, текущий через обмотку якоря. Но меньшему току соответствует и меньшее вращающее усилие.

Поэтому естественно, что чем слабее механическая нагрузка двигателя (чем меньше ее тормозящее усилие), тем быстрее будет вращаться якорь, тем меньший ток будет идти в машину из сети, тем меньшая мощность будет потребляться двигателем.

Посмотрим теперь, как машину постоянного тока можно перевести из условий работы двигателем в условия работы генератором.

Пусть наш двигатель присоединен к сети и не имеет никакой нагрузки, т. е. пусть двигатель работает холостую. Скорость вращения при этом будет такой, что наводимое напряжение будет очень мало отличаться от напряжения сети. В обмотке якоря будет протекать очень малый ток, нужный только для того, создать усилие, преодолевающее трение в самой машине.

Будем раскручивать нашу машину, заставим ее делать еще большее число оборотов в минуту. Что при этом произойдет? Напряжение наводимое в якоре, может оказаться уже больше напряжения сети, тогда ток изменит направление. Ток будет протекать по направлению, определяемому напряжением, наводимым в якоре. Теперь снова его взаимодействие с магнитным полем будет тормозить, будет препятствовать вращению якоря.

Для вращения якоря теперь нужно затрачивать механическую мощность. Ток течет в направлении, определяемом напряжением, наводимым в якоре, и, следовательно, наша машина начала работать генератором.

12.8. Особенности двигателей с параллельным и последовательным возбуждением

Основным различием между режимами генератора и двигателя является то, что в первом случае напряжение представляет собой часть э.д.с. якоря, а во втором случае имеет место обратная картина. Напряжение двигателя равно напряжению той сети, которой он присоединен. Часть этого напряжения уравновешивается падением напряжения в цепи якоря (в двигателях с последовательным возбуждением в цепи якоря и обмотки возбуждения). Другая часть уравновешивается той э.д.с., которая возникает в обмотке якоря в результате его вращения. Поэтому для двигателей должно выполняться соотношение

$$U = E + IR.$$

В сущности, это та же формула, которую мы получили, рассматривая работу машины генератором. Но так как при переходе от генераторного режима к режиму двигателя ток в якоре изменил свое направление, то в формуле пришлось изменить знак перед величиной тока.

Если присоединить к сети неподвижный двигатель, то в первый момент э.д.с. в якоре будет отсутствовать, и напряжение сети будет уравновешиваться лишь падением напряжения в цепи якоря. Появится так называемый пусковой ток, величина которого находится по закону Ома

$$I_{\text{Пуск}} = \frac{U}{R}$$

и намного превосходит нормальный рабочий ток двигателя. Поэтому мощные двигатели постоянного тока приходится снабжать пусковыми реостатами

включенными в цепь якоря. Назначение реостатов снизить пусковой ток до безопасной величины.

Подобным образом происходит пуск двигателя с последовательным возбуждением. Отметим некоторые особенности работы рассмотренных двигателей.

Магнитный поток в двигателе с параллельным возбуждением остается приблизительно постоянным, поэтому с уменьшением нагрузки скорость вращения двигателя будет возрастать незначительно. Действительно, при холостом ходе напряжение, индуцируемое в якоре, должно достичь величины, приблизительно равной напряжению сети. Но это напряжение для данной машины пропорционально произведению магнитного потока Φ на скорость вращения двигателя n , а так как поток почти не меняется с нагрузкой, т. е. остается достаточно большим, то достаточно немного увеличить скорость вращения, чтобы уже достичь требуемой величины э.д.с.

В двигателе с параллельным возбуждением поток остается приблизительно постоянным независимо от величины нагрузки (потому что обмотка напряжения включена прямо на напряжение сети, остающееся приблизительно неизменным). Поэтому можно считать, что ток здесь будет прямо пропорционален тормозящему моменту.

Двигатели с параллельным возбуждением представляют собой машину, очень удобную в отношении возможности регулировать скорость их вращения. Действительно, пусть, например, наша машина работает с неизменной мощностью, а это значит, что величина тока, подводимого к якору, также должна оставаться приблизительно постоянной. Но для того чтобы иметь неизменный ток, нужно, чтобы оставалась неизменной и величина напряжения, наводимого в якоре.

Уменьшим теперь ток возбуждения, вводя, например, дополнительное сопротивление между зажимами сети и обмоткой возбуждения.

Вследствие уменьшения тока возбуждения уменьшится и магнитный поток, а это значит, что должна увеличиться скорость вращения машины: э.д.с. якоря не изменилась и, следовательно, не может измениться произведение $\Phi \cdot n$.

Рассуждая таким образом, мы найдем, что для уменьшения скорости вращения машины при одной и той же мощности нужно увеличить магнитный поток, иначе говоря, нужно увеличить ток возбуждения.

Если слишком сильно уменьшить ток возбуждения или вовсе разорвать цепь возбуждения, двигатель с параллельным возбуждением начнет вращаться с недопустимо большой скоростью, он, как говорят, идет в разнос. Двигатели с параллельным возбуждением «боятся» обрыва цепи возбуждения.

Для двигателей с последовательным возбуждением остаются справедливыми все вышеприведенные формулы. Но, применяя их к двигателю с последовательным возбуждением, мы видим, что он имеет совершенно другие характеристики.

Пусть, например, мы будем уменьшать тормозящее усилие приложенной к двигателю нагрузки. Должен, разумеется, уменьшиться ток, следовательно, должно увеличиться и напряжение наводимое в якоре машины.

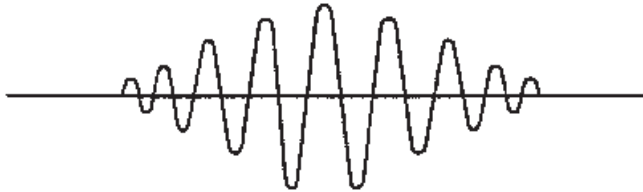
Но вместе с уменьшением тока в двигателе будет уменьшаться и магнитный поток. Ведь в этом случае ток якоря является и током возбуждения.

Это в свою очередь затрудняет наведение необходимого напряжения. Скорость вращения двигателя с последовательным возбуждением с уменьшением механической нагрузки, будет значительно сильнее возрастать, чем в двигателе с параллельным возбуждением. Произведение $\Phi \cdot n$ должно возрасти, в то же время множитель Φ при этом будет уменьшаться, значит второй множитель n должен возрастать более резко.

Подобно тому как двигатель с параллельным возбуждением идет в «разнос» при обрыве цепи возбуждения, двигатель с последовательным возбуждением идет в «разнос», если он оставлен без нагрузки (и если последовательно с ним не включено дополнительное сопротивление, достаточно большое, чтобы ограничить нарастающий ток).

Напротив, при увеличении нагрузки двигатель с последовательным возбуждением будет более резко снижать скорость вращения, так как вместе с ростом тока в нем растет и величина магнитного потока. Но зато двигатель будет значительно увеличивать вращающее усилие. Действительно, момент двигателя пропорционален произведению тока и магнитного потока, а в двигателе с последовательным возбуждением вместе с током (при увеличении нагрузки) будет расти и поток.

Сказанное здесь о двигателе с последовательным возбуждением делает понятным, почему эти двигатели оказываются очень удобными для электрической тяги. Там они никогда не могут остаться без нагрузки, это — первое, а второе и главное — это то, что для целей транспорта очень важно, чтобы при трогании с места и при малой скорости вращения двигатель развивал достаточно большое вращающее усилие.



Глава тринадцатая

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ



13.1. Общие положения

Система трехфазного переменного тока, позволившая создать устройства для получения вращающегося магнитного потока, вызвала появление наиболее распространенного в данное время электродвигателя, называемого асинхронным. Это название обусловлено тем, что вращающаяся часть машины — ротор всегда вращается со скоростью, не равной скорости магнитного потока, т. е. не синхронно с ним.



Асинхронной машиной называется машина переменного тока, у которой скорость вращения ротора меньше скорости вращения магнитного поля статора и зависит от нагрузки.

Трехфазный двигатель был изобретен русским инженером М. О. Доливо-Добровольским в 1890 г. и с тех пор, подвергаясь усовершенствованиям, прочно занял свое место в промышленности и получил массовое распространение во всех странах мира.

Изготавливаемый на мощности от долей вата до тысяч киловатт при напряжениях 127, 220, 380, 500, 600, 3000, 6000, 10 000 В, этот электродвигатель прост по конструкции, надежен в эксплуатации и дешев по сравнению с другими электродвигателями. Благодаря простоте устройства, высокой надежности в работе, удовлетворительным рабочим характеристикам и сравнительно невысокой стоимости эти машины широко применяются во всех отраслях народного хозяйства — в промышленности, в строительстве, в сельскохозяйственном производстве, на транспорте, т. е. везде, где не требуется поддержания постоянной скорости вращения, а также в быту, в однофазном исполнении при малой мощности.

В зависимости от конструкции ротора асинхронные двигатели бывают с короткозамкнутым и с фазным роторами. Наибольшее распространение получили двигатели с короткозамкнутым ротором. Двигатели с фазным ротором применяются там, где требуется регулирование скорости вращения, например, электролебедки (электроталь).

13.2. Устройство асинхронного двигателя

Асинхронный двигатель имеет две основные части — статор и ротор. Статором называется неподвижная часть машины. С внутренней стороны статора сделаны пазы, куда укладывается трехфазная обмотка, питаемая трехфазным переменным током. Вращающаяся часть машины называется ротором, в пазах его также уложена обмотка.

Устройство наиболее часто используемого трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором схематически показано на рис. 13.1. Неподвижная часть машины — статор, состоит из сердечника 1, обмотки 2 и корпуса (станины) 3.

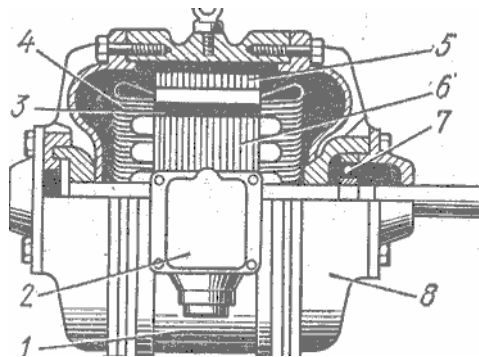


Рис. 13.1. Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором: 1 — корпус; 2 — коробка выводов; 3 — воздушный зазор; 4 — обмотка статора; 5 — сердечник статора; 6 — сердечник ротора; 7 — подшипник; 8 — подшипниковый щит

Сердечник статора (рис. 13.2), является частью магнитопровода машины, имеет форму полого цилиндра с равномерно расположенными на внутренней поверхности пазами осевого направления. Он представляет собой пакет, набранный и спрессованный из отдельных тонких листов электротехнической стали (толщиной 0,5 или 0,35 мм), отштампованных в виде колец с равномер-

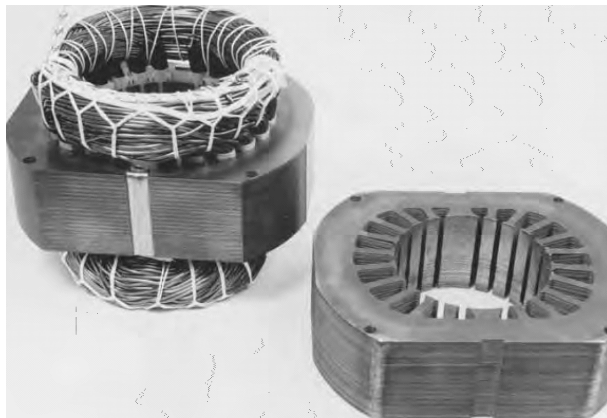


Рис. 13.2. Статор однофазного асинхронного двигателя

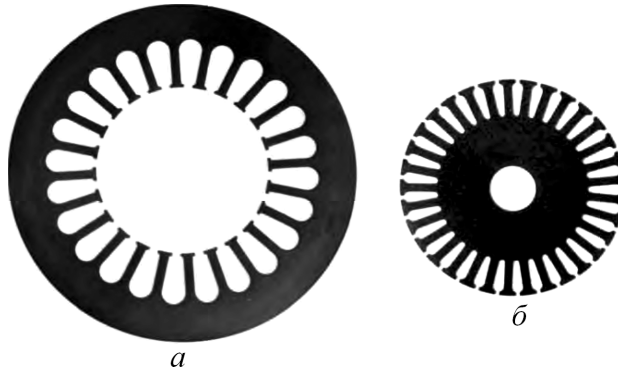


Рис. 13.3. Стальной лист статора (а) и ротора (б)

но расположенными вдоль внутренней окружности выступами и впадинами, которые при сборке образуют пазы (рис. 13.3а).

Листы до сборки в пакет с обеих сторон покрывают изоляционной пленкой лака для уменьшения вихревых токов, возникающих в сердечнике при работе машины, и снижения потерь энергии в ней. В пазах сердечника размещают обмотку (трехфазную или однофазную) выполненную из изолированного медного провода.

Сердечник статора с обмоткой расположен (обычно запрессован) внутри корпуса, который отливают из чугуна или алюминиевого сплава. К корпусу статора крепятся два литых подшипниковых щита со сквозными центральными отверстиями для подшипников, в которых вращается вал ротора.

Концы обмотки статора присоединены к зажимам, расположенным в коробке выводов, укрепленной на корпусе двигателя (рис. 13.4а). Обычно выводят все шесть концов трехфазной статорной обмотки, так как это позволяет ис-

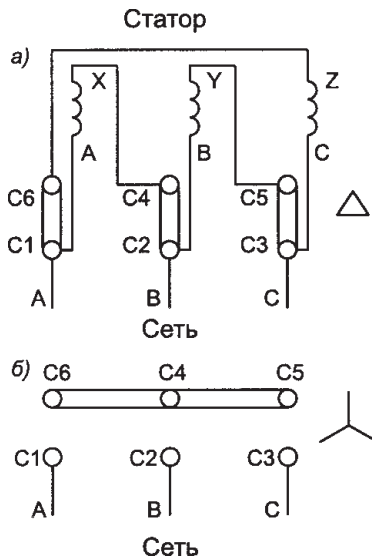


Рис. 13.4. Присоединение концов обмотки к зажимам (а) и соединение зажимов коробки при включении фазных обмоток звездой и треугольником (б)

пользовать двигатель при разных напряжениях сети, отличающихся в $\sqrt{3}$ раз (например, 380 и 220 В, 380 и 660 В). Более высокому напряжению сети в этом случае соответствует соединение обмоток звездой, более низкому — треугольником (рис. 13.4б). Для упрощения таких переключений выводы обмотки статора в коробке соответствующим образом маркируются и располагаются в определенном порядке.

Вращающаяся часть машины — ротор (рис. 13.5) — состоит из сердечника, обмотки и вала. Сердечники статора и ротора разделены небольшим (обычно 0,1—0,4 мм) воздушным зазором. Сердечник ротора, являющийся частью магнитопровода, представляет собой спрессованный из отдельных тонких листов электротехнической стали (рис. 13.3б) пакет, имеющий форму цилиндра с продольными пазами у наружной поверхности и центральным отверстием для вала.

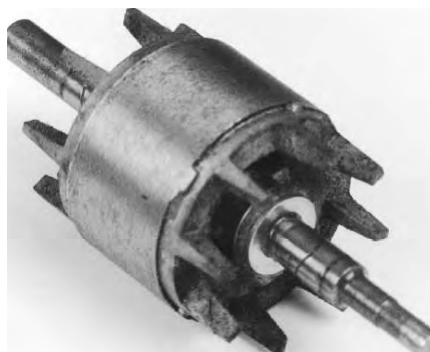


Рис. 13.5. Ротор асинхронного двигателя

У двигателей с короткозамкнутым ротором роторная обмотка представляет собой вставленные в пазы сердечника неизолированные алюминиевые стержни, торцы которых с обеих сторон соединены короткозамыкающими кольцами, выполненными обычно из того же материала, что и стержни, рис. 13.6. Такую короткозамкнутую обмотку называют «белчьей клеткой», рис. 13.7. В двигателях мощностью до 100 кВт она чаще всего выполняется путем заливки пазов расплавленным алюминием под давлением. Одновременно отливают стержни, короткозамыкающие кольца и вентиляционные лопасти.

У трехфазного асинхронного электродвигателя с фазным ротором статор устроен также, как и двигателя с короткозамкнутым ротором, в то время как ротор имеет существенные конструктивные отличия. Сердечник ротора представляет собой пакет цилиндрической формы, набранный и спрессованный из отдельных тонких штампованных листов электротехнической стали и насаженный на вал. На наружной поверхности сердечника имеются пазы, в которые укладывается трехфазная обмотка из изолированного медного провода, рис. 13.8.

Обмотка фазного ротора, выполняемая по таким же схемам, как и обмотка статора, соединяется, как правило, в звезду, а три ее свободных конца изолированными проводами, проходящими через просверленное внутри вала отверстие, выводятся к укрепленным на валу трем (обычно медным или латунным) контактными кольцам, электрически изолированными между собой и от вала.



Рис. 13.6. Короткозамкнутый ротор асинхронного электродвигателя

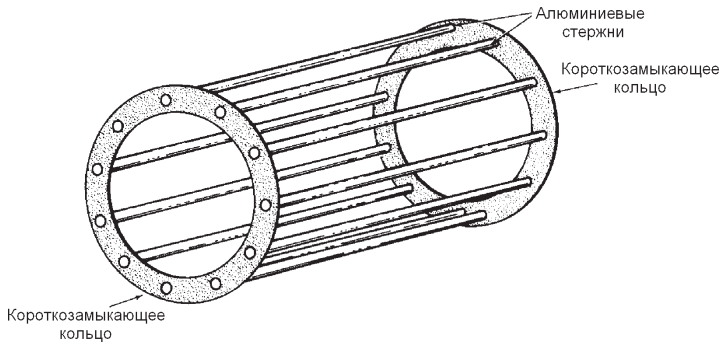


Рис. 13.7. «Беличья клетка»

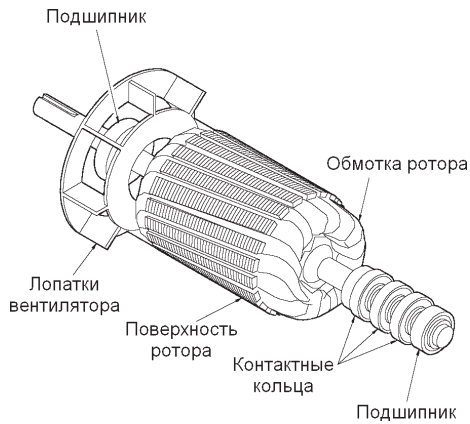


Рис. 13.8. Фазный ротор асинхронного двигателя

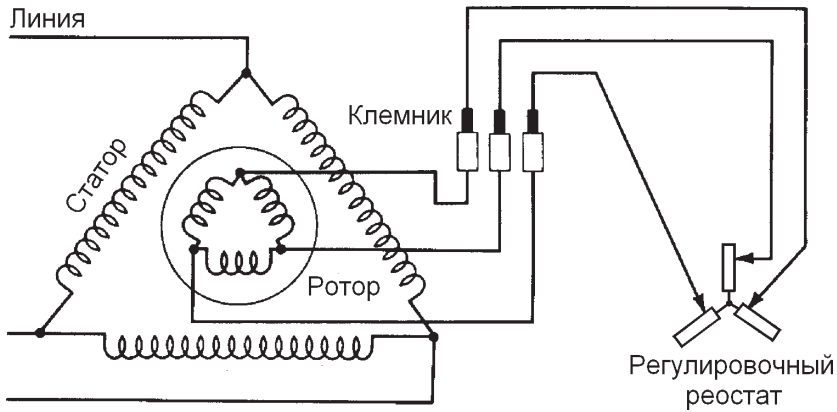


Рис. 13.9. Электрическая схема асинхронного двигателя с фазным ротором

С вращающимися при работе двигателя контактными кольцами соприкасаются неподвижные щетки, установленные в щеткодержателях, которые закреплены на подшипниковом щите. К коробке выводов, расположенной на корпусе двигателя, подведены шесть концов статора. Кроме того, отдельно выведены три конца роторной обмотки (через контактные кольца и щетки). В цепь обмотки ротора таким образом можно включить пусковой или регулировочный реостат, рис. 13.9.

13.3. Принцип действия асинхронного двигателя

Рассмотрим устройство, показанное на рис. 13.10. Оно состоит из постоянного магнита 1, медного диска 2, рукоятки 3 и подшипников 4. Если вращать магнит при помощи рукоятки, то медный диск начинает вращаться в ту же сторону, но с меньшей частотой вращения. Медный диск можно рассматривать, как бесчисленное множество замкнутых витков; при вращении магнита 1 его магнитные силовые линии (м.с.л.) пересекают витки диска, и в витках индуцируется электродвижущая сила (э.д.с.). В замкнутых витках диска появится ток, а вокруг проводников с током — магнитное поле, которое взаимодействует с магнитным полем магнита и приводит диск во вращение.

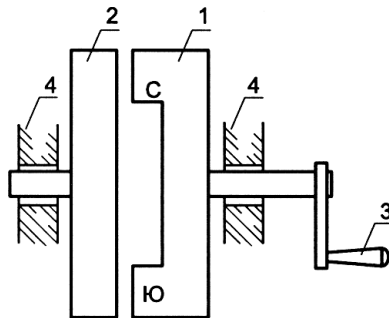


Рис. 13.10. Модель асинхронного двигателя

Обозначим:

- n_1 — частота вращения магнита (синхронная частота), об/мин;
- n_2 — частота вращения диска, об/мин;
- n — разность частот вращения магнита и диска, об/мин.

Частота вращения диска меньше частоты вращения магнита, и, следовательно, диск вращается с несинхронной (асинхронной) частотой. Разница частот магнита и диска представляет собой частоту, с которой магнитные силовые линии пересекают витки диска. Отношение разницы частот к синхронной частоте называется скольжением. Скольжение может быть выражено в долях единицы и в процентах:

$$S = \frac{n}{n_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1};$$

$$S_{\%} = \frac{n}{n_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100.$$

В двигателях вращающееся магнитное поле создается трехфазным током, протекающим по обмотке статора, а роль диска выполняет обмотка ротора. Активная сталь статора и ротора служит магнитопроводом, уменьшающим в сотни раз сопротивление магнитному потоку.

Под влиянием подведенного к статору напряжения сети U_1 в его обмотке протекает ток I_1 . Этот ток создает вращающийся магнитный поток Φ , замыкающийся через статор и ротор. Поток создает в обеих обмотках э.д.с. E_1 и E_2 , как в первичной и вторичной обмотках трансформатора. Таким образом, асинхронный двигатель подобен трехфазному трансформатору, в котором э.д.с. создаются вращающимся магнитным потоком.

Пусть поток вращается в направлении движения стрелки часов. Под влиянием э.д.с. E_2 в обмотке ротора пойдет ток I_2 , направление которого показано на рис. 13.11. Предположим, что он совпадает по фазе с E_2 . Взаимодействие тока I_2 и потока Φ создает электромагнитные силы F , приводящие ротор во вращение, вслед за вращающимся потоком. Таким образом, асинхронный двигатель представляет собой трансформатор с вращающейся вто-

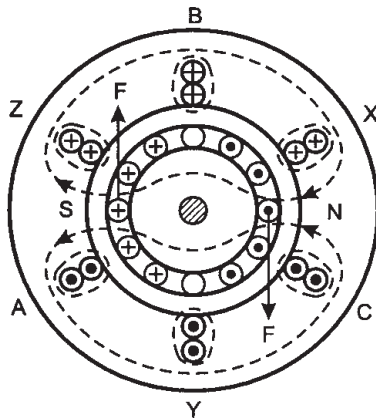


Рис. 13.11. Работа асинхронного двигателя при $\cos \varphi_2 = 1$

ричной обмоткой и способный, поэтому превращать электрическую мощность $E_2 I_2 \cos \varphi$ в механическую.

Ротор всегда отстает от вращающегося магнитного потока, так как только в этом случае может возникать э.д.с. E_2 , а, следовательно, ток I_2 и силы F . Чтобы изменить направление вращения ротора, следует изменить направление вращения потока. Для этого меняют местами два любых провода, подводящие ток от сети к статору. В этом случае меняется порядок следования фаз ABC на ACB или BAC и магнитный поток вращается в обратную сторону.

Ротор двигателя вращается с асинхронной частотой n_2 , поэтому и двигатель называется асинхронным. Частоту вращения магнитного потока называют синхронной частотой n_1 . Частота вращения ротора

$$n_2 = n_1(1 - S) = \frac{120f}{2p}(1 - S),$$

где n_2 — частота вращения ротора; n_1 — частота вращения магнитного поля статора; S — скольжение; f — частота тока в сети; $2p$ — число пар полюсов электродвигателя.

Теоретически скольжение меняется от 1 до 0 или от 100 % до 0, так как при неподвижном роторе в первый момент пуска $n_2 = 0$, а если вообразить, что ротор вращается синхронно с магнитным потоком, $n_2 = n_1$.

Чем больше нагрузка на валу, тем меньше скорость ротора n_2 и значит больше скольжение S , так как больший тормозной момент должен уравновеситься вращающим моментом; последнее возможно только при увеличении E_2 и I_2 , а значит и S . Скольжение при номинальной нагрузке S_n у асинхронных двигателей равно от 1 до 7 %; меньшая цифра относится мощным двигателям.

13.4. Основные характеристики электродвигателей

Номинальный режим электродвигателя соответствует данным, указанным на его щитке (паспорте). В этом режиме двигатель должен удовлетворять требованиям, установленным ГОСТом.

Существует восемь различных режимов работы, из них основными можно считать:

- продолжительный номинальный режим;
- кратковременный номинальный режим с длительностью рабочего периода 10, 30 и 90 мин;
- повторно-кратковременный номинальный режим с продолжительностью включения (ПВ) 15, 25, 40, 60 %, с продолжительностью одного цикла не более 10 мин.

Номинальной мощностью P_n электродвигателя называется указанная на щитке полезная механическая мощность на валу при номинальном режиме работы. Номинальная мощность выражается в Вт или кВт.

Номинальной частотой вращения n_n вала электродвигателя называется указанное на щитке число оборотов в минуту, соответствующее номинальному режиму.

Номинальный момент вращения — момент, развиваемый двигателем на валу при номинальной мощности и номинальной частоте вращения:

$$M_n = \frac{9555 P_n}{n_n},$$

где M_n — номинальный момент вращения, Н·м; P_n — номинальная мощность, кВт; n_n — номинальная частота вращения, об/мин;

Номинальный к.п.д. η_n электродвигателя — отношение его номинальной мощности в кВт к мощности, потребляемой им из сети при номинальном напряжении:

$$\eta_n = \frac{P_n \cdot 1000}{\sqrt{3} U_n I_n \cos \varphi_n},$$

где P_n — номинальная мощность, кВт; U_n — номинальное (линейное) напряжение, В; I_n — номинальная сила тока, А; $\cos \varphi_n$ — номинальный коэффициент мощности.

Номинальной силой тока электродвигателя называется сила тока, соответствующая номинальному режиму. Действительное значение силы тока при номинальном режиме может отличаться от указанного на щитке электродвигателя в пределах установленных допусков для к.п.д. и коэффициента мощности.

Максимальный вращающий момент электродвигателя — наибольший вращающий момент, развиваемый при рабочем соединении обмоток и постепенном повышении момента сопротивления на валу сверх номинального при условии, что напряжение на зажимах двигателя и частота переменного тока остаются неизменными и равными номинальным значениям.

Начальный пусковой вращающий момент электродвигателя — момент вращения его при неподвижном роторе, номинальных значениях напряжения и частоты переменного тока и рабочем соединении обмоток.

Минимальным вращающим моментом электродвигателя в процессе пуска называется наименьший вращающий момент, развиваемый двигателем при рабочем соединении обмоток и частоте вращения в пределах от нуля до значения, соответствующего максимальному вращающему моменту (напряжение на зажимах двигателя и частота переменного тока должны оставаться неизменными и равными их номинальным значениям).

Номинальная частота вращения вала электродвигателя является следующим за мощностью параметром, от которого в значительной мере зависят конструктивное оформление, габариты, стоимость и экономичность работы электропривода. Наиболее приемлемыми в диапазоне мощностей от 0,6 до 100 кВт являются частоты вращения 3000, 1500 и 1000 об/мин (синхронные). Электродвигатели с частотой вращения 750 об/мин (восьми полюсные) малых мощностей имеют низкие энергетические показатели. При одинаковой мощности электродвигатели с более высокой частотой вращения имеют более высокие значения к.п.д. и $\cos \varphi$, а также меньшие размеры и массу, что определяет их меньшую стоимость.

Сила тока холостого хода I_0 в значительной мере определяется силой намагничивающего тока и примерно равна ему. Для машин основного исполнения относительное значение силы тока холостого хода $I_0 = (0,2-0,6)I_n$ (оно тем больше, чем меньше номинальная частота вращения и мощность электродвигателя).

Коэффициент мощности $\cos \varphi$ существенно зависит от степени нагрузки двигателя. Обычно у трехфазных асинхронных электродвигателей при номинальной нагрузке $\cos \varphi_n = 0,7-0,92$. Большие значения коэффициента мощности относятся к мощным двигателям с числом полюсов $2p = 2$ и 4. При уменьшении нагрузки $\cos \varphi$ уменьшается до значения $\cos \varphi \approx 0,09-0,18$ при холостом ходе.

Скольжение при номинальной нагрузке трехфазных асинхронных электродвигателей основного исполнения обычно составляет от 1,5 до 6,6 %. Большие значения скольжения относятся к меньшим значениям мощности двигателя. Требование малой величины S_n связано с получением высокого к.п.д. и приводит к необходимости иметь малое активное сопротивление обмотки ротора.

При номинальном значении напряжения и частоты переменного тока скольжение с изменением нагрузки в пределах от холостого хода до номинальной практически изменяется пропорционально нагрузке (для двигателей, имеющих кратность максимального момента $m_k \geq 1,6$):

$$S = \beta S_n,$$

где β — степень загрузки двигателя.

При работе электродвигателя с пульсирующей или ударной нагрузкой для лучшего использования маховых масс целесообразно увеличивать номинальное скольжение. У электродвигателей с повышенным скольжением номинальное скольжение в зависимости от типоразмера и частоты вращения находится в пределах 6,6—16 %.

Критическое скольжение S_k — величина скольжения, соответствующая максимальному моменту электродвигателя.

13.5. Классификация электрических машин

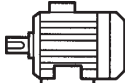

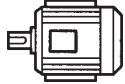



По способу крепления и конструкции подшипниковых узлов электродвигатели подразделяются по конструктивному исполнению, по способу монтажа (пространственное положение машины), и исполнению конца вала машины. Условное обозначение конструктивного исполнения обозначаются латинскими буквами *IM* и четырьмя цифрами. Первая цифра характеризует конструктивное исполнение корпуса. Вторая цифра характеризует способы монтажа (пространственное положение машины). Третья цифра — направление конца вала, четвертая — исполнение конца вала машины.

Конструктивное исполнение, табл. 13.1:

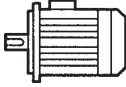
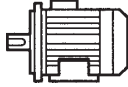





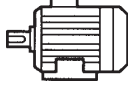




- 1 — на лапах с подшипниковыми щитами (с пристроенным редуктором);
- 2 — на лапах с подшипниковыми щитами, с фланцем на подшипниковом щите (или щитах);

- 3 — без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном подшипниковом щите (или щитах), с цокольным фланцем;
- 4 — без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на станине;
- 5 — без подшипниковых щитов;
- 6 — на лапах с подшипниковыми щитами и со стоячковыми подшипниками;
- 7 — на лапах со стоячковыми подшипниками (без подшипниковых щитов);
- 8 — с вертикальным валом;
- 9 — специального исполнения по способу монтажа.
- Исполнение конца вала машины:
- 0 — без конца вала;
- 1 — с одним цилиндрическим концом вала;
- 2 — с двумя цилиндрическими концами вала;
- 3 — с одним коническим концом вала;
- 4 — с двумя коническими концами вала;
- 5 — с одним фланцевым концом вала;
- 6 — с двумя фланцевыми концами вала;
- 7 — с фланцевым концом вала на одной стороне и цилиндрическим концом вала на другой стороне;
- 8 — прочие исполнения вала.

Таблица 13.1. Виды конструктивных исполнений по способу монтажа и крепления по ГОСТ 2479—79 (стандарт IEC 34 7)

Способ монтажа	Размеры	Вид конструктивного исполнения		Примечание
Моторы, монтируемые с помощью лап	Любые размеры корпуса	IM 1001 (IM B3) Горизонтальный вал Лапа для монтажа на полу 	IM 1071 (IM B8) Горизонтальный вал Лапа для монтажа на потолке 	IM 1081 универсальные для всех вариантов
		IM 1051 (IM B6) Горизонтальный вал Лапа для монтажа на полу, расположенная слева, если смотреть со стороны привода 	IM 1011 (IM V5) Вертикальный вал, направленный вниз. Лапа для монтажа на стене 	
		IM 1061 (IM B7) Горизонтальный вал Лапа для монтажа на полу, расположенная справа, если смотреть со стороны привода 	IM 1031 (IM V6) Вертикальный вал, направленный вверх Лапа для монтажа на стене 	

Окончание табл. 13.1

Способ монтажа	Размеры	Вид конструктивного исполнения		Примечание
Моторы с монтажным фланцем	Любые размеры корпуса (кроме IM 3001 — размер корпуса 225 мм)	IM 3001 (IM B5) Горизонтальный вал 	M 2001 (IM B35) Горизонтальный вал Лапа для монтажа на полу 	IM 3081, IM 2081, универсальные для всех вариантов
		IM 3011 (IM V1) Вертикальный вал, направленный вниз 	IM 2011 (IM V15) Вертикальный вал, направленный вниз Лапа для монтажа на стене 	
		IM 3031 (IM V3) Вертикальный вал, направленный вверх 	IM 2031 (IM V36) Вертикальный вал, направленный вверх Лапа для монтажа на стене 	
Моторы, монтируемые за лицевую панель	Размер корпуса 132 мм	IM 3601 (IM B14) Горизонтальный вал 	IM 2101 (IM B34) Горизонтальный вал Лапа для монтажа на полу 	—
		IM 3611 (IM V18) Вертикальный вал, направленный вниз 	IM 2111 (IM V58) Вертикальный вал, направленный вниз Лапа для монтажа на стене 	
		IM 3631 (IM V19) Вертикальный вал, направленный вверх 	IM 2131 (IM V69) Вертикальный вал, направленный вверх Лапа для монтажа на стене 	

По степени защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями, находящимися внутри машины, и попадания посторонних тел внутрь машины, а также степени защиты от проникновения воды внутрь машины согласно ГОСТ 17494—87, распространяющемуся на машины электрические до 1000 В (кроме машин для работы во взрывоопасной среде и особых климатических условиях — тропического воздействия влажности, инея, химических реагентов, плесневелых грибов и т. п.) имеют исполнения, указанные в табл. 13.2. Условное обозначение степени защиты обозначаются латинскими буквами *IP* и двумя цифрами. Первая цифра характеризует степень защиты обслуживающего персонала и попадания твердых тел внутрь корпуса. Вторая цифра характеризует степень защиты от проникновения воды.

Таблица 13.2. Степень защиты электрических машин (по ГОСТ 17494—87)

Номер цифры	Цифра	Степень защиты
Первая цифра	0	Специальная защита отсутствует
	1	Защита от проникновения твердых тел диаметром более 50 мм, исключено случайное прикосновение к токоведущим или движущимся частям внутри оболочки частью тела, например рукой
	2	Защита от проникновения твердых тел диаметром более 12 мм, исключено прикосновение пальцами к опасным частям внутри оболочки
	3	Защита от проникновения инструментов, проволоки и т. д. диаметром или толщиной более 2,5 мм
	4	Защита от проникновения твердых тел размером свыше 1 мм
	5	Защита от пыли. Пыль внутрь оболочки не может проникать в количестве, нарушающем работу изделия
Вторая цифра	0	Защита отсутствует
	1	Защита от вертикально падающих капель воды
	2	Защита от капель воды при наклоне оболочки до 15°
	3	Защита от дождя под углом до 60°
	4	Защита от брызг в любом направлении
	5	Защита от водяных струй в любом направлении
	6	Защита от воздействия морских волн
	7	Защита при кратковременном погружении в воду на определенную глубину
8	Защита при длительном погружении в воду при условиях определяемых изготовителем	

По способу охлаждения электрические машины могут быть классифицированы по признакам указанным в табл. 13.3. Классификация по режиму работы приведена в табл. 13.4, по климатическому исполнению в табл. 13.5, а в табл. 13.6 приведена классификация по категории размещения.

Таблица 13.3. Способ охлаждения электрических машин (по ГОСТ 20459—75)

Обозначение	Характеристика
IC 01	Самовентиляция, хладагент свободно попадает в машину из окружающей среды и свободно возвращается в эту среду
IC 0161	Самовентиляция, охладитель пристроен сверху, обдуваемое исполнение
IC 37	Принудительная вентиляция при помощи входной и выходной трубы, с помощью отдельно вентилирующего устройства
ICW37A81	Самовентиляция, охладитель встроен в машину и представляет собой самостоятельное устройство
IC 0151	Самовентиляция, охладитель встроен в машину, обдуваемое исполнение
IC 17	Принудительная вентиляция, хладагент попадает в машину через входную трубу, а затем свободно возвращается в окружающую среду
ICW37A97	Принудительная вентиляция, охладитель является самостоятельным устройством, установленным отдельно от машины
IC 91	Самовентиляция, охладитель установлен отдельно; первичный хладагент циркулирует в замкнутой цепи и отдает свое тепло вторичному хладагенту в охладителе, являющемся самостоятельным устройством, установленным отдельно
ICW37A91	Самовентиляция, охладитель установлен в фундаментной яме
ICW37A86	Принудительная вентиляция, охладитель представляет собой самостоятельное устройство, установленное непосредственно на машине
IC 31	Самовентиляция при помощи входной и выходной трубы, движение хладагента осуществляется за счет вентилирующего действия ротора или специального устройства, смонтированного на валу ротора машины
ICW37A71	Самовентиляция, охладитель встроенный, является непосредственной частью машины

Таблица 13.4. Режим работы (по ГОСТ 183—74)

Обозначение	Характеристика
S1	Продолжительный
S5	Повторно-кратковременный с частыми пусками

Таблица 13.5. Климатическое исполнение

Обозначение	Характеристика
<i>Электрические машины, предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озерах для макроклиматических районов</i>	
У	С умеренным климатом
ХЛ	С холодным климатом
УХЛ	С умеренным и холодным климатом
ТВ	С влажным тропическим климатом
ТС	С сухим тропическим климатом

Окончание табл. 13.5

Обозначение	Характеристика
T	Как с сухим, так и с влажным тропическим климатом
O	Для всех макроклиматических районов на суше (общеклиматическое исполнение)
<i>Электрические машины, предназначенные для эксплуатации в макроклиматических районах с морским климатом</i>	
M	С умеренно-холодным морским климатом
TM	С морским тропическим климатом, в том числе и на судах каботажного плавания
OM	На судах неограниченного района плавания
B	Электрические машины, предназначенные для всех макроклиматических районов на суше и на море

Таблица 13.6. Категория размещения

Обозначение	Характеристика
1	Для эксплуатации на открытом воздухе (воздействие совокупности климатических факторов, характерных для данного микроклиматического района)
2	Для эксплуатации под навесом или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе, и имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха, а также отсутствует прямое воздействие солнечного излучения и атмосферных осадков
3	Для эксплуатации в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе
4	Для эксплуатации в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями
5	Для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью (например, в не отапливаемых и невентилируемых помещениях, в том числе в шахтах)

Кроме выше приведенных, специальные двигатели имеют дополнительные обозначения. Некоторые из дополнительных обозначений указаны в табл. 13.7.

Таблица 13.7. Дополнительные обозначения специальных двигателей

Обозначение	Характеристика
B	Со встроенной температурной защитой
B	Встраиваемые
E	(После обозначения габарита) со встроенным тормозом
E2	(После обозначения габарита) с тормозом при ручном растормаживании
E3	(Перед обозначением габарита) однофазный двигатель с трехфазной обмоткой
E	(Перед обозначением габарита) однофазный двигатель с двухфазной обмоткой

Окончание табл. 13.6

Обозначение	Характеристика
Ж	С удлиненным валом
Ш	Для промышленных швейных машин
П	Повышенной точности по установочным размерам
РЗ	Для мотор-редукторов
Ф	Хладономаслостойкое исполнение
А	Для атомных станций
Х2	Химостойкие
УП	Пылезащищенное исполнение
СХЗ	Сельскохозяйственное исполнение
ОМ2 РОМ5	Морское исполнение

По умолчанию для электродвигателя принимается — напряжение 220/380 В, номинальная частота сети 50 Гц, климатическое исполнение двигателя У3, конструктивное исполнение по способу монтажа IM 1001, исполнение по степени защиты IP 54.

13.6. Основные технические характеристики асинхронных электродвигателей

Выбирая электродвигатель, учитывают условия эксплуатации и его техническую характеристику, табл. 13.8 — табл. 13.13.

Двигатели серий АИР и 5А — двигатели асинхронные трехфазные закрытого обдуваемого исполнения с короткозамкнутым ротором. Двигатели серий АИР и 5А выпускаются с привязкой мощности к установочным размерам по ГОСТ28330—89. Электродвигатели серии 5А полностью взаимозаменяемы с соответствующими типами электродвигателей серий 4А и АИР.

Двигатели используются в различных отраслях промышленности и в сельском хозяйстве: для привода станков, насосов, компрессоров, вентиляторов, мельниц, кормоизмельчителей, транспортных механизмов и т. д.

Двигатели серии АИС соответствуют нормам CENELEC — документ 28/64 и стандартам DIN 42673, DIN 42677 по присоединительным и установочным размерам. Двигатели могут применяться в различных устройствах, механизмах и машинах благодаря широкой гамме типоразмеров и модификаций, и предназначены для оборудования, соответствующего евростандартам.

Однофазные двигатели серии АИР и 5АЕ80 выпускаются в тех же конструктивных исполнениях, что и трехфазные двигатели серии АИР и 5АЕ80, и соответствуют им по своим размерам. Двигатели работают с конденсаторами. Электрические параметры двигателей приведены в табл. 13.12 и 13.13.

Таблица 13.8. Технические параметры электродвигателей серии АИР

Тип двигателя	P, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	КПД, %	cos φ	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	$\frac{M_{min}}{M_n}$	Масса, кг
АИР56А2	0,18	2730	68,0	0,78	5,0	2,2	2,2	1,8	4,3
АИР56В2	0,25	2730	69,0	0,79	5,0	2,2	2,2	1,8	4,6
АИР56А4	0,12	1350	63,0	0,66	5,0	2,2	2,2	1,8	4,2
АИР56В4	0,18	1350	64,0	0,68	5,0	2,2	2,2	1,8	4,8
АИР63А2	0,37	2730	72,0	0,86	5,0	2,2	2,2	1,8	6,0
АИР63В2	0,55	2730	75,0	0,85	5,0	2,2	2,2	1,8	7,1
АИР63А4	0,25	1350	68,0	0,67	5,0	2,2	2,2	1,8	6,1
АИР63В4	0,37	1320	68,0	0,70	5,0	2,2	2,2	1,8	6,9
АИР63А6	0,18	860	56,0	0,62	4,0	2,2	2,2	1,6	5,6
АИР63В6	0,25	860	59,0	0,62	4,0	2,2	2,2	1,6	6,5
АИР71А2	0,75	2820	79,0	0,80	6,0	2,6	2,7	1,6	8,6
АИР71В2	1,10	2800	79,5	0,80	6,0	2,2	2,4	1,6	9,3
АИР71А4	0,55	1360	71,0	0,71	5,0	2,3	2,4	1,8	8,3
АИР71В4	0,75	1360	75,0	0,78	5,0	2,5	2,6	2,4	9,4
АИР71А6	0,37	920	66,0	0,63	4,5	2,1	2,3	1,6	8,1
АИР71В6	0,55	920	69,0	0,68	4,5	1,9	2,2	1,6	9,7
АИР71В8	0,25	690	61,0	0,60	4,0	1,8	1,9	1,4	8,9
АИР80А2	1,50	2880	82,0	0,85	6,5	2,2	2,6	1,8	12,4
АИР80В2	2,20	2860	83,0	0,87	6,4	2,1	2,6	1,8	15,0
АИР80А4	1,10	1420	76,5	0,77	5,0	2,2	2,4	1,7	11,9
АИР80В4	1,50	1410	78,5	0,80	5,3	2,2	2,4	1,7	13,5
АИР80А6	0,75	920	71,0	0,71	4,0	2,1	2,2	1,6	12,3
АИР80В6	1,10	920	75,0	0,74	4,5	2,2	2,3	1,8	15,3
АИР80А8	0,37	690	63,5	0,59	3,5	2,0	2,3	1,4	12,3
АИР80В8	0,55	690	65,0	0,60	3,5	2,0	2,1	1,4	13,0
АИР90L2	3,00	2860	84,5	0,88	7,0	2,3	2,5	1,7	20,3
АИР90L4	2,20	1420	81,0	0,83	6,0	2,0	2,6	2,0	19,4
АИР90L6	1,50	940	76,0	0,72	5,0	2,0	2,3	1,9	20,3
АИР90LA8	0,75	700	72,5	0,71	4,0	1,5	2,0	1,5	19,0
АИР90LB8	1,10	710	76,0	0,72	4,5	1,5	2,2	1,5	21,8
АИР100S2	4,00	2850	87,0	0,88	7,5	2,0	2,4	1,6	25,5
АИР100L2	5,50	2850	88,0	0,88	7,5	2,1	2,4	1,6	31,0
АИР100S4	3,00	1410	82,0	0,82	7,0	2,0	2,2	1,6	23,0

Окончание табл. 13.8

Тип двигателя	P, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	КПД, %	Cos φ	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	$\frac{M_{min}}{M_n}$	Масса, кг
AIP100L4	4,00	1410	85,0	0,84	7,0	2,1	2,4	1,6	28,5
AIP100L6	2,20	940	81,5	0,74	6,0	1,9	2,2	,16	26,5
AI100L8	1,50	700	76,0	0,75	3,7	1,6	2,0	1,5	23,5
AIP112M2	7,50	2910	87,5	0,88	7,5	2,0	2,2	1,6	40,1
AIP112M4	5,50	1430	85,5	0,86	7,0	2,0	2,5	1,6	38,3
AIP112MA6	3,00	950	81,0	0,76	6,0	2,0	2,2	1,6	33,0
AIP112MB6	4,00	950	82,0	0,81	6,0	2,0	2,2	1,6	37,6
AIP112MA8	2,20	710	76,5	0,71	6,0	1,8	2,2	1,4	32,1
AIP112MB8	3,00	700	79,0	0,74	6,0	1,8	2,2	1,4	38,8
AIP132M2	11,00	2910	88,0	0,90	7,5	1,6	2,2	1,2	58,3
AIP132S4	7,50	1440	87,5	0,86	7,5	2,0	2,5	1,6	51,9
AIP132M4	11,00	1450	88,5	0,85	7,0	2,2	3,1	1,6	64,9
AIP132S6	5,50	960	85,0	0,80	7,0	2,0	2,2	1,6	50,9
AIP132M6	7,50	960	85,5	0,81	7,0	2,0	2,2	1,6	63,5
AIP132S8	4,00	720	83,0	0,70	6,0	1,8	2,2	1,4	51,2
AIP132M8	5,50	720	83,0	0,74	6,0	1,8	2,2	1,4	59,9

Таблица 13.9. Технические данные двигателей основного исполнения

Тип двигателя	P, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	КПД, %	Cos φ	Номинальный ток при 380 В, А	Номинальный момент, Нм	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Масса, кг
5A80MA2	1,5	2820	81	0,85	3,3	5,1	2,5	6,5	2,6	14
5A80MB2	2,2	2830	81	0,85	4,8	7,4	2,5	6,5	2,6	15,5
5A112M2	7,5	2900	89	0,89	14,4	25	2,0	7,4	3,2	49
AIPM132M2	11	2900	89	0,89	21,0	36	2,4	8,0	2,9	77,5
5A160S2	15	2930	90	0,89	28,4	49	2,7	7,5	3,4	126
5A160M2	18,5	2930	90,5	0,89	34,8	60	2,8	7,5	3,4	138
AIP180S2	22	2930	90,5	0,89	41,4	72	2,3	7,0	2,9	160
AIP180M2	30	2935	91	0,89	56,1	98	2,3	7,5	3,4	180
5A200M2	37	2940	93,5	0,89	67,4	120	2,3	7,2	2,8	235
5A200L2	45	2950	93,5	0,89	82,0	146	2,3	7,3	2,8	255
5A225M2	55	2950	93,5	0,91	97,9	178	2,3	7,5	2,8	340
5AM250S2	75	2955	93,2	0,92	133	242	1,8	6,9	2,9	475
5AM250M2	90	2955	93,1	0,93	157	291	1,7	7,2	2,7	505

Продолжение табл. 13.9

Тип двигателя	P, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	КПД, %	Cos φ	Номинальный ток при 380 В, А	Номинальный момент, Нм	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Масса, кг
5AM280S2	110	2960	94,1	0,92	193	355	2,1	7,2	3,4	720
5AM280M2	132	2960	94,5	0,92	230	426	2,3	7,5	3,4	770
5AM315S2	160	2970	94,5	0,92	279	514	1,8	7,2	2,8	970
5AM315M2	200	2975	95	0,94	339	642	1,8	7,2	2,8	1110
5A80MA4	1,1	1400	74	0,8	2,8	7,5	2	4,8	2,4	13
5A80MB4	1,5	1405	76	0,81	3,7	10	2	5	2,4	14,7
5A112M4	5,5	1450	87	0,85	11,3	36	2	6,5	2,6	49
AIPM132S4	7,5	1450	88	0,85	15,2	49	2,1	7	2,8	70
AIPM132M4	11	1450	89	0,85	22	72	2,4	7,2	3,1	83,5
5A160S4	15	1450	89,5	0,86	29,5	99	2,3	6,1	2,6	127
5A160M4	18,5	1450	90	0,86	36,2	122	2,3	6,4	2,6	140
AIP180S4	22	1460	90,5	0,86	42,8	144	1,7	6,9	2,6	170
AIP180M4	30	1460	91,5	0,87	57,1	196	1,7	6,7	2,6	190
5A200M4	37	1470	92,3	0,85	71,5	240	2,4	6,7	2,6	245
5A200L4	45	1470	92,7	0,84	87,6	292	2,8	7,2	2,8	270
5A225M4	55	1475	93,3	0,86	104	356	2,2	6,5	2,3	345
5AM250S4	75	1480	94,3	0,86	140	484	2,1	7,2	2,3	480
5AM250M4	90	1480	94,7	0,88	164	580	2,2	7,2	2,3	515
5AM280S4	110	1485	95,4	0,88	199	707	2,3	6,8	2,8	780
5AM280M4	132	1485	95,9	0,89	234	848	2,4	7	2,8	885
5AM315S4	160	1485	96	0,88	287	1028	1,9	6,8	2,2	1110
5AM315M4	200	1485	96	0,9	351	1285	1,8	6,6	2	1150
5A80MA6	0,75	930	71	0,69	2,3	7,7	2	4,5	2,4	14
5A80MB6	1,1	930	72	0,7	3,3	11,5	2	4,5	2,4	16
5A112MA6	3	950	82	0,8	6,9	30	2	5	2,4	43
5АП2МВ6	4	950	82,5	0,81	9,1	40	2	5	2,4	48
AIPM132S6	5,5	960	84,5	0,81	12,5	55	2,1	5,5	2,5	68
AIPM132M6	7,5	970	86	0,81	16,5	75	2,2	6	2,8	81
5A160S6	11	970	88,5	0,84	22,5	108	2	6,5	2,8	124
5A160M6	15	975	88,5	0,84	31	148	2	6,5	2,8	150
AIP180M6	18,5	975	90	0,85	37	182	2	6,5	2,7	180
5A200M6	22	975	90,5	0,83	44,5	215	2,3	5,9	2,3	245

Окончание табл. 13.6

Тип двигателя	P, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	КПД, %	Cos φ	Номинальный ток при 380 В, А	Номинальный момент, Нм	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Масса, кг
5A200L6	30	980	91,2	0,84	59,5	294	2,4	5,8	2,4	260
5A225M6	37	985	92	0,84	72,5	360	2,4	6,5	2,5	330
5AM250S6	45	985	93	0,85	86,5	436	2	6	2,1	430
5AM250M6	55	985	93	0,84	107	533	2	6	2,1	450
5AM280S6	75	985	94,7	0,85	141	727	2,2	6,3	2,4	745
5AM280M6	90	985	94,7	0,84	171	872	2	6,3	2,2	780
5AM315S6	110	985	95	0,9	195	1066	1,6	6,7	2,4	960
5AM315M6	132	985	95,2	0,91	231	1279	1,7	7	2,4	1010
5A80MA8	0,37	700	59	0,62	1,5	5	2,2	3,3	2,2	13,5
5A80MB8	0,55	700	60	0,62	2,2	7,5	2,2	3,8	2,4	15,7
5A112MA8	2,2	710	77	0,69	6,3	30	1,7	4,2	2,2	44
5A112MB8	3	710	78	0,7	8,3	40	1,7	4,2	2,2	49
AMPМ132S8	4	710	81,5	0,7	10,6	54	2,1	5	2,6	68
AMPМ132M8	5,5	710	83,5	0,73	13,7	74	2,1	5,3	2,6	82
5A160S8	7,5	720	87	0,74	17,7	99	1,8	5,3	2,4	123
5A160M8	11	720	87	0,74	25,9	146	1,8	5,3	2,4	149
AMP180M8	15	725	87,5	0,79	32,9	197	1,6	5,3	2,4	180
5A200M8	18,5	730	90,5	0,77	40,5	242	2,1	6,7	2,8	240
5A200L8	22	730	91	0,8	46	288	2,1	6,7	2,8	260
5A225M8	30	735	91,5	0,8	62	390	2,1	5,5	2,3	340
5AM250S8	37	735	92	0,72	85	480	1,9	6,7	2,7	430
5AM250M8	45	735	92,5	0,75	98	584	1,9	6,7	2,7	460
5AM280S8	55	735	94,5	0,83	106	714	2,1	6,2	2,3	725
5AM280M8	75	735	94,5	0,83	145	974	2,1	6	2,3	790
5AM315S8	90	740	94,5	0,85	170	1161	1,5	6	2,1	965
5AM315M8	110	740	94,5	0,86	205	1419	1,5	6	2,1	1025
5AM280S10	37	590	93	0,78	77	600	1,5	6,5	3	710
5AM280M10	45	590	93,5	0,8	91	730	1,5	6,5	3	760
5AM315S10	55	590	93,5	0,82	109	890	1,5	5,5	2,1	925
5AM315M10	75	590	93,5	0,82	148	1213	1,5	5,5	2,1	975
5AM315S12	45	490	93	0,75	98	876	1,5	5,2	2,1	925
5AM315M12	55	490	93	0,75	119	1071	1,5	5,2	2,1	975

Таблица 13.10. Технические параметры электродвигателей серии АИС

Тип двигателя	P, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	КПД, %	cos φ	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Масса, кг
АИС63А2	0,18	2730	68,0	0,78	5,0	2,2	2,2	3,6
АИС63В2	0,25	2730	69,0	0,79	5,0	2,2	2,2	3,9
АИС63А4	0,12	1350	63,0	0,66	5,0	2,2	2,2	3,5
АИС63В4	0,18	1350	64,0	0,68	5,0	2,2	2,2	3,9
АИС71А2	0,37	2730	72,0	0,86	5,0	2,2	2,2	5,2
АИС71В2	0,55	2730	75,0	0,85	5,0	2,2	2,2	6,0
АИС71А4	0,25	1350	68,0	0,67	5,0	2,2	2,2	5,3
АИС71В4	0,37	1320	68,0	0,70	5,0	2,2	2,2	6,1
АИС71А6	0,18	860	56,0	0,62	4,0	2,2	2,2	4,3
АИС71В6	0,25	860	59,0	0,62	4,0	2,2	2,2	5,8
АИС80А2	0,75	2820	79,0	0,80	6,0	2,6	2,7	10,5
АИС80В2	1,10	2800	79,5	0,80	6,0	2,2	2,4	11,3
АИС80А4	0,55	1360	71,0	0,71	5,0	2,3	2,4	9,9
АИС80В4	0,75	1350	75,0	0,78	5,0	2,5	2,6	11,2
АИС80А6	0,37	920	66,0	0,63	4,5	2,1	2,3	10,2
АИС80В6	0,55	920	69,0	0,68	4,5	1,9	2,2	11,7
АИС90S2	1,50	2880	82,0	0,85	6,5	2,2	2,6	14,3
АИС90L2	2,20	2860	83,0	0,87	6,4	2,1	2,6	16,9
АИС90S4	1,10	1420	76,5	0,77	5,0	2,2	2,4	13,8
АИС90L4	1,50	1410	78,5	0,80	5,3	2,2	2,4	15,7
АИС90S6	0,75	920	71,0	0,71	4,0	2,1	2,2	13,5
АИС90L6	1,10	920	75,0	0,74	4,5	2,2	2,3	17,2
АИС100L2K	3,00	2820	83,0	0,84	7,0	2,4	2,5	21,5
АИС100L4K	2,20	1420	80,5	0,80	6,0	2,2	2,4	21,0
АИС100LВ4K	3,00	1410	82,0	0,84	7,0	2,2	2,6	23,0
АИС100L6K	1,50	930	77,0	0,73	5,0	2,2	2,3	21,5
АИС100LА8K	0,75	680	69,5	0,69	4,0	1,9	2,0	17,6
АИС1001В8K	1,10	650	70,0	0,73	4,0	1,7	1,8	19,0
АИС112М2	4,00	2850	87,0	0,88	7,5	2,0	2,4	26,6

Окончание табл. 13.10

Тип двигателя	P, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	КПД, %	cos φ	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Масса, кг
АИС112L2	5,50	2850	88,0	0,88	7,5	2,1	2,4	31,0
АИС112М4	4,00	1410	85,0	0,84	7,0	2,1	2,4	29,0
АИС112М4	5,50	1410	82,0	0,73	6,0	2,6	2,8	32,0
АИС112М6	2,20	940	81,5	0,74	6,0	1,9	2,2	27,7
АИС112М8	1,50	700	76,0	0,75	3,7	1,6	2,0	27,2
АИС132SA2	5,50	2900	86,0	0,88	7,5	2,0	2,2	35,4
АИС132SB2	7,50	2900	87,5	0,88	7,5	2,0	2,2	39,8
АИС132S4	5,50	1430	85,5	0,86	7,0	2,0	2,5	38,1
АИС132М4	7,50	1430	85,5	0,86	7,0	2,0	2,5	46,4
АИС132S6	3,00	950	81,0	0,76	6,0	2,0	2,2	32,8
АИС132МА6	4,00	950	82,0	0,81	6,0	2,0	2,2	38,3
АИС132МВ6	5,50	950	82,0	0,81	6,0	2,0	2,2	42,0
АИС132S8	2,20	700	76,5	0,71	5,0	1,8	2,2	31,8
АИС132М8	3,00	700	79,0	0,74	5,0	1,8	2,0	39,6

Таблица 13.11. Технические данные двигателей с повышенным скольжением

Тип двигателя	P, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	КПД, %	cos φ	Номинальный ток при 380 В, А	Номинальный момент, Нм	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Масса, кг
АИРС132М2	12,5	2800	86	0,89	24,7	44	2,6	6,5	3	77,5
АИРС132S4	8,5	1370	83	0,84	18,5	59	2,9	5,5	2,9	78
АИРС132М4	11,8	1400	86	0,82	25,4	80	3,5	6,5	3,5	83,5
5АС160М4	20	1400	86	0,87	40,5	136	2,4	5	2,6	140
АИРС180М4	22	1415	88,5	0,87	43,3	148	3,1	7	3,2	190
АИРС132S6	6,3	925	82	0,8	14,6	65	2,7	5,3	2,8	68
АИРС132М6	8,5	930	83	0,8	19,4	87	3	5,8	3,1	81
5АС160М6	16	930	84	0,85	34	164	2,2	5,5	2,5	150
АИРС180М6	18,5	920	83	0,84	40,2	192	3,3	6,1	3,3	180
АИРС180М8	15	675	81	0,8	35,1	212	2,8	5,5	2,8	180
5АС225М8	26,5	700	86	0,8	58,3	361	2,9	5,5	3	340

Таблица 13.12. Электротехнические параметры однофазных двигателей серии АИР

Тип	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	Cos φ	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	Емкость конденсатора, мкФ/ Напряжение конденсатора, В
АИРЕ71А2	0,55	2850	75	0,90	4,3	2,0	0,50	16/450
АИРЕ71В2	0,76	2790	71	0,90	4,0	1,9	0,55	26/450
АИРЕ71С2	1,10	2790	76	0,90	3,8	2,0	0,55	36/450
АИРЕ71А4	0,37	1360	64	0,90	3,0	2,0	0,6	14/450
АИРЕ71В4	0,55	1340	69	0,90	3,0	1,8	0,6	16/450
АИРЕ71С4	0,76	1340	64	0,90	3,0	1,8	0,55	25/450
АИРЕ80А2	1,10	2790	74	0,95	3,6	2,0	0,45	25/450
АИРЕ80В2	1,50	1790	76	0,95	4,0	1,9	0,45	40/450
АИРЕ80С2	2,20	1790	76	0,95	3,4	1,9	0,45	50/450
АИРЕ80А4	0,76	1400	71	0,92	3,0	1,8	0,50	26/460
АИРЕ80В4	1,10	1350	71	0,95	2,8	1,8	0,46	30/450
АИРЕ80С4	1,50	1350	71	0,95	2,8	1,8	0,46	40/450
АИРЕ100С4	2,20	1400	76	0,95	3,2	1,9	0,46	60/450

Таблица 13.13. Технические данные однофазных двигателей 5АЕ80

Тип двигателя	P, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	КПД, %	Cos φ	Номинальный ток при 380 В, А	Номинальный момент, Нм	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Масса, кг
5АЕ80МА2	1,1	2820	69	0,91	8,0	3,7	4,9	2,5	30	14
5АЕ80МВ2	1,5	2840	74	0,97	9,5	5,0	4,5	2,3	40	15,5
5АЕ80МА4	0,75	1420	69	0,96	5,1	5,0	4,0	2,2	30	13
5АЕ80МВ4	1,1	1410	72	0,98	7,1	7,4	3,8	2,3	40	14,7

13.7. Автоматическое управление электроприводом

Основная функция автоматического управления электроприводом — запуск электродвигателя, остановка, торможение, реверсирование, поворот на определенный угол механизма в зависимости от времени или пути. В практике управления электроприводами известно большое количество схем, которые отражают многообразие требований, предъявляемых к электроприводу различных производственных машин. Однако различие в схемах часто не являются принципиальными, так как даже самые сложные схемы представляют собой сочетание некоторого ограниченного числа стандартных узлов и простейших цепей, связывающих эти узлы.

13.7.1. Защита, блокировка и сигнализация в электроприводе

В цепях автоматического управления электроприводами применяют различные способы защиты от токовых перегрузок и коротких замыканий, повышенного или пониженного напряжения, недопустимой частоты вращения и т. п. С этой целью используют электрические предохранители, электромагнитные и тепловые реле, магнитные пускатели и контакторы, которые автоматически отключают электропривод от сети при ненормальном режиме его работы.

Блокировки служат для повышения надежности работы электропривода, обеспечения требуемого порядка включения электрических двигателей и для исключения ошибочного включения двигателей.

Блокировка замыкающего контакта кнопки обеспечивает питание обмоток контактора или магнитного пускателя после отпускания кнопки «Пуск», рис. 13.12. Для защиты двигателя от перегрузки, в цепь магнитного пускателя вводится контакт теплового реле. При перегрузке двигателя тепловое реле размыкает свой контакт и обесточивает пускатель, который, в свою очередь, отключает двигатель от сети.

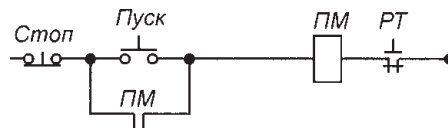


Рис. 13.12. Блокировка замыкающего контакта пусковой кнопки

Блокировки реверсивных контактов (рис. 13.13) исключают одновременное включение магнитных пускателей $1K$ («Вперед») и $2K$ («Назад»). При нажатии на кнопку «Вперед» замыкается ее блок-контакт $1K$, но одновременно размыкается нормально замкнутый контакт в цепи пускателя $2K$. Вследствие этого магнитный пускатель $2K$ не может работать, когда работает пускатель $1K$, и наоборот. Кроме того, применяют механическую блокировку в цепи кнопок.

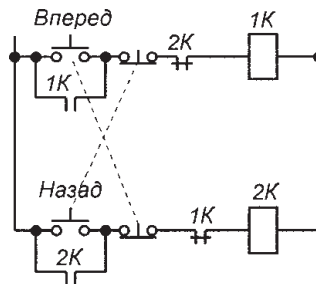


Рис. 13.13. Блокировки реверсивных контактов

При нажатии на кнопку «Вперед» происходит размыкание механическим способом второй пары контактов этой же кнопки, но расположенных в цепи магнитного пускателя $2K$ (на схеме механическая связь показана пунктирной линией). Аналогично, при нажатии на кнопку «Назад» размыкается ее кон-

такт в цепи пускателя $1K$. Ясно, что ни тот ни другой пускатели не смогут работать, если одновременно (например, по ошибке, случайно) нажать на обе кнопки сразу.

Для обеспечения включения двигателей в заданной последовательности применяют блокировку последующего магнитного пускателя замыкающим контактом, находящимся в цепи предыдущего пускателя. Двигатель, включающийся от пускателя $2K$ (рис. 13.14), начнет работать лишь при условии, что работает пускатель $1K$, так как только в этом случае контакты $1K$, находящиеся в цепи магнитного пускателя $2K$, окажутся замкнутыми. Аналогичным образом работает магнитный пускатель $3K$.

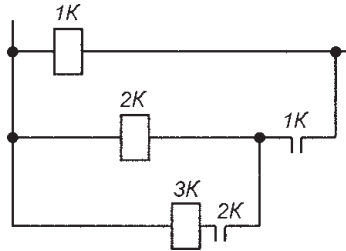


Рис. 13.14. Обеспечение заданной последовательности работы элементов цепи

В тех случаях, когда требуется ограничить ход рабочего органа машины или механизма, например кабины лифта, применяют блокировку, работающую от конечного (путевого) выключателя.

Для контроля за режимом работы электропривода применяют световую (лампы), звуковую (звонок, сирена) или визуальную (указательные реле) сигнализацию.

13.7.2. Управление асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором

Схема управления с помощью магнитного пускателя (рис. 13.15). Магнитные пускатели широко применяют для пуска асинхронных короткозамкнутых электродвигателей мощностью до 75 кВт. Они обеспечивают дистанционный пуск, остановку, нулевую защиту и с помощью теплового реле защиту от перегрузок двигателя. При нажатии кнопки «Пуск» главные контакты $ПМ$ включают двигатель; блок контакты $ПМ$ шунтируют кнопку «Пуск»; для отключения нужно нажать кнопку «Стоп».

Схема управления с помощью реверсивного магнитного пускателя (рис. 13.16). В тех случаях, когда в процессе работы необходимо изменять направление вращения электродвигателя, применяют реверсивные магнитные пускатели. Такой пускатель состоит из двух нереверсивных, помещенных в один кожух и имеющих блокировку (размыкающие контакты H и B) от возможности одновременного включения главных контактов в цепи двигателя.

Для лучшей блокировки от возможности одновременного включения обеих пускателей применяются кнопки с нормально замкнутыми и нормально разомкнутыми контактами. При нажатии кнопки «Вперед» одновременно размыкаются контакты «Назад», рис. 13.17.

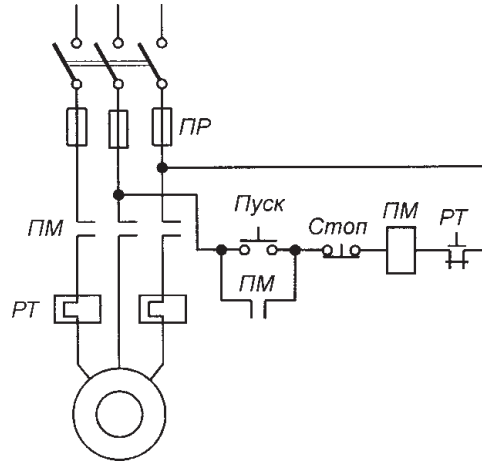


Рис. 13.15. Схема управления асинхронным электродвигателем при помощи магнитного пускателя

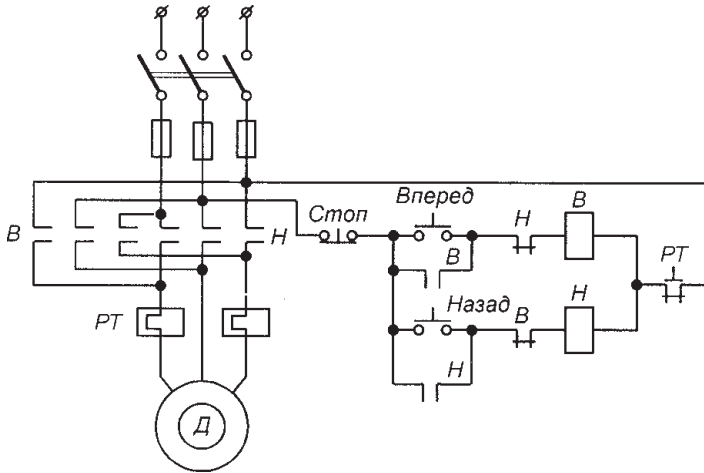


Рис. 13.16. Схема управления асинхронным короткозамкнутым электродвигателем при помощи реверсивного магнитного пускателя

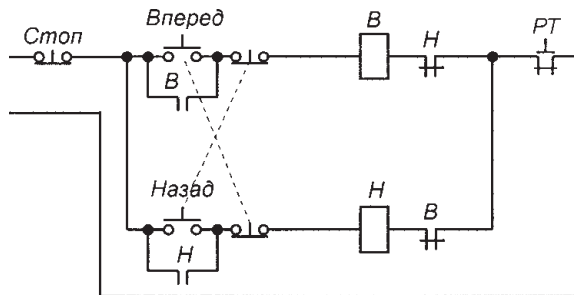


Рис. 13.17. Схема управления реверсивным пускателем с блокировочными кнопками

Схема управления с динамическим торможением (рис. 13.18). Для быстрого торможения в обмотку статора подается постоянный ток. При нажатии кнопки «Стоп» отключается контактор *П* и включается контактор *Т*. С последним связано маятниковое реле, которое с выдержкой времени размыкает свой размыкающий контакт. Контактор *Т* отключает питание двигателя постоянным током.

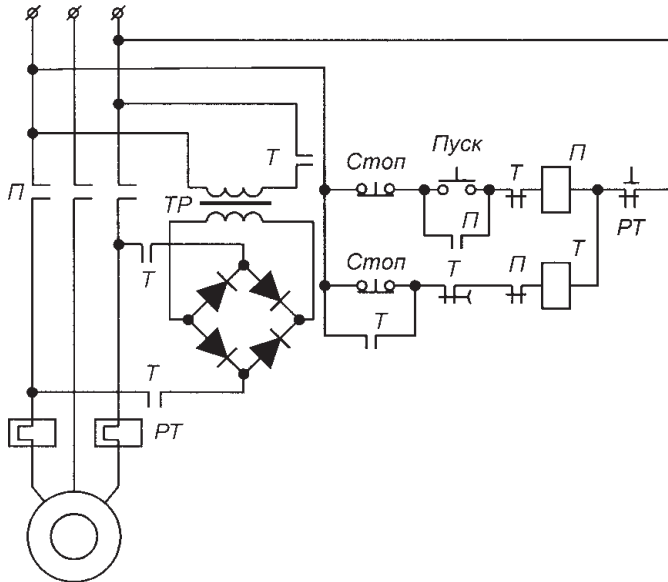


Рис. 13.18. Схема управления асинхронным короткозамкнутым электродвигателем с динамическим торможением

Переключение при пуске обмотки со «звезды» на «треугольник». Для понижения пускового тока двигателей с короткозамкнутым ротором, работающих при соединении статора в треугольник, часто применяется схема переключения статора на звезду в первом этапе пуска (рис. 13.19). Если замкнуть ножи переключателя 2 вниз и затем подать напряжение, то напряжение на фазу будет $\sqrt{3}$ раз меньше номинального, а ток уменьшится в 3 раза. Когда ротор пришел во вращение, ножи переключателя перекидываются вверх и двигатель работает при номинальном напряжении. Такой пуск вызывает уменьшение пускового момента примерно в 3 раза, и может применяться только там, где двигатель пускается почти вхолостую. Кроме того, такая схема может применяться только для пуска небольших двигателей.

Схема управления с переключением при пуске обмотки со «звезды» на «треугольник» (рис. 13.20). При нажатии кнопки «Пуск» включается линейный контактор *КЛ* и получает питание катушка реле времени *РВ*, размыкающий блок-контакт которого включает катушку контактора *К_з*. При этом размыкается блок-контакт *К_з* в цепи катушки *К_т*. Двигатель разбегается при включении обмоток в цепи в «звезду». Через 5–10 с (в зависимости от установленной выдержки времени) размыкается замыкающий контакт реле времени *РВ*.

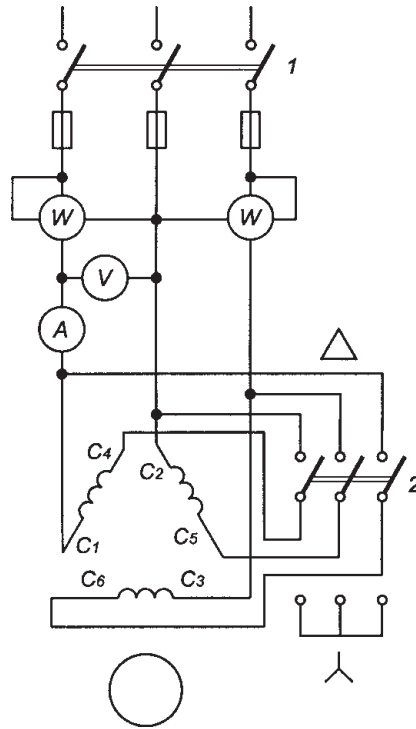


Рис. 13.19. Схема пуска двигателя переключением статора со звезды на треугольник

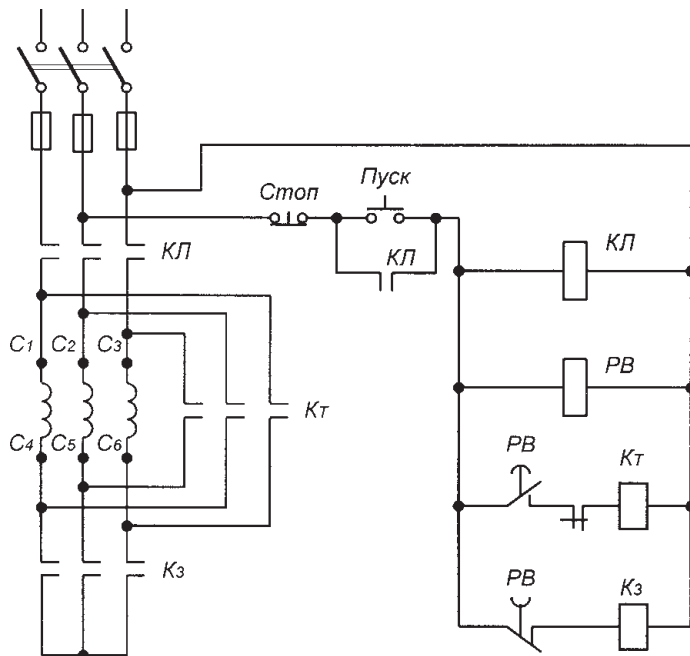


Рис. 13.20. Схема управления асинхронным короткозамкнутым электродвигателем с переключением при пуске обмотки статора со «звезды» на «треугольник»

Это приводит к отключению контактора K_3 и включению контактора K_T . одновременное включение контакторов K_3 и K_T исключается размыкающим блок-контактом K_3 .

Схема управления двухскоростным асинхронным электродвигателем (рис. 13.21). Конструкция многоскоростного асинхронного электродвигателя позволяет изменять число полюсов обмотки статора. Изменение числа пар полюсов меняет скорость вращения асинхронного электродвигателя. Для производственных механизмов, требующих две скорости вращения, отличающихся в два раза, применяют двухскоростные асинхронные электродвигатели. Нажимая кнопку «*Пуск*», включают контактор K , который своими главными контактами подготавливает цепь включения статора двигателя. Воздействуя на кнопку «*Пуск медленно*» включается контактор $1K$, который подключает обмотку статора, соединенную в треугольник. Если необходимо увеличить скорость, нажимают кнопку «*Пуск быстро*». Образуется замкнутая цепь питания параллельно включенных катушек $2K$ и $3K$, при этом число пар полюсов уменьшается вдвое, и электродвигатель вращается с большей скоростью.

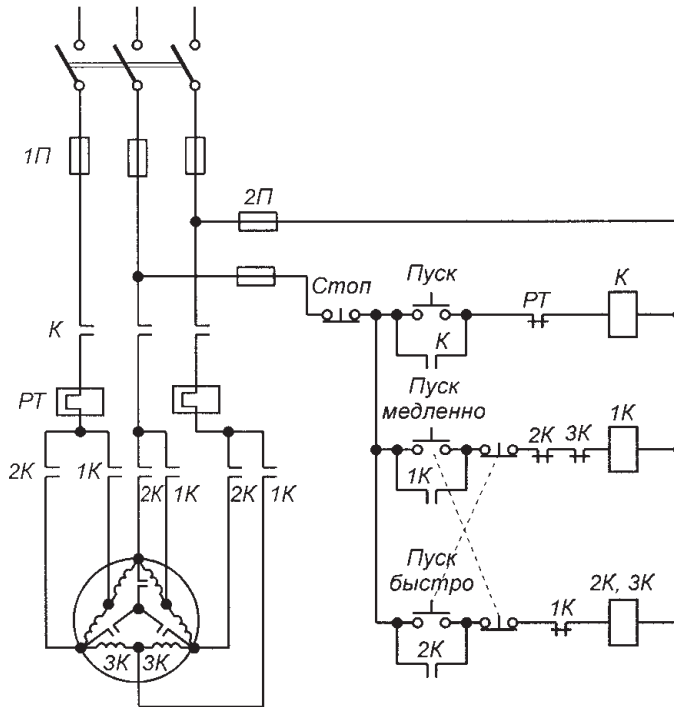


Рис. 13.21. Электрическая схема управления двухскоростным асинхронным электродвигателем

Схема управления реверсивным двухскоростным электродвигателем (рис. 13.22). Нажатием кнопок «*Пуск-1*» или «*Пуск-2*» устанавливают необходимую частоту вращения при соединениях обмоток двигателя в «треугольник» или в «двойную звезду». Контакторы B или H включаются нажатием кнопок «*Пуск вперед*» или «*Пуск назад*». Двухцепные кнопки позволяют осуществить

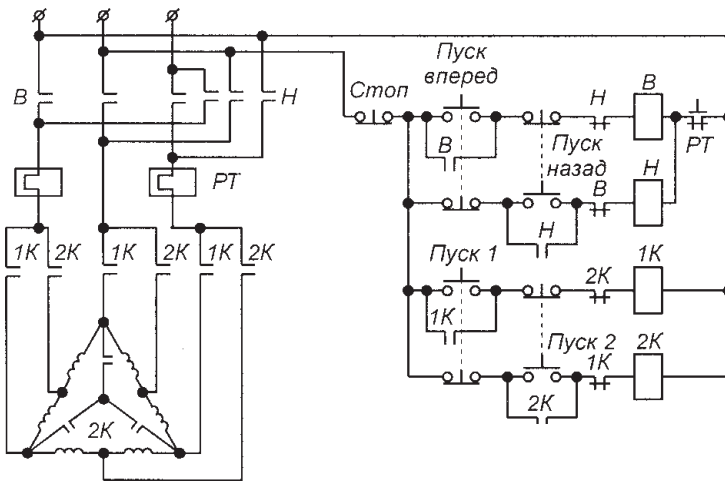


Рис. 13.22. Схема управления реверсивным двухскоростным электродвигателем

дополнительную блокировку, исключающую одновременное включение контакторов B , H и $1K$, $2K$.

Торможение асинхронного короткозамкнутого электродвигателя противовключением (рис. 13.23). При торможении противовключением электродвигатель включается на время торможения в сеть с соединением обмоток статора с противоположным направлением вращения. При этом необходимо, чтобы двигатель отключился от сети в момент достижения скорости вращения, близкой к нулю. Для этого в цепь катушки контактора $2K$ включены замыкающие контакты реле контроля скорости PC , работающего от вала двигателя. При работе двигателя эти контакты замкнуты, а размыкающие контакто-

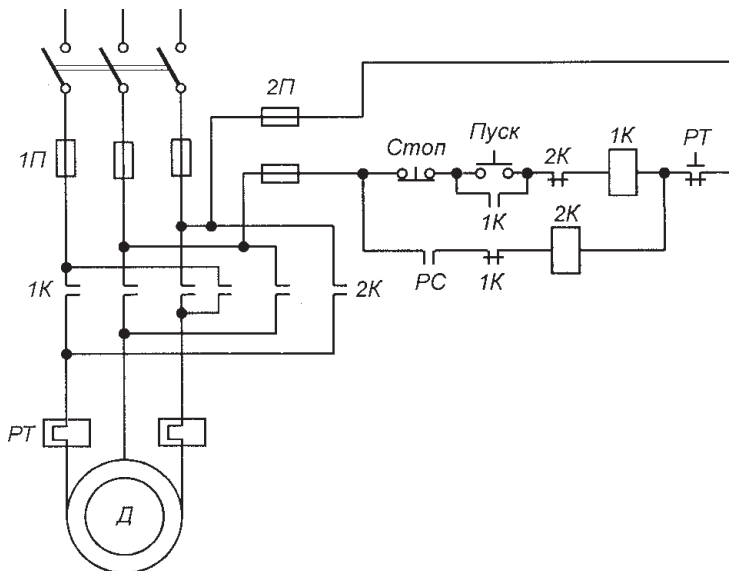


Рис. 13.23. Торможение асинхронного короткозамкнутого электродвигателя противовключением

ра $1K$ разомкнуты и контактор торможения $2K$ отключен. В режиме торможения, когда нажата кнопка «Стоп», катушка $1K$ обесточивается, электродвигатель отключается от сети. Одновременно размыкающий дополнительный контакт $1K$ замыкается и включает контактор торможения $2K$. При достижении скорости, близкой нулю, реле PC срабатывает, его контакт отключает цепь питания контактора $2K$ и двигатель затормаживается.

13.7.3. Управление асинхронными электродвигателями с фазным ротором

Схема управления в функции времени (рис. 13.24). Эта схема является типичной для двигателей длительного режима с использованием маятниковых реле времени. При нажатии кнопки «Пуск» включается контактор L . При включении контактора L начинает работать маятниковое реле, которое через заданный промежуток времени включит своими контактами контактор $1У$. Далее процесс повторяется. Замыкающий блок-контакт L (1—2) предназначен для облегчения работы контактов маятникового реле.

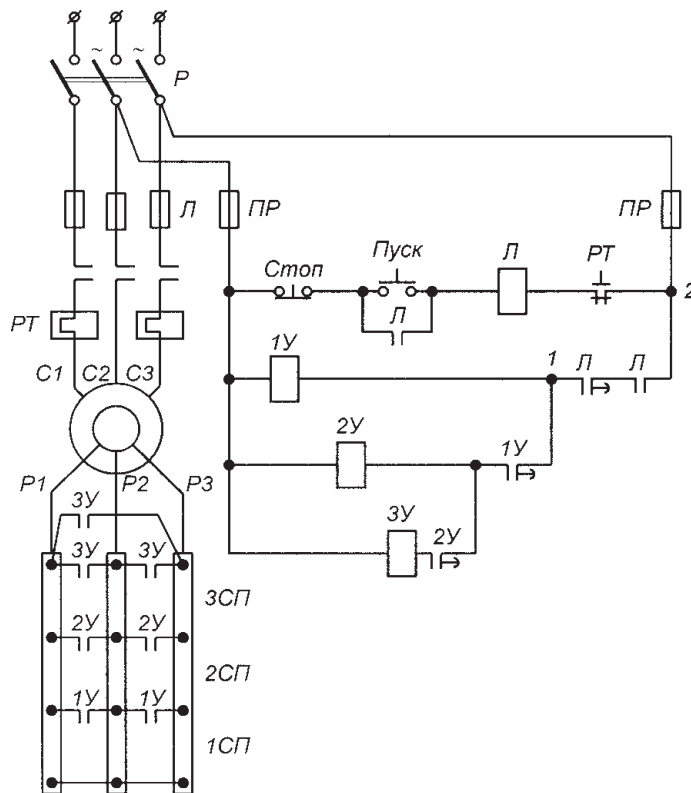


Рис. 13.24. Схема управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором в функции времени

Схема управления в функции времени с несколькими реле времени (рис. 13.25). Асинхронный электродвигатель с фазным ротором пускают с по-

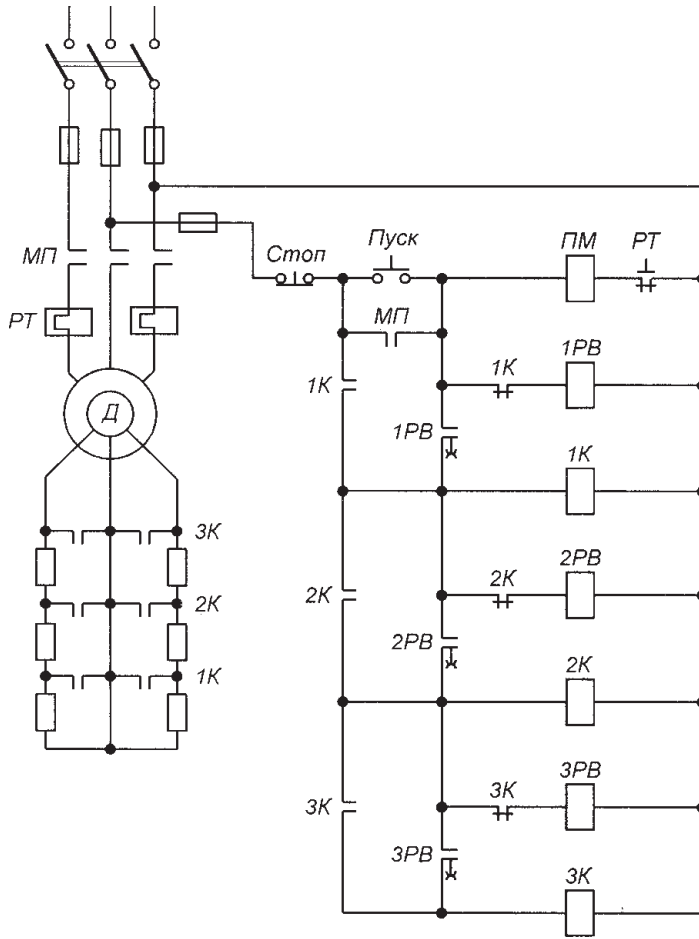


Рис. 13.25. электрическая схема управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором

мощью пусковых реостатов, состоящих из нескольких ступеней, включаемых в фазы обмоток ротора.

При нажатии на кнопку «Пуск» катушка магнитного пускателя *ПМ* получает питание, и электродвигатель включается на полное сопротивление пускового реостата. Одновременно включается реле времени *1PB*, которое через выдержку времени, достаточную для разгона двигателя на этой ступени, включает контактор *1K*, и он своими контактами закорачивает первую ступень пускового реостата. Блок-контакты контактора блокируют катушку *1K* и отключают реле времени *1PB*.

Включается одновременно с катушкой *1K* реле времени *2PB*, через заданную выдержку времени включает второй контактор *2K*, который отключает вторую ступень пускового реостата. Третья ступень пускового реостата отключается аналогично.

Необходимо обеспечивать выбор правильных выдержек времени реле *1PB*, *2PB* и *3PB*. Чрезмерно большие выдержки времени затягивают процесс пуска,

а заниженные — не обеспечивают разгон до нужной скорости и вызывают повышенные броски тока. При нажатии на кнопку «Стоп» электродвигатель отключается, и все ступени пускового реостата включаются по фазам ротора.

Схема управления в функции тока (рис. 13.26). В роторную цепь включены катушки токовых реле ускорения $1РУ$, $2РУ$, $3РУ$, настроенные на срабатывание при токах $I_{1РУ}$, $I_{2РУ}$, $I_{3РУ}$. Контакттор $1У$ включается при спаде силы пускового тока в роторной цепи до значения, соответствующего уставке реле $1РУ$. При большей силе тока в цепи ротора размыкающий контакт $1РУ$ будет разомкнут. Реле ускорения $2РУ$ и $3РУ$, контакторы $2У$ и $3У$ работают также. Из-за возможности вибраций размыкающих контактов реле ускорения $1РУ$, $2РУ$ и $3РУ$ предусмотрено их шунтирование размыкающими блок-контактами $1У$, $2У$ и $3У$. Реле блокировки $РБ$ создает выдержку времени, пока сила тока в роторной цепи не достигнет значения, при котором сработает реле ускорения.

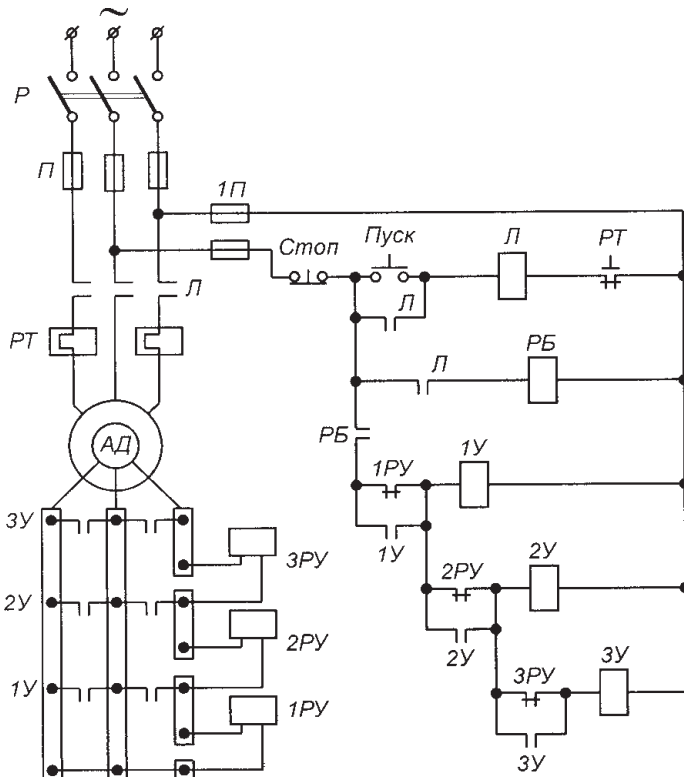


Рис. 13.26. Схема управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором в функции силы тока

Схема управления в функции частоты (рис. 13.27). Работа этой схемы обеспечивается с помощью частотных реле $1ЧР$, $2ЧР$ и $3ЧР$, катушки которых включены в цепь ротора. Магнитный поток реле создается совместным действием магнитодвижущих сил катушки и короткозамкнутого витка (гильзы). При пуске, т. е. при большой частоте переменного тока в роторе двигателя, размагничивающее действие тока, протекающего по витку, будет велико, и

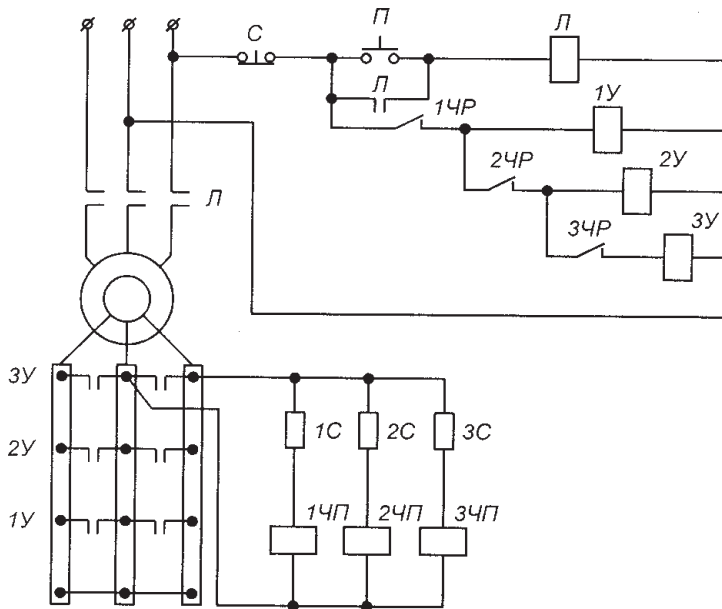


Рис. 13.27. Схема управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором в функции частоты

магнитный поток реле будет относительно мал. При уменьшении частоты тока в роторе магнитный поток реле возрастает, так как происходит уменьшение тока в короткозамкнутом витке. При каком-то определенном значении частоты якорь притягивается и замыкает контакты реле частоты ($1ЧР$, $2ЧР$ и $3ЧР$) в цепи контактора ускорения ($1У$, $2У$ и $3У$). При оживлении ток катушки контактора ускорения происходит шунтирование его контактами соответствующей ступени пускового сопротивления, включенного в цепь ротора. Частотные реле должны быть настроены на определенные частоты.

13.7. Работа трехфазного электродвигателя в режиме однофазного

Трехфазные асинхронные электродвигатели могут быть использованы в качестве однофазных конденсаторных (рис. 13.28а), а также в качестве однофазных с активным пусковым сопротивлением (рис. 13.28б) и пусковой емкостью (рис. 13.28в). Как видно из приведенных схем, рабочая фаза получается последовательным соединением двух фаз, а третья фаза является вспомогательной. В схемах, показанных на рисунках 13.28б и 13.28в, вспомогательная обмотка отключается обычно еще при разгоне, когда частота вращения двигателя приближается к номинальной.

Видоизмененные схемы (рис. 13.28б и рис. 13.28в) показаны на рис. 13.29. Схема на рис. 10.8б при том же значении пускового сопротивления, что и в схеме на рис. 13.29а, позволяет получить значительно больший (почти вдвое) пусковой момент. Однако при этой схеме возможен значительный провал в кривой вращающего момента. При подключении по схеме рис. 13.29а этого

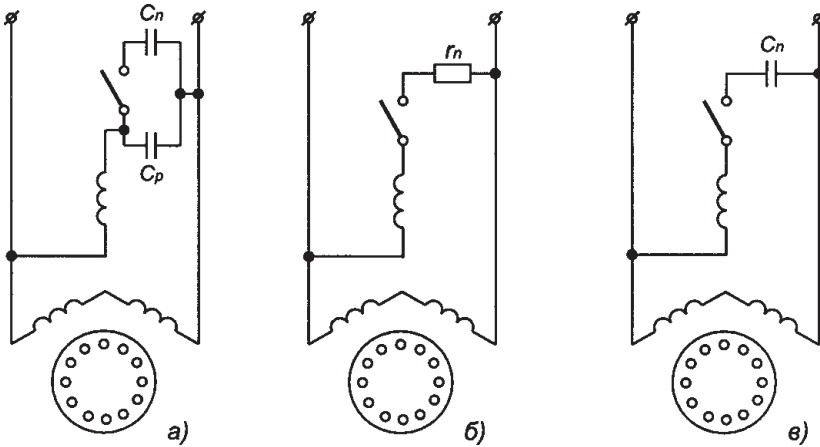


Рис. 13.28. Схемы однофазного включения трехфазного электродвигателя: *а* — с рабочей и пусковой емкостями; *б* — с пусковым сопротивлением; *в* — с пусковой емкостью

провала практически нет. Значения пусковых активных сопротивлений для схем по рис. 13.28:

$$r_n = 0,866 \frac{U_{\text{л}}}{k_I I_{\text{н}}} ;$$

для схемы 13.29а:

$$r_n = 1,5 \cdot Z_{\text{к}} ,$$

где $U_{\text{л}}$ — линейное напряжение сети, В; $I_{\text{н}}$ — номинальный линейный ток электродвигателя в трехфазном режиме, А; k_I — кратность начального пускового тока электродвигателя в трехфазном режиме; $Z_{\text{к}}$ — полное сопротивление фазы в режиме короткого замыкания электродвигателя:

$$Z_{\text{к}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} k_I I_{\text{н}}} .$$

Используя трехфазный электродвигатель в качестве однофазного и работая при отключенной вспомогательной фазе (рис. 13.28б, 13.28в и 13.29а), сле-

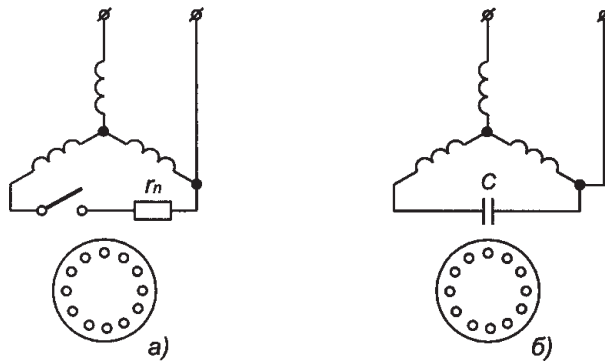


Рис. 13.29. Видоизмененная схема однофазного включения трехфазного электродвигателя

дует подводить номинальное линейное напряжение к двум рабочим фазам. Тогда трехфазные электродвигатели в однофазном режиме при той же температуре рабочих фаз, что и в трехфазном режиме, развивают полезную мощность на валу (в долях от номинальной в трехфазном режиме)

$$P_1 \approx (0,5 - 0,55) P_3.$$

Схема на рисунке 13.29б по сравнению со схемой рисунка 13.28в обеспечивает более равномерное распределение токов по фазам при пуске, примерно вдвое меньшее напряжение на конденсаторе, более благоприятную механическую характеристику в отношении провалов моментов, но величина пускового момента заметно меньше.

Для трехфазных электродвигателей, работающих от однофазной сети (мощностью до 14 кВт), предложено много различных схем. Две из них приведены на рис. 13.28а и 13.29б. Некоторые расчетные соотношения для этих схем даны ниже:

Номер рисунка	Схема на рис. 13.28а	Схема на рис. 13.29б
Рабочая емкость C_p , мкФ	$C_p = 2740 \frac{I_H}{U_H}$	$C_p = 2800 \frac{I_H}{U_H}$
Расчетное напряжение на конденсаторе U_p , В	$U_{PK} = 2U_H$	$U_{PK} \approx U_H$

Номинальным током I_H и напряжением U_H здесь условно называют фазные значения этих величин, указанные на паспорте электродвигателя. В качестве рабочей емкости используют конденсаторы типов КБГ-МН, БГТ и МБГЧ. Значения пусковой емкости для схемы 13.28а выбирают в 2—3 раза больше рабочей.

Для всех схем однофазных конденсаторных электродвигателей общий характер изменения вращающего момента в зависимости от частоты вращения ротора при постоянном значении емкости неблагоприятен. Рабочий режим, при котором искажения фазных величин и токов будут наименьшими (оптимальный), может быть только при одной какой-либо частоте вращения; при других коэффициент асимметрии увеличивается, и это неблагоприятно влияет на величину вращающего момента, определяемую разностью моментов от прямого и обратного полей.

Наблюдается ярко выраженный максимум к.п.д., значение которого резко падает при увеличении нагрузки. При уменьшении нагрузки емкость фазосдвигающих элементов, как правило, больше требуемой, что приводит к повышению напряжения и силы тока отдельных фаз. Обмотки статора нагреваются неравномерно, возникает необходимость ограничивать продолжительность работы электродвигателей на холостом ходу и при малых нагрузках.

13.8. Передаточные устройства от двигателя к рабочей машине

Электродвигатели с рабочей машиной могут соединяться как при помощи муфт, так и промежуточной передачей (зубчатой, клиноременной и т. д.).

Непосредственное соединение двигателя с рабочей машиной возможно при условии равенства их скоростей вращения. В установках электропривода

получили распространение муфты, которые подразделяются на: глухие поперечно-свертные муфты; упругие втулочно-пальцевые (фланцевые); жесткие подвижные (зубчатые); упругие муфты с металлическими пружинами (зубчато-пружинные); эластичные муфты; цепные муфты.

Глухая поперечно-свертная муфта. Глухая поперечно-свертная муфта (рис. 13.30) состоит из двух полумуфт: одну полумуфту насаживают на вал двигателя, другую — на вал рабочей машины. Обе полумуфты соединяют между собой болтами. От осевых перемещений полумуфты предохраняют стопорными винтами, ввертываемыми с торца в местах сопряжения полумуфты с валом. Плоскость разъема муфты должна быть строго перпендикулярна оси валов. Муфты изготовляют из чугуна, а при окружной скорости (скорости на окружности муфты) более 30 м/с — из стали.

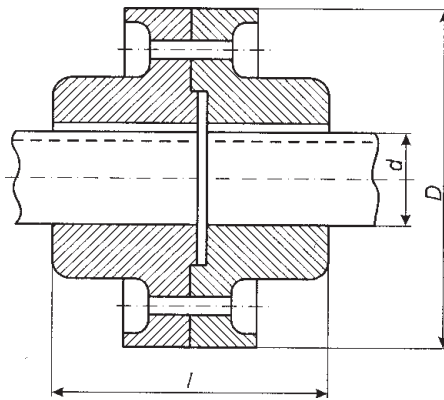


Рис. 13.30. Глухая поперечно-свертная муфта

Упругая втулочно-пальцевая муфта. Упругая втулочно-пальцевая муфта типа МУВП (рис. 13.31) также состоит из двух полумуфт. Эластичность соединения достигается за счет пальцев-болтов с надетыми на них кожаными шайбами или с резиновыми манжетами. В ведущую полумуфту пальцы плотно вставлены своей металлической частью, а в ведомую они входят с небольшим зазором своей эластичной частью. Эти муфты допускают небольшую несоосность соединяемых валов.

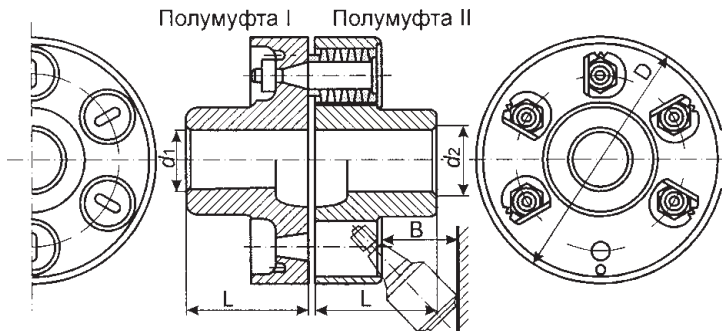


Рис. 13.31. Упругая муфта типа МУВП

Жесткая подвижная (зубчатая) муфта. Жесткая подвижная (зубчатая) муфта изображена на рис. 13.32. Она также состоит из двух полумуфт 1 и 2 с внутренними зубьями 3. Для того, чтобы уменьшить износ зубьев, муфта заливается маслом. Применяется она для валов диаметром больше 40 мм и в отличие от других муфт допускает смещение одного из валов по отношению к другому валу (перекос, радиальное смещение, раздвижку).

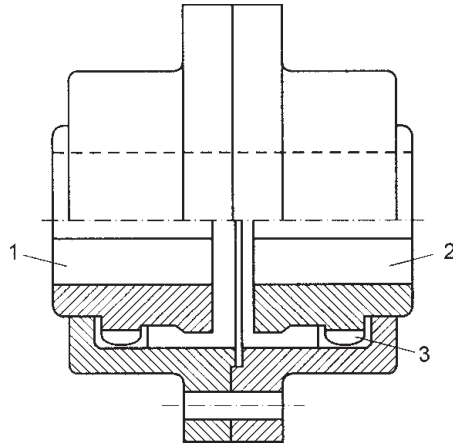


Рис. 13.32. Жесткая подвижная (зубчатая) муфта

Упругие муфты с металлическими пружинами. Упругие муфты с металлическими пружинами (рис. 13.33) применяются для асинхронных двигателей. Стальная пружина 1 входит в конструкцию муфты как упругий элемент.

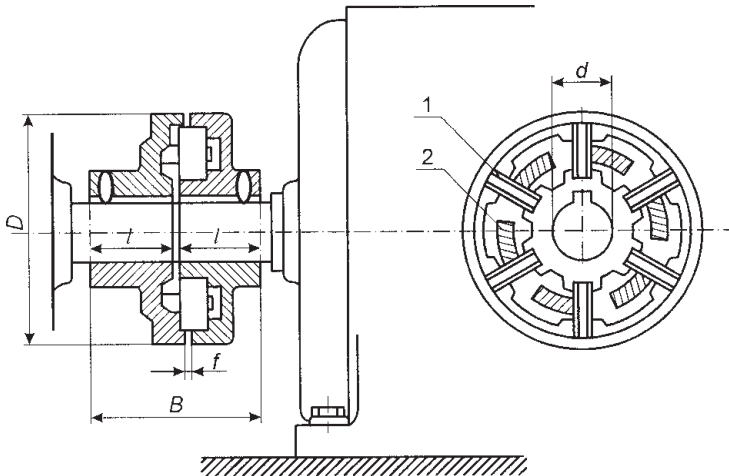


Рис. 13.33. Упругая муфта с металлическими пружинами

Эластичная муфта. Эластичная муфта (рис. 13.34) состоит из двух полумуфт 1 и резинового диска 2 между ними. Резиновый диск крепится специальными болтами 3 к каждой полумуфте.

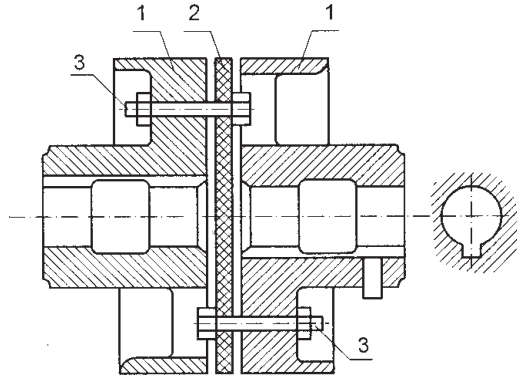


Рис. 13.34. Эластичная муфта

Цепная муфта. Цепная муфта широко применяется в сельскохозяйственных электроприводах. Цепная муфта, как и жесткая подвижная (зубчатая), допускает небольшой перекося осей валов и небольшое осевое перемещение их (до 2 мм). Крутящий момент передается пальцами шарнирной втулочно-роликовой цепи. Цепь надевается на зубья звездочек, насаженных на соединительные валы. Достоинство таких соединений валов заключается в простоте конструкции.

Ременная передача. Другой тип соединения вала рабочей машины с валом электродвигателя — это устройство промежуточных передач. Наиболее распространенная промежуточная передача — клиноременная передача. Она состоит из ведущего и ведомого шкивов и клиновидного ремня (или ремней) охватывающего оба шкива. Шкивы клиноременных передач (рис. 13.35) ис-

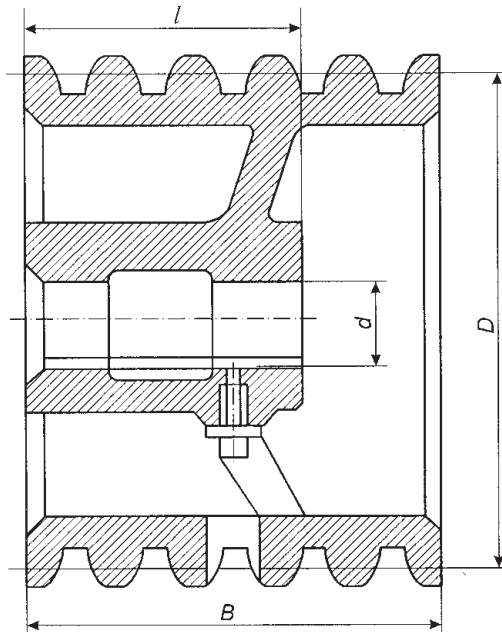


Рис. 13.35. Шкив для клиновидных ремней

пользуемые для асинхронных электродвигателей делают из чугуна. Шкивы и муфты закрепляют на конце вала двигателя и рабочей машины при помощи шпонок.

13.9. Монтаж и демонтаж шкивов и полумуфт

Шкивы и полумуфты при небольших размерах насаживают при помощи специального приспособления с нажимным винтом. Применение этого приспособления позволяет все горизонтальные усилия, возникающие при надвигании шкива или муфты на конец вала, передать в осевом направлении на вал, а не на подшипники и подшипниковые крышки. Для этого снимают крышку вентилятора, и конец вала упирают в шкворень приспособления, рис. 13.36.

При больших размерах шкивов или полумуфт их насаживают с помощью домкрата, рис. 13.37. В этом случае вал электродвигателя должен быть подперт с противоположной стороны так, чтобы усилия не передались на подшипники или подшипниковые крышки.

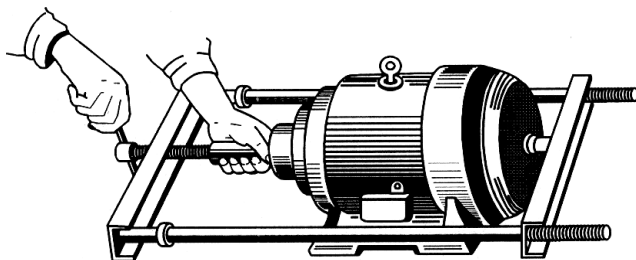


Рис. 13.36. Насадка шкива или полумуфты при помощи приспособления с нажимным винтом

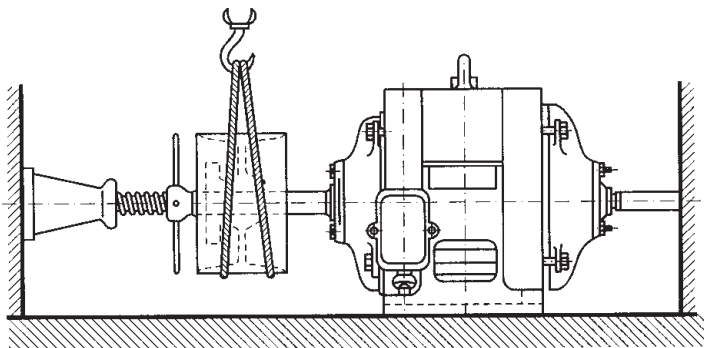


Рис. 13.37. Насадка шкива при помощи домкрата

При ремонте электродвигателя и в некоторых других случаях возникает необходимость снять с конца вала полумуфту, шкив или шестерню. Эту операцию удобнее всего производить пользуясь специальными приспособлениями — съемниками, рис. 13.38. Если окажется, что полумуфту, шкив или шестерню снять затруднительно, то можно предварительно подогреть их пламе-

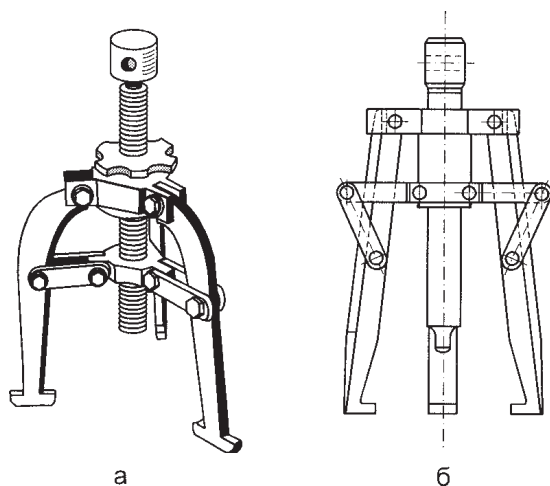


Рис. 13.38. Съемники универсальные: *а* — с нерегулируемым раскрытием тяг; *б* — с самоустанавливающимися тягами

нем газовой горелки до температуры 250—300 °С, одновременно охлаждая вал электродвигателя водой.

13.10. Центровка валов электродвигателей и рабочих машин

13.10.1. Непосредственное соединение при помощи муфты

Центровка валов электродвигателей и соединенных с ним рабочих машин непосредственно влияет на техническое состояние, как электродвигателей, так и самих машин. Параллельное смещение осей валов электродвигателей и рабочих машин вызывает деформацию упругих элементов соединительных муфт, пульсацию передаваемых моментов, а также радиальные усилия, передаваемые на подшипники. Угловое смещение осей валов вызывает значительно меньшие пульсации скорости валов, чем их параллельное смещение. Как и параллельное, угловое смещение наиболее опасно при жестком соединении валов. Неправильная центровка валов электродвигателей и рабочих машин в некоторых случаях приводит к возникновению пульсаций токов и моментов.

Центровка электродвигателя относительно вала вращаемой им машины является одной из наиболее ответственных и трудоемких операций при монтаже.

Чтобы обеспечить нормальную работу центрируемых валов и правильное распределение нагрузок между подшипниками при непосредственном соединении электродвигателя с рабочей машиной (при помощи муфты), валы соединяемых машин должны быть установлены в такое положение, при котором торцевые поверхности полумуфт в горизонтальной и вертикальной плоскостях будут параллельны, а оси валов будут располагаться на одной линии. Практически бывает трудно добиться строгой параллельности плоскостей полумуфт, поэтому валы приходится соединять при некоторой несоосности их.

Величина несоосности зависит от типа применяемых полумуфт. При правильном (соосном) соединении электродвигателя и механизма они работают спокойно, без вибрации.

Путем перемещения двигателя на небольшие расстояния в горизонтальной и вертикальной плоскостях добиваются такого взаимного положения валов двигателя и рабочей машины, при котором величины зазоров между полумуфтами будут равны. Центровка производится в два приема: предварительная и окончательная. При предварительной центровке стальную линейку или стальной угольник прикладывают к образующим обеих полумуфт и проверяют, есть ли зазор между ребром линейки и полумуфтами. Такую проверку выполняют в четырех местах: вверху, внизу и в двух боковых направлениях. Если зазор есть, то под лапы электродвигателя подкладывают прокладки толщиной 0,5—0,8 мм. При этом число тонких прокладок не должно превышать 3—4 штук, так как при большем числе прокладок может нарушиться центровка. Если по условиям центровки прокладок оказывается больше, то их необходимо заменить общей прокладкой большей толщины.

Окончательную центровку проводят при помощи одной пары центровочных скоб (рис. 13.39). Наружная скоба 1 закрепляется на полумуфте 2 рабочей машины, а внутренняя скоба 3 — на полумуфте электродвигателя 4.

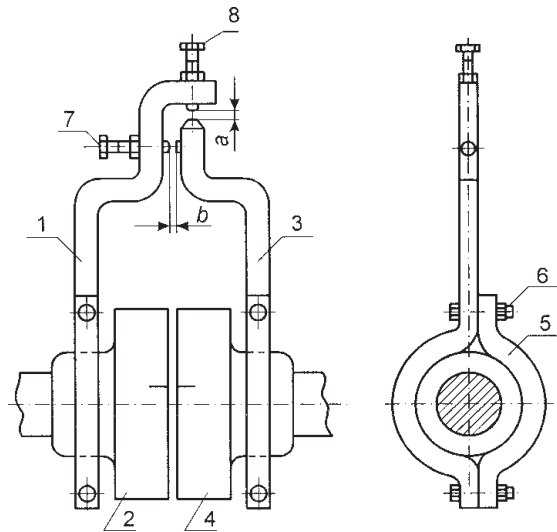


Рис. 13.39. Центровочные скобы: 1 — наружная скоба; 2 — полумуфта; 3 — внутренняя скоба; 4 — электродвигатель; 5 — хомут; 6, 7, 8 — болты

Скобы крепятся на полумуфтах при помощи хомутов 5 и болтов 6. В процессе центровки измеряют радиальные a и осевые b зазоры при помощи щупов, индикаторов или микрометров. При этом индикатор или микрометрическую головку устанавливают на место болтов 7 и 8.

Существуют и другие типы скоб для центровки электродвигателя с механизмом некоторые из них изображены на рис. 13.40 и 13.41.

Центровочные скобы устанавливают друг против друга при совпадении маркировочных пометок (рисок) на полумуфтах, проставленных во время спа-

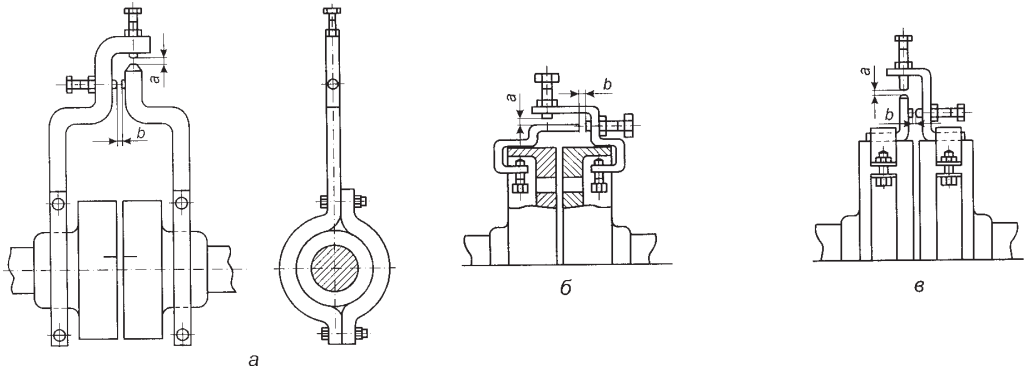


Рис. 13.40. Скобы для центровки полумуфт: *а* — центровочные скобы; *б* — центровочные приспособления; *в* — центровочные приспособления с хомутами.

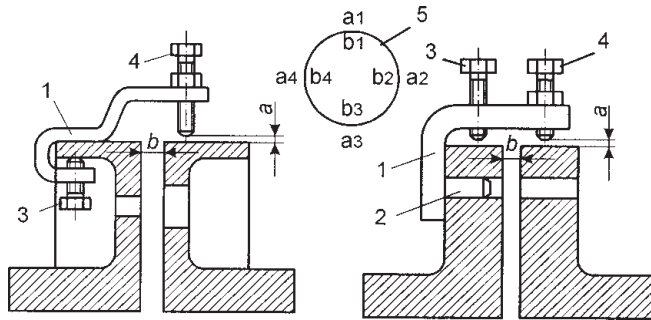


Рис. 13.41. Скобы для центровки электродвигателя с механизмом: *1* — скоба; *2* — палец; *3* — прижимной или стопорный болт; *4* — болт для замера зазора; *5* — рекомендуемая форма записи значений зазоров

ренной обработки полумуфт на станке или нанесенных перед рассоединением их в начале ремонта. Метки лучше всего ставить зубилом. Посредством винтов устанавливают зазоры по окружности и торцу в пределах 1—2 мм, проверяя отсутствие задевания скоб друг за друга при одновременном проворачивании обеих валов на 360° в направлении вращения электродвигателя. Для измерения зазоров по окружности и торцу оба вала одновременно поворачивают от исходного верхнего положения на 90° , 180° и 270° . При каждом из этих положений пластинки шупа должны входить с легким усилием, одинаковым во всех замерах.

При помощи шупа измеряют радиальный зазор *a* между болтом скобы и полумуфтой и аксиальный зазор *b* между торцами полумуфт (рис. 13.40).

Затем поворачивают оба ротора относительно первоначального положения на 90° , 180° и 270° и в каждом из этих положений измеряют зазоры *a* и *b*. Значения радиальных зазоров записывают вне окружности, аксиальных — внутри окружности, как указано на рис. 13.41.

Если при проворачивании валов радиальные зазоры *a* остаются неизменными, а аксиальные зазоры *b* меняются, то значит, что центры валов совпадают, но оси валов расположены одна к другой под некоторым углом (рис. 13.42*а*).

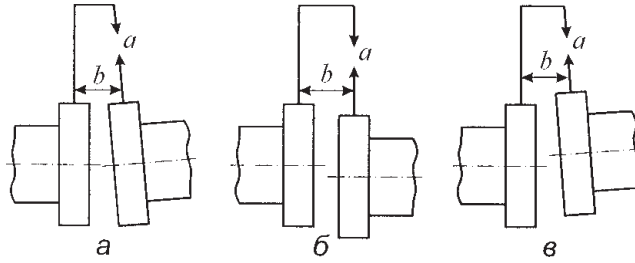


Рис. 13.42. Центровка валов при помощи одной пары скоб: *а* — центры валов совпадают, но оси расположены под углом; *б* — валы параллельны, но между ними имеется сдвиг; *в* — центры валов сдвинуты, а их оси расположены под углом

При параллельности валов двигателя и рабочей машины и наличии между ними сдвига (рис. 13.42*б*) аксиальные зазоры *b* при проворачивании валов остаются неизменными, а радиальные зазоры *a* изменяются.

Наконец, при сдвиге центров валов и расположении осей валов под углом (рис. 13.42*в*) будут меняться величины как аксиальных зазоров *b*, так и радиальных зазоров *a*.

В заключение валы устанавливают в первоначальное положение (скоба вверх) и вновь измеряют зазор *a*, который должен совпасть с тем же зазором, измеренным в начале проверки. Отличие в результатах замера зазоров в начале и в конце проверки более чем на 0,02 мм недопустимо и свидетельствует о недостаточно жестком креплении скобы или о смещении валов в осевом направлении. В этом случае скобу следует укрепить более надежно и замер зазоров повторить. Для исключения ошибок от осевого смещения валов при первом замере и после каждого проворачивания необходимо при помощи лома или другим способом подавать валы друг к другу до упора.

Точность центровки определяется сравнением зазоров, измеренных в противоположных точках полумуфт. Разность значений этих зазоров ($a_1 - a_3$; $a_2 - a_4$; $b_1 - b_3$; $b_2 - b_4$) должна быть не более указанной в табл. 13.14.

Таблица 13.14. Допустимая разность зазоров

Вид муфты	Допустимая разница в значениях зазоров, мм, при частоте вращения, об/мин		
	3000	1500	750
Жесткая	0,02—0,04	0,03—0,07	—
Полужесткая или с полужесткими пальцами	0,03—0,06	0,06—0,10	0,10—0,15
Пружинная	0,05—0,08	0,08—0,12	—
Зубчатая	0,06—0,10	0,10—0,14	—

Примечание. Меньшая разница в значениях зазоров относится к аксиальным зазорам, а большая — к радиальным.

Расцентровка в горизонтальной плоскости (большая разница в зазорах a_2 и a_4 ; b_2 и b_4) устраняется перемещением по горизонтали корпуса электродвигателя. Расцентровка в вертикальной плоскости (большая разница в зазорах $a_1 - a_3$; $b_1 - b_3$) устраняется путем изменения толщины подкладок под лапами

электродвигателя. Для точной центровки применяется стальная фольга. Количество прокладок должно быть минимальным, так как при большом числе прокладок центровка со временем может нарушиться. Несколько тонких подкладок заменяйте на одну более толстую. Несколько более толстых — на одну еще более толстую. Обязательное условие центровки — после каждого изменения толщины подкладок производите полную затяжку крепежных болтов электродвигателя. Неполная или не качественная затяжка болтов крепящих двигатель к фундаменту или к монтажной раме дает неправильную картину изменения зазоров в процессе регулировки.

Хаотичная регулировка зазоров требует очень много времени и сил. Для более быстрого процесса регулировки необходима определенная последовательность в операциях по устранению зазоров.

Первое, что нужно сделать — установить валы параллельно в вертикальной плоскости (соблюдается равенство зазоров $b_1 = b_3$) подкладывая подкладки под передние лапы электродвигателя или удаляя из-под задних лап. Когда равенство зазоров b_1 и b_3 установлено, проверяете вертикальное смещение валов электродвигателя и приводного механизма (разность зазоров $a_1 - a_3$). Если a_1 больше a_3 вал электродвигателя расположен ниже вала приводного механизма, если же a_1 меньше a_3 — электродвигатель поднят выше нормы. Разность зазоров $a_1 - a_3$ дает толщину подкладки, которую необходимо подложить под передние и задние лапы электродвигателя или наоборот удалить (толщину подкладок замеряйте микрометром). Затем снова проверьте допустимую разницу зазоров $a_1 - a_3$ и $b_1 - b_3$. Если она находится в пределах нормы, приступайте к регулировке в горизонтальной плоскости. Регулировка производится смещением корпуса двигателя вправо или влево. В заключение еще раз проверьте точность центровки, сравнивая разность значений зазоров ($a_1 - a_3$; $a_2 - a_4$; $b_1 - b_3$; $b_2 - b_4$).

13.10.2. Соединение клиноременной и цепной передачи

Клиноременная передача. В механических приводах ременные передачи могут служить как для увеличения вращающего момента на приводном валу, так и для увеличения скорости вращения. Клиновидные ремни имеют лучшее сцепление со шкивом и относительно малое скольжение по сравнению с плоскими ремнями; благодаря этому можно осуществлять передачи с большим (до 10) передаточным числом.

При выборе минимального межосевого расстояния принимают

$$A_{\text{мин}} = 0,55(D_1 + D_2) + h,$$

где h — толщина ремня; D_1 и D_2 — диаметры меньшего и большего шкивов, мм.

Угол охвата меньшего шкива

$$\alpha_1 = 180 - 60 \frac{D_2 - D_1}{A}.$$

Угол α_1 должен быть не менее 120° , а при огибании трех шкивов $\alpha_1 \geq 70^\circ$.

Наибольшее межосевое расстояние

$$A_{\text{Макс}} = 2(D_1 + D_2).$$

Цепная передача. Цепная передача состоит из двух цепных колес (звездочек), укрепленных на параллельных валах и соединенных между собой цепью. Приводные цепи по конструкции бывают пластинчато роликowymi (рис. 13.43а), пластинчато зубчатыми (рис. 13.43б) и т. п. Цепи подбирают по окружному усилию.

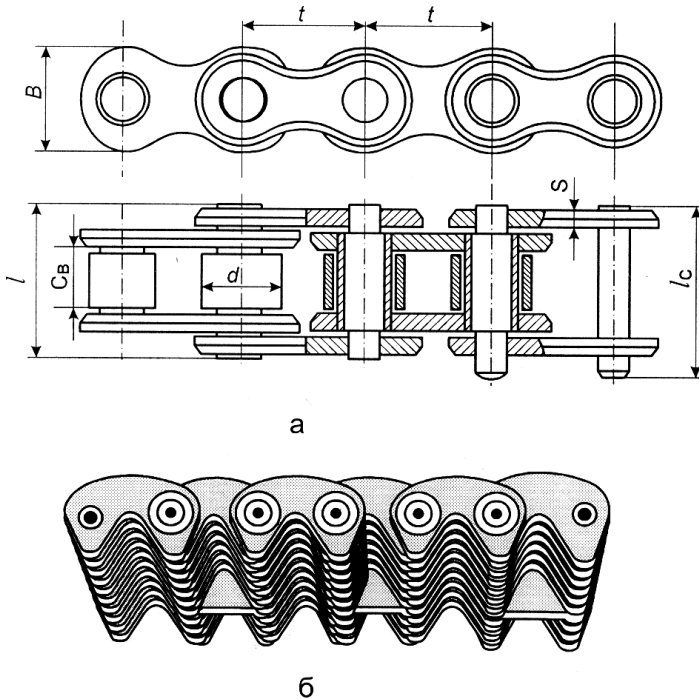


Рис. 13.43. Приводные пластинчатые цепи: а — роликowe; б — зубчатые

Цепные передачи имеют ряд преимуществ:

- возможность обеспечения значительных передаточных чисел;
- возможность передачи мощности между валами, расположенными друг от друга на расстоянии до 8 м;
- меньшая нагрузка на валы по сравнению с ременной передачей;
- простота укорачивания цепи при ее вытяжке;
- возможность создания быстроходных приводов (рекомендуемая окружная скорость $v = 12-15$ м/с);
- возможность передачи мощности нескольким валам одним цепным контуром;

Необходимым условием правильной работы электродвигателя и машины, соединенных клиноременной и цепной передачей, является соблюдение параллельности их валов, а также совпадение средних линий ручьев шкивов и звездочек, так как иначе ремни и цепи будут быстро изнашиваться. Выверку

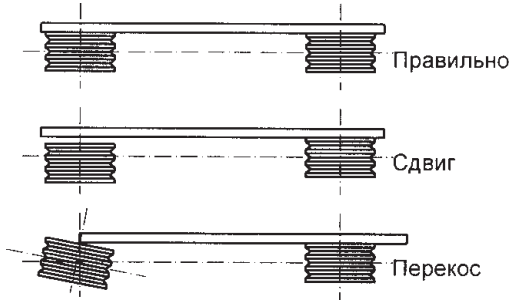


Рис. 13.44. Выверка валов при клиноременной передаче

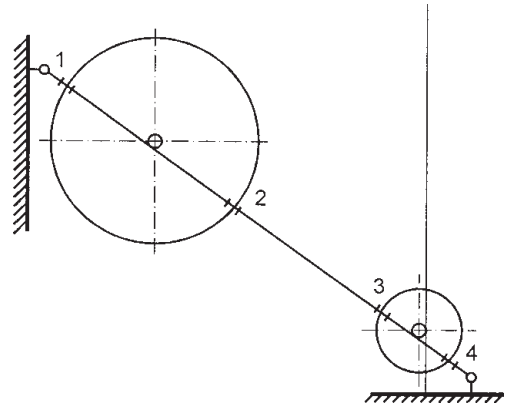


Рис. 13.45. Выверка валов при клиноременной передаче с помощью шнура

ведут, пользуясь стальной линейкой. Линейку прикладывают к торцам шкивов или звездочек и подгоняют электродвигатель или механизм с таким расчетом, чтобы она касалась обоих шкивов или звездочек в четырех точках (рис. 13.44). Когда нет выверочной линейки достаточной длины, можно выверять валы при помощи тонкого шнура, натягиваемого от одного шкива или звездочки к другому (рис. 13.45). Если шкивы лежат на одной прямой, то натянутый шнур должен коснуться одновременно обоих шкивов в точках 1, 2, 3 и 4.

13.11. Техническое обслуживание и ремонт электродвигателей

13.11.1. Техническое обслуживание электродвигателей

При техническом обслуживании дежурный персонал постоянно следит за нагрузкой и вибрацией электродвигателей, температурой и наличием смазки в подшипниках, отсутствием ненормальных шумов и искрения под щетками. Дежурный персонал также производит наружный осмотр и очищает электродвигатель от пыли и загрязнений.

Периодические осмотры электродвигателей производят по графику, установленному энергетиком предприятия. Осмотры планируют тем чаще, чем тяжелее условия работы и чем более изношены электродвигатели. К тяжелым условиям работы относятся: большая продолжительность или высокая частота пусков, высокая температура или запыленность окружающей среды.

Целью осмотров является определение технического состояния электродвигателя и выявление объема работ, которые должны быть выполнены при очередном ремонте. Кроме того, при осмотре производят техническое обслуживание подшипников, колец, щеток и выполняют мелкий ремонт без разборки машины. Состав работ при осмотрах и техническом обслуживании асинхронных электродвигателей приведен в табл. 13.15.

Таблица 13.15. Состав работ и последовательность их выполнения при техническом обслуживании электродвигателей

Операция	Указания по выполнению операции
Внешний осмотр	Тщательно осмотреть электродвигатель
Оценка технического состояния	Измерить сопротивление изоляции обмотки статора относительно корпуса. У электродвигателей с фазным ротором измерить сопротивление изоляции обмотки ротора относительно вала. Измерить значения потребляемых электродвигателем из сети токов и убедиться в отсутствии периодических колебаний стрелки прибора, измеряющего силу тока. Проверить степень нагрева корпуса и подшипниковых щитов в зоне подшипников
Очистка поверхности	Очистить поверхность электродвигателя стальной или щетинной щеткой. У электродвигателей закрытого исполнения отвернуть болты или винты крепления кожуха вентилятора. Снять кожух, очистить подшипниковый щит, кожух вентилятора и вентилятор от пыли щетинной щеткой. Обдуть поверхность электродвигателя сжатым воздухом. Удалить следы масла на поверхности электродвигателя обтирочным материалом, смоченным в керосине, и протереть очищенную поверхность насухо. Убедиться в отсутствии трещин в станине и в подшипниковых щитах
Проверка крепления	Проверить затяжку болтов или гаек крепления электродвигателя к фундаменту или рабочей машине. Проверить затяжку болтов или гаек крепления подшипниковых щитов. У электродвигателей закрытого исполнения проверить затяжку болтового соединения крепления вентилятора. У электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 56;63; 160—355 мм пошатыванием рукой проверить плотность посадки вентилятора на валу электродвигателя. Ослабленные болты, винты и гайки подтянуть. Болты и гайки с сорванной резьбой заменить. У электродвигателей закрытого исполнения установить кожух вентилятора и закрепить его болтами или винтами
Проверка посадки шкива, полумуфты или звездочки на валу	Проверить техническое состояние шкива, звездочки, состояние резиновых втулок, пальцев муфты. Заменить изношенные или деформированные резиновые втулки. При наличии стопорного винта проверить его затяжку. Ослабленный стопорный винт подтянуть. Шкив, полумуфта или звездочка должна быть плотно насажены на вал и не иметь осевых перемещений. Для проверки плотности посадки приложить палец руки к месту соединения вала электродвигателя со ступицей шкива, полумуфты или звездочки и легко ударяя деревянным молотком по шкиву, полумуфте или звездочке в осевом направлении, убедиться в отсутствии перемещения шкива, полумуфты или звездочки относительно вала электродвигателя
Проверка исправности заземления	Проверить состояние контакта заземления корпуса электродвигателя. Контакт со следами коррозии разобрать, зачистить контактные поверхности до металлического блеска, смазать техническим вазелином, собрать и затянуть. Проверить затяжку контакта заземления. Ослабленный контакт подтянуть. У электродвигателей, имеющих болт заземления в коробке выводов, отвернуть болты или винты крепления крышки коробки выводов, снять крышку и проверить состояние контакта заземления. При установке электродвигателя на заземленной металлической конструкции осмотреть место сварки заземляющей шины с металлической конструкцией, предварительно простучав сварной шов молотком. Сварной шов не должен иметь трещин. Если электродвигатель установлен на передвижных механизмах или на движущихся частях, проверить омметром состояние контакта заземления, а также целостность заземляющей жилы кабеля
Проверка изоляции выводных концов	Отвернуть болты или гайки крепления крышки коробки выводов электродвигателя и снять крышку. Продуть коробку выводов электродвигателя сжатым воздухом. Убедиться в целостности изоляционного покрытия выводных концов обмоток электродвигателя и проводов, подводящих питание. У электродвигателей, имеющих встроенные в обмотки терморезисторы температурной защиты, проверить состояние изоляции выводных концов, идущих от терморезисторов, и проводов, отходящих к управляющему устройству температурной защиты. При наличии отслоений, подгораний, обугливания или механических повреждений изоляции изолировать поврежденные участки

Продолжение табл. 13.15

Операция	Указания по выполнению операции
Проверка контактных соединений в коробке выводов	<p>У электродвигателей, имеющих доску зажимов, проверить состояние доски и электрических контактов. Доску зажимов, имеющую сколы, трещины или обугленную поверхность, заменить. Окислившиеся, подгоревшие или потемневшие контакты разобрать, зачистить контактные поверхности до металлического блеска, смазать техническим вазелином, собрать и затянуть. Проверить затяжку контактных винтов или гаек. Ослабленные контакты подтянуть.</p> <p>У электродвигателей без доски зажимов осмотром проверить состояние изоляции мест соединения проводов.</p> <p>При наличии обугливания, потемнения или подгорания снять поврежденную изоляцию, разобрать контакт, зачистить контактные поверхности до металлического блеска, собрать контакт с помощью болтового соединения или скрутки и изолировать. Установить крышку коробки выводов и закрепить ее болтами или гайками</p>
Проверка состояния щеточного механизма электродвигателей с фазным ротором	<p>Раскрыть замки и снять защитный кожух щеточного механизма. Обдуть щеточный механизм сжатым воздухом. Очистить щеточный механизм и контактные кольца сухим обтирочным материалом. Проверить состояние контактных колец, щеток, траверсы, изолирующих звеньев траверсы. У электродвигателей АК всех габаритов и АОК2 4-го и 5-го габаритов вынуть щетки из обойм щеткодержателя.</p> <p>Проверить состояние контактных колец. Контактные поверхности колец и щеток должны быть чистыми и иметь правильную цилиндрическую форму, и щетки должны прилегать к кольцам не менее чем двумя третями контактной поверхности.</p> <p>Поверхность контактных колец должна быть коричневого цвета с синеватым оттенком. Если контактная поверхность колец загрязнена или потемнела, протереть ее обтирочным материалом, смоченным в бензине. Если на поверхности контактных колец появился нагар, шлифовать ее мелкой шкуркой, натянутой на деревянную колодку, имеющую вогнутую цилиндрическую поверхность по форме контактных колец.</p> <p>Проверить состояние щеток и измерить их высоту. Сколы и трещины на рабочей поверхности щеток не допускаются. Высота щеток должна быть не менее допустимой, табл. 13.16. Зазор между щеткой и обоймой должен быть в пределах от 0,2 до 0,5 мм в направлении оси электродвигателя и в пределах от 0,06 до 0,3 мм в направлении вращения ротора. Износившиеся или выкрошившиеся щетки заменить новыми, выполнив следующие операции:</p> <ul style="list-style-type: none"> • отсоединить токопроводящий провод щетки от клеммы; • вставить новую щетку в обойму щеткодержателя и проверить легкость перемещения щетки (для электродвигателей АК всех габаритов и АОК2 4-го и 5-го габаритов); • отвернуть винт крепления щетки, установить новую щетку в гнездо щеткодержателя и закрепить винтом (для электродвигателей АОК2 6, 7 и 8-го габаритов); • присоединить токопроводящий провод щетки к клемме. <p>Притереть щетки. Для притирки щеток на поверхность контактного кольца по всей окружности наложить мелкозернистую стеклянную бумагу рабочей поверхностью к щетке и прижать щетку курком или пружиной. У электродвигателей АОК2 6, 7 и 8-го габаритов поставить щеткодержатель со щеткой в рабочее положение и закрепить его пружиной. Поворачивая вал электродвигателя вперед и назад на половину оборота, притереть щетку. Удалить шлифовальную шкурку. После притирки щетки и шлифования контактных колец выдуть образовавшуюся пыль сжатым воздухом. Вставить остальные пригодные к дальнейшей эксплуатации щетки в обоймы щеткодержателей, опустить курки или пружины (электродвигатели АК всех габаритов и АОК2 4-го и 5-го габаритов), установить щеткодержатель в рабочее положение и вставить крючки пружин в отверстия щеткодержателей (электродвигатели АОК2 6, 7 и 8-го габаритов).</p> <p>Проверить контакты соединения щеточного механизма с выводными проводами. Окислившиеся, потемневшие или подгоревшие контакты разобрать, зачистить контактные поверхности до металлического блеска, собрать контакты и затянуть. Надеть защитный кожух щеточного механизма.</p> <p>Проверить состояние пускового реостата</p>

Окончание табл. 13.15

Операция	Указания по выполнению операции
Проверка работы электродвигателя	Проворачивая вручную ротор электродвигателя (если это позволяет конструкция приводного механизма), убедиться в отсутствии заедания в подшипниках, задевания ротора за статор, задевания вентилятора за кожух. Ротор должен проворачиваться легко без задеваний и заеданий в подшипниках. При обнаружении заеданий в подшипниках дополнить подшипниковые камеры смазкой. Включить электродвигатель в сеть без загрузки рабочей машины. Убедиться в отсутствии посторонних шумов, стуков и повышенной вибрации. Нагрузить рабочую машину и убедиться в нормальной работе электродвигателя под нагрузкой

Таблица 13.16. Номинальные и допустимые значения высоты щеток электродвигателей АК и АОК2

Габарит электродвигателя	Высота щетки, мм	
	номинальная	минимальная
4, 5	25±1	12
6	32±1	18
7, 8, 9	40±1	20

Подшипники качения электродвигателя смазывают при техническом обслуживании консистентными (не жидкими) составами. Объем камеры подшипника качения должен быть заполнен на 1/2 ее объема. Если употреблять смазку в количествах, превышающих указанные, подшипники перегреваются, а смазка вытекает из корпуса. При обнаружении в процессе эксплуатации меньших количеств смазки ее добавляют до нормы. Смазку следует применять того же сорта, что и содержащуюся в подшипнике.

В зависимости от условий эксплуатации консистентную смазку заменяют через 3—6 месяцев работы с предварительной промывкой смесью бензина Б-70 с чистым трансформаторным маслом (6—8 %). Промывку ведут при проворачивании вала электродвигателя до тех пор, пока из корпуса подшипника не станет вытекать незагрязненный промывочный состав.

Замену смазки в некоторых новых моделях электродвигателей можно производить на ходу без промывки. В подшипниковом узле для этого предусмотрено отверстие для пресс-масленки (в верхней части) и выходное отверстие для отработавшей смазки (в нижней части). Новая смазка подается за подшипник, проходит через него и вытесняет старую смазку.

Полости подшипников электродвигателей серии 4А с высотами вращения 112—280 мм заполняют смазкой ЛДС-2, серии 4А с высотами вращения 56—100 мм — смазкой ЦИАТИМ-221, а остальных электродвигателей — смазкой 1—13.

13.11.2. Текущий ремонт

Текущий ремонт производится с периодичностью, установленной с учетом местных условий, для всех электродвигателей, находящихся в эксплуатации, в том числе в холодном или горячем резерве. В объем работ при текущем ремонте входят работы, приведенные в табл. 13.17. Текущий ремонт является

основным видом профилактического ремонта, поддерживающим на заданном уровне безотказность и долговечность электродвигателей.

Таблица 13.17. Объем и последовательность выполнения работ при текущем ремонте электродвигателей

Износы и повреждения	Последовательность выполнения работ
Ремонт активной стали статора и ротора	
Коррозия, следы задевания ротора за активную сталь статора	Зачистить покрытые коррозией участки активной стали статора и ротора шлифовальной шкуркой до устранения следов коррозии, и продуть сжатым воздухом от компрессора. Зачищенные места покрыть лаком БТ-99 и просушить на воздухе в течение 3—4 часов
Ремонт станины статора	
Забоины на резьбе в отверстиях под болты и винты	Резьбу прокалбровать метчиком
Забоины и заусенцы на посадочных местах под подшипниковые щиты	Зачистить выступающий над поверхностью посадочного места металл и заусенцы шабером или напильником с мелкой насечкой.
Износ или срыв резьбы в отверстиях под болты крепления подшипниковых щитов, кожуха вентилятора и коробки выводов	Установка резьбовых вставок, перерезание резьбы на больший размер.
Ремонт ротора	
Износ, трещины или повреждение, коррозия на телах качения, беговых дорожках и сепараторе подшипников	Подшипники подлежат замене, если их радиальный зазор превышает допустимый при текущем ремонте, табл. 13.18. Кроме того, подшипники выбраковывают при наличии на кольцах, шариках и роликах трещин и выкрашивания металла; при наличии на беговых дорожках цветов побежалости, выбоин и лунок; при наличии на беговых дорожках, шариках или роликах коррозии, отслоений металла, глубоких рисок; при наличии на сепараторе трещин, забоин и вмятин, отсутствии или ослаблении заклепок. Исправный подшипник должен вращаться легко, без заметного притормаживания и заедания. При вращении должен слышаться глухой шипящий звук. Наличие резкого металлического дребезжания при вращении подшипника не допускается. Перед проверкой на вращение подшипники промывают в бензине с добавкой 10 % автомобильного или дизельного масла. Замена подшипника производится в следующем порядке. Снять с вала с помощью съемника подлежащий замене подшипник. Очистить новый подшипник от консервационной смазки в моечной ванне. Следует заметить, что у подшипников типа 180000 (закрытых), применяемых в электродвигателях серии 4А, консервационную смазку удаляют обтирочным материалом, смоченным в ацетоне. Смазать посадочное место на валу машинным или дизельным маслом и молотком с наставкой напрессовать подшипник на вал ротора
Износ посадочного места под подшипники	Диаметр посадочных мест под подшипники измеряют в случае свободного перемещения внутреннего кольца подшипника относительно вала. Ротор подлежит капитальному ремонту, если диаметр посадочного места под подшипник меньше допустимого значения, табл. 13.20
Шероховатости, пятна от подгорания, мелкие царапины на поверхности контактных колец	Устранить дефект при собранном электродвигателе и снятой крышке щеточного устройства, для чего провести следующие операции. Включить электродвигатель в сеть. Со стороны, противоположной щеточному устройству, положить поочередно к каждому контактному кольцу изолированную планку с закрепленной на ней мелкой шлифовальной шкуркой (№ 100-180) и шлифовать поверхность колец до исчезновения следов пятен и мелких царапин

Продолжение табл. 13.17

Износы и повреждения	Последовательность выполнения работ
Износ поверхности контактных колец, наличие канавок.	Протачивание на токарном станке в центрах и шлифование колец. При износе контактных колец до диаметра, меньше допустимого (табл. 13.19), ротор подлежит капитальному ремонту
Биеение колец (определяется до разборки электродвигателя). Биеение колец не должно превышать 0,3 мм	Биеение колец определяется до разборки электродвигателя и не должно превышать 0,3 мм. При большей величине биеения производится протачивание на токарном станке в центрах и шлифование колец. Биеение проточенных и шлифованных колец в радиальном направлении не должно превышать 0,06 мм, а в осевом — 0,1 мм
Повреждение изоляции контактных шпилек	Снять поврежденную изоляцию с контактной шпильки ножом. Обмотать шпильку лакотканью до получения размеров шпильки с изоляцией электродвигателя 6-го габарита по ширине 12 и толщине 4 мм, а 7-го и 8-го габаритов — по ширине 16 и толщине 6 мм. При наматывании на шпильку первый и последний слои лакоткани смазать клеем БФ-2. Поверхность изоляции шпильки покрыть изоляционным лаком БТ-99 и просушить на воздухе в течение 3 часов
Ремонт обмотки	
Незначительные повреждения изоляционного покрытия лобовых частей обмотки статора или фазного ротора	Тщательно очистить место повреждения волосяной щеткой и обдуть сжатым воздухом. Покрыть место повреждения одним из лаков воздушной сушки (например, БТ-99) и просушить на воздухе в течение 3 часов. Обмотка статора выбраковывается и электродвигатель подлежит капитальному ремонту при наличии: значительных механических повреждений изоляции лобовых частей обмотки; почернения и обугливания обмотки или отдельных ее частей
Обрыв или ослабление бандажей лобовых частей обмотки	Осторожно снять оборванную или ослабленную часть бандажей с лобовых частей обмотки. Бандажировать при помощи специального шила лобовую часть обмотки стеклянной лентой или стекло-чулком через один паз. Покрыть бандажи лаком воздушной сушки (БТ-89 или др.) и просушить на воздухе в течение 3 часов
Механические повреждения отдельных участков изоляции выводных проводов	Изолировать поврежденные участки выводных проводов вполнахлеста тремя слоями изоляционной ленты
Трещины или механические повреждения изоляции по всей длине выводных проводов обмотки статора	Снять бандаж с лобовой части обмотки на длине крепления заменяемого выводного провода. Отсоединить поврежденный выводной провод от обмотки катушечной группы. Отрезать новый выводной провод марки ПРГ, ПЭГ, РКНМ, ЛПЛФ длиной, равной длине отсоединенного провода. Надеть на один конец отрезанного провода линоксилиновую или поливинилхлоридную трубку длиной 10—15 мм для маркировки вывода. На этом же конце снять изоляцию с провода, зачистить токопроводящую жилу и залудить. При площади сечения провода 6 мм ² и более установить наконечник, обжать и пропаять припоем ПОС-30. При меньшей площади сечения провода залуженную часть скрутить в петлю и пропаять припоем ПОС-30. Зачистить второй конец выводного провода на длине 30—40 мм. Пропустить выводной провод через отверстия в коробке выводов и станины и надеть на него линоксилиновую или поливинилхлоридную трубку снять изоляцию с провода, зачистить токопроводящую жилу и залудить. Зачистить вывод катушечной группы и соединить скруткой с выводным проводом. Место соединения пропаять. Надвинуть трубку на место соединения. Забандажировать при помощи специального шила лобовую часть обмотки стеклянной лентой или стекло-чулком через один паз. Покрыть бандажи лаком воздушной сушки (БТ-89 или др.) и просушить на воздухе в течение 3 часов

Окончание табл. 13.17

Износы и повреждения	Последовательность выполнения работ
Увлажнение изоляции обмотки статора или фазного ротора	Просушить статор или фазный ротор. Сушке подлежат обмотки статора и фазного ротора, имеющие сопротивление изоляции менее 0,5 МОм при 20 °С. Обмотки статора или фазного ротора подлежат капитальному ремонту, если после сушки сопротивление изоляции составляет менее 0,5 МОм при 20 °С.
Щеточный механизм	
Излом пружины щеткодержателя	Заменить пружину
Ослабление нажатия пружины щеткодержателей.	Пружины подлежат замене, если их нажатие на щетки меньше допустимого значения, табл. 13.21.
Кожух вентилятора и контактных колец	
Вмятины на кожухе вентилятора или контактных колец	Снять кожух и отрихтовать его.
Трещины и разрывы на кожухе	Заварить трещины

Таблица 13.18. Номинальные, допустимые при текущем ремонте и предельные значения радиального зазора подшипников электродвигателей

Номер подшипника	Тип электродвигателя	Частота вращения, об/мин	Радиальный зазор, мм		
			номинальный	допустимый	предельный
6-180501	4AA56	Все частоты вращения	0,003—0,018	0,03	0,04
	4AA63	3000		0,04	0,05
		1500, 1000		0,03	0,04
6-180502	4A71	3000	0,003—0,018	0,07	0,08
		1500—750		0,03	0,04
6-180604	4A80, 4A90	3000	0,005—0,020	0,07	0,08
6-180-605	4A80, 4A90	1500—750	0,005—0,020	0,03	0,04
6-180606	4A100	3000	0,005—0,020	0,07	0,08
		1500—750		0,04	0,05
6-180607	4A112	3000	0,006—0,023	0,09	0,10
		1500—750		0,04	0,05
6-180609	4A132	3000	0,006—0,023	0,09	0,10
		1500—750		0,07	0,08
6-310	4A160	3000	0,006—0,023	0,09	0,10
		1500—750		0,07	0,08
6-312	4A180	3000	0,008—0,028	0,10	0,11
		1500—750		0,08	0,09
6-313	4A200	3000	0,008—0,028	0,10	0,11
		1500—750		0,08	0,09

Окончание табл. 13.18

Номер подшипника	Тип электродвигателя	Частота вращения, об/мин	Радиальный зазор, мм		
			номинальный	допустимый	предельный
6-314	4A225	3000	0,008—0,028	0,12	0,13
		1500—750		0,10	0,11
6-317	4A250	3000	0,012—0,036	0,12	0,13
	4A280	1500—750		0,10	0,11
70-319	4A315, 4АН315	Все частоты вращения	0,012—0,036	0,14	0,15
70-322	4A355, 4АН355		0,012—0,036	0,14	0,15
6-2310	4A160	3000	0,020—0,055	0,09	0,10
		1500—750		0,07	0,08
6-2312	4A180	3000	0,025—0,065	0,10	0,11
		1500—750		0,08	0,09
6-2313	4A200	3000	0,025—0,065	0,10	0,11
		1500—750		0,08	0,09
6-2314	4A225	3000	0,025—0,065	0,12	0,13
		1500—750		0,10	0,11
6-2317	4A250	3000	0,030—0,070	0,12	0,13
	4A280	1500—750		0,10	0,11
0-2319	4A315	Все частоты вращения	0,035—0,080	0,14	0,15
0-2322	4A355		0,035—0,080	0,14	0,15
308	АК, 5 габарит		3000	0,006—0,023	0,06
	АК, 6 габарит	0,08			0,09
310	АК, 6 габарит	1500, 1000, 750	0,006—0,023	0,06	0,07
	АК, 7 габарит	3000		0,09	0,10
312	АК, 7 габарит	1500, 1000, 750	0,008—0,028	0,09	0,10
	АК, 8 габарит	3000		0,10	0,12

Таблица 13.19. Номинальные и допустимые значения диаметра контактных колец

Тип электродвигателя	Диаметр контактного кольца, мм	
	номинальный	допустимый
АК, габарит 5	73	68,0
АОК2, габарит 4 и 5		
АК, АОК2, габарит 6	80	75,0
АК, габарит 7	120	110,80
АК, габарит 8	122	112,80
АОК2, габарит 7 и 8	84	74,0

Таблица 13.20. Номинальные и допустимые значения диаметров посадочных мест под подшипники на валах электродвигателей

Тип электродвигателя	Частота вращения, об/мин	Диаметр посадочного места под подшипники, мм	
		номинальный	допустимый
4AA56	Все частоты вращения	12±0,006	11,99
4AA63		15±0,006	14,99
4A71		20+0,017/+0,002	19,99
4A80, 4A90		25+0,017/+0,002	24,99
4A100		30+0,017/+0,002	29,99
4A112	3000	35+0,020/+0,003	34,98
	1500		34,99
	1000		
	750		
4A132	3000	45+0,020/+0,003	44,98
	1500		44,99
	1000		
	750		
4A160	3000	50+0,020/+0,003	49,98
	1500		49,99
	1000		
	750		
4A180	3000	60+0,023/+0,003	59,98
	1500		59,99
	1000		
	750		
4A200	3000	65+0,023/+0,003	64,98
	1500		64,99
	1000		
	750		
4A225	3000	70+0,023/+0,003	69,98
	1500		69,99
	1000		
	750		
4A250, 4A280	Все частоты вращения	85+0,026/+0,003	84,98
4A315, 4A315		95+0,026/+0,003	94,98
4A355, 4A355		110+0,026/+0,003	109,98

Окончание табл. 13.20

Тип электродвигателя	Частота вращения, об/мин	Диаметр посадочного места под подшипники, мм	
		номинальный	допустимый
Электродвигатели серии АК			
3 габарит	Все частоты вращения	20+0,017/+0,002	19,99
4 габарит	3000	30+0,017/+0,002	29,98
	1500		
	1000		
5 габарит	Все частоты вращения	40+0,020/+0,003	39,98
6 габарит		50+0,020/+0,003	49,98
7 габарит		60+0,020/+0,003	59,98
8 габарит	3000	70+0,023/+0,003	69,97
	1500		69,98
	1000		
	7500		
9 габарит	3000	85+0,023/+0,003	84,97
	1000		84,98
	750		

Таблица 13.21. Номинальные и допустимые значения нажатия пружин щеткодержателей электродвигателей АК, АОК2

Габарит электродвигателя	Нажатие пружины			
	номинальное		допустимое	
	кГс	Н	кГс	Н
4	2,0—2,5	19,6—24,5	1,7	16,7
5	3,2—4,0	31,4—39,2	2,5	24,5
6	3,6—4,14	35,3—40,6	2,5	24,5
7, 8, 9	6,25—7,81	61,3—76,5	5,5	54

Ремонт станины статора. При износе или срыве резьбы в отверстиях под болты крепления подшипниковых щитов и в отверстиях под болты или винты крепления кожуха вентилятора рассверливают отверстие с поврежденной резьбой до диаметра, необходимого для нарезания резьбы ремонтного размера, в отверстии метчиком нарезают новую резьбу. При нарезании метчик смазывают вареным маслом или салом.

Диаметр сверла и размер метчика при нарезании резьбы определяют, руководствуясь данными табл. 13.22.

Таблица 13.22. Данные по выбору сверл и метчиков

Поврежденная резьба	Диаметр сверла для рассверливания отверстия с поврежденной резьбой	Размер метчиков для нарезания новой резьбы
M5x0,8	5,2	M6x0,8
	5,0	M6x1,0
M6x1,0	7,0	M8x1,0
	6,7	M8x1,25
M8x1,25	8,7	M10x1,25
	8,5	M10x1,5
M10x1,5	10,5	M12x1,5
	10,2	M12x1,75
M12x1,75	12,2	M14x1,75
	11,9	M14x2,0
M14x2,0	14,0	M16x2,0
M16x2,0	16,2	M18x2,0
	15,4	M18x2,5
	17,2	M20x2,5
M18x2,5	18,0	M20x2,5
	19,2	M22x2,5
M20x2,5	20,0	M22x2,5
	20,1	M24x3,0
M22x2,5	22,0	M24x2,5
	20,9	M24x3,0
	23,9	M27x3,0

При рассверливании отверстий в верхней части станины следят, чтобы металлические стружки не попадали на обмотку.

При рассверливании и нарезании резьбы ремонтного размера в отверстиях под болт крепления подшипникового щита диаметр отверстия в ушке щита должен быть на 1 мм больше диаметра болта с ремонтной резьбой.

Проверка и замена подшипников. Для определения радиального зазора подшипников без съема с вала разработано приспособление для контроля подшипников КИ-6178. С помощью этого приспособления можно контролировать состояние подшипников электродвигателей с короткозамкнутыми и фазными роторами.

Приспособление (рис. 13.46) состоит из основания 2, вертикальной стойки 3, ползуна 4 с зажимом фиксации горизонтальной стойки 5, индикатора часового типа 6 и устройства для крепления приспособления на валах электродвигателей с фазным ротором, состоящим из призмы 7, регулируемого зажима 8 и винта крепления 9.

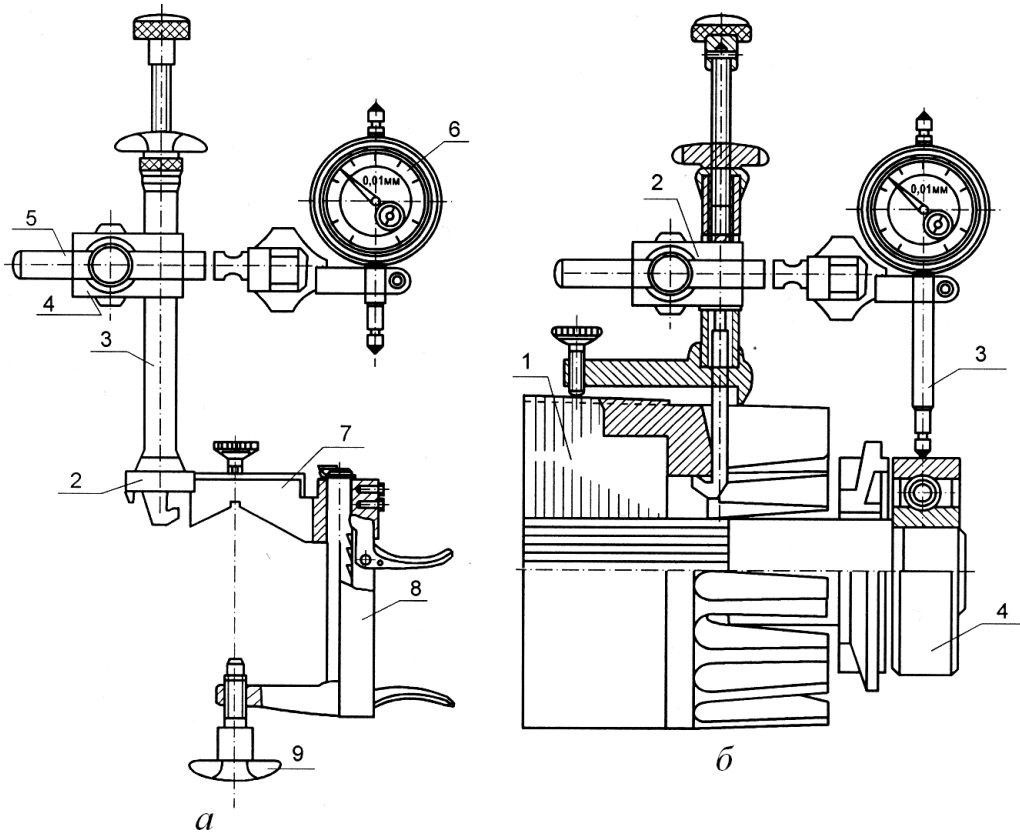


Рис. 13.46. Приспособление для измерения радиального зазора в подшипниках электрических машин без съема с вала: *а* — конструкция приспособления: 1 — захват; 2 — основание; 3 — вертикальная стойка; 4 — ползун; 5 — горизонтальная стойка; 6 — индикатор; 7 — призма; 8 — регулируемый зажим; 9 — винт крепления; *б* — крепление приспособления на роторе короткозамкнутого электродвигателя: 1 — ротор; 2 — ползун; 3 — стойка индикатора; 4 — контролируемый подшипник.

Для измерения зазора индикатор устанавливают таким образом, чтобы его ножка упиралась в наружное кольцо подшипника и была перпендикулярна к его образующей. Подшипник перемещают в направлении оси индикатора вверх и вниз до упора. Разность показаний индикатора при нижнем и верхнем положении наружного кольца подшипника соответствует зазору в подшипнике.

Подлежащие замене подшипники снимают с вала, используя специальные съемники. Наиболее удобен универсальный съемник со сменной вставкой. На рис. 13.47 показаны конструкции съемников для съема подшипников с валов электродвигателей.

После съема подшипника посадочное место на валу ротора протирают обтирочным материалом, смоченным в бензине, и микрометром измеряют диаметр вала в месте посадки подшипника. Если посадочное место не изношено, на вал напрессовывают новый подшипник.

Подшипник, предназначенный для установки на место выбраванного, промывают в бензине с добавкой 10 % автoла или дизельного масла до полно-

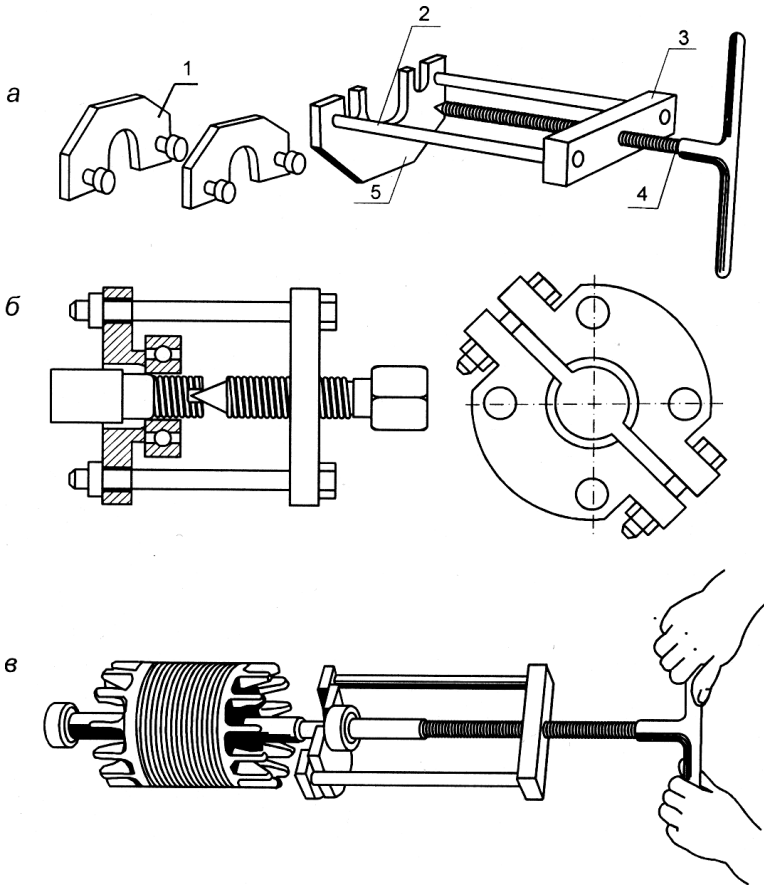


Рис. 13.47. Съемники для съема подшипников с вала электродвигателя: *а* — универсальный съемник со сменной вставкой: 1 — вставка; 2 — тяга; 3 — поперечина; 4 — ходовой винт с рукояткой; 5 — упорная планка; *б* — съемник с разъемным захватом; *в* — съем подшипника с вала универсальным съемником

го удаления консервационной смазки. Затем подшипник нагревают в масляной ванне до температуры 80°C . Нагретый подшипник напрессовывают на вал легкими ударами молотка по цилиндрической наставке, упирающейся во внутреннюю обойму подшипника. После напрессовки проверяют легкость вращения наружного кольца подшипника. Кольцо должно вращаться без заметного торможения и заедания.

Ремонт щеточного механизма. При изломе, наличии трещин или ослаблении пружины щеткодержателей их заменяют новыми. Порядок операций по замене пружин зависит от конструкции щеточного устройства. При замене пружин электродвигателей типа АК и АОК2 4-го и 5-го габаритов (рис. 13.48*а*) поднимают конец пружины, упирающейся в торец щетки, выводят его в сторону за щеткодержатель и опускают. Затем вынимают второй конец пружины из паза оси. Новую пружину устанавливают в обратном порядке.

У электродвигателей типа АК 6, 7, 8-го габаритов (рис. 13.48*б*) для замены пружины открывают курок щеткодержателя, вынимают щетку, опускают курок и снимают поврежденную пружину. Крючки новой пружины продевают в

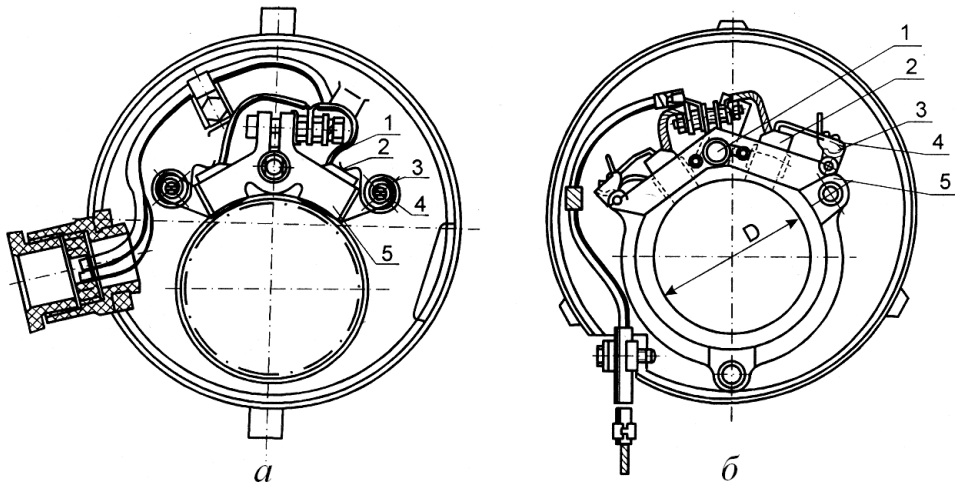


Рис. 13.48. Узел щеточного механизма электродвигателей с фазным ротором: *а* — электродвигателей АК и АОК2 4 и 5 габаритов: 1 — проводник; 2 — щетка; 3 — пружина; 4 — ось; 5 — щеткодержатель; *б* — электродвигатели АК 6, 7, 8 габаритов: 1 — ось; 2 — щетка; 3 — пружина; 4 — курок; 5 — щеткодержатель

петли на корпусе и курке щеткодержателя, вставляют щетку в обойму и закрывают курок.

Для съема пружины у электродвигателей АОК 6, 7, 8-го габаритов пинцетом извлекают крючок пружины из отверстия щеткодержателя и ослабляют пружину. Затем отводят щеткодержатель от контактного кольца и снимают вторую конец пружины со шпильки. Новую пружину устанавливают в обратном порядке.

После установки динамометром измеряют натяжение пружины. Измерение натяжения пружин электродвигателей типа АК 6, 7 и 8-го габаритов показано на рис. 13.49.

При измерении натяжения под щетку подкладывают лист писчей или папиросной бумаги, за курки или пружины щеткодержателя (в зависимости от

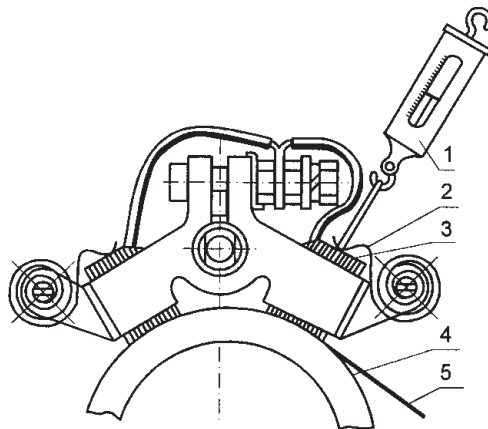


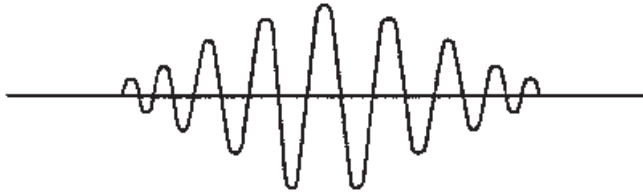
Рис. 13.49. Измерение величины нажатия щеток электродвигателей с фазным ротором: 1 — динамометр; 2 — пружина; 3 — щетка; 4 — контактное кольцо; 5 — бумажная полоска

конструкции щеточного устройства) цепляют крюк динамометра таким образом, чтобы продольная ось динамометра совпадала с осью щетки или была параллельна ей, и, прилагая одновременно усилие к динамометру и бумаге, отсчитывают показание на шкале динамометра в момент начала движения бумаги.

После замены щетки проверяют легкость ее перемещения в обойме и измеряют зазор между щеткой и щеткодержателем. Щетка должна свободно перемещаться в щеткодержателе. Щупами проверяют зазор между щеткой и обоймой, он не должен превышать 0,3 мм.

Новую щетку притирают к контактному кольцу, положив на поверхность кольца шлифовальную шкурку рабочей поверхностью в сторону щетки и обеспечив нормальное давление щетки на кольцо пружиной щеткодержателя. Поворачивая вал электродвигателя на пол-оборота вперед и назад, притирают щетку до тех пор, пока она не будет прилегать к кольцу всей рабочей поверхностью.

После притирания щеток узел контактных колец и щеточное устройство продувают от графитовой пыли сжатым воздухом и прирабатывают щетки к поверхности контактных колец при работе электродвигателя вхолостую в течение 3—4 часов. Поверхность притертых щеток должна быть блестящей.



Глава четырнадцатая

АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ



Пускорегулировочные и защитные аппараты применяют для управления электроустановками (включение, отключение, изменение направления и частоты вращения электродвигателей и т. д.) и их защиты (от перегрузок, коротких замыканий и т. п.). Промышленностью выпускаются различные по назначению и конструкции аппараты управления и защиты.

Для управления электроустановками небольшой мощности широко используются автоматические выключатели, пакетные выключатели и переключатели.

Для управления электроустановками большой мощности, и дистанционного управления, используются магнитные пускатели и контакторы.

Для защиты электроустановок служат предохранители, автоматические выключатели и пускатели.

14.1. Рубильники и переключатели

Рубильники и переключатели служат для ручного (неавтоматического) замыкания и размыкания электрических цепей напряжением 380/220 В и ниже.

В настоящее время рубильники и переключатели в чистом виде имеют очень ограниченное применение. Широкое применение рубильники получили в составе силовых щитов, силовых сборок, ящиков распределительных, ящиков силовых.

В процессе эксплуатации рубильников периодически проверяют состояние их контактов. Если рубильник в течение смены включается и выключается 1—2 раза, то его контакты самозачищаются и зачищать их не следует. Когда же рубильник находится во включенном положении больше 8 ч, то может произойти окисление контактов. Пленка окисла увеличивает переходное сопротивление контактов, что может привести их к перегреву. Особенно быстро окисляются контакты при длительной перегрузке рубильника.

Для восстановления контакта необходимо сразу же после окончания перегрузки или при первой возможности снять нагрузку и несколько раз включить и выключить рубильник.

Когда рубильником приходится часто отключать ток под нагрузкой, могут обгореть контактные поверхности ножей и губок. Необходимо не реже одного раза в три месяца осматривать контакты рубильника и зачищать личным напильником контактные поверхности. После зачистки поверхность нужно протереть бензином.

14.2. Предохранители

Одним из простейших устройств, используемых для защиты электроустановок, является предохранитель. Предохранители предназначены для защиты электроустановок от токов короткого замыкания. Защищающим элементом предохранителя является плавкая вставка. Для плавких вставок используется цинк, алюминий, свинец, сплав свинца с оловом, серебро, медь, и некоторые другие металлы.

Вставки из легкоплавких металлов (свинец, цинк, сплав олова, алюминий) менее практичны и долговечны, чем тугоплавкие, изготовленные из меди или серебра.

Трубчатые предохранители. Предохранители ПН-2 (рис. 14.1) состоят из фарфорового корпуса 1, заполненного мелкозернистым кварцевым песком 3, в котором расположены пластинчатые плавкие элементы 4. От соответствующего набора этих элементов зависит номинальный ток плавкой вставки предохранителя. Плавкие элементы привариваются к диску, который крепится к крышкам 5. Электрический контакт предохранителя с контролируемой цепью осуществляется через контактные ножи 2 и контактные стойки 6. Кварцевый песок, заполняющий корпус предохранителя, способствует ускоренному гашению электрической дуги, возникающей при перегорании плавкой вставки.

В предохранителях ПН-2 плавкие вставки состоят из одной или нескольких медных ленточек. В центре каждой ленточки элемента наплавлен оловянный

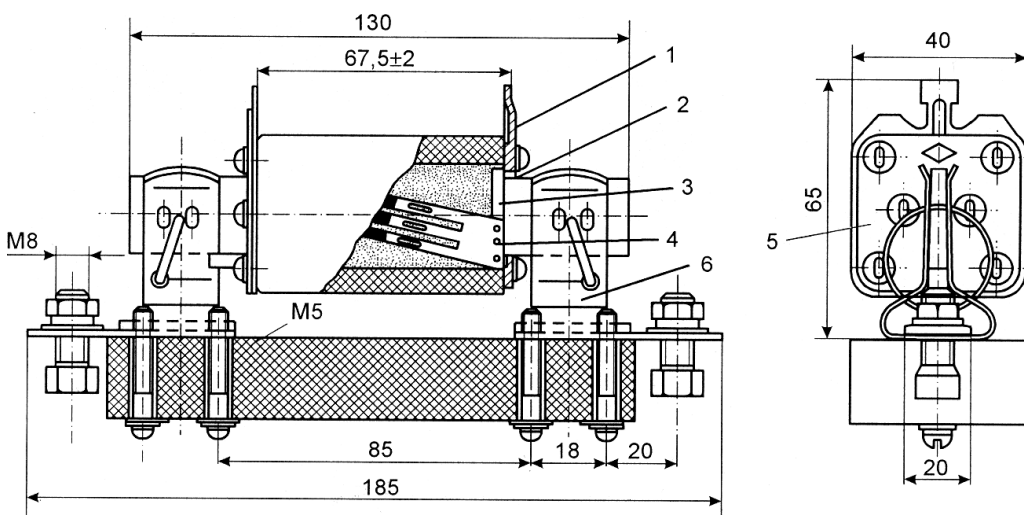


Рис. 14.1. Предохранитель ПН-2

ный шарик (растворитель), по обеим сторонам которого выштампованы отверстия для создания перешейков. При коротком замыкании в защищаемой цепи они представляют значительное сопротивление, способствующее ограничению величины тока и уменьшению времени отключения его.

Перешейки, обладающие большим сопротивлением, нагреваются сильнее, чем вставки. Поэтому дуга возникает прежде всего на перешейках, а не на всей длине вставки. Такая последовательность срабатывания предохранителя уменьшает нагрев патрона. При больших перегрузках температура перешейков почти уравнивается с температурой всей вставки благодаря активному оттоку тепла в наполнитель. В связи с этим перешейки не сокращают времени действия предохранителя.

При токах близких к номинальному току плавкой вставки, она нагревается до температуры 850—900 °С, что приводит к перегреву контактов и корпуса предохранителя. Этот недостаток медных вставок в наполненных закрытых предохранителях устраняется с помощью так называемого металлургического эффекта. Наплавленный на середину вставки оловянный шарик, при нагреве вставки до температуры 232 °С расплавляется и начинает растворять в себе более тугоплавкий металл — медь, имеющую температуру плавления 1080 °С. благодаря этому явлению вставка в том месте, где находился шарик, перегорает, а появившаяся дуга расплавляет затем вставку и гасится наполнителем (кварцевым песком).

Время срабатывания предохранителя зависит главным образом от величины тока, проходящего через плавкую вставку. Кроме того, на процесс перегорания вставки (плавление ее, горение и гашение образовавшейся на месте вставки дуги) влияет ряд других обстоятельств: температура окружающей среды, значение тока предшествующего режима, а так же естественный износ (старение) предохранителя.

Поскольку нет строгой зависимости времени срабатывания предохранителя от величины протекающего по его вставке тока, то она обычно выражается в виде области возможных значений времени срабатывания с учетом ожидаемого разброса. Определяемые по таким характеристикам параметры срабатывания могут иметь отклонения $\pm 10\%$ по току и $\pm 25\%$ по времени.

На рис. 14.2, в качестве примера, приведена нагрузочная, амперсекундная характеристика предохранителя ПН-2 наглядно показывающая зависимость времени перегорания вставки от тока, который по ней протекает

В соответствии с действующими стандартами, предохранители каждого типа выпускаются на различные номинальные токи. Различие в исполнениях таких предохранителей состоит в размерах патронов, контактных поверхностей, а также в количестве наполнителя. Предохранитель может быть заряжен плавкой вставкой, номинальный ток которой не превышает номинальный ток предохранителя. Например, предохранитель ПН-2-100 по тепловому режиму рассчитан на зарядку его плавкой вставкой, имеющей номинальный ток 30, 40, 60, 80 или 100 А.

На рис. 14.3 показано устройство предохранителя ПНП. Патрон предохранителя состоит из стеклянной трубки, армированной по концам медными колпачками. Плавкая вставка, впаянная в эти колпачки, состоит из нескольких медных проволочек с оловянным шариком посередине. Наружная цилиндри-

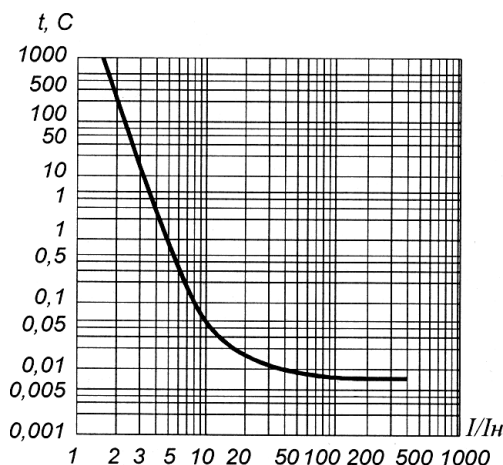


Рис. 14.2. Амперсекундная характеристика предохранителя ПН-2

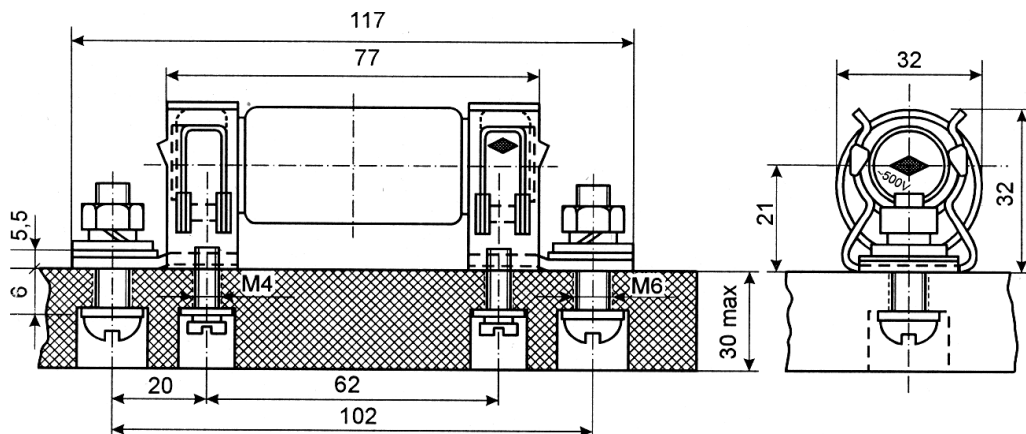


Рис. 14.3. Предохранитель НПН

дрическая поверхность колпачков служит для создания электрического контакта с контактными стойками, к зажимам которых присоединяется контролируемая цепь. Предохранители типа НПН перезарядке не подлежат и после срабатывания должны быть заменены новыми.

Предохранители установочные с винтовой резьбой. Предохранитель ПРС (рис. 14.4) обычно применяют в том случае, когда надо иметь небольшие размеры распределительного устройства и возможность быстрой смены сгоревшей плавкой вставки. В контролируемую сеть предохранитель включается зажимами 1 и 8. Зажим 8 связан с контактной гильзой 6, имеющей резьбовое соединение с контактной съемной головкой 3. Плавкая вставка 5 находится в фарфоровом цилиндре 4, заполненном кварцевым песком. Вставка присоединена к контактным колпачкам, укрепленным на торцах цилиндра.

Ток от зажима 8 к зажиму 1 проходит через контактную гильзу 6, через верхний колпачок цилиндра 4, далее по плавкой вставке 5 и через нижний колпачок к винту 7, связанному с зажимом 1. Предохранитель ПРС снабжен

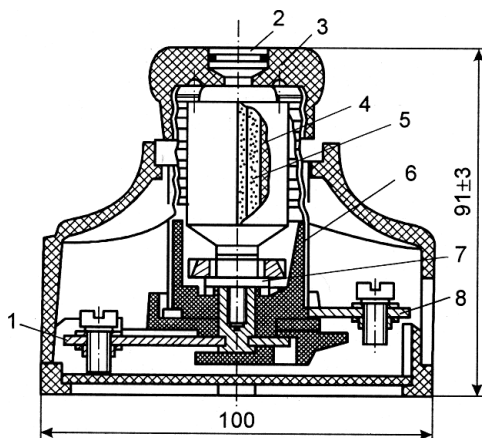


Рис. 14.4. Предохранитель ПРС:

устройством, которое сигнализирует о перегорании вставки. Для перезарядки предохранителя надо заменить цилиндр 4 вместе со сгоревшей плавкой ставкой и сигнализирующим устройством на новый цилиндр.

В табл. 14.1 приведены характеристики некоторых типов предохранителей

Таблица 14.1. Предохранители до 500 В переменного тока

Тип	Номинальный ток патрона, А	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток плавкой вставки, А
<i>Трубчатые</i>			
НПН2-60	60	500	15, 20, 25, 35, 45, 60
ППТ-10	10	250	4, 6, 10
ПН2-100/II	100	500	30, 40, 50, 60, 80, 100
ПН2-250/II	250	500	80, 100, 120, 150, 200, 250
ПН2-400/II	400	500	200, 250, 300, 400
ПН2-600/II	600	500	300, 400, 500, 600
ПНБ3-100	100	380 В в сетях переменного тока, 400 В в сетях постоянного тока	63, 100
ПНБ3-150	150		150
ПНБ3-200	200		200
ПНБ3-300	300		250, 300
ПНБ3-500	500		400, 500
<i>Установочные с винтовой резьбой</i>			
ПДС-1	6	380 В в сетях переменного тока	1, 2, 4, 6
ПДС-2	20		10, 15, 20
ПДС-3	60		25, 35, 60
ПДС-4	125		80, 100, 125

Окончание табл. 14.1

Тип	Номинальный ток патрона, А	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток плавкой вставки, А
ПДС-5	225		160, 200, 225
ПДС-6	350		260, 300, 350
ПДС-7	600		430, 500, 600
ПЦУ-6	6		1, 2, 4, 6
ПРС-6	6		1, 2, 4, 6
ПРС-20	20		10, 16, 20
ПРС-63	63		25, 40, 63
ПРС-100	100		80, 100
Ц-14	10		2, 4, 6, 10
Ц-27	20		5, 10, 16, 25, 32
Ц-33	60		10, 15, 20, 30, 40, 60

14.3. Реле

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

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

Широкое применение реле обуславливает разнообразие их типов и конструкций. Прежде всего, реле различают в зависимости от физических явлений, определяющих принцип их действия. С этой точки зрения реле разделяют на электрические (электромагнитные, индукционные, электротепловые и многие другие), механические (деформационные, инерционные и т. п.), оптические и т. п.

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

Реле классифицируются также в зависимости от ряда других признаков, например характера изменения (увеличения, уменьшения) физической величины, конкретных функций и т. д. Если реле срабатывает при возрастании со-

ответствующей электрической величины, его называют максимальным, если же срабатывание происходит при убывании этой величины — минимальным.

Исторически название «реле» было впервые отнесено к электромагнитным реле. Рассмотрим, как устроено электромагнитное реле, рис. 14.5. Пусть, например, задано условие: переключение в управляемой цепи должно происходить при замыкании контактов 6 и 7, рис. 14.6. Эти контакты замкнутся, если в сердечнике 2 возрастет магнитный поток до значения, при котором ферромагнитный якорь 4, преодолев удерживающее действие пружины 5, притянется к сердечнику (ярмо 3 служит для усиления магнитного потока). Магнитный поток в сердечнике 2 может возрасти лишь при увеличении силы тока в обмотке 1. Таким образом, чтобы с помощью реле осуществить переключение в управляемой цепи, нужно увеличить силу тока в обмотке реле, которая с помощью зажимов 8 присоединена к управляющей цепи.

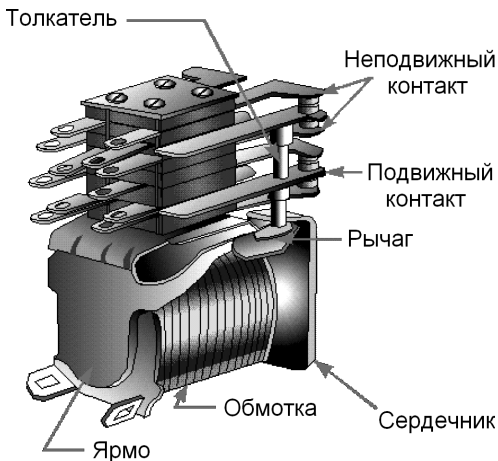


Рис. 14.5. Электромагнитное реле

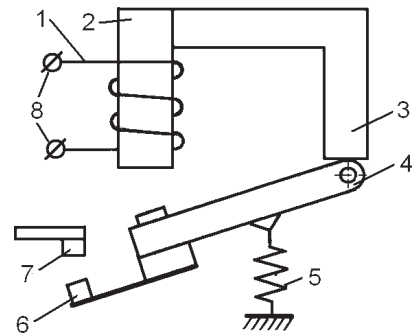


Рис. 14.6. Схема электромагнитного реле: 1 — обмотка; 2 — сердечник; 3 — ярмо; 4 — якорь; 5 — возвратная пружина; 6 — подвижный контакт; 7 — контакт управляемой цепи; 8 — зажимы для присоединения к управляемой цепи

Для защиты электрических установок от перегрева при длительных, но не больших токовых перегрузках применяют электротепловые реле. Принцип действия электротеплового реле (рис. 14.7) заключается в следующем. Прохождение по нагревательному элементу 2 электрического тока, превышающего установленное значение, приводит к более значительному нагреванию биметаллической пластины 1. Вследствие этого пластина изгибается и занимает положение 3. При таком положении пластина не препятствует рычагу 4, который под действием пружины 7 поворачивается и размыкает контакты 5 и 6. Размыкание контактов приводит к отключению цепи, которую защищает реле, от источника тока.

Электротепловые реле срабатывают через некоторое время после превышения номинального тока. При коротких замыканиях электротепловое реле не может мгновенно отключить электрическую цепь. Время срабатывания

электротепловых реле, применяемых в электроустановках, устанавливается от 3 до 20 с.

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

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

Реле подразделяются на первичные, вторичные и промежуточные. Воспринимающий орган первичного реле включают непосредственно в цепь управления электроустановкой или ее частью. В цепь, по которой протекает большой ток, реле включают через трансформатор тока. Такие реле называют вторичными. Реле, работающие от исполнительных органов других реле, называются промежуточными.

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

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

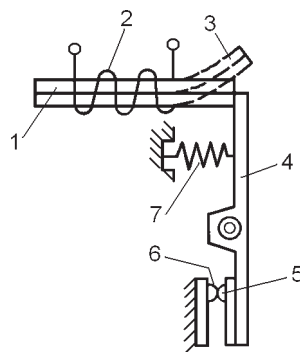


Рис. 14.7. Схема действия электротеплового реле: 1 — биметаллическая пластина в рабочем положении; 2 — нагревательный элемент; 3 — биметаллическая пластина после изгибания; 4 — рычаг; 5 — подвижный контакт; 6 — неподвижный контакт; 7 — пружина

14.4. Автоматические выключатели (автоматы)

Автоматические выключатели предназначены для защиты электрических установок от недопустимых перегрузок и токов короткого замыкания, а также для нечастой коммутации при нормальных условиях работы.

По принципу действия автоматический воздушный выключатель (автомат) представляет собой первичное реле прямого действия, рис. 14.8. За счет усилия F_n , создаваемого пружиной 2, автомат удерживается во включенном состоянии защелкой 1. Ток защищаемого участка, протекая по обмотке электромагнита 4, создает усилие F_3 , которое стремится притянуть якорь 3 к электромагниту. Если ток в обмотке электромагнита достигает значения, при котором усилие F_3 становится больше силы F_n , то якорь 3, притянувшись к

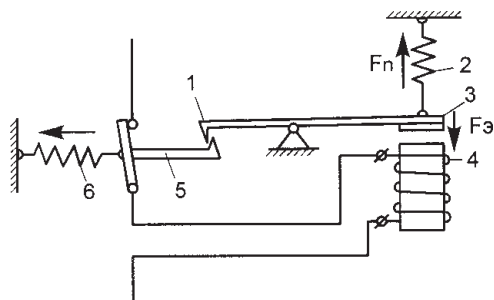


Рис. 14.8. Принципиальная схема работы автомата

электромагниту, повернет защелку и освободит рычаг 5. Под действием пружины 6 произойдет размыкание контактов.

Устройство, воздействующее на защелку автомата, называется расцепителем. В зависимости от исполнения автомат может быть укомплектован одним или несколькими типами расцепителей: электромагнитными, тепловыми, дистанционным, нулевым или комбинированными (тепловой с электромагнитным).

Контактная система автоматов снабжена дугогасительными камерами и рассчитана на отключение достаточно больших токов. Поэтому автоматы используются не только для коммутации электрической цепи в нормальных режимах, но и для защиты электроустановок при перегрузках и коротких замыканиях.

Применение автоматических выключателей вместо плавких предохранителей дает следующие преимущества. Во-первых, устраняется возможность работы электродвигателя в неполнофазном режиме, так как при перегрузках и коротких замыканиях отключаются сразу три фазы. Во-вторых, значительно снижаются простои электрооборудования, так как на включение сработавшего автомата требуется меньше времени, чем на замену перегоревшего предохранителя. И, наконец, в третьих, время-токовые характеристики защиты от перегрузок автоматов более соответствуют защищаемому электрооборудованию, чем время-токовые характеристики предохранителей.

Наибольшее распространение в электроустановках получили автоматы серий АЗ100, АП50 и АК63. В помещения с нормальными условиями среды (сухие отапливаемые, сухие не отапливаемые) указанные типы автоматических выключателей защищенного исполнения устанавливаются без дополнительных защитных устройств. Автоматы открытого исполнения должны устанавливаться в шкафах и ящиках. В сырых и особо сырых помещениях с влажностью 100 % должны применяться автоматы защищенного исполнения, а при наличии в воздухе еще и примесей аммиака — автоматы тропического исполнения.

В паспортных данных каждого типа автомата указывается значение его номинального тока, т. е. такого тока, при котором автомат может работать в течение неограниченного времени, приводятся данные о тепловых расцепителях, которыми комплектуется автомат, а также номинальный ток этих расцепителей. За номинальный ток теплового расцепителя принимается такой ток, длительное протекание которого не вызывает срабатывания расцепителя.

Если автомат снабжен электромагнитным расцепителем, настроенным в заводских условиях на определенный ток срабатывания, то в паспорте указывается также и этот ток — ток уставки расцепителя, т. е. такой наименьший ток, который протекая по катушке расцепителя, заставляет его срабатывать. В соответствии с заводской настройкой в паспортах обычно приводятся кратности тока уставки электромагнитных расцепителей по отношению к соответствующему номинальному току расцепителя.

Автоматы серии А3160 комплектуются тепловыми расцепителями с зависимой амперсекундной характеристикой: чем больший ток протекает через тепловой элемент, тем меньшее время будет находиться под повышенным током защищаемый элемент. Тепловые расцепители этой серии настраиваются так, чтобы при кратности тока 1,35 по отношению к номинальному току расцепителя тепловой элемент сработал в течение 2 ч. При больших кратностях время срабатывания соответственно уменьшается.

Автоматы А3110 и А3120 могут быть укомплектованы или электромагнитным расцепителем, срабатывающим без выдержки времени, или комбинированным, состоящим из теплового и электромагнитного элементов. Автомат с комбинированным расцепителем отключает с выдержкой времени токи перегрузок (при помощи теплового элемента), а токи коротких замыканий — без выдержки времени, с помощью электромагнитного элемента. Это позволяет широко использовать автоматы с такими расцепителями для защиты электродвигателей.

Автоматы каждого типа (А3110, А3120, А3160) имеют разные исполнения и по числу полюсов. Так, автоматы типа А3160 исполняются однополюсными (А3161), двухполюсными (А3162) и трехполюсными (А3163). Автоматы типа А3110 и А3120 выпускаются только в двухполюсном (А3113, А3123) или трехполюсном (А3114, А3124) исполнениях. Таким образом, в зависимости от исполнения автоматы даже одного типа могут иметь различную маркировку. Например, маркировка АП50-3Т означает, что автомат трехполюсный и снабжен тремя тепловыми расцепителями; АП50-2М3ТН — автомат укомплектован двумя электромагнитными расцепителями, тремя тепловыми расцепителями и одним расцепителем минимального напряжения.

Расцепитель минимального напряжения отключает автомат при снижении напряжения на 50 % и ниже и разрешает включить его при напряжении сети не ниже 80 % от номинального. По специальному заказу автоматы исполняют с расцепителем дистанционного отключения \mathcal{D} или с максимальным расцепителем в нейтральном проводе 0. Автоматы без расцепителей обозначают АП50-2 или АП50-3 (соответственно двух- и трехполюсные).

Устройство автоматического выключателя А3100 показано на рис. 14.9. Автомат А3100 состоит из следующих основных узлов: кожуха (основания с крышкой), контактной системы, дугогасительной камеры, расцепителя максимального тока и механизма управления автоматом.

Все узлы автомата смонтированы на пластмассовом основании 14 и закрыты пластмассовой крышкой 15, которая винтами крепится к основанию. Основание автомата и его крышка имеют ребра, позволяющие сблизить между собой фазы и тем самым уменьшить габариты автомата.

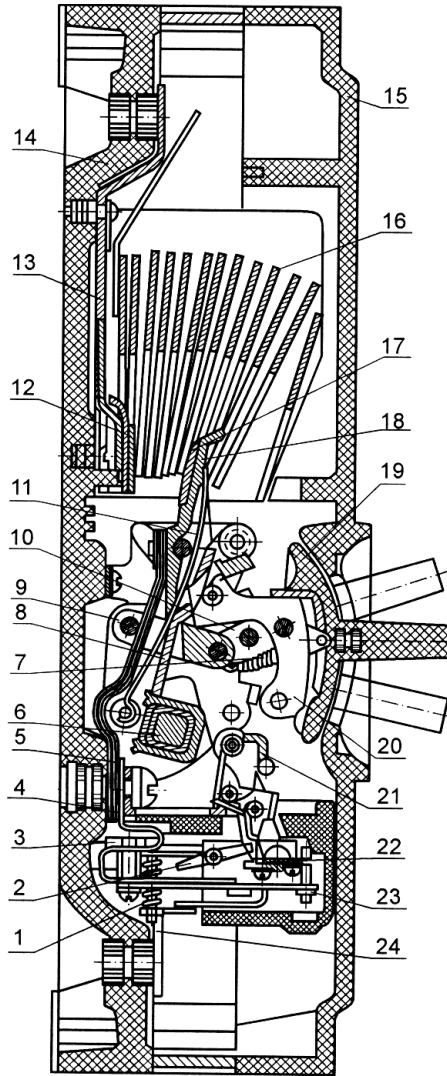


Рис. 14.9. Устройство автоматического выключателя АЗ100: 1 — возвратная пружина; 2 — якорь; 3 — сердечник; 4 — токопровод; 5 — гибкий токопровод; 6 — траверса; 7 — пружина; 8 — контактодержатель; 9 и 10 — рычаги; 11 — плоская пружина; 12 — неподвижный контакт; 13 — основание контакта; 14 — основание; 15 — крышка; 16 — пластины дугогасительной камеры; 17 — подвижный контакт; 18 — основание подвижного контакта; 19 — рукоятка; 20 — рычаг; 21 — собачка расцепителя; 22 — отключающая рейка; 23 — биметаллическая пластинка; 24 — токопровод

Контактная система автомата в каждой фазе содержит один неподвижный контакт 12 и один подвижный 17. Контакты изготовлены из металлокерамической композиции на основе серебра и прикреплены к медным основаниям 13 и 18. Основания подвижных контактов соединены гибким токопроводом 5 с расцепителем максимального тока. Пружина 11, опираясь на контактодержатель 8, обеспечивает надежное нажатие контактов. Движение от механизма управления к контактам передается посредством изолированной траверсы 6.

Дугогасительная камера набрана из стальных пластин 16, которые расположены над контактами каждой фазы.

Расцепитель максимального тока объединяет тепловой и электромагнитный элементы. Тепловой элемент представляет собой биметаллическую пластинку 23, по которой проходит нагревающий ее ток, и двух проводников (токопроводов) 4 и 24. Электромагнитный элемент состоит из сердечника 3, якоря 2 и возвратной пружины 1. Как тепловой, так и электромагнитный элементы воздействуют на механизм свободного расцепления посредством отключающей рейки 22.

Механизм управления предназначен для быстрого замыкания и размыкания контактов, независимо от скорости движения рукоятки (при ручном управлении). Он состоит из рукоятки 19, рычагов 9, 10, 20, зашелкивающей собачки 21 и пружины 7.

Наиболее широкое применение для пуска и защиты электродвигателей небольшой мощности получили автоматы серии АП50, рис. 14.10.

Корпус автомата выполнен из пластмассы и состоит из цоколя 2, на котором смонтированы все части автомата, и крышки 3, привинчиваемой винтами к цоколю. Кроме основного коммутирующего устройства, состоящего из неподвижных контактов 4, подвижных контактов 6 и дугогасительной камеры 5,

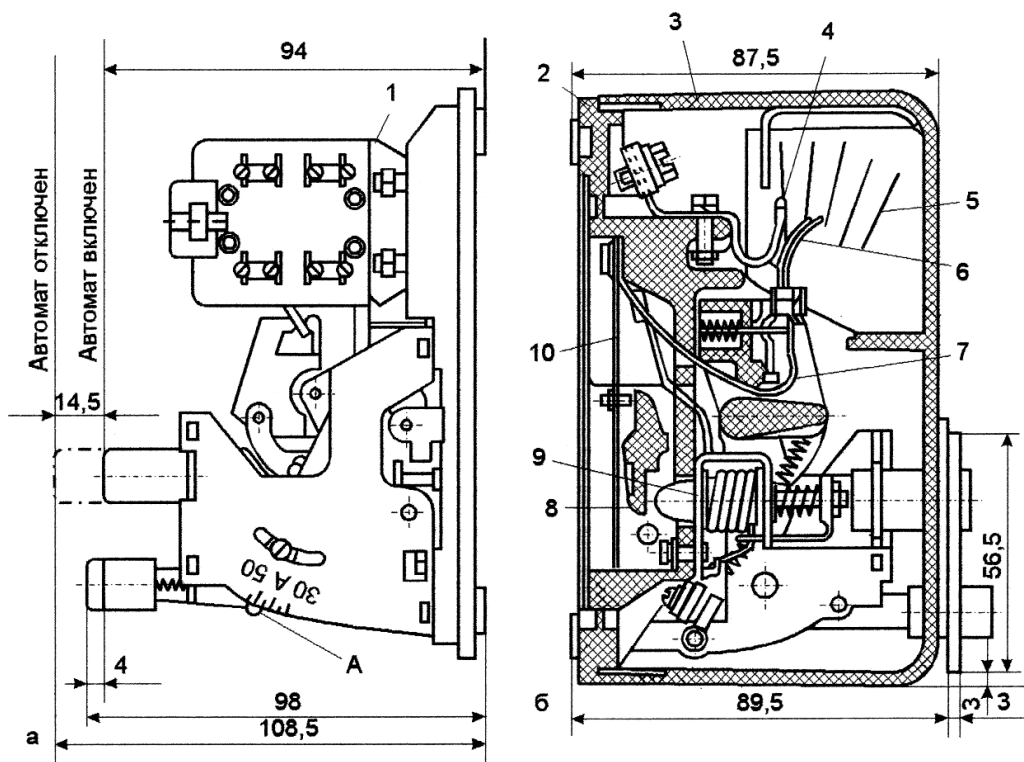


Рис. 14.10. Устройство автоматического выключателя АП50: а — вид сбоку, б — в разрезе: 1 — блок с дополнительными контактами; 2 — цоколь корпуса; 3 — крышка; 4 — неподвижные контакты; 5 — дугогасительная камера; 6 — подвижные контакты; 7 — гибкий проводник; 8 — отключающая рейка; 9 — электромагнитный расцепитель; 10 — тепловые расцепители

автомат снабжается дополнительным устройством *1* с блок контактами, которые используются в цепях управления. Гибкие связи *7* соединяют подвижные контакты *6* с тепловыми расцепителями *10*, которые в свою очередь соединены с электромагнитными расцепителями *9*.

Если в какой-либо фазе защищаемой цепи возникнет аварийный режим (перегрузка или короткое замыкание), срабатывает соответствующий расцепитель, поворачивая при этом отключающую рейку *8*, общую для всех полюсов. Под воздействием рейки срабатывает механизм свободного расцепления, представляющий собой систему рычагов и тяг, связанных с отключающей пружиной. При включении автомата эта пружина взводится и удерживается во взведенном состоянии. Если срабатывает расцепитель, то система рычагов, удерживающая раньше пружину, ломается и под действием освободившейся пружины автомат отключается (без вмешательства обслуживающего персонала), тем самым, отключая поврежденный участок от источника питания.

Номинальный ток тепловых расцепителей автоматов АП50 можно регулировать поводом *А* в сторону уменьшения на 35—40 %. Выбирая автомат для защиты электродвигателя необходимо иметь ввиду, что кратность срабатывания электромагнитного расцепителя должна быть не менее 6—8. Если это условие не выполнить и использовать для защиты короткозамкнутого электродвигателя автомат с кратностью тока срабатывания электромагнитного элемента 3—4, то при пуске двигатель будет отключен от сети.

14.5. Магнитные пускатели

Магнитные пускатели предназначены для дистанционного управления электродвигателями и другими электроустановками. Они обеспечивают нулевую защиту, т. е. при исчезновении напряжения или его снижении до 50—60 % от номинального, катушка не удерживает магнитную систему пускателя, и силовые контакты размыкаются. При восстановлении напряжения токоприемник остается отключенным. Это исключает возможность аварий, связанных с самопроизвольным пуском электродвигателя или другой электроустановки. Пускатели с тепловыми реле осуществляют также защиту электроустановки от длительных перегрузок.

Наибольшее распространение получили магнитные пускатели серий ПМЕ и ПАЕ. Пускатели серии ПМЕ могут быть использованы для управления электродвигателями мощностью от 0,27 до 10 кВт, а пускатели серии ПАЕ — для управления электродвигателями и другими электроустановками мощностью от 4 до 75 кВт.

Изготавливаются эти серии в открытом, защищенном, пылеводозащищенном и пылебрызгонепроницаемом исполнении на напряжение сети 220 и 380 В. Они могут быть реверсивными и нереверсивными. Реверсивные пускатели наряду с пуском, остановом и защитой электродвигателя изменяют направление его вращения.

В магнитные пускатели встраиваются тепловые реле ТРН (двухполюсные) и ТРП (однополюсные). Они срабатывают под влиянием протекающего по ним тока перегрузки электродвигателя и отключают его от сети.

В каждый пускатель серии ПМЕ встраивается по одному двухфазному реле типа ТРН. В магнитный пускатель ПАЕ (нереверсивный и реверсивный) третьей величины встраивается по одному двухфазному реле ТРН, а в пускатели 4, 5 и 6 величин — по два тепловых реле типа ТРП. Катушка пускателя обеспечивает надежную работу при напряжении от 85 до 105 % номинального.

Маркировка магнитных пускателей расшифровывается следующим образом: первая цифра после сочетания букв, указывающих тип пускателя, обозначает величину (1; 2; 3; 4; 5; 6), вторая — исполнение по роду защиты от окружающей среды (1 — открытое исполнение; 2 — защищенное; 3 — пылезащищенное; 4 — пылебрызгонепроницаемое), третья — исполнение (1 — нереверсивный без тепловой защиты; 2 — нереверсивный с тепловой защитой; 3 — реверсивный без тепловой защиты; 4 — реверсивный с тепловой защитой).

Основными элементами магнитного пускателя (рис. 14.11) являются электромагнитная система 5 и 6, главные контакты 2 и 3, блок-контакты и дугогасительная камера 8. Электромагнитная система представляет собой разъемный магнитопровод, на среднем керне которого размещена катушка. Для уменьшения нагрева, вызываемого вихревыми токами, магнитопровод набран из отдельных, изолированных друг от друга пластин электротехнической стали. Неподвижную часть магнитопровода 5 называют сердечником, подвижную

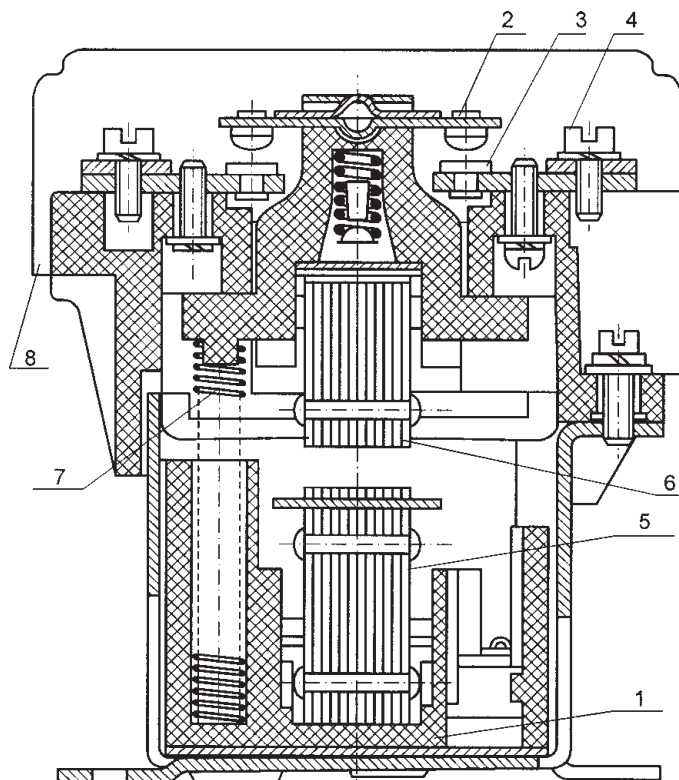


Рис. 14.11. Устройство магнитного пускателя ПМЕ: 1 — основание; 2 — подвижный контактный мост; 3 — неподвижный контакт; 4 — присоединительный зажим; 5 — сердечник; 6 — якорь; 7 — возвратная пружина; 8 — дугогасительная камера

ную часть 6 — якорем. Якорь механически соединен с контактами 2. При включении электрический ток проходит по катушке, создает магнитное поле, которое притягивает якорь к сердечнику 5 и тем самым замыкает контакты 2 и 3 пускателя, при отключении якорь под действием возвратных пружин 7 (а в некоторых типах магнитных пускателей под действием собственного веса) отходит от сердечника, и контакты размыкаются.

Катушка магнитного пускателя питается однофазным переменным током. Вследствие этого магнитный поток в течение периода дважды изменяет свое направление, достигая максимального значения и снижаясь до нуля. Это вызывает вибрацию и гудение магнитной системы. Для ослабления этих явлений на торцевой части сердечника магнитного пускателя закладывается медный короткозамкнутый виток, который охватывает обычно около 1/3 площади его сечения.

Для защиты электродвигателя от перегрузок в магнитных пускателях устанавливают тепловое реле. Тепловое реле (рис. 14.12) состоит из четырех основных элементов, нагревателя 1, включаемого последовательно в защищаемую от перегрузки цепь; биметаллической пластинки 2, из двух спрессованных металлических пластинок с различными коэффициентами линейного расширения; системы 3—7 рычагов и пружин; контактов 8 и 9.

Когда через нагревательный элемент 1 проходит ток, превышающий номинальный ток электродвигателя, выделяется такое количество тепла, что незакрепленный (на рисунке левый) конец биметаллической пластинки 2 изгибается в сторону металла с меньшим коэффициентом линейного расширения (т. е. опускается), нажимает на регулировочный винт 3 и выводит защелку 4 из зацепления. В этот момент под действием пружины 6 верхний конец рычага 5 поднимется, размыкает контакты 8 и 9 и разрывает цепь управления магнитного пускателя. Кнопка 7 служит для ручного возврата рычага 5 в исходное положение после срабатывания реле.

Из выше сказанного следует, что работа теплового реле основана на изгибании биметаллической пластинки под действием тепла выделяемого в нагре-

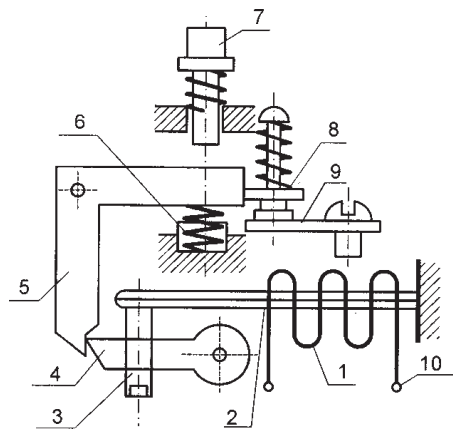


Рис. 14.12. Схема теплового реле: 1 — нагреватель; 2 — биметаллическая пластинка; 3 — регулировочный винт; 4 — защелка; 5 — рычаг; 6 — пружина; 7 — кнопка возврата; 8 — подвижный контакт; 9 — неподвижный контакт; 10 — вывод нагревателя.

вательном элементе. Но эта же пластинка будет изгибаться и под действием тепла окружающего воздуха. Таким образом, например, в жаркие дни реле будет срабатывать быстрее, чем в холодные. Для устранения этого явления в реле применена температурная компенсация, сущность которой заключается в том, что изгибанию биметаллической пластинки от изменения температуры окружающего воздуха соответствует противоположное по направлению изгибание пластинки компенсатора. Пластинка компенсатора представляет собой тоже биметаллическую пластинку, но с обратным по отношению к основной биметаллической пластинке прогибом.

В магнитные пускатели типа ПМЕ-100, ПМЕ-200 и в магнитные пускатели ПАЕ-300 встраивают тепловые реле ТРН, рис. 14.13. Эти реле двухфазные, с температурной компенсацией, с ручным возвратом. Нагрев биметалла косвенный, нагреватели сменные с номинальным током до 40 А.

Температурный компенсатор выполнен из биметалла с обратным прогибом по отношению к основному термоэлементу. При установившейся температуре между компенсатором и защелкой устанавливается определенный зазор. Изменение величины этого зазора путем поворота эксцентрика (регулятора уставки), т. е. удаление или приближение защелки, изменяет уставку

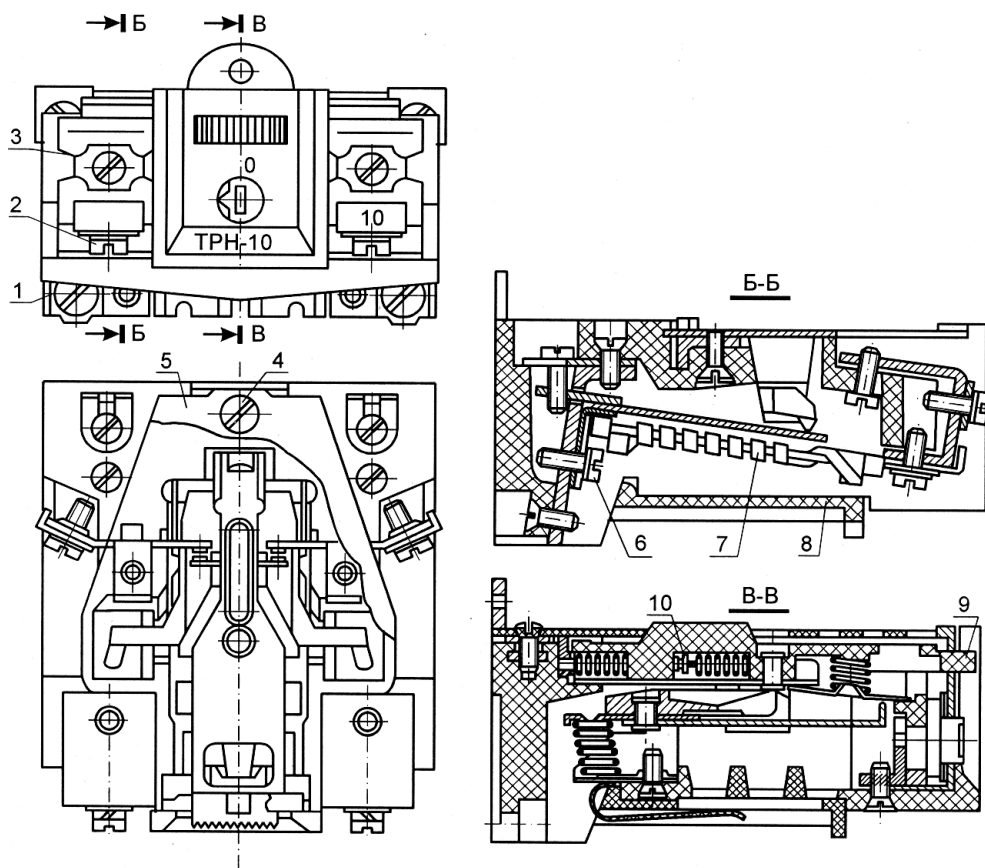


Рис. 14.13. Конструкция теплового реле ТРН-10: 1—6 — винты; 5 — крышка; 7 — нагревательный элемент; 8 — пластмассовая крышка; 9 — шток; 10 — контактный мостик.

реле. Каждое деление регулятора уставки соответствует 5 % величины номинального тока нагревателя. При уставке регулятора в положение «0» ток уставки реле равен номинальному току нагревателя. При уставке регулятора в положение «-5» ток уставки уменьшается на 25 %, в положение «+5» — увеличивается на 25 % по отношению к величине номинального тока нагревателя.

Время срабатывания реле при температуре окружающего воздуха 20 ± 5 °С и нагреве реле с холодного состояния шестикратным номинальным током уставки при любом положении регулятора уставки должно быть в следующих пределах:

- 3—15 с — для реле ТРН-10А;
- 6—25 с — для реле типов ТРН-10; ТРН-25 и ТРН-40.

Время ручного возврата реле в пределах температуры окружающего воздуха от -40 до $+60$ °С должно быть не более 2 мин.

При установке реле в рабочее положение при температуре окружающего воздуха 20 ± 5 °С и обтекании обеих полюсов номинальным током реле не должно срабатывать в установившемся тепловом состоянии, и должно срабатывать в течение не более 20 мин при токе, равном 1,2 номинального тока уставки. Защитные характеристики реле приведены на рис. 14.14.

Однофазные тепловые реле ТРП-60 и ТРП-150 (рис. 14.15), встраиваемые в пускатели ПАЕ четвертой, пятой и шестой величин, имеют комбинирован-

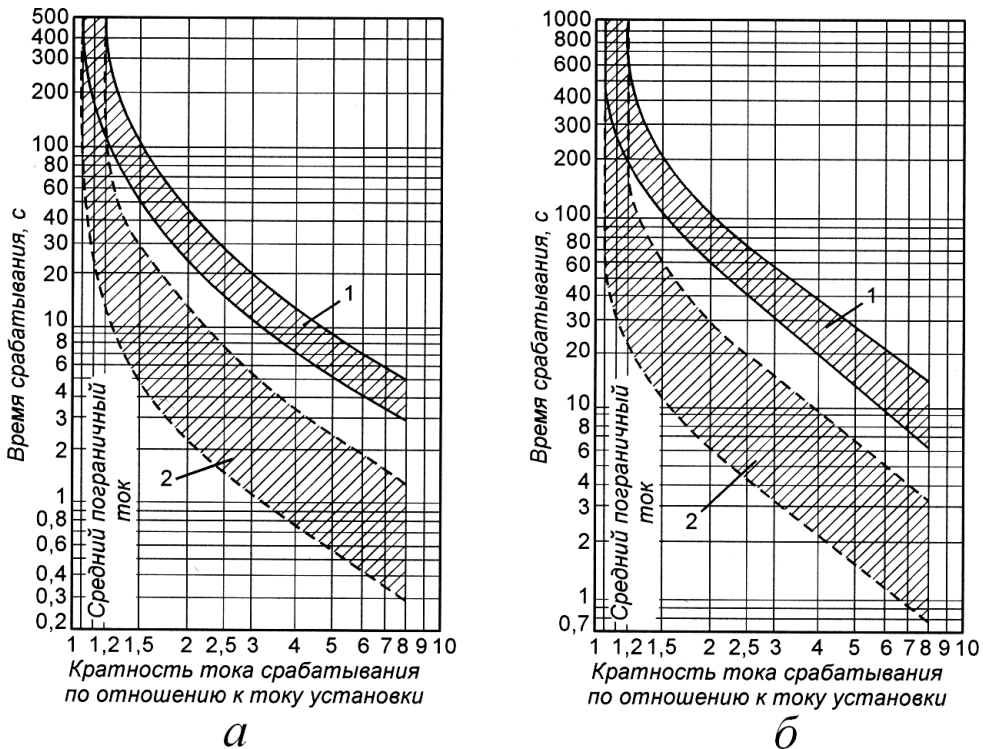


Рис. 14.14. Защитные характеристики реле ТРН-10А (а) и реле ТРН-25 и ТРН-40 (б): 1 — зона защитных характеристик при срабатывании реле с холодного состояния; 2 — зона защитных характеристик при срабатывании реле с горячего состояния (после прогрева током уставки).

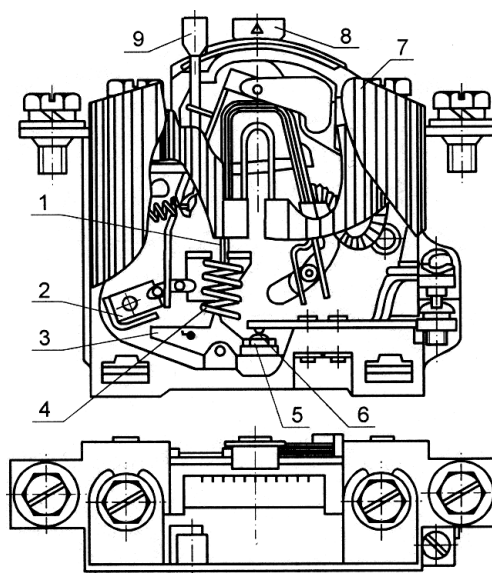


Рис. 14.15. Тепловые реле типа ТРП: 1 — биметаллическая пластинка; 2 — упор самовозврата; 3 — держатель подвижного контакта; 4 — пружина; 5 — подвижный контакт; 6 — неподвижный контакт; 7 — сменный нагреватель; 8 — регулятор тока уставки; 9 — кнопка ручного возврата.

ный нагрев биметаллической пластинки (одна часть тока проходит через нагревательный элемент, другая — через биметаллическую пластинку). При одном нагревателе, рассчитанном на ток нулевой уставки, имеется возможность регулировать ток уставки в пределах $\pm 25\%$. Реле имеет шкалу, на которой нанесены по пять делений по обе стороны от нуля. Цена деления 5% для открытого исполнения и $5,5\%$ для защищенного.

В тепловом реле ТРП предусмотрены два исполнения по возврату: ручной возврат с гарантированным отсутствием самовозврата контактной группы и самовозврат с ускорением возврата вручную. Реле не срабатывает при длительном обтекании током, равном току уставки; срабатывает в течение 20 мин после увеличения тока по сравнению с током уставки на 20% . Реле нормально работает при токах, не превышающих 15-кратного значения. Реле допускает нагрузку 18-кратным номинальным током теплового элемента в течение 1 с, или до срабатывания реле, если оно произойдет за время меньше 1 с.

Для защиты реле ТРП-60 и ТРП-150 от токов короткого замыкания достаточно, чтобы номинальный ток плавкой вставки предохранителя, включенного последовательно с тепловым элементом защищаемого реле, превышал номинальный ток теплового элемента не более чем в 4—5 раз.

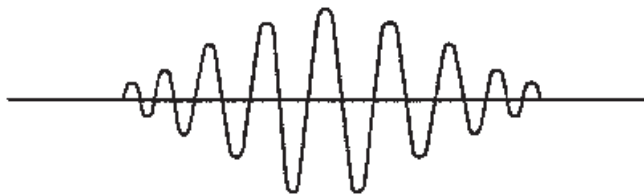
При проведении технических уходов за магнитными пускателями выполняют следующие работы.

- Вывинчивают винты крепления крышки кожуха пускателя и снимают крышку.
- Очищают пускатель от пыли сжатым воздухом давлением не более $0,1 \text{ МН/м}^2$ (1 атм.) от компрессора. Протирают части пускателя сухим не ворсистым материалом или очищают волосистой щеткой. Копоть и масляные пятна удаляют обтирочным материалом, смоченным в бензине.

- Осторожно, чтобы не повредить детали из пластмассы, подтягивают ослабленные болты и гайки.
- Несколько раз включают пускатель вручную и убеждаются в отсутствии перекосов контактной системы, в легкости перемещения и в отсутствии задевания контактов и других движущихся частей за неподвижные части.
- Снимают дугогасительную камеру. Осмотром проверяют главные и блокировочные контакты. Следы подгорания на изготовленных из меди контактах зачищают бархатным надфилем. Брызги металла на контактах удаляют напильником с мелкой насечкой. Контакты, изготовленные из металлокерамических сплавов, зачищать не рекомендуется. Зачищают только «корольки» металла на поверхности контактов. Контакты, имеющие нагар на рабочей поверхности, очищают обтирочным материалом, смоченном в уайт-спирите или в авиационном бензине.
- Осматривают пружины главных и блокировочных контактов. Поврежденные пружины заменяют новыми, а имеющие следы коррозии очищают и слегка смазывают машинным маслом.
- Проверяют элементы крепления магнитной системы и подтягивают ослабленные винты и гайки. Если в направляющих магнитной системы обнаружены грязь и продукты механического износа, магнитный пускатель разбирают, очищают магнитопровод и направляющие, а затем протирают их поверхность сухим обтирочным материалом. Коррозию на поверхности магнитопровода удаляют шабером или шлифовальной бумагой. Чтобы не образовалось замыканий между листами стали магнитопровода, его зачищают вдоль листов. Зачищенные места покрывают лаком воздушной сушки.
- Осмотром убеждаются в целостности короткозамкнутого витка магнитопровода. Пускатели с поврежденным короткозамкнутым витком подлежат ремонту. Обрыв или повреждение короткозамкнутого витка магнитопровода можно обнаружить при выключении магнитного пускателя из сети. У пускателей с поврежденным витком при нажатии кнопки «Стоп» якорь магнитной системы отпадает с запаздыванием.
- Проверяют наличие крышек и целостность корпусов и экранов нагревательных элементов тепловых реле. Снимают экран нагревательного элемента и осматривают элемент. При выгорании металла или короблении заменяют элемент новым того же номера. Разбирать и перекалибровывать реле типа ТРН и ТРП не разрешается. Неисправные реле следует заменить.
- Места изоляции проводов, присоединенных к зажимам пускателя и имеющих механические повреждения, трещины, отслоения или обугленные участки, изолируют хлопчатобумажной или полихлорвиниловой лентой.
- Осматривают контактные соединения зажимов пускателя с проводами. Контакты со следами потемнения, перегревания или окисления разбирают, зачищают до металлического блеска и собирают. Ослабленные контактные соединения подтягивают отверткой или ключами.
- Проверяют надежность заземления металлического корпуса пускателя. Ослабленные винты или контакты, на поверхности которых имеется коррозия, разбирают, контактные поверхности зачищают шлифоваль-

ной бумагой или напильником с мелкой насечкой, смазывают техническим вазелином и собирают.

- Установив крышку пускателя, проверяют четкость его работы. При нажатии кнопки «Пуск» пускатель должен включаться без заметного торможения, а при нажатии кнопки «Стоп» подвижная система без задержки должна возвращаться в исходное положение. При включенном положении шум пускателя должен быть негромким, ровным без дребезжания.



Глава пятнадцатая

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИЗМЕРЕНИЯ



15.1. Общие сведения

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

Устройство, предназначенное для сравнения измеряемой величины с единицей измерения или с мерой, называют измерительным прибором.

Меры и приборы, предназначенные для хранения или воспроизводства единиц, а также для поверки и градуировки приборов, носят название образцовых.

Результат всякого измерения несколько отличается от действительного значения измеряемой величины. Действительное значение измеряемой величины это значение, определяемое при помощи образцовых приборов (образцовых мер).

Разность между измеренным и действительным значением величины составляет абсолютную погрешность измерения. Выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к действительному или измеренному значению представляет собой относительную погрешность, которая применяется для оценки качества измерения.

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

Электроизмерительные приборы классифицируются по ряду признаков: назначению — амперметры, вольтметры, омметры, частотомеры и т. п.; роду измеряемого тока — постоянный, переменный; принципу действия (система измерительного механизма) — магнитоэлектрические, электромагнитные, индукционные и т. п.; классу точности; условиям эксплуатации и ряду других признаков.

Большинство приборов показывают значение электрической величины, соответствующее моменту измерения. Эти приборы называются показывающими. Приборы, имеющие устройства для записи показаний измерения в виде диаграмм или в цифровой форме, называются регистрирующими. Они бывают самопишущими или печатающими. Некоторые приборы, например счетчики электроэнергии, показывают суммарное значение измеряемой величины за определенный промежуток времени, их называют интегрирующими.

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

Электроизмерительные приборы делятся на приборы непосредственной оценки и приборы сравнения.

К приборам непосредственной оценки, например, относятся: ваттметр, счетчик, т. е. приборы, дающие численное значение измеряемой величины по их отсчетному приспособлению.

Прибор сравнения применяется для сравнения измеряемой величины с мерой, например мост для измерения сопротивлений.

При технических измерениях чаще применяют приборы непосредственной оценки, как более простые, дешевые и требующие мало времени для измерения. Приборы сравнения используют для более точных измерений.

Разнообразие систем измерительных приборов, обладающих различными свойствами, вызвано разнообразием условий и требований при измерениях электрических величин.

По степени точности электроизмерительные приборы делятся на восемь классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5 и 4. На шкалах приборов число класса точности пишется внутри окружности.

Число класса точности прибора обозначает допустимую погрешность прибора. Допустимой погрешностью называется выраженное в процентах отношение наибольшей допустимой по стандарту абсолютной погрешности прибора, находящегося в нормальных условиях эксплуатации, к номинальной величине прибора.

Прибор находится в нормальных условиях, если установлен в положение, указанное на шкале прибора, находится в среде с нормальной температурой (+20 °С) и не подвергается действию внешнего магнитного поля (кроме земного).

Чем меньше измеряемая величина по сравнению с номинальной величиной прибора, тем больше погрешность измерения этой величины; следовательно, измеряемая величина должна иметь значение не менее половины номинальной величины прибора.

В табл. 15.1 приведены системы электроизмерительных приборов и условные знаки на их шкалах, а в табл. 15.2 дано сравнение различных систем приборов и область их применения.

Таблица 15.1. Системы электроизмерительных приборов и условные знаки на их шкалах

Знак системы	Система	Знаки на шкалах приборов	Пояснения
	Магнитоэлектрическая	Знаки классов точности	
	Магнитоэлектрический логометр		Погрешность прибора, % 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4
	Выпрямительная	Знаки рода тока	
		Постоянный ток	
		Переменный ток	
			Постоянный и переменный ток
	Термоэлектрическая		Трехфазный ток
	Электромагнитная	Знаки установки прибора	
		Вертикальное положение шкалы	
	Горизонтальное положение шкалы		
	Электродинамическая		Наклонное положение шкалы
	Электродинамический логометр	Знаки прочности изоляции прибора	
		Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ	
	Ферродинамическая	Маркировка зажимов	
		Генераторный зажим	
	Ферродинамический логометр		Зажим, соединенный с корпусом
	Индукционная		Зажим для заземления
	Электростатическая	Пример	
		Прибор электромагнитной системы, класс точности 1,5, переменного тока, со шкалой, устанавливаемой под углом 60° к горизонту	

Таблица 15.2. Достоинства, недостатки и область применения приборов

Система	Достоинства	Недостатки	Область применения
Магнитоэлектрическая	Высокая чувствительность, большая точность. Относительно небольшое влияние внешних полей. Малое потребление энергии. Малое влияние температуры.	Пригодны только для постоянного тока. Чувствительны к перегрузкам	Измерение силы тока и напряжения в цепях постоянного тока. С термопреобразователями и выпрямителями используются для измерения электрических величин в цепях переменного тока, а также для измерений неэлектрических величин (температуры, давлений и т. п.)
Электромагнитная	Могут изготавливаться на большой ток для непосредственного включения, устойчивы при перегрузках. Пригодность для постоянного и переменного тока, простота конструкции	Малая точность. Зависимость показаний от внешних магнитных полей. Неравномерная шкала	Измерение силы тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока. Рекомендуется применять преимущественно для измерений в цепях переменного тока, так как недостаточно однородное качество железа сердечников понижает точность приборов, отградуированных для обеих родов тока
Электродинамическая	Высокая точность, пригодны для постоянного и переменного тока	Зависимость показаний от внешних магнитных полей. Чувствительны к перегрузкам. Большое потребление электроэнергии. Неравномерность шкалы	Измерение тока, мощности, напряжения, частоты, угла сдвига фаз в цепях переменного тока, а также напряжения, тока и мощности в цепях постоянного тока
Тепловая	Независимость показаний от частоты и формы кривой переменного тока и внешних магнитных полей. Пригодны для постоянного и переменного тока. Большая чувствительность. Малое потребление электроэнергии.	Большая чувствительность к перегрузкам	Измерение силы тока в цепях переменного тока промышленной и высокой частоты
Электростатическая	Малое потребление электроэнергии. Независимы от частоты, температуры и внешних магнитных полей. Возможность непосредственного измерения высоких напряжений на низких и высоких частотах (до 40 МГц)	Зависимость от внешнего электростатического поля и от влажности воздуха	Измерение напряжений в цепях постоянного и переменного тока
Вибрационная	Простота конструкции и надежность в работе. Возможность включения прибора в цепи с разным напряжением	Вибрация пластин от внешних толчков. Прерывистость шкалы, вследствие чего затруднен отсчет при промежуточной частоте	Измерение частоты переменного тока

15.2. Основные части электроизмерительных приборов

У многих приборов есть общие по назначению части. Это корпус, зажимы, шкала, указательная стрелка, ограничители, винт корректора. На корпусе некоторых приборов расположены переключатель пределов измерения и арретир. Внутри каждого прибора находится его главная часть — измерительный механизм. Отдельные приборы, например омметры, снабжены камерой, в которую помещают источник электропитания (гальванический элемент). У интегрирующих приборов, например у электросчетчиков, в отличие от показывающих приборов отсутствует указательная стрелка, но у них есть счетный механизм.

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

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

По *шкале* прибора отсчитывают значение измеряемой величины.

Внешний вид шкалы и нанесенные на нее условные обозначения зависят от величины и конструкции прибора. Большинство приборов, с которыми приходится обращаться электромонтеру, имеют шкалы, устройство которых рассмотрено ниже.

Шкалы приборов изготавливают из цинка, стали или электроизоляционных материалов. На шкалу наносят черточки (вертикальные, горизонтальные, наклонные), называемые отметками. Отметку шкалы, соответствующую нулевому значению измеряемой величины, называют нулевой. Интервал между двумя соседними отметками носит название деления шкалы, а значение электрической величины, приходящееся на одно деление шкалы — цены деления.

Значение измеряемой величины, соответствующее начальной отметке шкалы, называется начальным значением шкалы, а значение измеряемой величины, соответствующее конечной отметке шкалы — конечным значением. Разность между конечным и начальным значениями измеряемой величины является рабочим диапазоном измерений.

Шкалы бывают равномерными (все деления шкалы одинаковые) и неравномерными (деления шкалы неодинаковые). На шкале многих приборов параллельно отметкам расположена зеркальная полоса (рис. 15.1), что позволяет

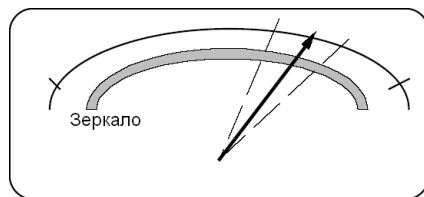


Рис. 15.1. Зеркальная шкала приборов

уменьшить ошибки при снятии показаний. Глаз, стрелка и ее отражение в зеркальной полосе должны находиться на одной линии.

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

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

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

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

15.3. Основные части измерительного механизма приборов

Измерительный механизм — основная часть каждого измерительного прибора. При воздействии на измерительный механизм измеряемой или функционально связанной с ней вспомогательной величины происходит перемещение его подвижной части. По углу поворота или по линейному перемещению подвижной части определяется значение измеряемой величины.

Каждый измерительный механизм имеет одну или несколько обмоток. По ним при включении прибора в электрическую цепь проходит электрический ток. Ток создает в окружающем пространстве магнитное поле. Кроме обмоток, в измерительном механизме есть постоянный магнит или ферромагнитный сердечник, который намагничивается при прохождении по обмоткам тока. Магнитное поле тока и магнитное поле, создаваемое сердечником, взаимодействуют друг с другом, вследствие этого создается вращающий момент, действующий на подвижную часть прибора, в результате чего указательная стрелка отклоняется.

В приборах, у которых нет сердечника, но есть две обмотки, стрелка отклоняется в результате взаимодействия магнитных полей, создаваемых проходящими по обмоткам токами. В зависимости от вида такого взаимодействия различают системы измерительных механизмов: магнитоэлектрическую, электромагнитную, электродинамическую, индукционную.

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

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

Измерительные механизмы различных систем имеют ряд механических частей, назначение которых в основном одинаково. К таким частям относятся спиральные пружины, оси или полуоси с подпятниками, противовесы, корректор, рис. 15.2. Конструкция этих частей у разных приборов имеет конструктивные отличия.

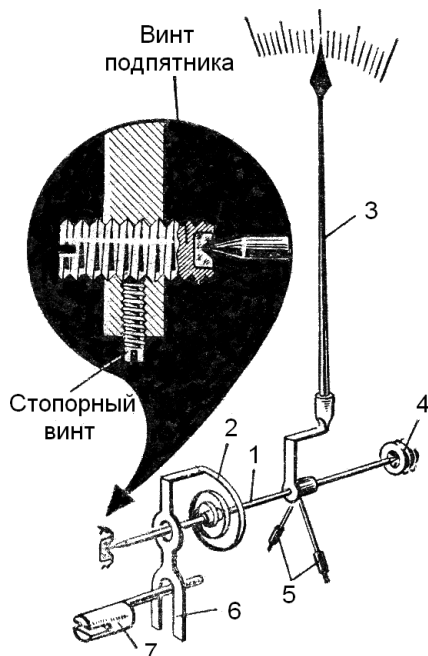


Рис. 15.2. Устройство подвижной части измерительных механизмов: 1 — ось; 2 — спиральная пружина; 3 — указательная стрелка; 4 — подпятник; 5 — противовес; 6 — вилка корректора; 7 — винт корректора

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

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

Устройства для создания противодействующего момента. Противодействующий момент в измерительных приборах создается в большинстве случаев двумя способами — с помощью противодействующих пружин и растяжек.

Противодействующие пружины выполняются в виде спирали из бронзы. Один конец спиральной пружины, внутренний, прикрепляется к подвижной части измерительного механизма, а другой, наружный — к неподвижной части прибора. Таким образом, вращающий момент, возникающий в измерительном механизме, закручивает противодействующую пружину до тех пор, пока вращающий момент не будет равен противодействующему моменту.

Противодействующий момент пропорционален углу закручивания пружины, или, что то же самое, углу поворота подвижной части измерительного механизма. Этот угол зависит от значения вращающего момента, который, в свою очередь, пропорционален значению измеряемой электрической величины.

Таким образом, вращающий и противодействующий моменты находятся в прямо пропорциональной зависимости. При равенстве этих моментов ($M_{\text{пр}} = M_{\text{вр}}$) указательная стрелка останавливается против определенной отметки шкалы, соответствующей значению измеряемой электрической величины.

Чаще всего для создания противодействующего момента применяют не одну, а две пружины, устанавливая их с разных сторон подвижной части измерительного механизма. В случае применения двух спиральных пружин последние обычно используются также для подведения тока в подвижную часть прибора.

Растяжки представляют собой металлические ленточки шириной от 0,08 до 0,35 мм и толщиной от 0,01 до 0,04 мм. В качестве материала при изготовлении растяжек используются различные виды бронзы, платины, а также кобальт-никель-хромовый сплав. Обычно используются две растяжки, укрепленные с двух сторон подвижной части. Таким образом, растяжки не только создают противодействующий момент при повороте подвижной части под действием вращающего момента, но и укрепляют (растягивают) подвижную часть. При применении растяжек нет необходимости в специальных опорных устройствах, которые нужны при использовании противодействующих пружин.

Наличие двух растяжек позволяет использовать их и для подведения тока в подвижную часть измерительного механизма.

Противовесы служат для уравнивания подвижной части измерительного механизма.

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

Устройства для создания успокаивающего момента. Подвижная часть, а, следовательно, и указатель отсчетного устройства занимают вполне определенное положение, соответствующее значению измеряемой величины только тогда, когда вращающий момент равен моменту противодействующему. При любом изменении измеряемой величины изменяется вращающий момент и, следовательно, нарушается равенство между значениями вращающего и противодействующего моментов.

Подвижная часть измерительного механизма под действием разности названных моментов начнет перемещаться в ту или иную сторону до тех пор, пока вновь не наступит равенство между значениями вращающего и противодействующего моментов. Время, необходимое для этого, называется временем успокоения подвижной части прибора.

Для обеспечения требуемого времени успокоения подвижной части в приборах применяют различные устройства, создающие успокаивающий момент. К ним относятся воздушный, магнитоиндукционный и жидкостный успокоители.

Воздушный успокоитель (рис. 15.3а) применяется, главным образом, в приборах старых разработок, имеющих подвижную часть на оси с противодействующими пружинами. Он представляет собой закрытую камеру 1, внутри которой перемещается при движении подвижной части легкое алюмине-

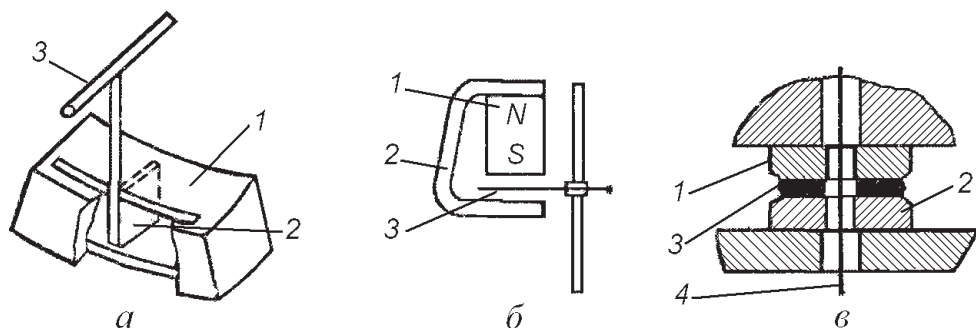


Рис. 15.3. Успокоители: *а* — воздушный; *б* — магнитоиндукционный; *в* — жидкостный

вое крыло 2, жестко укрепленное на оси 3 подвижной части измерительного механизма.

Между алюминиевым крылом 2 и корпусом 1 имеется небольшой зазор. При движении крыла воздух перемещается из одной части камеры в другую, создавая успокаивающий момент, способствующий оптимальному успокоению подвижной части прибора.

Магнитоиндукционный успокоитель (рис. 15.3б) состоит из неподвижного постоянного магнита 1 с магнитопроводом 2 (возможно применение нескольких постоянных магнитов) и крыла успокоителя 3, жестко скрепленного с подвижной частью прибора. Крыло успокоителя выполнено из немагнитного материала, обычно алюминия.

При движении подвижной части, а, следовательно, и крыла успокоителя в последнем при пересечении поля постоянного магнита наводятся вихревые токи. Взаимодействие этих токов с полем постоянного магнита создает успокаивающий момент.

Магнитоиндукционный успокоитель по конструкции проще воздушного успокоителя и более удобен при регулировке успокаивающего момента. Однако применение магнитоиндукционного успокоителя возможно лишь в приборах, где поле постоянного магнита не будет оказывать существенного влияния на работу измерительного механизма.

Жидкостный успокоитель применяется, главным образом, в приборах, имеющих малые размеры по высоте. Однако в последнее время его стали применять и в приборах большого габарита. Жидкостный успокоитель (рис. 15.3в) состоит из двух дисков. Диск 1 укреплен на подвижной части прибора, а диск 2 — на неподвижной части.

Зазор между дисками обычно составляет 0,1—0,15 мм. Между дисками заливается специальная маловысыхающая кремнийорганическая жидкость 3. Жидкость в зазоре удерживается поверхностным натяжением. Для предотвращения вытекания жидкости из зазора поверхности дисков, соприкасающиеся с жидкостью, тщательно полируются.

Благодаря определенной вязкости применяемой жидкости при движении подвижной части, т. е. при вращательном движении диска 1 относительно диска 2, из-за трения между слоями жидкости возникает успокаивающий момент.

Жидкостный успокоитель применяется, главным образом, в приборах, в которых подвижная часть укреплена на растяжках. Растяжка 4 проходит через небольшие отверстия, сделанные в дисках.

15.4. Магнитоэлектрический измерительный механизм

Принцип действия механизма магнитоэлектрической системы — взаимодействие магнитного поля тока, проходящего по обмотке рамки, с магнитным полем постоянного магнита.

Когда по обмотке рамки проходит электрический ток, она поворачивается на угол, значение которого пропорционально измеряемой силе тока (напряжению). Направление поворота рамки зависит, а значит, и стрелки зависит от направления тока в обмотке рамки.

Магнитоэлектрический измерительный механизм устроен следующим образом. Подвижная часть измерительного механизма (рис. 15.4) состоит из прямоугольной катушки (рамки) *В*. Обмотка рамки из тонкого изолированного медного провода наложена на алюминиевый каркас. На рамке укреплены две полуоси — керны, установленные в опорах. На одной из полуосей укреплены стрелка и концы спиральных пружин, через которые ток подводится к обмотке рамки.

Боковые стороны рамки расположены в узком воздушном зазоре *А* между неподвижным стальным цилиндром *Б* и полюсными башмаками *N* и *S*. Сильный постоянный магнит создает в воздушном зазоре однородное радиальное магнитное поле.

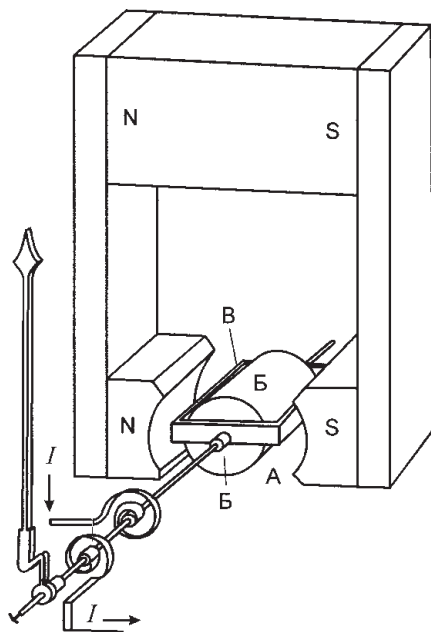


Рис. 15.4. Магнитоэлектрический измерительный механизм

На боковые стороны рамки, расположенные в магнитном поле, при наличии тока в обмотке, будет действовать пара сил F , рис. 15.5. Таким образом создается вращающий момент, пропорциональный току в рамке. Под действием этого момента рамка повернется на угол α , при котором вращающий момент уравнивается противодействующим моментом пружин. Последний пропорционален углу закручивания пружин. Угол поворота рамки пропорционален току.

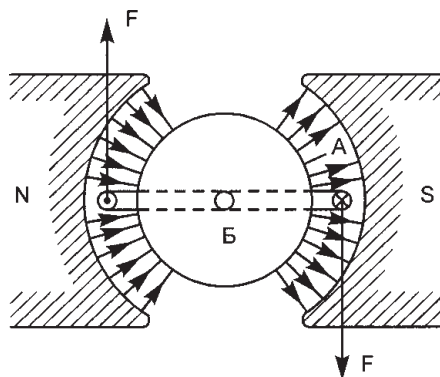


Рис. 15.5. Получение вращающего момента в магнитоэлектрическом измерительном механизме

В магнитоэлектрическом измерительном механизме успокоителем является алюминиевый каркас рамки. При повороте подвижной части изменяется магнитный поток, пронизывающий каркас. В каркасе индуктируются токи, взаимодействие которых с магнитным полем магнита создает тормозной момент, обеспечивающий успокоение.

Магнитоэлектрический измерительный механизм в связи с малым сечением пружин и провода обмотки изготавливается на малые номинальные токи 10—100 мА и меньше.

При включении магнитоэлектрического измерительного механизма рассмотренной конструкции в цепь переменного тока вращающий момент будет изменяться пропорционально мгновенному значению тока. При таком быстром изменении момента вследствие инерции подвижная часть не успеет следовать за изменением момента и она отклонится на угол, пропорциональный среднему за период значению вращающего момента. При синусоидальном токе среднее значение тока, а, следовательно, и момента равно нулю и подвижная часть не отклонится. Таким образом, рассмотренный измерительный механизм пригоден только для измерений в цепи постоянного тока.

15.5. Электромагнитный измерительный механизм

Принцип действия механизма электромагнитной системы — взаимодействие магнитного поля тока, проходящего по обмотке катушки, с магнитным полем намагничивающегося ферромагнитного сердечника. Вследствие этого взаимодействия сердечник втягивается внутрь катушки, благодаря чему отклоняется указательная стрелка.

Электромагнитный измерительный механизм показан на рис. 15.6. Он состоит из неподвижной катушки *A* и подвижной части — стального сердечника *Б*, указательной стрелки, пружины и секторообразного алюминиевого листка *B* успокоителя, укрепленного на одной оси.

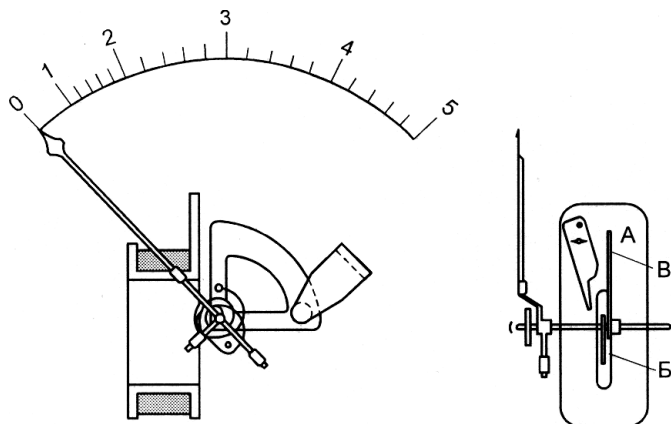


Рис. 15.6. Электромагнитный измерительный механизм

Измеряемый ток, проходя по неподвижной катушке, создает магнитное поле, которое намагничивает сердечник *Б* и втягивает его внутрь катушки. По углу поворота сердечника определяют величину тока в катушке.

При движении листка *B* успокоителя в магнитном поле магнита *M* в нем индуцируются вихревые токи. Взаимодействие этих токов с полем магнита создается тормозной момент, обеспечивающий успокоение.

При изменении направления тока в обмотке меняется и полярность намагничивающего сердечника. Поэтому при любом направлении тока в обмотке сердечник втягивается внутрь ее, а стрелка, следовательно, отклоняется в одну и ту же сторону. Следовательно, электромагнитный измерительный механизм применим для цепей постоянного и переменного тока, так как втягивание сердечника в катушку не зависит от направления тока.

Вследствие влияния остаточной индукции сердечника втягивание, а, следовательно, и показания измерительного механизма, может быть различным при одинаковых значениях тока при увеличении тока и при уменьшении его. Следовательно, возможна погрешность от остаточной индукции. Для уменьшения этой погрешности сердечники изготавливают из пермаллоя, остаточная индукция которого ничтожна.

Для уменьшения погрешности от внешних полей измерительный механизм окружают стальными экранами или кожухами. Для этой же цели применяют астатические измерительные механизмы с двумя последовательно соединенными катушками и соответственно с двумя сердечниками на одной оси. Измеряемый ток создает в катушках поля противоположного направления. Внешнее однородное поле уменьшает магнитное поле одной катушки и настолько же увеличивает поле второй катушки, таким образом, результирующее влияние внешнего поля будет ничтожным.

15.6. Электродинамический измерительный механизм

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

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

При включении прибора в цепь электрический ток проходит по обмоткам обеих катушек одновременно. В результате взаимодействия магнитных полей токов подвижная катушка поворачивается на угол, значение которого пропорционально произведению токов, проходящих в обмотках катушек. Направление тока в обмотках катушек может изменяться лишь одновременно. Поэтому независимо от направления тока в цепи подвижная катушка, а значит, и стрелка поворачиваются только в одну сторону. Механизм электродинамической системы применяют в амперметрах, вольтметрах и ваттметрах.

Рассмотрим подробнее устройство и принцип действия Электродинамического измерительного механизма.

Измерительный механизм (рис. 15.7) состоит из двух катушек — неподвижной *A*, имеющей две секции, и подвижной *B*, укрепленной на одной оси с указательной стрелкой, крылом *B* воздушного успокоителя и двумя спиральными пружинами.

При прохождении тока I_1 по неподвижной катушке и тока I_2 по подвижной катушке между ними возникает электродинамическое взаимодействие. В результате на подвижную катушку будет действовать пара сил *F* (рис. 15.8), то есть вращающий момент. Поворот подвижной катушки происходит до тех пор, пока вращающий момент не уравновесится противодействующим моментом пружин.

При постоянном токе вращающий момент и угол поворота подвижной катушки пропорционален произведению токов в катушках. При переменном токе вращающий момент и пропорциональный ему угол поворота подвижной

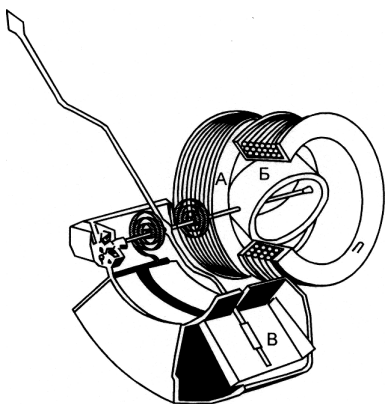


Рис. 15.7. Электродинамический измерительный механизм

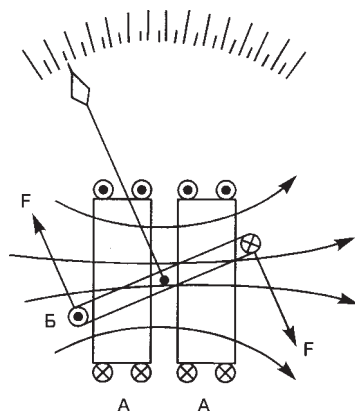


Рис. 15.8. Получение вращающего момента в электродинамическом измерительном механизме

катушки определяется произведением действующих значений токов в катушках и косинусу угла сдвига между ними.

Отсутствие стали в измерительном механизме, а, следовательно, и погрешности от остаточной индукции обеспечивают возможность изготовить эти механизмы для измерений высокой точности.

Для уменьшения погрешностей от внешних магнитных полей, обусловленных слабым магнитным полем измерительного механизма, применяются те же средства, что и для электромагнитных измерительных механизмов.

Слабому магнитному полю соответствует слабый вращающий момент и, следовательно, для получения высокой точности необходимо уменьшить погрешность от трения. Это достигается уменьшением веса подвижной части и безупречной обработкой осей и опор. Кроме того, поперечное сечение пружин и проводов подвижной катушки мало, поэтому электродинамический измерительный механизм чувствителен к перегрузке.

15.7. Ферродинамический измерительный механизм

Наряду с измерительным механизмом электродинамической системы широко применяются механизмы ферродинамической системы. Принцип действия механизмов этих систем одинаков. Конструкция же ферродинамического механизма отличается тем, что его неподвижная обмотка помещена на магнитопроводе из листовой стали, и неподвижного цилиндра из той же стали, который охватывается подвижной катушкой (рис. 15.9).

Стальной магнитопровод усиливает поле измерительного механизма, вследствие чего увеличивается вращающий момент, что приводит к более прочной конструкции и уменьшает влияние внешних магнитных полей на показания измерительного механизма. Кроме того, с одной стороны, благодаря наличию стального магнитопровода, повышается чувствительность прибора. С другой стороны, применение стали увеличивает погрешности от остаточной индукции и вихревых токов в магнитопроводе.

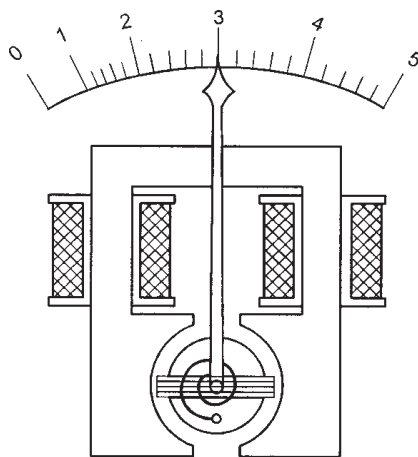


Рис. 15.9. Ферродинамический измерительный механизм

15.8. Индукционная система

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

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

На рис. 15.10 изображен электросчетчик активной энергии. Счетчик имеет две обмотки — параллельную OH (обмотка напряжения), включенную на напряжение сети, и последовательную TO (токовая обмотка), через которую протекает ток, потребляемый электроприборами. Принцип действия следующий. Магнитные потоки Φ от последовательной и параллельной обмоток пересекают край алюминиевого диска D , в котором наводятся местные вихревые токи, порождающие в нем магнитные поля. Последние, взаимодействуя с основными магнитными потоками, приводят диск во вращение. Обороты диска передаются счетному механизму CM , который дает отсчет в киловатт-часах. Магнит M предназначен для торможения диска, устраняет самоход счетчика.

Израсходованная энергия регистрируется счетным механизмом (рис. 15.11), приводимом в движение от червячной передачи (или шестеренки) B , укрепленной на оси счетчика. Движение диска передается пяти роликам, на боковых поверхностях которых нанесены цифры от 0 до 9. Ролики свободно надеты на ось A . Первый (на рис. 15.11 — правый) скреплен с шестеренкой и при движении диска счетчика непрерывно вращается. Один обо-

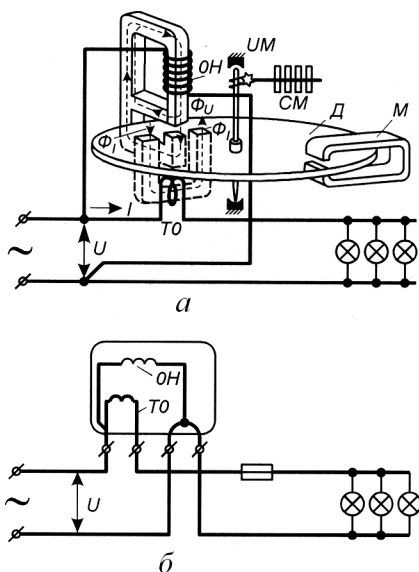


Рис. 15.10. Схема устройства (а) и включения (б) счетчика активной энергии

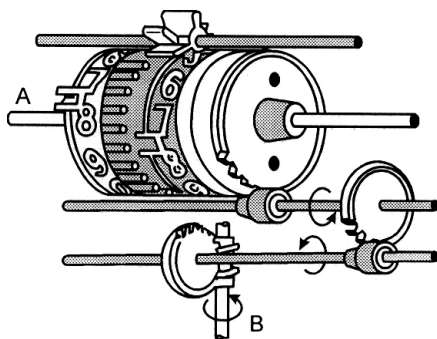


Рис. 15.11. Схема счетного механизма

рот первого ролика вызовет поворот второго ролика на $\frac{1}{10}$ часть оборота. Один оборот второго — вызовет поворот третьего ролика на $\frac{1}{10}$ часть оборота и т. д. Ролики прикрыты алюминиевым щитком, через отверстие в котором видно только по одной цифре каждого ролика. Прочитанное через отверстие в щитке числовое значение дает величину энергии, учтенную счетчиком за весь период его работы с того момента, когда показания его соответствовали нулевому значению.

На шкале электросчетчика указан его тип, напряжение, на которое он рассчитан, величина номинального тока и так называемая постоянная счетчика.

Для измерения электрической энергии в трехфазных четырехпроводных цепях применяется трехэлементный счетчик. Он имеет три электромагнитные системы такие же, как и у однофазного счетчика, которые воздействуют на три диска, укрепленные на одной оси. Счетчик имеет один счетный механизм.

Для измерения электроэнергии в трехфазных трехпроводных цепях применяются двухэлементные двухдисковые или однодисковые счетчики (рис. 15.12).

На рис. 15.13 приведена расшифровка маркировки счетчиков электрической энергии. Пример: счетчик СА4-И672М 380/220 В 5...17 А, 2002 год —

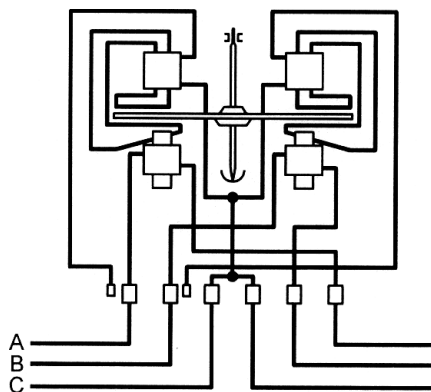


Рис. 15.12. Схема устройства и включения двухэлементного однодискового счетчика

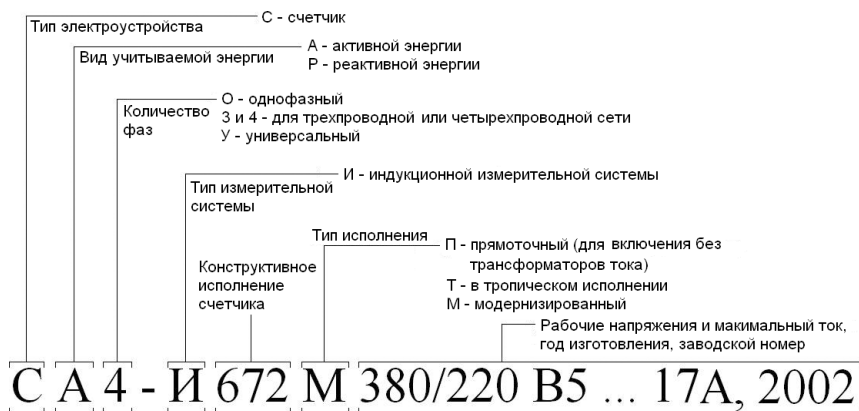


Рис. 15.13. Расшифровка маркировки счетчиков электрической энергии

счетчик активной энергии трехфазный, индукционной измерительной системы, модернизированный на линейное напряжение 380 В, ток в сети 5...17 А, изготовлен в 2002 году.

15.9. Измерение основных электрических величин

15.9.1. Измерение силы тока

Электрический ток измеряется амперметром. Если измеряемый ток не превышает пределов измерения данного амперметра, то его можно измерить непосредственно включением амперметра в цепь, рис. 15.14. Амперметр обладает электрическим сопротивлением, значительно меньшим сопротивления цепи, в которую его включают, поэтому он заметно не изменит силу тока в этой цепи.

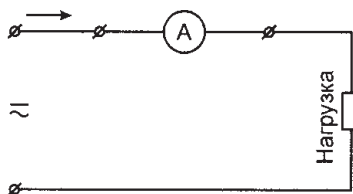


Рис. 15.14. Схема включения амперметра непосредственно в цепь

Одним и тем же амперметром магнитоэлектрической системы, если к нему подключить шунт, можно измерять силу тока в различных пределах, рис. 15.15. Шунт — это проводник, имеющий, как правило, очень маленькое сопротивление. Измеряемый ток в узле a делится на две части: ток шунта $I_{\text{ш}}$ и ток измерительного механизма $I_{\text{А}}$.

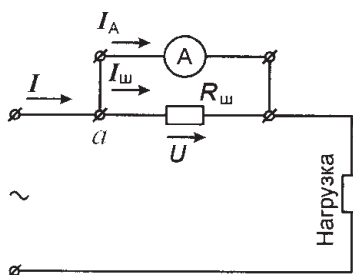


Рис. 15.15. Схема включения амперметра с шунтом

Шунт является простейшим измерительным преобразователем тока в напряжение. Он представляет собой четырехзажимный резистор. Два входных зажима, к которым подводится ток I , называются токовыми, а два выходных зажима, с которых снимается напряжение U , называются потенциальными. К потенциальным зажимам обычно присоединяют измерительный механизм прибора.

Шунт характеризуется номинальным значением входного тока $I_{\text{НОМ}}$ и номинальным значением выходного напряжения $U_{\text{НОМ}}$. Их отношение определяет номинальное сопротивление шунта

$$R_{\text{Ш}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}}.$$

Ток $I_{\text{А}}$, протекающий через измерительный механизм, связан с измеряемым током I зависимостью

$$I_{\text{А}} = I \frac{R_{\text{Ш}}}{R_{\text{Ш}} + R_{\text{А}}},$$

где $R_{\text{А}}$ — сопротивление измерительного механизма.

Если необходимо, чтобы ток $I_{\text{А}}$ был в n раз меньше тока I , то сопротивление шунта должно быть:

$$R_{\text{Ш}} = \frac{R_{\text{А}}}{n - 1},$$

где $n = \frac{I}{I_{\text{А}}}$ — коэффициент шунтирования.

Шунты изготавливают из манганина. Если шунт рассчитан на небольшой ток (до 30 А), то его обычно встраивают в корпус прибора (встроенные шунты). Для измерения больших токов используют приборы с наружными шунтами. В этом случае мощность, рассеиваемая в шунте, не нагревает прибор.

На рис. 15.16 показан наружный шунт на 2000 А. Он имеет массивные наконечники из меди, которые служат для отвода тепла от манганиновых пластин, впаянных между ними. Зажимы A и B — токовые. Измерительный механизм присоединяют к потенциальным зажимам B и Γ , между которыми и заключено сопротивление шунта. При таком включении измерительного механизма устраняются погрешности от контактных сопротивлений.

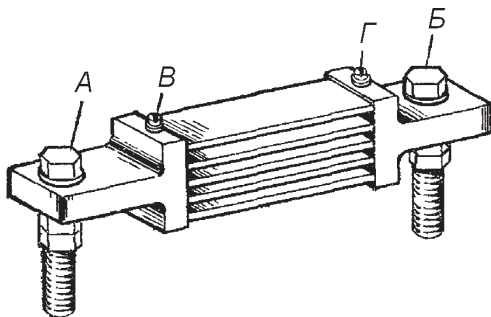


Рис. 15.16. Наружный шунт

Наружные шунты обычно выполняются калиброванными, т. е. рассчитываются на определенные токи и падения напряжения. По ГОСТ калиброванные шунты должны иметь номинальное падение напряжения 10, 15, 30, 50, 60, 75, 100, 150 и 300 мВ.

Применение шунтов с измерительными механизмами других систем, кроме магнитоэлектрической, нерационально, так как другие измерительные механизмы потребляют большую мощность, что приводит к существенному увеличению сопротивления шунтов и, следовательно, к увеличению их размеров и потребляемой мощности.

Шунты разделяются на классы точности 0,02; 0,05; 0,1; 0,2 и 0,5. Число, обозначающее класс точности, обозначает допустимое отклонение сопротивления шунта в процентах его номинального значения.

Серийно шунты выпускаются для токов не более 5000 А. Для измерения токов свыше 5000 А допустимо параллельное соединение шунтов.

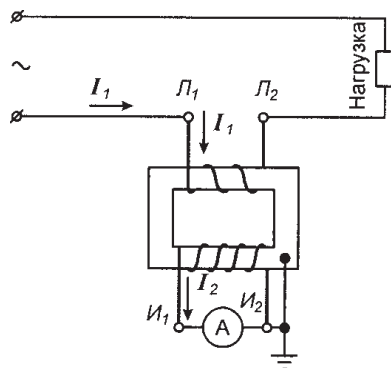


Рис. 15.17. Схема включения амперметра с помощью трансформаторов тока

При измерении переменного тока больших величин прибором электромагнитной системы, его включают через трансформатор тока, рис. 15.17. Выводные клеммы трансформатора тока имеют обозначение L_1 , L_2 (зажимы первичной обмотки трансформатора тока) и I_1 , I_2 (зажимы вторичной обмотки трансформатора).

15.9.2. Измерение электрического напряжения

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

Если измеряемое напряжение не превышает пределов измерения данного вольтметра, то оно может быть измерено путем непосредственного включения вольтметра в сеть, рис. 15.18.

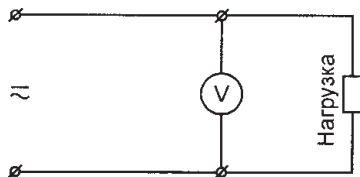


Рис. 15.18. Схема включения вольтметра непосредственно в цепь

Для расширения пределов измерения применяют добавочные резисторы. Добавочные резисторы являются измерительными преобразователями напряжения в ток, а на значение тока непосредственно реагируют измерительные механизмы стрелочных вольтметров всех систем, за исключением электростатической и электронной. Добавочные резисторы служат для расширения пределов измерения по напряжению вольтметров различных систем и других приборов имеющих параллельные цепи, подключенные к источнику напряжения (например ваттметры, счетчики энергии, фазометры и т. п.).

Добавочный резистор включают последовательно с измерительным механизмом, рис. 15.19. Ток I_B в цепи, состоящей из измерительного механизма с сопротивлением R_B и добавочного резистора с сопротивлением R_D состоит:

$$I_B = \frac{U}{R_B + R_D},$$

где U — измеряемое напряжение.

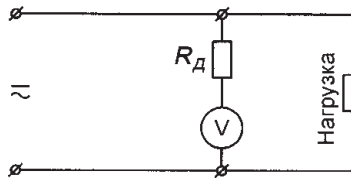


Рис. 15.19. Схема включения вольтметра с добавочным сопротивлением

Если вольтметр имеет предел измерения $U_{\text{ном}}$ и сопротивление измерительного механизма R_B и при помощи добавочного сопротивления R_D надо расширить предел измерения в n раз, то, учитывая постоянство тока I_A , протекающего через измерительный механизм вольтметра, можно записать:

$$\frac{U_{\text{ном}}}{R_B} = \frac{nU_{\text{ном}}}{R_B + R_D},$$

откуда

$$R_D = R_B(n - 1).$$

Добавочные резисторы изготавливают обычно из изолированной манганиновой проволоки, намотанной на пластины или каркасы из изоляционного материала. Они применяются в цепях постоянного и переменного тока. Добавочные резисторы, предназначенные для работы на переменном токе, имеют бифилярную обмотку для получения безреактивного сопротивления.

При замере высоких напряжений в цепях переменного тока, вольтметр включают в цепь через трансформатор напряжения, рис. 15.20. Трансформатор напряжения, обычно, имеет

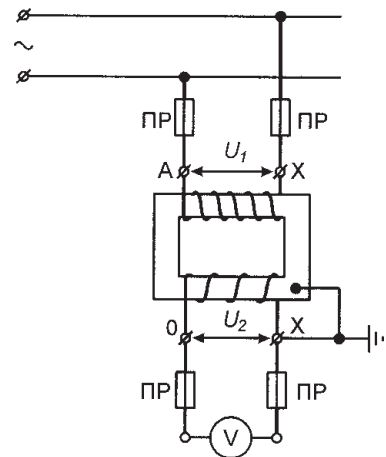


Рис. 15.20. Схема включения вольтметра с помощью трансформатора напряжения

маркировку выводных концов обмоток, которые маркируются следующим образом: A, X — зажимы первичной обмотки трансформатора напряжения; a, x — зажимы вторичной обмотки трансформатора напряжения. Первичная обмотка обязательно включается через предохранитель. Корпус и вторичная обмотка трансформатора напряжения заземляется.

15.9.3. Измерение мощности электрического тока

Мощность электрического тока измеряется с помощью ваттметра — прибора, имеющего две обмотки: токовую (последовательную) 1 и напряжения (параллельную) 2, рис. 15.21. Согласно схеме один из выводов токовой обмотки должен быть соединен с одним из выводов обмотки напряжения. Эти выводы в приборе присоединены к зажиму, обозначенному звездочкой.

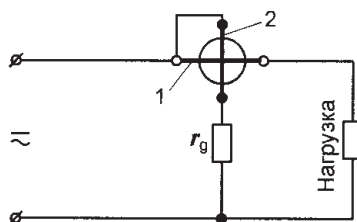


Рис. 15.21. Схема включения однофазного ваттметра

Шкала ваттметра проградуирована в ваттах или киловаттах. Расширение пределов измерения на постоянном токе по напряжению производится с помощью добавочных сопротивлений — шунтов. При измерениях на переменном токе расширение пределов производится с помощью трансформаторов тока и напряжения (рис. 15.22). При этом необходимо соблюдать правильность включения генераторных клемм (*) ваттметра.

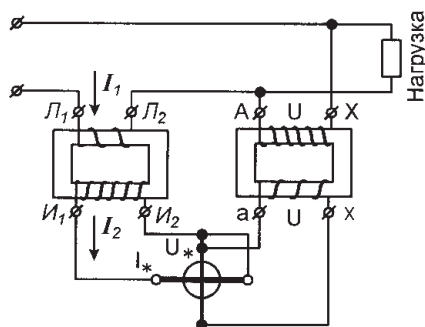


Рис. 15.22. Схема включения ваттметра с помощью трансформаторов тока и напряжения

Измерение мощности в трехфазных трехпроводных сетях производится с помощью двух однофазных ваттметров, включенных в две фазы по схеме приведенной на рис. 15.23. Потребляемая мощность равна сумме показаний обеих приборов, т. е. $P_{\text{общ}} = P_1 + P_2$.

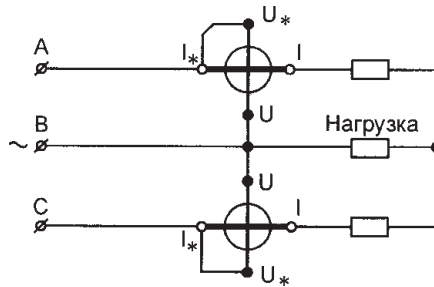


Рис. 15.23. Схема измерения активной мощности в трехфазной трехпроводной сети двумя ваттметрами

В трехфазных четырехпроводных сетях измерение активной мощности производится с помощью трех однофазных ваттметров (рис. 15.24) или одним трехэлементным ваттметром. Потребляемая мощность в цепи, при измерении тремя ваттметрами, равна сумме показаний трех приборов, т. е. $P_{\text{общ}} = P_1 + P_2 + P_3$.

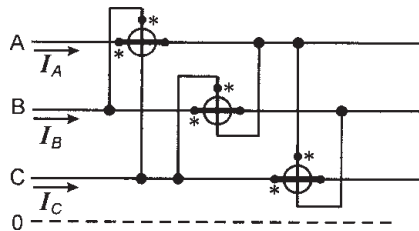


Рис. 15.24. Схема измерения активной мощности в трехфазной четырехпроводной сети тремя ваттметрами

Расширение пределов измерения производится с помощью трансформаторов тока и напряжения. Для измерения мощности, в этом случае, применяется трехфазный ваттметр, рис. 15.25.

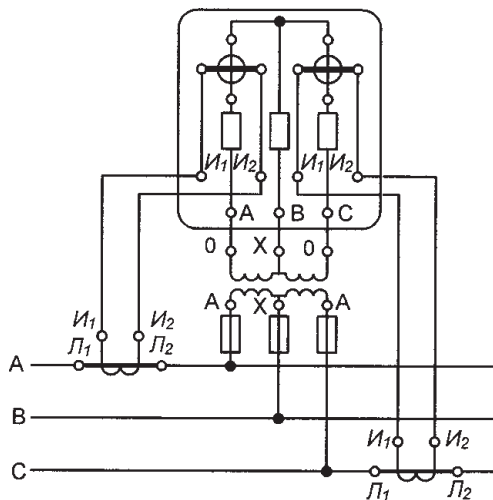


Рис. 15.25. Схема включения трехфазного ферродинамического ваттметра

15.8.4. Измерение электроэнергии

Учет электроэнергии в сетях переменного тока производится с помощью счетчика индукционной системы. Индукционные счетчики выпускаются в однофазном и трехфазном исполнении, причем последние бывают двух модификаций — для трех и четырехпроводной сети.

Принципиально измерение расхода активной и реактивной энергии в трехфазной сети может производиться счетчиками одного и того же типа при включении их по соответствующим схемам. Чтобы исключить возможность неправильного подключения счетчика и обеспечить правильный учет расхода активной и реактивной энергии, промышленностью выпускаются специальные счетчики активной и реактивной энергии.

Для измерения в трехфазных сетях активной энергии применяются счетчики типов СА3, СА4, СА4У; реактивной энергии — СР3, СР4, СР4У. Цифра 3 в обозначении типа счетчика указывает, что он предназначен для трехпроводной сети, 4 — для четырехпроводных.

Счетчики типов СА4У, СР4У — универсальные, предназначены для включения только с измерительными трансформаторами. Концы обмоток тока и напряжения этих счетчиков выведены на отдельные изолированные друг от друга зажимы. Благодаря этому имеется возможность включать токовые цепи счетчиков активной и реактивной энергии на общие трансформаторы тока.

Трехфазные счетчики остальных типов выполняются как трансформаторного, так и непосредственного (прямого) включения.

Для учета энергии в цепях однофазного тока используются счетчики типа СО.

Счетчики активной энергии выпускаются классов точности 1,0; 2,0; 2,5; счетчики реактивной энергии — 2,0; 2,5; 4,0 классов точности.

При непосредственном включении счетчика в сеть погрешность измерения расхода электроэнергии определяется классом точности самого счетчика. Включение счетчика через измерительные трансформаторы вносит дополнительную погрешность, и точность измерений уменьшается. Для учета электроэнергии применяются трансформаторы тока класса 0,2; 0,5; 1.

Обеспечить необходимую точность измерений можно при условии, что сопротивление токовых катушек всех счетчиков и соединительных проводов, включенных во вторичную цепь, не превышает допустимую номинальную нагрузку трансформаторов тока.

Для ориентировочных расчетов следует принимать сопротивление токовой катушки счетчика равным 0,05 Ом, а сопротивление соединительных проводов 0,2 Ом. Рассчитанные из этих соображений наименьшие допустимые сечения соединительных проводов указанных цепей приведены в табл. 15.3.

Таблица 15.3. Наименьшие допустимые сечения проводов от трансформаторов тока к счетчикам

Длина провода в один конец, м	До 10	10—15	15—25	25—35	35—50
Наименьшее сечение медных проводов, мм ²	2,5	4	6	8	10

Трансформаторы напряжения, работающие в цепях учета электроэнергии, должны быть класса 0,5. Для питания счетчиков применяются трехфазные и

однофазные трансформаторы напряжения. Последние включаются в звезду или по схеме открытого треугольника. Для защиты трансформаторов напряжения предохранители устанавливаются в цепь первичной высоковольтной обмотки; в цепь вторичной обмотки, питающей счетчики, ставить предохранители запрещается. Вторичные обмотки и корпус трансформаторов напряжения заземляются, также заземляются вторичные обмотки трансформаторов тока (одноименные зажимы).

С целью исключения ошибок учета, связанных с необходимостью пересчета показаний счетчика и введением коэффициентов, обусловленных схемой включения рекомендуется использовать счетчики в строгом соответствии с назначением и подключать их по схемам, предусмотренным для данного типа счетчика и изображенным на крышке, закрывающей выводные зажимы прибора.

Поскольку в основу схем включения счетчиков положены соответствующие схемы измерения мощности, счетчики будут обеспечивать точный учет расхода электроэнергии только для тех условий (равномерная или неравномерная нагрузка), в которых аналогичная схема подключения ваттметров обеспечивает необходимую точность. Ниже (рис. 15.26—15.28) в качестве примеров приведены несколько типов схем включения счетчиков. При подклю-

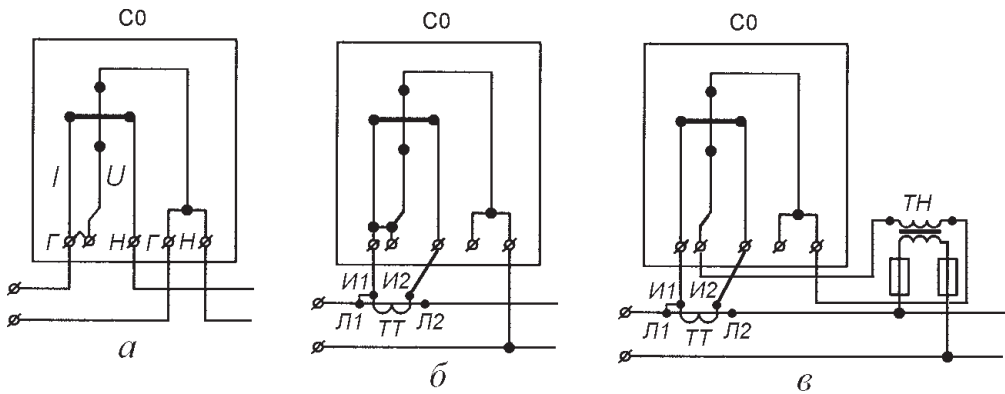


Рис. 15.26. Схема включения однофазного счетчика: *а* — непосредственно в сеть; *б* — через трансформатор тока; *в* — через трансформатор тока и напряжения

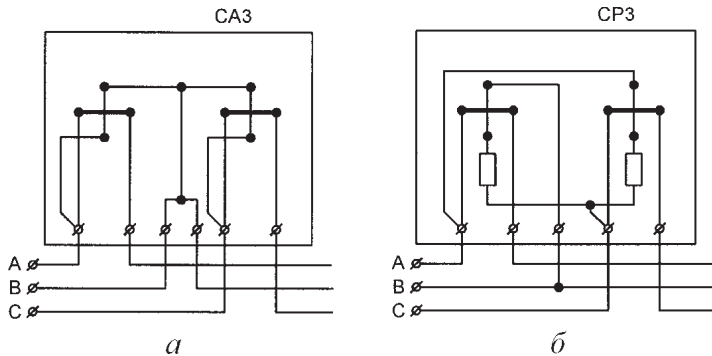


Рис. 15.27. Схема прямого включения трехфазного счетчика активной энергии (*а*) и трехфазного счетчика реактивной энергии (*б*)

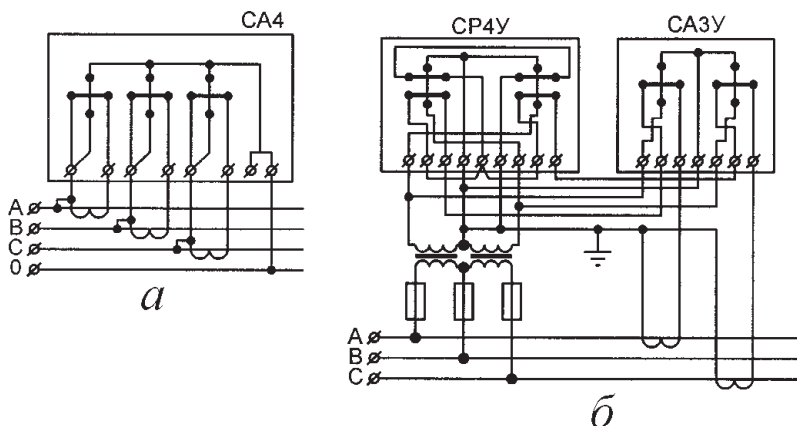


Рис. 15.28. Схема включения трехфазного счетчика активной энергии через трансформаторы тока (а) и схема совместного включения универсальных счетчиков активной и реактивной энергии (б)

чении счетчика через трансформаторы тока следует помнить, что к генератору (сторона питания) первичная обмотка подключается зажимом L_1 , а вторичная обмотка зажимом I_1 включается на генераторный вход счетчика.

15.8.5. Измерение электрического сопротивления

В современной измерительной практике принято условно разделять сопротивления на малые (до 1 Ом), средние (от 1 до $1 \cdot 10^5$ Ом) и большие ($1 \cdot 10^5$ и выше).

К малым сопротивлениям могут быть отнесены сопротивления токовых обмоток измерительных приборов и аппаратов, якорные обмотки электрических машин, соединительных проводов и шин. К средним — сопротивление обмоток напряжения измерительных приборов и аппаратов, обмоток возбуждения электрических машин, проводов электрических линий и сетей. К большим — сопротивление изоляции.

При измерении малых сопротивлений заметная погрешность может возникнуть за счет сопротивления соединительных проводов и контактов, соизмеримого с измеряемым сопротивлением. При измерении больших сопротивлений существенную погрешность могут внести токи утечки. Эти обстоятельства нужно учитывать при выборе методов и средств измерения.

Технические измерения средних сопротивлений и сопротивления изоляции выполняют при помощи специальных приборов непосредственной оценки, называемых омметрами или мегомметрами. Шкалы таких приборов проградуированы в единицах измерения сопротивления, а схемы приборов и их конструктивное оформление весьма разнообразны.

В зависимости от пределов измерений в омметрах применяют последовательную или параллельную схемы. В качестве измерительных механизмов используют обычные магнитоэлектрические однорамочные механизмы с противодействующей спиральной пружиной или магнитоэлектрические логометры.

Основным недостатком однорамочных омметров является зависимость их показаний от напряжения источника питания и необходимость предварительной проверки и регулировки нуля.

Источником питания омметров служат сухие гальванические батареи. Питание мегомметров производится от индукторов-генераторов постоянного тока, вращаемых от руки. При работе с мегомметром следует обращать внимание на скорость вращения якоря индуктора. В современных мегомметрах наличие центробежного регулятора скорости вращения в сочетании с логометрическим измерителем обеспечивает (в пределах от 0,85 до 1,25 номинального числа оборотов) практическую независимость показаний прибора от скорости вращения якоря. Мегомметры дают правильное показание при вращении ручки генератора в пределах 90—150 об/мин и разомкнутой внешней цепи.

Измерение сопротивления изоляции. Надежность работы электроустановок в значительной степени определяется надежностью электрической изоляции. Это подтверждается данными эксплуатации электрических машин и аппаратов. Анализ показывает, что основной причиной брака или выхода из строя является неудовлетворительное состояние изоляции, поэтому контроль за состоянием изоляции является одним из главных вопросов эксплуатации электроустановок.

Для измерения сопротивления изоляции, как указывалось выше, применяются мегомметры. В качестве источника тока в мегомметрах применяют обычно небольшие генераторы постоянного тока с ручным приводом. Напряжение на зажимах генератора зависит от скорости вращения якоря и, следовательно, неизбежны колебания напряжения при колебаниях частоты вращения.

При измерении сопротивления изоляции обмоток электрических машин с небольшой емкостью эти колебания напряжения практически не влияют на результат измерения. Однако если производить измерение сопротивления изоляции обмоток крупных электрических машин, то колебания напряжения, вызванные изменением частоты вращения якоря, приводят к колебаниям стрелки прибора и делают невозможным такое измерение.

Колебания стрелки объясняются зарядно-разрядными токами емкости объекта, проходящими через рамку прибора в сторону источника тока при уменьшении напряжения генератора и в сторону объекта при повышении напряжения. Для исключения таких колебаний привод генератора снабжается центробежным регулятором скорости. Если ручка привода вращается с номинальной частотой (120 об/мин) или немного превышающей номинальную, регулятор вступает в действие и поддерживает практически неизменными частоту вращения якоря и, следовательно, напряжение генератора.

Последовательность операций при работе с мегомметром. Перед измерением на месте должна быть проверена исправность мегомметра. Для этого мегомметр устанавливают в горизонтальное положение на твердом и ровном основании, зажимы L и \mathcal{E} замыкают накоротко, вращают рукоятку привода генератора с частотой 120 об/мин и проверяют совпадение стрелки с нулевой отметкой. Затем при разомкнутых зажимах вращают рукоятку привода генератора с той же частотой. При этом стрелка измерителя должна быть установлена на отметку ∞ .

Необходимо иметь в виду, что стрелка исправного мегомметра, пока он не присоединен и пока рукоятка не вращается, может занимать какое угодно положение, так как у логометра нет пружин, устанавливающих стрелку на нуль.

Для присоединения мегомметра к испытуемым объектам применяются гибкие провода необходимой длины и требуемого сечения. Провода должны иметь на концах щупы с изолированными рукоятками и ограничительным кольцом по условиям техники безопасности.

Перед началом работ по измерению сопротивления изоляции необходимо отключить испытуемое электрооборудование от сети и принять меры для исключения подачи напряжения на объект. Вывесить плакаты по технике безопасности в соответствии с требованиями действующих Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. Разрядить электрооборудование от емкостных токов на землю и снять защитные заземления и закоротки на время измерения.

Перед началом измерений необходимо убедиться в том, что все детали с пониженной изоляцией или пониженным испытательным напряжением, так же, как конденсаторы и полупроводниковые выпрямители и другое электронное оборудование, отключены или закорочены.

В электроустановках напряжением выше 1000 В и в распределительных устройствах до 1000 В, на распределительных щитах и магистральных шинопроводах измерения мегомметром должны производиться двумя лицами, один вращает рукоятку мегомметра, а другой касается изолированными щупами измеряемых цепей объекта.

Схемы присоединения мегомметра приведены на рис. 15.29—15.30. Как уже отмечалось выше, при измерении рукоятку привода мегомметра вращают равномерно с частотой около 120 об/мин, а при испытании объектов с большой емкостью во избежании колебания стрелки рекомендуется вращать рукоятку прибора с частотой 130—150 об/мин, и в определенный момент, когда стрелка займет устойчивое положение, отсчитывают по шкале показания стрелки мегомметра.

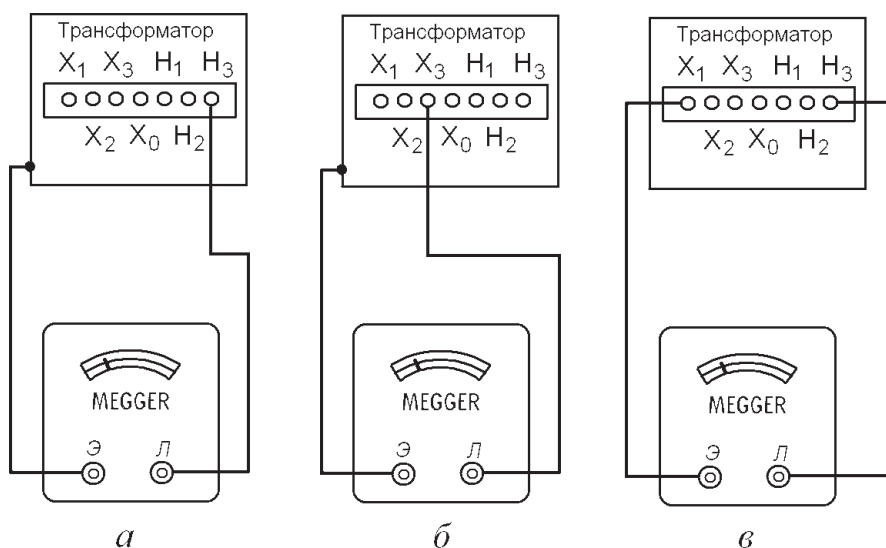


Рис. 15.29. Схемы измерения сопротивления изоляции обмоток трансформатора: *а* — измерение обмоток высокого напряжения относительно корпуса; *б* — измерение обмоток низкого напряжения относительно корпуса; *в* — измерение сопротивления изоляции между обмотками

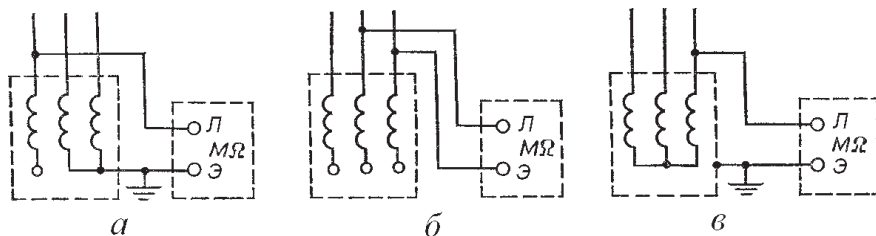


Рис. 15.30. Схемы измерения сопротивления изоляции обмоток электрических машин: *a* — измерение сопротивления изоляции фазы относительно корпуса и других заземленных фаз; *б* — измерение сопротивления изоляции между обмотками; *в* — измерение сопротивления изоляции соединенных обмоток по отношению к корпусу

Показания мегомметра в начале вращения рукоятки почти всегда меньше установившегося показания за счет емкости. Поэтому принято при измерении сопротивления изоляции принимать показания мегомметра через 60 с после приложения напряжения R_{60} . В этом случае считают, что абсорбционный ток в основном уже прекратился.

При испытании объектов с малой емкостью (линейные изоляторы, короткие участки сети и т. д.) можно пренебречь абсорбционными токами и производить один отсчет через 15 с после начала вращения рукоятки мегомметра (R_{15}).

При испытании изоляции необходимо следить за тем, чтобы провода от мегомметра были надежно присоединены к зажимам проверяемой цепи. Практически это делается так: прикладывают один провод к зачищенной металлической поверхности корпуса машины (желательно в месте заземления корпуса), а второй — к выводному или обнаженной поверхности проводников той обмотки, сопротивление изоляции которой измеряют.

При проверке изоляции оборудования и кабелей большой протяженности (рис. 15.31—15.32), имеющих большую емкость, необходимо помнить, что после измерения каждой фазы (или всех трех фаз относительно земли) необходимо снять накопленный от мегомметра заряд путем разряда этой емкости на «землю», для чего рекомендуется не снимать сразу провод мегомметра от испытываемой установки или жилы, а несколько задержать его, дав возможность стечь заряду через сопротивления мегомметра, после чего наложить заземление.

Измерение сопротивления изоляции силовых и осветительных проводок производится при снятых предохранителях, отключенных электроприемниках, приборах, аппаратах, вывернутых лампах, однако выключатели при этом должны быть включены.

В некоторых случаях сопротивление изоляции требуется измерять дважды. Перед повторным измерением или после окончания испытаний изоляции обмоток электрических машин (трансформаторов, электродвигателей и т. п.) испытываемая обмотка должна быть разряжена, а потенциал высокого напряжения должен быть снят, так как в противном случае эти заряды, сохраняясь продолжительное время, могут служить причиной поражения эксплуатационного персонала при прикосновении к выводам обмоток. Кроме того, если не будет сделана такая разрядка на корпус машины, то неизбежно появится большая погрешность в показаниях мегомметра в сторону завышения.

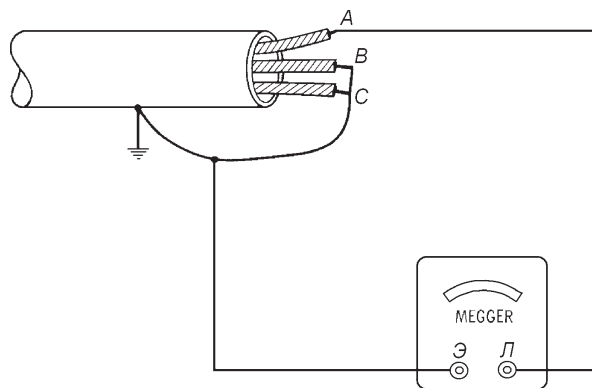
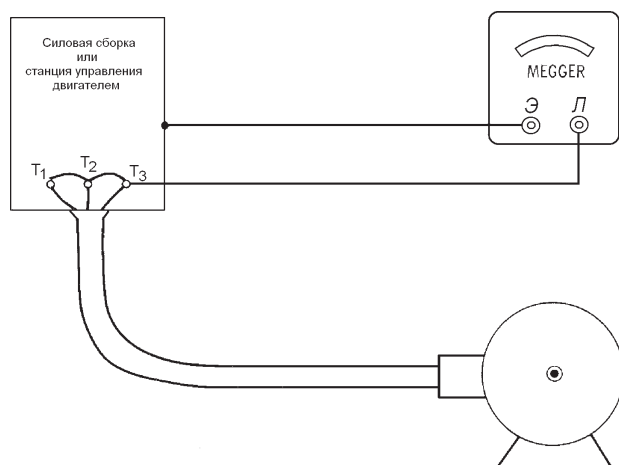


Рис. 15.31. Проверка изоляции кабелей

Рис. 15.32. Измерение сопротивления изоляции обмоток двигателя совместно с подводящим кабелем (Т₁, Т₂ и Т₃ — клеммы теплового реле магнитного пускателя)

Сопротивление изоляции обмоток электрических машин и аппаратов зависит от температуры обмотки, и с увеличением температуры оно резко уменьшается. Приблизительно можно считать, что сопротивление изоляции меняется примерно в два раза на каждые 20 °С изменения температуры.

Если при измерениях сопротивления изоляции электрических машин установлено, что причиной его низкого уровня является увлажненность изоляции, то для повышения сопротивления изоляции применяют сушку изоляции, а если низкое сопротивление изоляции является следствием ее запыленности токопроводящей пылью, то изоляцию продувают сжатым воздухом.

Сушить обмотки электродвигателей рекомендуется в условиях участка технического обслуживания электрооборудования мастерской хозяйства или предприятия. Наиболее целесообразно сушить обмотки в сушильном шкафу при температуре 80—90 °С в течение 7—10 часов. Изоляция обмоток считается высушенной, если ее сопротивление при установившейся температуре не изменяется в течение 2—3 часов.

15.10. Измерение неэлектрических величин электрическими методами

Измерение неэлектрических величин электрическими методами — обширная область измерительной техники. Быстрое развитие этой области объясняется возможностью непрерывного измерения, измерения на расстоянии, высокой точностью и чувствительностью.

В большинстве случаев измерение неэлектрических величин сводится к тому, что неэлектрическая величина преобразуется в зависящую от нее электрическую величину, измеряя которую, определяем и неэлектрическую величину.

Элемент измерительного устройства, преобразующий неэлектрическую величину в электрическую, называется измерительным преобразователем.

Если неэлектрическая величина преобразуется в один из электрических параметров R , L или C , то преобразователь — параметрический, если же неэлектрическая величина преобразуется в э.д.с., то преобразователь генераторный.

Устройство для измерения неэлектрических величин электрическим путем в простейшем случае состоит из преобразователя, соединительных проводов и измерительного механизма, на шкале которого обычно наносятся значения измеряемой неэлектрической величины. В большинстве же случаев измерительные устройства усложняются применением: сложных схем; источников питания; стабилизаторов; выпрямителей; усилителей и т. п.

Принцип работы и упрощенные схемы некоторых наиболее распространенных измерительных преобразователей рассмотрены ниже.

Параметрические преобразователи включаются в цепь, содержащую источник тока и чувствительный измерительный прибор, который регистрирует изменение силы тока, вызванное изменением сопротивления датчика. Параметрические преобразователи по принципу действия делятся на следующие группы.

Реостатные преобразователи. Представляют собой специальные резисторы (рис. 15.33), изменяющие под влиянием механических воздействий на них сопротивление цепи, в которую они включены. При механическом воздей-

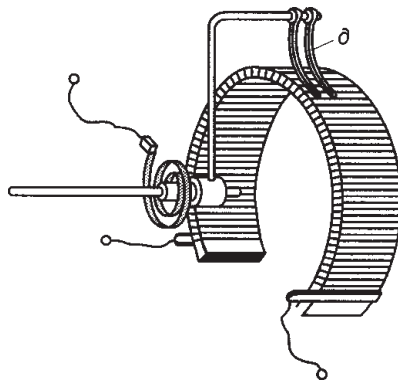


Рис. 15.33. Реостатный преобразователь

вии, например, на подвижный контакт d реостата сопротивление цепи и сила тока в ней изменяется, и прибор сигнализирует в итоге о степени неэлектрического воздействия.

В схемах на рис. 15.34а и 15.34б с реостатным преобразователем использованы одно рамочные магнитоэлектрические измерительные механизмы, а в схеме на рис. 15.34в применен двух рамочный механизм логометра.

В качестве примера рассмотрим применение реостатного преобразователя для измерения уровня или объема жидкости, рис. 15.35. Изменение положения поплавка, определяемого уровнем или объемом жидкости, вызывает изменение сопротивлений R_1 и R_2 , включенных последовательно с катушками логометра. В результате изменяются отношения токов в катушках и показания прибора. Шкала прибора градуируется в значениях измеряемой величины объема или уровня жидкости.

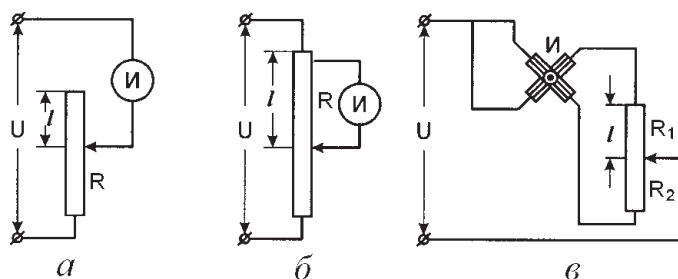


Рис. 15.34. Схемы с реостатным преобразователем: а и б — одно рамочные измерительные механизмы; в — двух рамочный механизм логометра

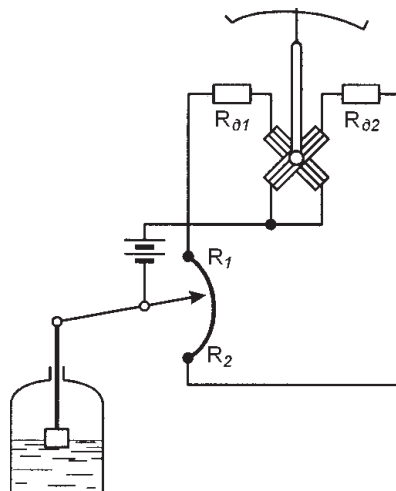


Рис. 15.35. Схема уровнемера

Преобразователи контактного сопротивления. В основе их работы лежит зависимость контактного сопротивления от измеряемой величины, например давления, деформации и т. д. В качестве примера рассмотрим столбик из

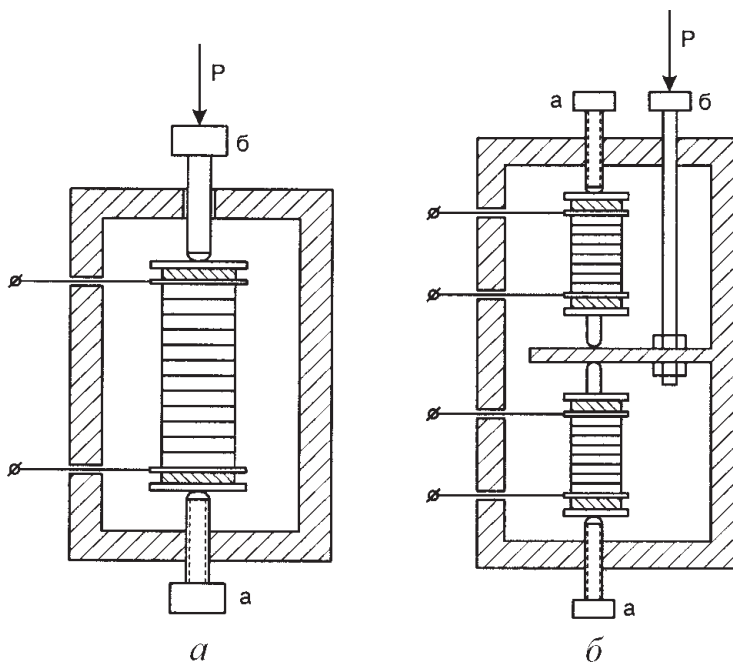


Рис. 15.36. Преобразователь (а) и дифференциальный преобразователь (б) с угольными шайбами

10—15 угольных шайб ($d = 0,5—1,0$ см), на концах которого расположены латунные диски с выводами для включения в измерительную цепь, зажат между двумя винтами *а* и *б* (рис. 15.36а), изолированными от столбика слюдяными прокладками.

Электрическое сопротивление столбика зависит от его сжатия, так как при этом изменяется переходное сопротивление между шайбами. Таким образом, по изменению электрического сопротивления столбика можно определить механическую силу P , действующую на винт *б*. Применение двух столбиков (рис. 15.36б) — при действии на которые измеряемой силы P увеличивается сжатие одного и уменьшается сжатие другого столбика — дает увеличение точности измерения.

Включение двух столбиков в два смежных плеча измерительного моста устраняет влияние температуры на результат измерения, так как изменение температуры вызовет одинаковое изменение сопротивлений обоих столбиков и равновесие моста сохранится.

Тензометры (проволочные датчики) изменяют электрическое сопротивление в результате деформации. Тензометр, воспринимая механическую нагрузку, деформируется, и электрическое сопротивление проволочки изменяется.

Тензометры изготавливаются из тонкой проволоки ($d = 0,02—0,04$ мм), концы которой привариваются к медным выводам (рис. 15.37). Проволока закрепляется специальным клеем между двумя листочками тонкой бумаги площадью $0,1—10$ см².

Тензометр приклеивается на поверхность испытываемой детали или конструкции и воспринимает ее деформацию, при этом изменяются размеры,

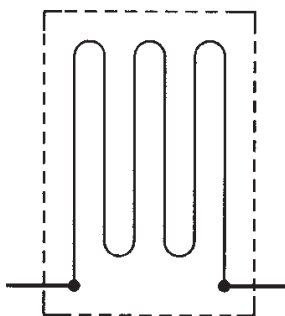


Рис. 15.37. Схема проволочного тензомера

удельное сопротивление материала и сопротивление преобразователя. По относительному изменению сопротивления можно определить механические напряжения, возникающие в детали или конструкции.

Для тензометров применяется проволока из константана, нихрома или железо-хромоалюминиевого сплава — материалов, обладающих большой относительной чувствительностью, малым температурным коэффициентом и большим удельным сопротивлением.

Сопротивление тензомера — несколько сотен Ом, а относительное изменение сопротивления — десятые доли процента. Для устранения влияния температуры применяют два одинаковых тензометра: один — «рабочий», другой — «нерабочий», которые включаются в два смежных плеча измерительного моста. Рабочий тензометр наклеивается на поверхность испытываемой детали, а нерабочий — на поверхность из такого же металла, что и испытываемая деталь. Проволочные тензометры являются разовыми, т. е. наклеиваются только один раз.

Партия тензометров, изготовленных из одной и той же проволоки, при одинаковом сопротивлении и одинаковой технологии обладает характеристиками совпадающими с точностью до 1 %. Это дает возможность, получив указанную характеристику для одного из тензометров данной партии, применять ее для остальных тензометров этой партии.

Индуктивный преобразователь (рис. 15.38) это электромагнит, якорь которого перемещается под действием измеряемой механической величины P : силы, давления, линейного перемещения. Изменение положения якоря изменяет воздушный зазор δ , а следовательно, индуктивность катушки электромагнита и ее полное сопротивление.

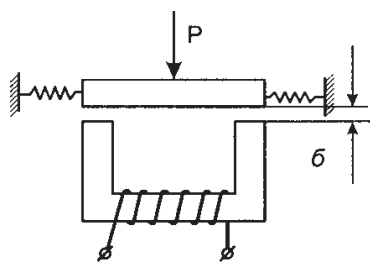


Рис. 15.38. Схема индуктивного преобразователя

Индуктивные преобразователи включаются в цепь переменного тока. При изменении индуктивного сопротивления датчика соответственно меняется и сила тока в цепи. Таким образом, по изменению силы тока можно судить о значении силы P . Например, в дифференциальном преобразователе (рис. 15.39) перемещение якоря вызывает увеличение индуктивности одной катушки и уменьшение индуктивности другой, что повышает чувствительность преобразователя. Включение двух катушек в смежные плечи измерительного моста дает температурную компенсацию.

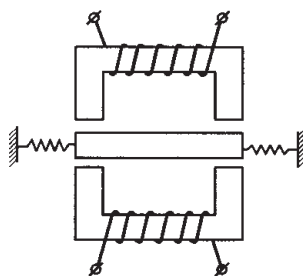


Рис. 15.39. Схема индуктивного дифференциального преобразователя

В индуктивном преобразователе трансформаторного типа (рис. 15.40) первичная обмотка питается переменным током с постоянным действующим значением. Под действием измеряемой механической величины P изменяется воздушный зазор δ , магнитное сопротивление цепи, а следовательно, и магнитный поток, пронизывающий вторичную обмотку, к зажимам которой присоединен вольтметр. Таким образом, вторичная индуцированная э.д.с. и показания вольтметра зависят от измеряемой величины.

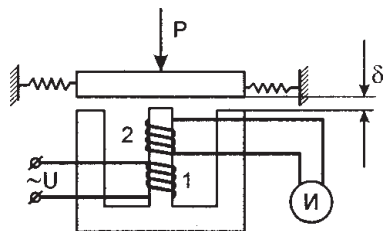


Рис. 15.40. Схема индуктивного преобразователя-трансформатора

Емкостный преобразователь представляет собой конденсатор, емкость которого изменяется под действием силы, давления, линейного перемещения, угла поворота, количества вещества или содержания влаги.

Так как емкость конденсатора зависит от площади электродов, их формы, расстояния между ними, и его диэлектрической проницаемости, то эти преобразователи можно применять для измерения тех неэлектрических величин, значения которых влияют на один из перечисленных выше параметров емкостного преобразователя.

В емкостных манометрах и динамометрах изменяется воздушный зазор δ (рис. 15.41) между двумя пластинами конденсатора под действием измеряемого давления P или силы F .

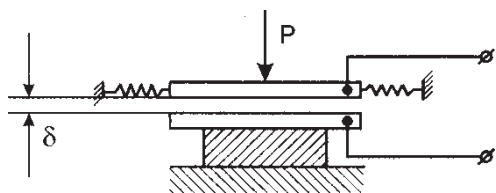


Рис. 15.41. Принцип работы емкостного манометра и динамометра

Работа емкостного преобразователя для измерения толщины резиновой ленты I , которая протягивается между двумя неподвижными электродами $З$ (рис. 15.42), основана на влиянии толщины ленты на изменение воздушного зазора и емкости преобразователя.

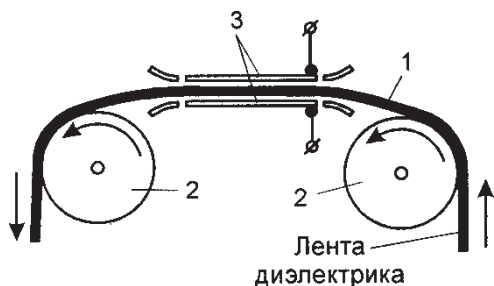


Рис. 15.42. Схема устройства емкостного преобразователя для измерения толщины ленты

Емкостный преобразователь для измерения влажности зерна, порошка, волокна, пряжи представляет собой цилиндрический конденсатор (рис. 15.43). Внутренний электрод его имеет форму цилиндрического стержня, наружный электрод — форму стакана, внутреннее пространство до определенного уровня заполняется испытываемым материалом. Содержание влаги в испытываемом материале резко увеличивает емкость вследствие большей диэлектрической проницаемости воды.

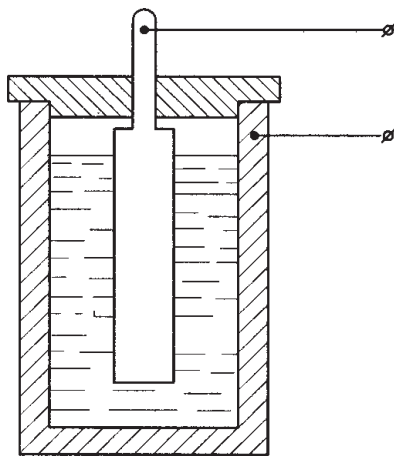


Рис. 15.43. Принцип устройства емкостного преобразователя влагомера

Емкостные преобразователи имеют малую емкость, поэтому измерение их емкости производится при повышенной или высокой частоте, применяя при этом электронные усилители.

Генераторные преобразователи по принципу действия делятся на следующие группы.

Индукционные преобразователи. Преобразование измеряемой неэлектрической величины в индуктированную э.д.с. используется для измерения скорости, линейных или угловых перемещений. Например, в индукционном преобразователе для измерения скорости вращения (тахометре), измеряемая величина преобразуется в пропорциональную ей э.д.с.

Тахометр (рис. 15.44) представляет собой маленькую магнитоэлектрическую машинку, якорь которой вращается между полюсами постоянного магнита и, следовательно, напряжение на зажимах которой пропорционально скорости вращения якоря. Якорь механически связан с валом машины, скорость которой измеряется, поэтому показание вольтметра, присоединенного к зажимам якоря, пропорционально измеряемой скорости вращения.

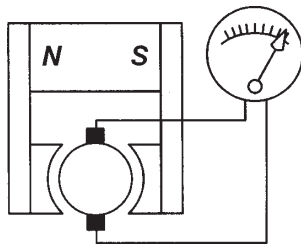


Рис. 15.44. Схема индукционного тахометра

Индукционный тахометр с вращающимся магнитом (рис. 15.45) состоит из алюминиевого диска 1, укрепленного на одной оси со стрелкой 2, и постоянного магнита, механически связанного с валом машины, скорость которой измеряется.

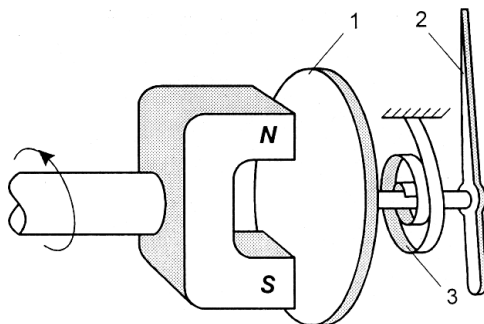


Рис. 15.45. Устройство тахометра с вращающимся магнитным полем

При вращении постоянного магнита в диске индуктируется э.д.с. и вихревые токи. В результате взаимодействия вихревых токов с полем постоянного магнита создается вращающий момент, вызывающий поворот диска на

угол, при котором этот момент уравнивается моментом пружины 3. Каждой скорости вращения соответствует определенный угол поворота подвижной части.

Термоэлектрические преобразователи. Возникновение термо-э.д.с. в цепи преобразователя и зависимость ее от температуры используется для ее измерения. Сочетание магнитоэлектрического измерительного механизма с термоэлектрическим преобразователем — термопарой (рис. 15.46), предназначенное для измерения температур, называется термоэлектрическим пирометром.

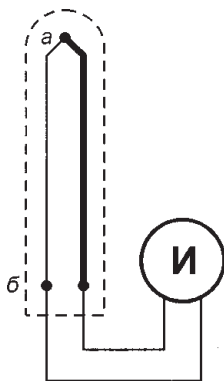


Рис. 15.46. Схема термоэлектрического пирометра

Нагревание рабочего конца термопары (*a*) вызывает термо-э.д.с. и ток в цепи измерительного механизма, по отклонению подвижной части которого и определяется температура. Провода термопары должны быть достаточно длинными, чтобы их свободные концы находились в среде с температурой, при которой градуировался пирометр. При измерении невысоких температур влияние температуры свободных концов (*б*) термопары может быть очень большим. Для устранения этого влияния свободные концы помещают в термостат с постоянной температурой.

Для термопар применяют: медь—константан (до 300 °С), медь—никель (до 600 °С), железо—копель (до 800 °С), хромель—копель (до 800 °С), хромель—алюмель (до 1300 °С), платина—платинородий (до 1600 °С).

Для защиты от механических повреждений и действия газов термопары помещают в защитные трубки из латуни, стали, фарфора или других материалов.

Пьезоэлектрические преобразователи. Пьезоэлектрический эффект, используемый в преобразователях, заключается в появлении электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллических диэлектриков (кварц) под действием механических напряжений или деформаций.

Измеряемое давление *P* действует на дно корпуса преобразователя (рис. 15.47), являющееся мембраной. Две пластинки кварца зажаты между тремя металлическими прокладками. Между верхней прокладкой и крышкой корпуса расположен шарик, обеспечивающий равномерность распределения измеряемого давления. К средней прокладке — отрицательному электроду, присоединен провод, изолированный от корпуса втулкой.

Глава шестнадцатая

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ



16.1. Назначение схем

Основным техническим документом, в котором должен хорошо разбираться каждый электромонтажник и электромонтер, являются чертежи и электрические схемы.

Чертеж дает представление о форме, размере, материале и составе изделия (установки). Однако во многих случаях, когда данное изделие (установка) состоит из целого ряда элементов (деталей), по чертежу не всегда можно понять взаимную (функциональную) связь между этими элементами. Чтобы разобраться в этих связях, служит схема, что особенно важно при пользовании чертежами электрических установок.

Схемы подразделяются по видам. Вид схемы определяется видом элементов и связей между ними, а также энергоносителем, который необходим для действия элементов.

- электрические схемы: элементы — электротехнические изделия; связи — проводники; энергоноситель — электрический ток;
- гидравлические схемы: элементы — насосы, задвижки, вентили; связи — трубопроводы; энергоноситель — жидкость под давлением, например вода, масло;
- пневматические схемы: элементы — компрессоры, клапаны, золотники; связи — трубопроводы; энергоноситель — сжатый газ, пар, воздух;
- кинематические схемы: элементы — части механизмов; связи между ними — рычаги, тяги, цепи; энергоноситель — механическая энергия.

Схемы автоматизации. В их состав могут входить схемы различных видов с соответствующими связями. В данном случае название вида подчеркивает назначение схемы, а не вид элементов и связей.

Комбинированные (совмещенные) схемы, например электрогидравлическая, т. е. схема, которая содержит и электрические и гидравлические элементы. Распространение совмещенных схем объясняется тем, что в настоящее время многие технические задачи решаются совместно средствами гидравлики, пневматики, электротехники и механики. Например, для перемещения груза электродвигатель приводит в действие насос, поднимающий давление в гид-

равлической системе. Направление движения определяется положением золотника. Золотники имеют пневматические приводы. Ограничение хода достигается элементами кинематики и т. п.

Электрической схемой называется упрощенное и наглядное изображение связи между отдельными элементами электрической цепи, выполненное при помощи условных обозначений и позволяющее понять принцип действия данного электрического устройства, определить его состав и (с некоторым приближением) его стоимость.

Электрическая схема облегчает ознакомление с любой электроустановкой и с любым электрическим аппаратом, как в натуре, так и в чертежах, а при аварии помогает найти место повреждения в электрической цепи, является руководством при монтаже любых видов электропроводок, а также дает указание о способе и порядке соединения отдельных участков цепи.

Согласно ГОСТ 2.701 в зависимости от основного назначения схемы подразделяются на структурные — определяют основные функциональные части изделия; функциональные — разъясняют процессы протекающие в изделии или установке; принципиальные (полные) — определяют полный состав элементов и связей между ними и, дают детальное представление о принципе работы; схемы соединений (монтажные) — изображают соединения составных частей устройства в деталях с указанием характера прокладки проводов, сбора их в жгуты и крепления; общие — отражают конструктивные узлы электроустановки и связи между ними; расположения — определяют взаимное расположение электрооборудования.

Принципиальные схемы сравнительно просты по начертанию, но по существу они самые сложные и самые важные. Дело в том, что именно на основании принципиальных схем разрабатывают схемы других типов, т. е. такие схемы, руководствуясь которыми выполняют работы. Это схемы соединений (монтажные), подключения, общие, расположения и объединенные.

На объединенной схеме могут быть помещены схемы одного вида, но нескольких типов, относящихся к одному изделию (установке), например схема электрическая принципиальная и схема электрическая соединений, рис. 16.1.

Работать в электроустановках на память, без схем нельзя — это опасно. Схемы нужно уметь читать, т. е. получать из них сведения, необходимые для выполнения определенной работы. Если же схема прочитана не правильно, это влечет за собой неправильные действия. Монтажники, например, присоединят (отсоединят) не то (или не туда), что следует. Наладчики и ремонтники вместо того, что наладить (отремонтировать) одни цепи, могут испортить другие, исправные. Эксплуатационники ошибутся в переключениях, не смогут разобраться в причинах неполадок и т. д.

Чтобы понять (прочитать) схему, необходимо знать те условные обозначения, которые использованы при ее вычерчивании. Но, при этом, электрические схемы должны быть понятны всем, кому приходится по ним работать: электромонтажникам и наладчикам, ремонтникам и эксплуатационникам. Поэтому схемы выполняют по определенной системе, установленной стандартами, в стандартных условных обозначениях, не давая каких-либо пояснений этих обозначений.

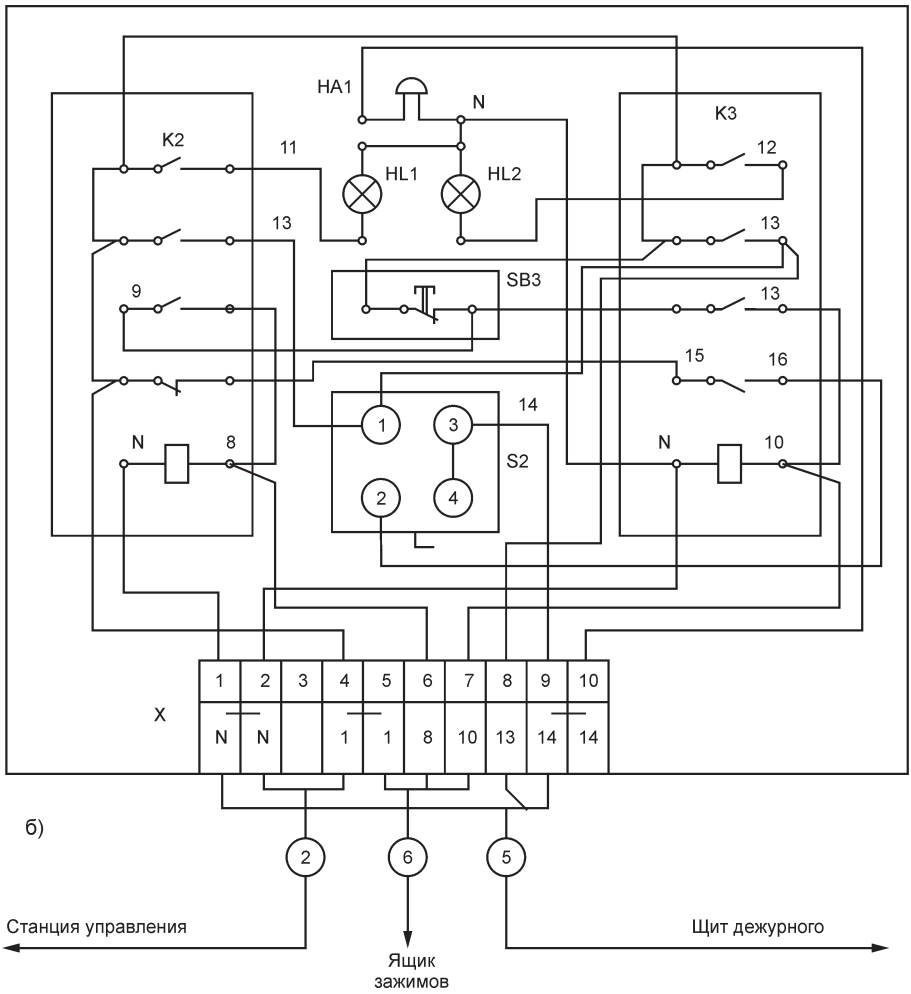
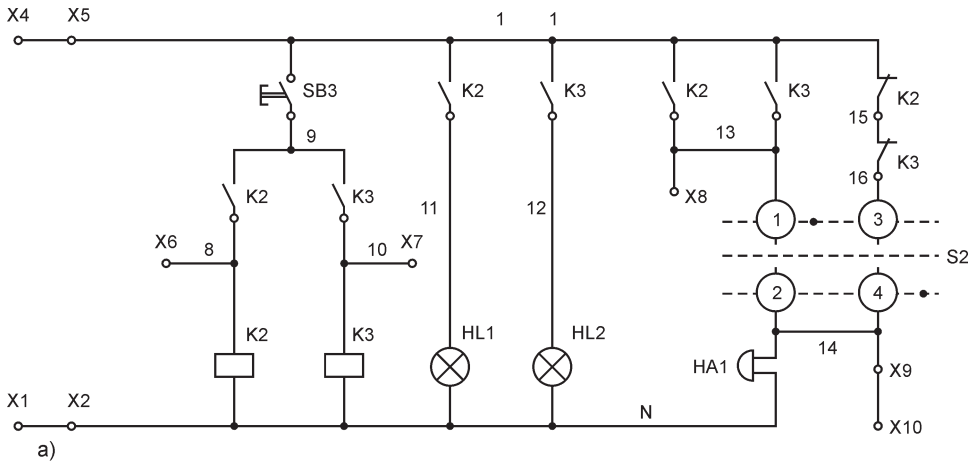


Рис. 16.1. Принципиальная схема щитка сигнализации (а) показывает, что и с чем должно быть соединено и выведено на зажимы; объединенная схема (б) показывает, как надлежит выполнить соединение в пределах изделия и присоединить кабели

Значительно легче читать схему, если она выполнена толково, т. е. в ней рационально расположены цепи, схема снабжена четкими пояснениями, приведены выкопировки из схем технологического потока (электроснабжения), диаграммы взаимодействия и т. п. Одним словом, к схемам предъявляются те же требования, что и к текстовым материалам. Действительно, легче читать текст, если он изложен последовательно, выдержана четкая рубрикация, выделены абзацы, соблюдена строгая система шрифтовых выделений и т. п.

16.2. Условные обозначения, применяемые в схемах

Уже в середине прошлого столетия появилась необходимость унифицировать условные обозначения, при помощи которых в схемах описывается тот или иной процесс, то или иное изделие или установка. Это стало необходимым в первую очередь для того, чтобы схема была понятна любой группе работников производства независимо от их специальности как в нашей стране, так и за рубежом.

В 1955 г. в Советском Союзе был выпущен ГОСТ 7624 «Обозначения условные графические в электрических схемах», который в дальнейшем подвергся значительным изменениям. В настоящее время при составлении электрических схем пользуются ГОСТами, вошедшими в Единую систему конструкторской документации (ЕСКД), на основании которых излагается материал настоящей главы.

При создании условных графических обозначений всегда исходят из простейших геометрических фигур, не представляющих затруднения при их изображении. Чтобы облегчить запоминание условных обозначений отдельных элементов электрической установки, их частично изображают наиболее характерными символами.

Так, для генераторов, электродвигателей и других электрических машин характерно наличие цилиндрических частей (статор, ротор), поэтому основой условного обозначения электрических машин служит окружность. Электрические машины постоянного тока характеризуются наличием щеток на коллекторе, поэтому в условных обозначениях машин данного типа имеется зачерненный прямоугольник, касающийся окружности.

Коммутирующие аппараты на схемах изображают, как правило, в отключенном положении, т. е. при отсутствии тока в цепи и внешних принуждающих сил, воздействующих на подвижные контакты. Все контакты разделяются на замыкающие и размыкающие.

Установлены три способа построения условных графических обозначений: упрощенный однолинейный, упрощенный многолинейный и разнесенный.

В упрощенных однолинейных обозначениях провода питания или связи, выводы обмоток статора и ротора электрических машин изображаются одной линией. Иногда при помощи отрезков, пересекающих эти линии под углом 45° , указывают число проводов.

В упрощенных многолинейных обозначениях все провода питания или связи, а также выводы статора или ротора обозначаются отдельными линиями.

В разнесенных обозначениях обмотки трансформатора и статора изображаются в виде цепочки полуокружностей, а обмотки ротора — в виде окружностей.

Условные обозначения, наиболее употребительные в электрических схемах, и их размеры, приведены в табл. 16.1—16.19.

Таблица 16.1. Обозначения элементов привода и управляющих устройств по ГОСТ 2.721—74

Наименование		
Привод ручной	Общее обозначение	
	Приводимый в движение нажатием кнопки	
	Приводимый в движение нажатием кнопки с ограниченным доступом	
	Приводимый в движение вытягиванием кнопки	
	Приводимый в движение поворотом кнопки	
	Приводимый в движение рычагом	
	Аварийного срабатывания	

Примечание. Предполагается, привод кнопками имеет самовозврат

Таблица 16.2. Общие элементы условных графических обозначений, линии для выделения и разделения частей схемы и для экранирования по ГОСТ 2.721—74











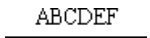
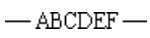
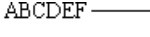
Наименование	Обозначение
Прибор, устройство	 или  
Линия для выделения устройств, функциональных групп, частей схемы	
Экранирование	
Экранирование группы элементов. <i>Примечание.</i> Экранирование допускается изображать с любой конфигурацией контура	
Экранирование группы линий электрической связи	 или 

Таблица 16.3. Обозначения заземления и возможных повреждений изоляции по ГОСТ 2.721—74

Наименование	Обозначение	
Заземление, общее обозначение		
Бесшумное заземление (чистое)		
Защитное заземление		
Электрическое соединение с корпусом (массой). <i>Примечание.</i> При отсутствии наклонных линий допускается горизонтальную линию изображать толстой		
Возможность повреждения изоляции	общее обозначение	
	между проводами	
	между проводом и корпусом (пробой на корпус)	
	между проводом и землей (пробой на землю)	
	<i>Примечание.</i> Допускается применять точки для обозначения повреждения изоляции между проводами	


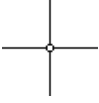
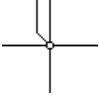



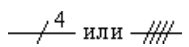

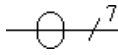
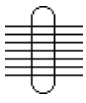
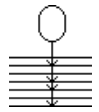
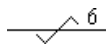
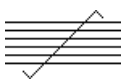

Таблица 16.4. Обозначения электрических связей, проводов, кабелей и шин по ГОСТ 2.721—74

Наименование		Обозначение	
Линия электрической связи, провода, кабели, шины, линия групповой связи			
<i>Примечания</i>	Допускается защитный проводник (РЕ) изображать тонкой штрих пунктирной линией		
	При наличии текста к линии электрической связи, кабелю, шине или к линии групповой связи текст помещают	над линией	
		в разрыве линии	
		в начале или конце линии	

Продолжение табл. 16.4

Наименование		Обозначение
Графическое разветвление (слияние) линий электрической связи в линию групповой связи, разводка жил кабеля или проводов жгута		
Примечания	Для облегчения поиска отдельных линий связи можно указывать направление каждой линии при помощи излома под углом 45°, при этом	<p>точка излома должна быть удалена от групповой линии связи не менее чем на 3 мм</p> <p>наклонные участки соседних линий, изображенных по одну сторону от групповой линии связи, не должны пересекаться или иметь общие точки</p>
Пересечение линий электрической связи, линий групповой связи, электрически не соединенных проводов, кабелей, шин электрически не соединенных. Линии должны пересекаться под углом 90°		
Примечание. Линия, имеющая излом под углом 135°, не должна пересекаться с другой линией в точке излома		
Линия электрической связи с ответвлениями	с одним	
	с двумя	
	Ответвления допускается изображать под углами, кратными 45°	
Обрыв линии электрической связи. Примечание. На месте знака X указывают необходимые данные о продолжении линии на схеме		
Шина		
Ответвление шины		
Шины, графически пересекающиеся и электрически несоединенные		
Отводы (отпайки) от шины		

Продолжение табл. 16.4

Наименование		Обозначение
Группа проводов, подключенных к одной точке электрического соединения	2 провода	
	4 провода	
	более четырех проводов	
Группа линий электрической связи, имеющих общее функциональное назначение, изображенная	В однолинейном изображении указывается количество линий в группе, например группа линий электрической связи, состоящей из 7 линий	
	При многолинейном изображении группы для облегчения поиска линий допускается разбивать группу линий на подгруппы при помощи интервалов. При этом в каждой подгруппе должно быть одинаковое количество линий; крайняя подгруппа может содержать меньшее количество линий	
	В однолинейном изображении группы линий электрической связи, состоящей из 2—4 линий, допускается изображать	группу из двух линий 
	группу из четырех линий 	
Переход группы линий электрической связи, имеющих общее функциональное назначение, от многолинейного изображения к однолинейному (например, 8 линий)		
Группа линий электрической связи, имеющих общее функциональное назначение и осуществляемых многожильным кабелем, например семижильным, изображенная	однолинейно	
	многолинейно	
Группа линий электрической связи, четыре из которых осуществлены многожильным кабелем		
Группа линий электрической связи, осуществленная п скрученными проводами, например шесть, изображенная	однолинейно	
	многолинейно	
Линия электрической связи, осуществленная гибким проводом		

Окончание табл. 16.4


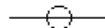
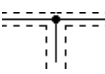
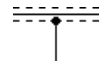
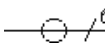

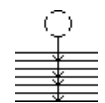
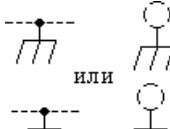
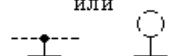
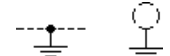



Наименование		Обозначение
Экранированная линия электрической связи, провод и кабель экранированы		 или 
Экранированная линия электрической связи с ответвлением		
Экранированная линия электрической связи, с ответвлением от экрана		
Группа линий электрической связи в общем экране, например шесть, изображенные	однолинейно	
	многолинейно	
Группа линий электрической связи, четыре из которых находятся в общем экране		
Соединение экрана	с корпусом	 или 
	с землей	

Таблица 16.5. Обозначения рода тока и напряжения по ГОСТ 2.721—74

Наименование		Обозначение
Постоянный ток	Основное обозначение	—
	<i>Примечание.</i> Если невозможно использовать основное обозначение, то используют следующее обозначение	
Полярность постоянного тока	положительная	+
	отрицательная	-
Двухпроводная линия постоянного тока напряжением 110 В		2 — 110В
Трехпроводная линия постоянного тока, включая средний провод, напряжением 110 В между каждым внешним проводником и средним проводом, 220 В — между внешними проводниками		2М — 110/220 В
Переменный ток	Основное обозначение	
	<i>Примечание.</i> Допускается справа от обозначения переменного тока указывать величину частоты, например переменного тока частотой 10 кГц	

Окончание табл. 16.5



















Наименование		Обозначение
Переменный ток	трехфазный, четырехпроводная линия (три провода, нейтраль) частотой 50 Гц, напряжением 220/380 В	$3N \sim 50\text{Гц } 220/380\text{В}$
	трехфазный, пятипроводная линия (три провода фаз, нейтраль, один провод защитный с заземлением) частотой 50 Гц, напряжением 220/380 В	$3NPE \sim 50\text{Гц } 220/380\text{В}$
	трехфазный, четырехпроводная линия (три провода фаз, один защитный провод с заземлением, выполняющий функцию нейтрали) частотой 50 Гц, напряжением 220/380 В	$3PEN \sim 50\text{Гц } 220/380\text{В}$
Частоты переменного тока (основные обозначения)	промышленные	
	звуковые	
	ультразвуковые и радиочастоты	
	сверхвысокие	
Постоянный и переменный ток		
Пульсирующий ток		

Таблица 16.6. Обозначения видов обмоток в изделиях по ГОСТ 2.721—74

Наименование	Обозначение
Однофазная обмотка с двумя выводами	
Однофазная обмотка с выводом от средней точки	
Две однофазные обмотки, каждая из которых с двумя выводами	
Три однофазные обмотки, каждая из которых с двумя выводами	
Двухфазная обмотка с отдельными фазами	
Трехфазная обмотка с отдельными фазами	
Трехфазная обмотка, соединенная в звезду	
Трехфазная обмотка, соединенная в звезду, с выведенной нейтралью	
Трехфазная обмотка, соединенная в звезду, с выведенной заземленной нейтралью	
Трехфазная обмотка, соединенная в треугольник	
Трехфазная обмотка, соединенная в разомкнутый треугольник	
Трехфазная обмотка, соединенная в зигзаг	

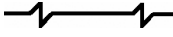
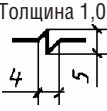
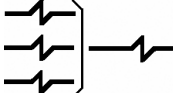
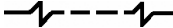
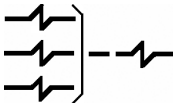

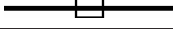

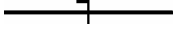

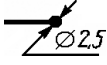



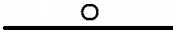
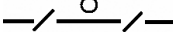
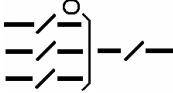
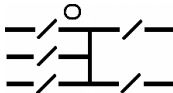
Окончание табл. 16.6

Наименование	Обозначение
Трехфазная обмотка, соединенная в зигзаг, с выведенной нейтралью	
Четырехфазная обмотка	
Четырехфазная обмотка с выводом от средней точки	
Шестифазная обмотка, соединенная в звезду	
Шестифазная обмотка, соединенная в звезду, с выводом от средней точки	
Шестифазная обмотка, соединенная в двойную звезду	
Шестифазная обмотка, соединенная в две обратные звезды	
Шестифазная обмотка, соединенная в две обратные звезды, с отдельными выводами от средних точек	
Шестифазная обмотка, соединенная в два треугольника	
Шестифазная обмотка, соединенная в шестиугольник	
Шестифазная обмотка, соединенная в двойной зигзаг	
Шестифазная обмотка, соединенная в двойной зигзаг, с выводом от средней точки	

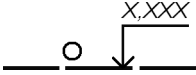
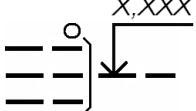
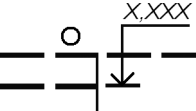
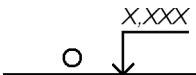
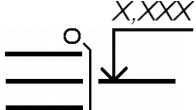
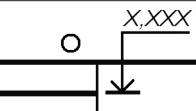

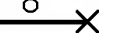
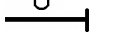









Таблица 16.7. Изображения линий проводок и токопроводов по ГОСТ 21.614—88

Наименование	Изображение	Размер, мм
Линия проводки		
Общее изображение		Толщина 1,0
Допускается указывать над изображением линии данные проводки (род тока, напряжение, материал, способ прокладки, отметка проводки и т. п.), например, цепь постоянного тока напряжением 110 В		То же
Допускается количество проводников в линии указывать зачерчками, например, линия, состоящая из трех проводников		То же
Линия цепей управления		То же
Линия сети аварийного эвакуационного и охранного освещения		То же
Линия напряжения 36 В и ниже		То же
Линия заземления и зануления		То же
Заземлители		То же
Металлические конструкции, используемые в качестве магистралей заземления, зануления		То же

Продолжение табл. 16.7

Наименование	Изображение	Размер, мм
Прокладка проводов и кабелей		
Открытая прокладка одного проводника		Толщина 1,0 
Открытая прокладка нескольких проводников		То же
Открытая прокладка одного проводника под перекрытием		То же
Открытая прокладка нескольких проводников под перекрытием		То же
Прокладка на тресе и его конечное крепление		То же
Проводка в лотке		То же
Проводка в коробе		То же
Проводка под плинтусом		То же
Конец проводки кабеля		
Вертикальная проводка		
Проводка уходит на более высокую отметку или приходит с более высокой отметки		—
Проводка уходит на более низкую отметку или приходит с более низкой отметки		—
Проводка пересекает отметку, изображенную на плане, сверху вниз или снизу вверх и не имеет горизонтальных участков в пределах данного плана		—
Проводка в трубах		
Общее изображение		—
Проводка в трубе, прокладываемой открыто		—
Проводка в трубах, прокладываемых открыто		—
То же, при необходимости показа габаритов группы труб		—

Продолжение табл. 16.7

Наименование	Изображение	Размер, мм
Проводка в трубе, прокладываемой под перекрытием, площадкой, с указанием отметки заложения		—
Проводка в трубах, прокладываемых под перекрытием		—
То же, при необходимости показа габаритов группы труб		—
Проводка в трубе, прокладываемой скрыто (в бетоне, в грунте и т. п.), с указанием отметки заложения		—
Проводка в трубах, прокладываемых скрыто		—
То же, при необходимости показа габаритов группы труб		—
Проводка в трубе, прокладываемой от отметки трассы вверх		—
То же, вниз		—
Конец проводки в трубе		—
Проводка в патрубке через стену		
То же, сквозь перекрытие		—
Разделительное уплотнение в трубах для взрывоопасных помещений		—
Проводка гибкая в металлорукаве, гибком вводе		
Прокладка шин и шинопроводов		
Общее изображение		Толщина 2,0
Шина, проложенная на изоляторах		

Окончание табл. 16.7

Наименование	Изображение	Размер, мм
Пакет шин, проложенных на изоляторах		Толщина 1,0
Шины или шинопровод на стойках		
То же, на подвесах		То же
То же, на кронштейнах		То же
Троллейная линия		
Секционирование троллейной линии		
Компенсатор шинный, троллейный		

Таблица 16.8. Изображения коробок, щитков, ящика с аппаратурой, шкафов, щитов, пультов по ГОСТ 21.614—88

Наименование	Изображение	Размер, мм
Коробка ответвительная		
Коробка вводная		
Коробка протяжная, ящик протяжной		То же
Коробка, ящик с зажимами		
Щиток магистральный рабочего освещения		
Щиток групповой рабочего освещения		То же
Щиток групповой аварийного освещения		То же
Щиток лабораторный		То же
Ящик с аппаратурой		
Шкаф, панель, пульт, щиток одностороннего обслуживания, пост местного управления		То же

Окончание табл. 16.8


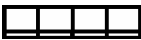



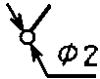





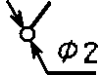

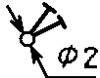





Наименование	Изображение	Размер, мм
Шкаф, панель двустороннего обслуживания		То же
Шкаф, щит, пульт из нескольких панелей одностороннего обслуживания, пример, щит из четырех шкафов		—
Шкаф, щит, пульт из нескольких панелей двустороннего обслуживания, пример, щит из пяти шкафов		—
Щит открытый, пример, щит из четырех панелей		—

Таблица 16.9. Изображения выключателей, переключателей и штепсельных розеток по ГОСТ 21.614—88

Наименование	Изображение	Размер, мм
Выключатель. Общее изображение		
Выключатель для открытой установки со степенью защиты от IP20 до IP23		
однополюсный		
однополюсный сдвоенный		То же
двухполюсный		То же
Выключатель для скрытой установки со степенью защиты от IP20 до IP23		
однополюсный		
однополюсный сдвоенный		
двухполюсный		То же
Выключатель для открытой установки со степенью защиты от IP44 до IP55		
однополюсный		То же
двухполюсный		То же
Переключатель на два направления без нулевого положения со степенью защиты от IP20 до IP23		
однополюсный		То же
двухполюсный		То же

Продолжение табл. 16.7

Наименование	Изображение	Размер, мм
Переключатель на два направления без нулевого положения со степенью защиты от IP44 до IP55		
однополюсный		То же
двухполюсный		То же
трехполюсный		То же
Штепсельная розетка. Общее изображение		
Штепсельная розетка открытой установки со степенью защиты от IP20 до IP23		
двухполюсная		То же
двухполюсная сдвоенная		То же
двухполюсная с защитным контактом		То же
трехполюсная с защитным контактом		То же
Штепсельная розетка для скрытой установки со степенью защиты от IP20 до IP23		
двухполюсная		То же
двухполюсная сдвоенная		То же
двухполюсная с защитным контактом		То же
Штепсельная розетка со степенью защиты от IP44 до IP55		
двухполюсная		То же
двухполюсная с защитным контактом		То же
Блоки с выключателями и двухполюсной штепсельной розеткой для открытой установки со степенью защиты от IP20 до IP23		
один выключатель и штепсельная розетка		
два выключателя и штепсельная розетка		То же

Окончание табл. 16.9

Наименование	Изображение	Размер, мм
Блоки с выключателями и двухполюсной штепсельной розеткой для скрытой установки со степенью защиты от IP20 до IP23		
один выключатель и штепсельная розетка		То же
два выключателя и штепсельная розетка		То же

Таблица 16.10. Изображения светильников и прожекторов при раздельном изображении на плане оборудования и электрических сетей по ГОСТ 21.614—88

Наименование	Изображение
Светильник с лампой накаливания. Общее изображение	
Светильник с люминесцентной лампой. Общее изображение	
Светильник с разрядной лампой высокого давления	
Прожектор, например, с лампой накаливания. Общее изображение	
Светильник с лампой накаливания для аварийного освещения	
Светильник с люминесцентной лампой для аварийного освещения	
Светильник с лампой накаливания для специального освещения (световой указатель), например, для запасного выхода	


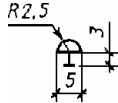

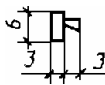












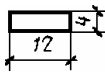

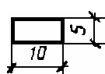

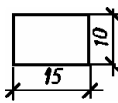

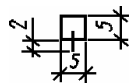

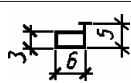
Таблица 16.11. Изображения светильников и прожекторов при совмещенном изображении на плане оборудования и электрических сетей по ГОСТ 21.614—88

Наименование	Изображение	Размер, мм
Светильник с лампой накаливания. Общее изображение		
Светильник с лампой накаливания на тросе		То же
То же, на кронштейне, на стене здания, сооружения для наружного освещения		

Окончание табл. 16.11

Наименование	Изображение	Размер, мм
Светильник с люминесцентными лампами. Допускается светильник с люминесцентными лампами изображать в масштабе чертежа		
Светильник с люминесцентными лампами, установленными в линию		
Светильник с люминесцентной лампой на кронштейне для наружного освещения		
Светильник с разрядной лампой высокого давления на кронштейне для наружного освещения		
Светильник с разрядной лампой высокого давления на опоре для наружного освещения		
Люстра		То же
Светильник-световод щелевой		
Прожектор		—
Группа прожекторов с направлением оптической оси в одну сторону		
Группа прожекторов с направлением оптической оси во все стороны		
Светофор сигнальный (на три лампы)		
Патрон ламповый		
стенной		
подвесной		
потолочный		То же

Таблица 16.12. Изображения аппаратов контроля и управления по ГОСТ 21.614—88

Наименование	Изображение	Размер, мм
Звонок		
Сирена, гудок, ревун		
Табло для вызова персонала		
на один сигнал		—
на несколько сигналов		—
надписи и знаки рекламные		—
Устройство пусковое для электродвигателей. Общее изображение		—
Магнитный пускатель		
Автоматический выключатель		То же
Пост кнопочный		
на одну кнопку		
на две кнопки		
на три кнопки		
с двумя светящимися кнопками		
на две кнопки с двумя сигнальными лампами		
Переключатель управления		
Выключатель путевой		

Окончание табл. 16.12

Наименование	Изображение	Размер, мм
Командоаппарат, командоконтроллер		
с ручным приводом		
с ножным приводом		
Тормоз		

Таблица 16.13. Изображения электротехнических устройств и электроприемников по ГОСТ 21.614—88

Наименование	Изображение
Устройство электротехническое. Общее изображение	
Устройство электрическое, например, с электродвигателем	
Устройство с многодвигательным электроприводом	
Устройство с генератором	
Двигатель-генератор	
Комплектное трансформаторное устройство с одним трансформатором. <i>Примечание.</i> Допускается трансформатор малой мощности изображать без прямоугольного контура	
То же, с несколькими трансформаторами	
Установка комплектная конденсаторная	
Установка комплектная преобразовательная	
Батарея аккумуляторная	
Устройство электронагревательное. Общее изображение	

Примечание. Контуры устройств следует принимать по их фактическим размерам в масштабе чертежа.

Таблица 16.14. Изображения электрооборудования открытых распределительных устройств по ГОСТ 21.614—88

Наименование	Изображение
Силовой трансформатор	
масляный с расширительным баком	
масляный без расширительного бака	
Масляный выключатель	
напряжением 6—10 кВ	
то же, 35 кВ	
то же, 110—220 кВ	
Разъединитель, отделитель напряжением 35, 110, 220 кВ	
Короткозамыкатель, заземлитель напряжением 35, 110, 220 кВ	
Автоматический быстродействующий выключатель	

Таблица 16.15. Устройства коммутационные и контактные соединения по ГОСТ 2.755—87

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Условные графические обозначения контактов			
закрывающих		переключающих	
размыкающих		переключающих с нейтральным центральным положением	
Изображение квалифицирующих символов			
Функция контактора		Функция путевого или контактного выключателя	
Функция выключателя		Самовозврат	
Функция разъединителя		Отсутствие самовозврата	
Функция выключателя-разъединителя		Дугогашение	
Автоматическое срабатывание		—	

Таблица. 16.16. Примеры построения обозначений контактов коммутационных устройств по ГОСТ 2.755—87

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Контакт переключающий с нейтральным центральным положением с самовозвратом из левого положения и без возврата из правого положения		Контакт разъединителя	
Контакт выключателя		Контакт выключателя-разъединителя	
Контакт импульсный размыкающий			
при срабатывании		при срабатывании и возврате	
при возврате		—	—
Контакт контактора			
закрывающий		размыкающий дугогасительный	
размыкающий		закрывающий с автоматическим срабатыванием	
закрывающий дугогасительный		—	—
Контакт коммутационного устройства		Контакт импульсный замыкающий	
переключающий без размыкания цепи (мостовой)		при срабатывании	

Продолжение табл. 16.16

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
с двойным замыканием		при возврате	
с двойным размыканием		при срабатывании и возврате	
Контакт в контактной группе, срабатывающий раньше по отношению к другим контактам группы		Контакт в контактной группе, срабатывающий позже по отношению к другим контактам группы	
закрывающий		закрывающий	
размыкающий		размыкающий	
Контакт без самовозврата		Контакт с самовозвратом	
закрывающий		закрывающий	
размыкающий		размыкающий	
Контакт концевого выключателя		Контакт, чувствительный к температуре (термоконтакт)	
закрывающий		закрывающий	
размыкающий		размыкающий	

Окончание табл. 16.16

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Контакт замыкающий с замедлением, действующим		Контакт размыкающий с замедлением, действующим	
при срабатывании		при срабатывании	
при возврате		при возврате	
при срабатывании и возврате		при срабатывании и возврате	

Таблица. 16.17. Примеры построения обозначений контактов двухпозиционных коммутационных устройств по ГОСТ 2.755—87

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Контакт замыкающий выключателя трехполюсного с автоматическим срабатыванием максимального тока		Разъединитель трехполюсный	
Выключатель ручной		Выключатель-разъединитель трехполюсный	
Выключатель электромагнитный (реле)		Выключатель инерционный	
Выключатель термический саморегулирующий		Контакт термореле	


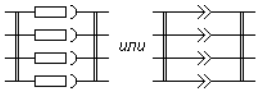
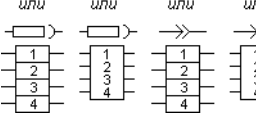



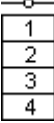
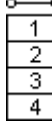
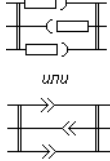
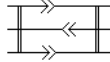
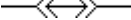
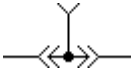

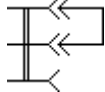
Окончание табл. 16.17

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Выключатель концевой с двумя отдельными цепями		—	—
Контакт замыкающий выключателя			
однополюсный		трехполюсный	
Контакт замыкающий нажимного кнопочного выключателя без самовозврата с размыканием и возвратом элемента управления			
автоматически		посредством вытягивания кнопки	
посредством вторичного нажатия кнопки		посредством отдельного привода (например, нажатия кнопки сброс)	

Таблица. 16.18. Обозначения контактов контактных соединений по ГОСТ 2.755—87

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Контакт контактного соединения			
разъемного соединения: штырь гнездо		неразборного соединения	
разборного соединения		—	—
Контакт скользящий			
по линейной токопроводящей поверхности		по кольцевой токопроводящей поверхности	
по нескольким линейным токопроводящим поверхностям		по нескольким линейным кольцевым проводящим поверхностям	

Таблица. 16.19. Примеры построения обозначений контактных соединений по ГОСТ 2.755—87

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Соединение контактное разъёмное	 <p>или</p>	Соединение контактное разъёмное четырехпроводное	 <p>или</p> 
Примечание. Цифры внутри прямоугольников обозначают номера контактов			
Перемычки контактные (вид связи см. табл. 5 п.1)		Колodka зажимов	 <p>или</p> 
Колодки с разборными контактами		Колодки с разборными и неразборными контактами	
Соединение с защитным контактом	 <p>или</p> 	—	—
Перемычка коммутационная			
на размыкание		с выведенным гнездом	
с выведенным штырем		на переключение	

Условные графические обозначения образуются из простейших геометрических фигур: квадратов, прямоугольников, окружностей, треугольников, а также из сплошных и штриховых линий и точек. Их сочетание по системе, установленной стандартом, дает возможность легко изобразить:

- электрические машины, аппараты, приборы и их составные части (обмотки, катушки, ротор, статор, магнитопровод, контакты и т. п.);
- провода, шины, кабели, их пересечения и соединения;
- линии механической связи частей машин, аппаратов и приборов (например, механический привод контакта, механическое соединение ножей многополюсного рубильника, соединение двигателя с генератором и т. п.);
- вид соединения обмоток (в звезду, треугольник и т. п.);
- род тока (постоянный, переменный), частоту, напряжение, полярность и т. п.

Стандарт устанавливает обозначения общего применения, т. е. такие обозначения, которые можно смотря по обстоятельствам графически присоединять к другим обозначениям, чтобы конкретизировать их значение. Обозначения общего применения служат, например, для указания направления движения, механической связи, характера и способа регулирования, вида привода. Рассмотрим некоторые из них.

Механическая связь (линия механической связи) в электрических схемах обозначается штриховой линией. Штриховая линия служит, чтобы показать:

- связь между элементами электроустановки, например между двигателем и генератором;
- связь между частями элемента, например между катушкой магнитного пускателя и его контактами;
- связи контактов неэлектрических реле с их приводами, например связь контакта с поплавком.

Однако при небольших расстояниях между элементами и их составными частями использовать штриховую линию неудобно, поэтому допускается заменять ее двумя параллельными сплошными линиями.

Регулирование. Общее обозначение линейного регулирования, т. е. без конкретизации характера и способа регулирования, показано на рис. 16.2а. Характер регулирования конкретизируют следующие обозначения: *б* — плавное; *в* — ступенчатое (в данном примере пять ступеней); *г* — подстроечное; *д* — саморегулирование (т. е. автоматическое регулирование) линейное; *е* — саморегулирование нелинейное, рис. 16.2.

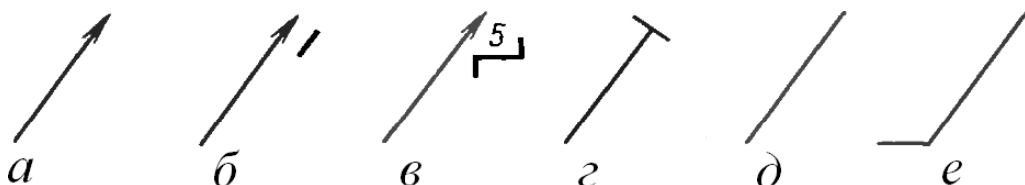


Рис. 16.2. Обозначение регулирования

На способ регулирования указывают обозначения приведенные на рис. 16.3. Здесь: *а* — регулирование ручкой, выведенной наружу; *б* — то же, но стрелка уточняет, что значение регулируемой величины увеличивается при повороте ручки по часовой стрелке; *в* — элемент регулирования (например, ось потенциометра выведена наружу, однако повернуть ее можно только инструментом; *г* — то же, но ось потенциометра находится внутри устройства.

Если в конкретном случае не хватает более простых общих обозначений (чтобы передать необходимые сведения), то применяют производные обозна-

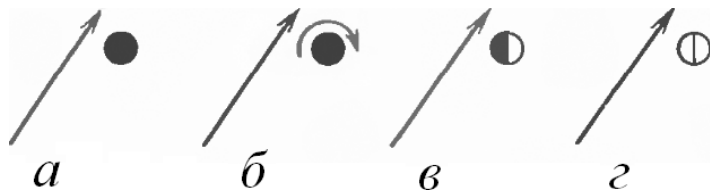


Рис. 16.3. Способ регулирования

чения. Систему построения производных обозначений иллюстрирует рис. 16.4, на котором дано общее обозначение 1 электрического звонка. Если же нужно подчеркнуть род тока, то, вписывая в обозначение звонка обозначения постоянного 2 или переменного 3 тока, получают производные обозначения: звонок постоянного 4 и переменного 5 тока.



Рис. 16.4. Построение производного обозначения

Условные графические обозначения не отражают конструктивные особенности изделий, но могут подчеркивать их важные эксплуатационные свойства. На рис. 16.5 в нескольких вариантах показаны общие обозначения контактов. Все варианты сложились исторически и равноценны. Общие обозначения в любом варианте можно применять в любом случае. Это верно, но не всегда удобно. Гораздо удобнее, дополнив общее обозначение, подчеркнуть свойства изделия.

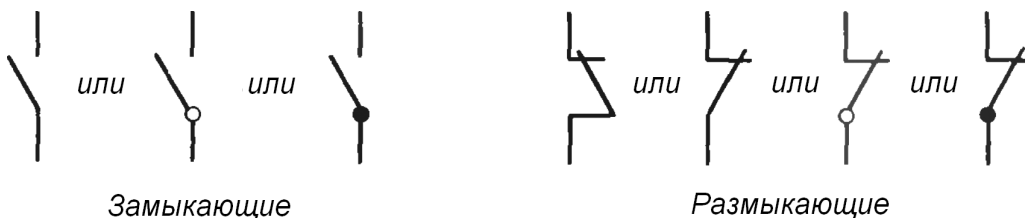


Рис. 16.5. Общие обозначения контактов

Рассмотрим эти дополнения. На рис. 16.6а показан контакт без самовозврата, например контакт выключателя с ручным приводом; на рис. 16.6б — с самовозвратом (применять это обозначение для контактов, самовозврат которых очевиден, не следует; обозначение самовозврата следует использовать только при необходимости специально подчеркнуть наличие самовозврата в контактном узле, как правило, не имеющем его); на рис. 16.6в показан контакт для коммутации силовоточной цепи, например контакт в цепи обмотки электродвигателя; на рис. 16.6г — контакт с дугогасительным устройством, например с камерой магнитного дутья или другим конструктивным элементом, предназначенным для дугогашения.

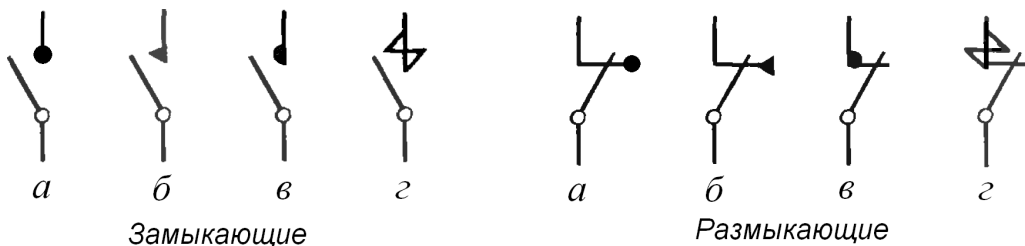


Рис. 16.6. Дополнение общих обозначений контактов подчеркивает свойства изделия

Примечание. Обозначения *a* предназначены в основном для выключателей с ручным приводом, а не для реле. Пользуются этими обозначениями для изображения контактов только тех реле, которые либо имеют защелку, либо в которых якорь удерживается притянутым за счет остаточного магнетизма (реле с самозалипанием), либо в некоторых исполнениях поляризованных реле. Обозначение *b* для реле не применяют, так как самовозврат реле обычных исполнений сам по себе разумеется.

На рис. 16.7 изображены контакты, которые с замедлением замыкаются (рис. 16.7*a*), с замедлением размыкаются (рис. 16.7*b*) и с замедлением замыкаются и размыкаются, рис. 16.7*в*. Замедление происходит при движении от дуги к ее центру. Замедлитель (дугу) допускается изображать с любой стороны контакта, но, направлять дугу нужно с учетом воображаемого направления движения. Значение замедления, если нужно, можно проставлять около изображения замедлителя, в нашем примере 0,7 с.

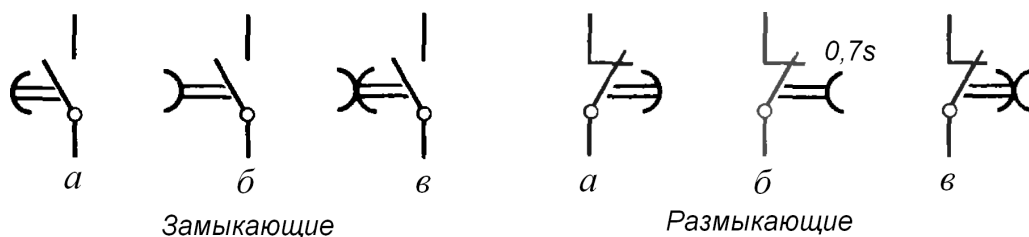


Рис. 16.7. Изображение контактов с замедлением

На рис. 16.8 показаны выключатели с кнопочным приводом (раньше их называли кнопками), которые замыкаются при нажатии (рис. 16.8*a*), вытягивании (рис. 16.8*б*) и при повороте кнопки, рис. 16.8*в*.

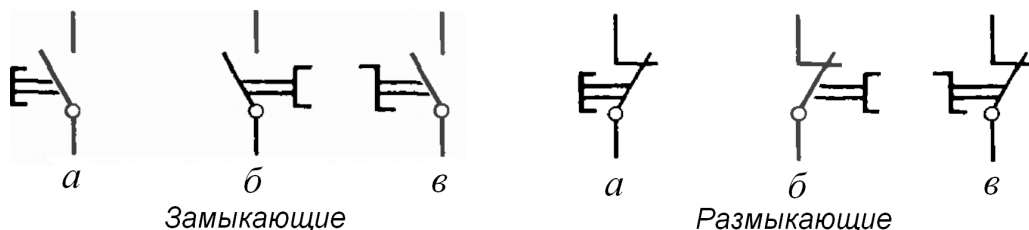


Рис. 16.8. Изображение выключателей с кнопочным приводом

Предполагается, что кнопочные выключатели имеют самовозврат. Если же нужно в каком-либо конкретном случае подчеркнуть отсутствие самовозврата, то пользуются обозначениями, которые приведены на рис. 16.9. Здесь *1* — выключатель, замыкающий контакт которого замыкается при нажатии кнопки. Но способ размыкания контакта определяется конструкцией выключателя. В одних случаях кнопку приходится потянуть «на себя», в других (как в клавишных выключателях для осветительной сети) клавиша может поворачиваться. Если нажать на ее верхний конец, то контакт замкнется; если же нажать на нижний — разомкнется.

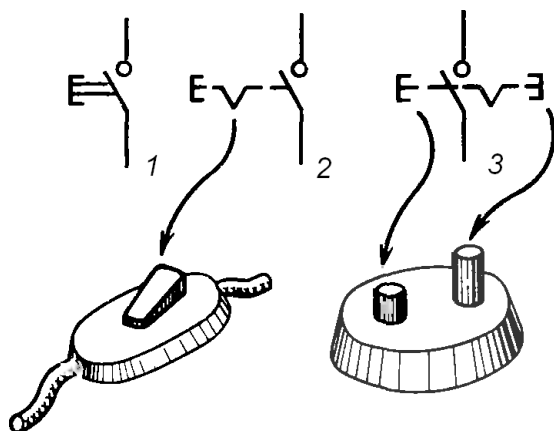


Рис. 16.9. Изображение кнопочных выключателей без самовозврата

Выключатель 2 имеет фиксирующий механизм, благодаря которому после нажатия кнопки контакт остается замкнутым. Для возврата нужно еще раз нажать ту же кнопку. Так обычно устроены выключатели, встраиваемые в основания настольных ламп.

Выключатель 3 имеет фиксирующий механизм, например защелку. Что бы ее освободить, нужно нажать на другую кнопку.

Ошибиться при изображении поворотных выключателей нельзя, так как при любом расположении кнопки на чертеже изображение верно. Другое дело нажимные выключатели. При их изображении легко ошибиться, если не руководствоваться системой, которую легко понять из рис. 16.10.

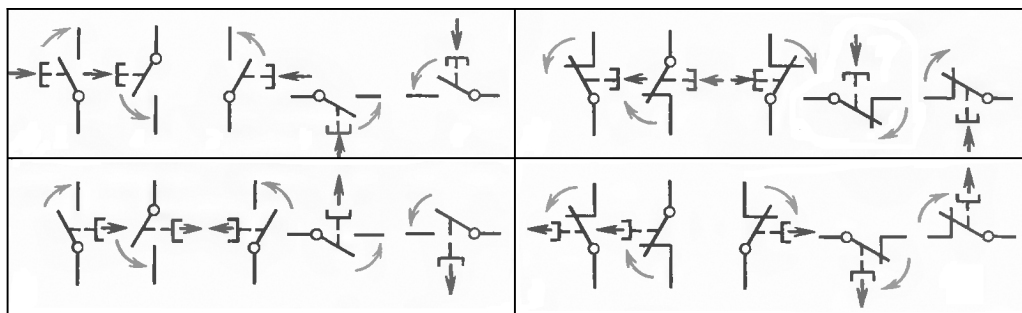


Рис. 16.10. Принцип построения условного изображения кнопочного выключателя

На данном рисунке кроме собственно обозначений кнопочных выключателей показаны прямые и изогнутые стрелки. Прямые стрелки показывают направление воздействия на кнопку, изогнутые стрелки показывают, что при этом происходит: замыкается контакт или размыкается. Обозначение верно, когда кнопку располагают с такой стороны контакта, что при воздействии на нее размыкающий контакт размыкается, а замыкающий — замыкается.

Контакт не электрического реле иллюстрирует рис. 16.11. В данном случае к обозначению линии механической связи (рис. 16.11а) присоединены обозначения приводов. Так, например, рис. 16.11б — это контакт, переключаемый с

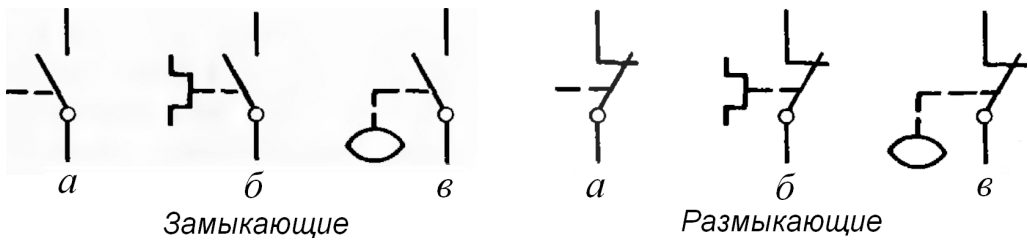


Рис. 16.11. Контакты не электрического реле

помощью биметалла, т. е. контакт электротеплового реле, например реле, которое служит для защиты электродвигателя от перегрузки; рис. 16.11в — контакт поплавкового реле.

Устаревшие, но весьма распространенные обозначения замыкающих и размыкающих контактов показаны на рис. 16.12. Данные обозначения в настоящее время заменены в связи с тем, что государственные стандарты России приведены в соответствие стандартам СЭВ, которыми и установлены принятые обозначения.



Рис. 16.12. Устаревшие обозначения контактов

Переключатели со сложной коммутацией изображают одним из трех способов. Первый способ иллюстрирует рис. 16.13а, где вместо схемы дана таблица. Из нее явствует, что в позиции 1 соединены провода *a* и *б*; в позиции 2 — провода *б*, *в* и *г*; в позиции 3 провод *a* с проводом *г*. В промежуточной пози-

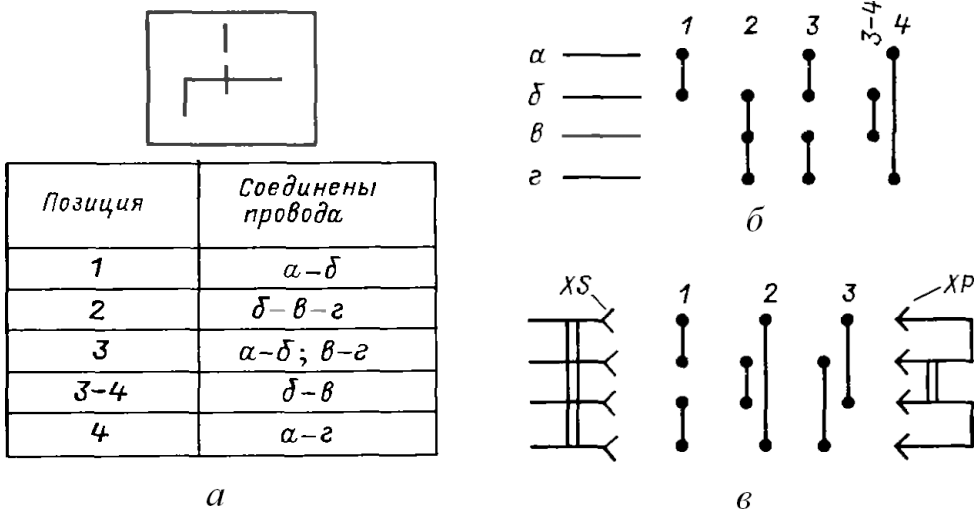


Рис. 16.13. Изображение переключателя со сложной коммутацией по первому (а) и второму (б) способу; вставка переключатель (в)

ции 3—4 соединяются провода *б* и *в*. В позиции 4 — провода *а* и *г*. Благодаря наличию промежуточной позиции 3—4 обеспечивается безобрывное переключение.

Второй способ изображения того же переключателя в виде схемы приведен на рис. 16.13б. Здесь жирные точки указывают на соединение. Например, в позиции 2 соединены провода *б*, *в* и *г*, а в позиции 4 — *а* и *г*.

По такому же принципу образовано обозначение вставки-переключателя с разъемными контактами, рис. 16.13в. Здесь: *XS* — гнезда, *XP* — штыри, а две параллельные линии указывают на механическую связь.

Третий способ изображения переключателей со сложной коммутацией, наиболее распространенный в схемах энергетических установок, показан на рис. 16.14. Коммутируемые цепи, обозначенные условно буквами *а—г*, могут быть расположены либо горизонтально, как на рис. 16.14а, либо вертикально (рис. 16.14б). Позиции выключателя, условно обозначенные цифрами 1—3, изображают штриховыми линиями, так как по смыслу это линии механической связи. Жирная точка на штриховой линии показывает, что в данной позиции контакт переключателя замкнут.

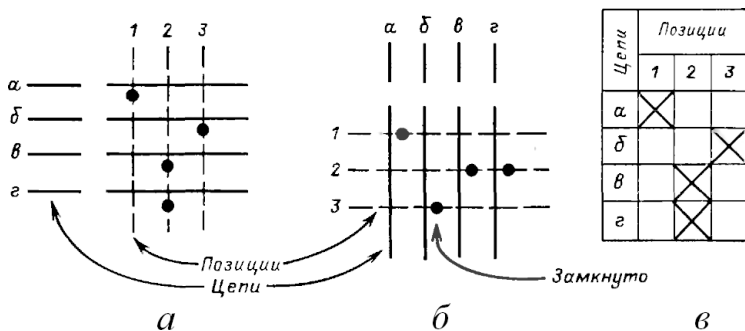


Рис. 16.14. Изображение переключателя со сложной коммутацией по третьему способу

Схему переключателя обычно дополняют таблицей (рис. 16.14в). В таблице замкнутое положение обозначено крестом. Сравнивая таблицу со схемой, видим, что на них изображено одно и то же, а именно: контакт в цепи *а* замкнут только в позиции 1; контакт в цепи *б* — только в позиции 3; контакты в цепях *в* и *г* — только в позиции 2.

Как видно из рис. 16.14, проводники *а—г* вблизи изображения переключателя имеют графические разрывы, хотя фактически провода присоединены к переключателю и разрывы существуют только на его контактах, но в схемах у мест графических разрывов нередко рисуют жирные точки и обозначают их цифрами (буквами, сочетанием букв и цифр), рис. 16.15а.

Чтобы понять, что именно обозначают эти точки и надписи вблизи них, обратимся к рис. 16.15б. На нем сверху показан фасад переключателя, рукоятка которого может занимать позиции -45° и $+45^\circ$. Снизу приведено «монтажное изображение», из которого ясно, что коммутирующие контакты в цепи лампы *H1* присоединены между контактами (выводами) для присоединения проводов 1 и 2; контакты в цепи лампы *H2* — между выводами 3 и 4; контакты в цепи лампы *H3* — между выводами 5 и 6. Теперь не трудно понять, что

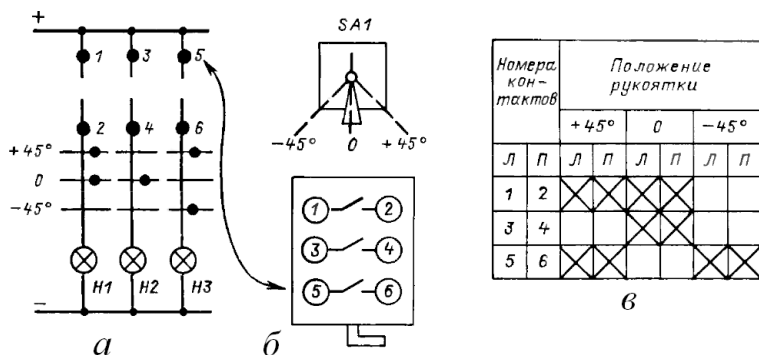


Рис. 16.15. Изображение на схемах переключателей по третьему способу

жирные точки у мест графических разрывов — это обозначения контактов, к которым присоединяют провода.

На рис. 16.16 в двух вариантах показана одна и та же схема управления выключателем $Q1$ с помощью переключателя $SA1$ на две цепи. Переключатель трехпозиционный. Позиции $+45^\circ$ и -45° имеют самовозврат и используются для включения промежуточного контактора включения $KM1$ и отключающего магнита $YA1$ привода выключателя. В позиции 0 рукоятка переключателя фиксируется, а оба его контакта разомкнуты.

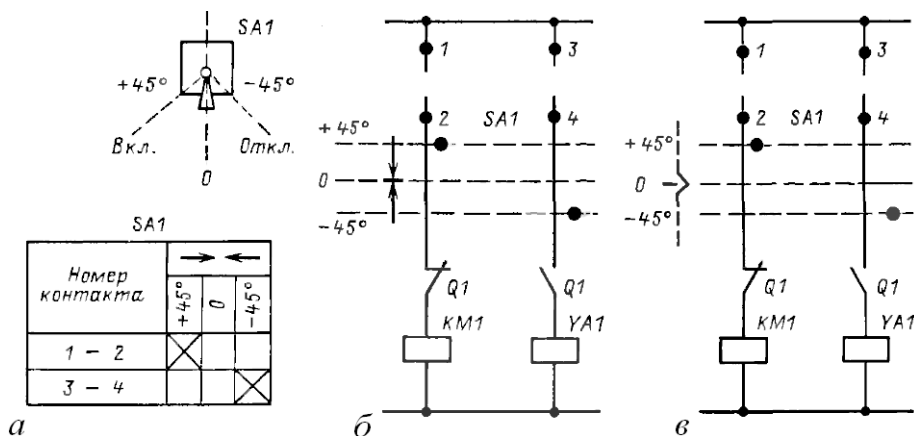


Рис. 16.16. Трехпозиционный переключатель с самовозвратом

Схемы на рис. 16.16б и в по существу одинаковы. Однако они различаются способом изображения переключателя $SA1$. Обозначение, приведенное на рис. 16.16б, применялось многие годы и не утратило значения, так как использовано во многих книгах, инструкциях и, самое главное, в исполнительной документации, которую нельзя перечерчивать. Но вышло так, что в одном из переизданий стандарта оно из него выпало. А знать и понимать это обозначение нужно.

Другой способ (рис. 16.16в) предусмотрен нормативной документацией в некоторых отраслях и в настоящее время широко применяется, значит, и его нужно знать и понимать.

Возвратимся к рис. 16.16б. Когда рукоятку переключателя поворачивают в позицию $+45^\circ$ — замыкается контакт в цепи промежуточного контактора *KM1*. Но как только рукоятку отпускают, пружина возвращает ее в позицию 0 и контакт размыкается. Пружинный возврат в данном случае изображают используя стандартное обозначение одностороннего движения (стрелка) с ограничением (черточка, перпендикулярная стрелке).

Когда рукоятку поворачивают в позицию -45° — замыкается цепь отключающего электромагнита *YA1*. При отпускании рукоятки пружина возвращает ее в позицию 0 .

Для изображения переключателя на рис. 16.16в принято другое условие, а именно: предполагается пружинный возврат из позиции $+45^\circ$ и -45° в позицию 0 и, следовательно, подчеркивать его, как это сделано на рис. 16.16б, не нужно. Чтобы подчеркнуть фиксацию в позиции 0 , к ней «присоединено» обозначение фиксирующего механизма в положении фиксации.

16.3. Буквенно-цифровые обозначения на электрических схемах

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

В зависимости от назначения и характера передаваемой информации установлены следующие типы обозначений:

- высшего уровня — устройства (дополнительное обозначение);
- высшего уровня — функциональная группа (дополнительное обозначение);
- конструктивного расположения — конструктивное обозначение (дополнительное обозначение);
- элемента — позиционное обозначение (обязательное обозначение);
- электрического контакта (дополнительное обозначение);
- части объекта, с которой сопрягается данная часть объекта, или места расположения на документе изображения или сведений о данной части объекта (адресное обозначение).

В зависимости от полноты передаваемой информации условное буквенно-цифровое обозначение может иметь простую или сложную структуру, т. е. структуру в виде обозначений отдельных типов или в виде составного обозначения.

Для построения обозначений применяют прописные буквы латинского алфавита, арабские цифры, а также приведенные в табл. 16.20 знаки (квалифицирующие символы).

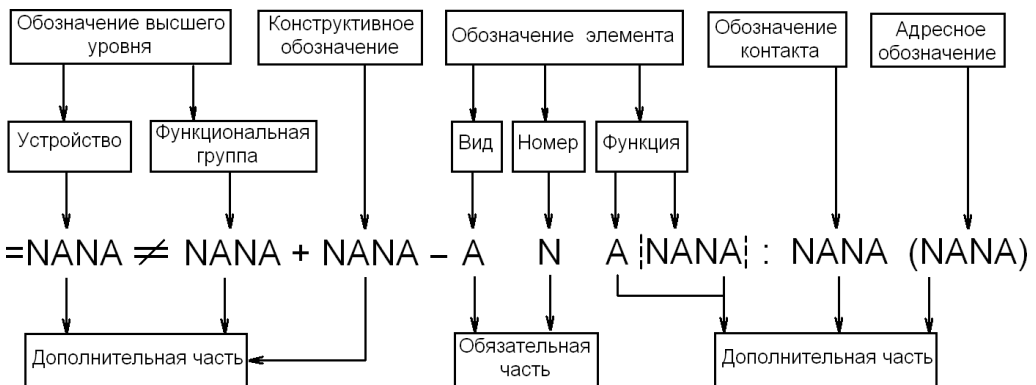
Таблица 16.20. Квалифицирующие символы по ГОСТ 2.710—81

Тип условного обозначения	Квалифицирующий символ	Примечание
Обозначение высшего уровня — устройство	=	—
Обозначение высшего уровня — функциональная группа	≠	Допускается обозначать знаком #
Конструктивное обозначение	+	—
Обозначение элемента (позиционное обозначение)	—	—
Обозначение электрического контакта	:	—
Адресное обозначение	()	Обозначение заключается в круглые скобки

Условное буквенно-цифровое обозначение записывают в виде последовательности букв, цифр и знаков в одну строку без пробелов и их количество в обозначении не устанавливается. Соседние группы знаков отдельных обозначений, имеющих самостоятельное смысловое значение, разделяют:

- чередованием буквы и цифры (например, КС25, К2, 25КС, 2К);
- точкой, если группы состоят только из букв или только из цифр (например, КС.А; 2.25).

Составное обозначение образуют последовательной записью обозначений различных типов. Обозначение, входящее в составное обозначение, записывают с квалифицирующими символами в соответствии с табл. 16.20. Структура составного условного буквенно-цифрового обозначения в общем виде представлена на рис. 16.17.



A – обозначение, состоящее из одной или нескольких букв;

N – обозначение, состоящее из одной или нескольких цифр;

NANA – любая комбинация цифр и (или) букв;

¡NANA¡ – дополнительная часть, уточняющая функцию.

Рис. 16.17. Структура условного буквенно-цифрового обозначения в общем виде

Например, =A12≠T8+204—K4H:12 (3.16+15:2), расшифровывается следующим образом. Контакт 12 сигнального реле K4, которое расположено на месте 204 в функциональной группе T8, входящей в устройство A12, соединен с контактом 2, который расположен на месте 15 и изображен на шестнадцатом листе принципиальной схемы 3.

Обозначение высшего уровня (устройство или функциональная группа) и конструктивное обозначение указывают функциональное или конструктивное вхождение данной части объекта в части объекта соответствующих типов. Порядок записи обозначений этих типов определяется порядком вхождения, например, ≠T1=A2—R5 читается так, резистор R5 входит в состав устройства A2, которое входит в функциональную группу T1.

Конструктивное расположение каждой функциональной части может быть указано последовательным применением конструктивного обозначения. Например, +5.24=A2+B4—R5 — резистор R5 находится в ячейке B4 и входит в устройство A2, которое расположено на раме 24 в стойке 5.

Перед обозначением устройства, функциональной группы или элемента, стоящим в начале составного обозначения, может быть не указан соответствующий квалифицирующий символ, если это не приводит к неправильному пониманию обозначения. Например, K1:2 — второй контакт реле K1.

Конструктивное обозначение предназначено для связи схем или других документов с конструкцией объекта. Построение обозначения должно обеспечить возможность однозначного указания места любой части объекта в конструкции. Обозначения состоят из комбинации букв и цифр. При построении конструктивного обозначения применяют координатный, позиционный (последовательный) или координатно-позиционный методы.

При координатном методе конструктивное обозначение составляют из нескольких частей, каждая из которых указывает одну координату части объекта в условной системе координат, принятой для данной конструкции. Например, +C24 — место на конструкции объекта с координатами: ряд С колонка 24; +5.24 — место на конструкции объекта с координатами: ряд 5 колонка 24.

При позиционном (последовательном) методе конструктивное обозначение представляет собой цифровое или буквенное обозначение, присвоенное данному месту (позиции) в конструкции. Например, +204 — место № 204.

Обозначение элемента (позиционное обозначение) в общем случае состоит из трех частей, указывающих вид элемента, его номер и функцию. Вид и номер являются обязательной частью условного буквенно-цифрового обозначения и присваиваются всем элементам и устройствам объекта. Указание функции элемента не служит для идентификации элемента и не является обязательным.

В первой части записывают одну или несколько букв (буквенный код) для указания вида элемента, во второй части записывают одну или несколько цифр для указания номера элемента данного вида, в третьей части записывают одну или несколько букв (буквенный код) функции элемента. Например, C4I — конденсатор C4, используемый как интегрирующий.

Буквенные коды видов основных элементов приведены в табл. 16.21. Для уточнения вида элементов допускается применять двухбуквенные коды, табл. 16.22. Буквенные коды функций элементов приведены в табл. 16.23. Эти

коды используются только для общей характеристики функционального назначения элемента, например, «главный», «измеряющий» и т. п.

Таблица 16.21. Буквенные коды наиболее распространенных видов элементов по ГОСТ 2.710—81

Первая буква кода (обязательная)	Группы видов элементов	Примеры видов элементов
С	Конденсаторы	—
Е	Элементы разные	Осветительные устройства, нагревательные элементы
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретные элементы защиты по току и напряжению, плавкие предохранители, разрядники
G	Генераторы, источники питания	Батареи, аккумуляторы, электрохимические и электротермические источники
Н	Устройства индикационные и сигнальные	Приборы звуковой и световой сигнализации, индикаторы
К	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовые и напряжения, реле электротепловые, реле времени, контакторы, магнитные пускатели
L	Катушка индуктивности, дроссели	Дроссели люминесцентного освещения
М	Двигатели	Двигатели постоянного и переменного тока
Р	Приборы, измерительное оборудование	Показывающие, регистрирующие и измерительные приборы, счетчики, часы
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях	Разъединители, короткозамыкатели, автоматические выключатели (силовые)
R	Резисторы	Переменные резисторы, потенциометры, варисторы, терморезисторы
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных	Выключатели, переключатели и выключатели, срабатывающие от различных воздействий
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформаторы тока и напряжения, стабилизаторы
X	Соединения контактные	Штыри, гнезда, разборные соединения, токосъемники
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнитные муфты, тормоза, патроны

Таблица 16.22. Примеры двухбуквенных кодов по ГОСТ 2.710—81

Первая буква кода (обязательная)	Группы видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
В	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания)	Тепловой датчик	ВК
		Датчик давления	ВР
		Пьезоэлемент	ВQ
		Датчик частоты вращения (тахогенератор)	ВR
		Датчик скорости	ВV

Продолжение табл. 16.22

Первая буква кода (обязательная)	Группы видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
E	Элементы разные	Нагревательный элемент	EK
		Лампа осветительная	EL
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия	FA
		Дискретный элемент защиты по току инерционного действия	FP
		Предохранитель плавкий	FU
		Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник	FV
G	Генераторы, источники питания	Батарея	GB
H	Устройства индикации и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации	HA
		Индикатор символный	HG
		Прибор световой сигнализации	HL
K	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое	KA
		Реле указательное	RH
		Реле электротепловое	KK
		Контактор, магнитный пускатель	KM
		Реле времени	KT
		Реле напряжения	KV
L	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссель люминесцентного освещения	LL
P	Приборы, измерительное оборудование. <i>Примечание.</i> Сочетание PE применять не допускается	Амперметр	PA
		Счетчик импульсов	PC
		Частотомер	PF
		Счетчик активной энергии	PI
		Счетчик реактивной энергии	PK
		Омметр	PR
		Регистрирующий прибор	PS
		Часы, измеритель времени действия	PT
		Вольтметр	PV
		Ваттметр	PW
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т. п.)	Выключатель автоматический	QF
		Короткозамыкатель	QK
		Разъединитель	QS

Окончание табл. 16.22

Первая буква кода (обязательная)	Группы видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
R	Резисторы	Терморезистор	RK
		Потенциометр	RP
		Шунт измерительный	RS
		Варистор	RU
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных	Выключатель или переключатель	SA
		Выключатель кнопочный	SB
		Выключатель автоматический (применяется для аппаратов не имеющих контактов силовой цепи)	SF
		Выключатели, срабатывающие от различных воздействий:	
		от уровня	SL
		от давления	SP
		от положения (путевой)	SQ
		от частоты вращения	SR
от температуры	SK		
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока	TA
		Трансформатор напряжения	TV
X	Соединения контактные	Токосъемник, контакт скользящий	XA
		Штырь	XP
		Гнездо	XS
		Соединение разборное	XT
Y	Устройство механическое с электромагнитным приводом	Электромагнит	YA
		Тормоз с электромагнитным приводом	YB
		Муфта с электромагнитным приводом	YC
		Электромагнитный патрон или плита	YH

Таблица 16.23. Буквенные коды для указания функционального назначения элементов

Буквенный код	Функциональное назначение
A	Вспомогательный
B	Направление движения (вперед, назад, вверх, вниз, по часовой стрелке, против часовой стрелки)
C	Считывающий
D	Дифференцирующий

Окончание табл. 16.23

Буквенный код	Функциональное назначение
F	Защитный
G	Испытательный
H	Сигнальный
I	Интегрирующий
K	Толкающий
M	Главный
N	Измерительный
P	Пропорциональный
Q	Состояние (старт, стоп, ограничение)
R	Возврат, сброс
S	Запоминание, запись
T	Синхронизация, задержка
V	Скорость (ускорение, торможение)
W	Сложение
X	Умножение
Y	Аналоговый
Z	Цифровой

Очень важно не усложнять код без необходимости. Это значит, что в тех случаях, когда можно обойтись однобуквенным кодом, не нужно применять более сложный двухбуквенный. Например, если схема содержит несколько магнитных пускателей, но в ней нет ни одного реле, то магнитные пускатели обозначают одной буквой *K* (*K1*, *K2*, *K3*), а не двумя *KM* (*KM1*, *KM2*, *KM3*) буквами. И наоборот, если в схеме есть и магнитные пускатели, и реле, то приходится магнитные пускатели обозначать двумя буквами *KM* (*KM1*, *KM2*, *KM3*), а реле одной буквой *K* (*K1*, *K2*, *K3*).

В схемах выпущенных раньше и не утративших своего значения, как, например, в исполнительной документации, а также во многих хороших и полезных книгах можно встретиться с другими позиционными обозначениями и другой формой перечней элементов.

1. В позиционных обозначениях применялись не латинские, а прописные и строчные буквы русского алфавита. Они до некоторой степени отражали особенности и свойства элементов. Например: *P* — реле; *ПП* — реле промежуточное; *PВ* — реле времени; *PУ* — реле ускорения; *МП* — магнитный пускатель; *K* — контактор; *Tr* — трансформатор; *Пр* — предохранитель; *СД* — сопротивление добавочное; *СР* — секционный разъединитель; *КЗ* — короткозамыкатель; *АБ* — аккумуляторная батарея и т. п.

2. Порядковые номера элементов, так же как и в настоящее время, обозначали арабскими цифрами, но их помещали не после буквенного кода, а перед ним, например, *2P* — второе реле; *4PB* — четвертое реле времени и т. п.

3. В некоторых случаях цифры ставили не только перед буквенным кодом, но и после него, но при этом цифры уже имели иной смысл. Например; *5PPI* — первый повторитель промежуточного реле номер пять; *5PPI2* — второй повторитель реле *5PII*.

4. Следует отметить, что и в настоящее время по сложившейся традиции, а иногда в соответствие с некоторыми отраслевыми нормативными документами, некоторые устройства обозначают русскими буквами.

Адресное обозначение, проставляемое на схемах, в общем случае состоит из трех частей:

- обозначение документа, с которым сопрягается данный документ;
- номер листа документа, с которым сопрягается данный лист документа;
- адрес другой части объекта (или ее изображение), с которой сопрягается данная часть объекта (или ее изображение).

Все части адресного обозначения записываются в указанном порядке и отделяются друг от друга точкой. Перед номером листа помещается буква *L*. При необходимости указать сопряжение с несколькими листами документа их номера разделяют запятыми, а в случае нескольких листов по порядку — многоточием. Например, *(3.L01,03)* — схема 3, первый и третий листы; *(3.L01...06)* — схема 3, листы с первого по шестой; *(3.L02/15A)* — схема 3, лист второй, зона 15A.

16.4. Правила выполнения электрических схем

Принципиальная (полная) схема — схема, определяющая полный состав элементов и связи между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы изделия (установки).

Принципиальные (полные) схемы служат основанием для разработки других конструкторских документов, например схем соединений (монтажных) и чертежей, и пользуются ими для изучения принципов работы изделий (установок), а также при их наладке, регулировке, контроле и ремонте.

Примечание. Если в состав изделия (установки) входят устройства, имеющие собственные принципиальные (полные) схемы, то такие устройства в схеме изделия (установки) следует рассматривать как элементы. В этом случае детальный принцип работы изделия (установки) определяется совокупностью его принципиальной (полной) схемы и принципиальных (полных) схем этих устройств.

На принципиальной схеме изображаются все электрические элементы, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, и все электрические связи между ними, а также электрические элементы (разъемы, зажимы и т. п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

На схеме допускается изображать соединительные и монтажные элементы, устанавливаемые в изделии по конструктивным соображениям. Схемы вычерчиваются для изделий, находящихся в отключенном положении. В технически обоснованных случаях допускается отдельные элементы схемы вычерчивать в выбранном рабочем положении с указанием на поле схемы режима, для которого вычерчены эти элементы.

Элементы на схеме изображают в виде условных графических обозначений.

Условные графические обозначения элементов вычерчивают на схеме либо в положении, в котором они изображены в соответствующих стандартах, либо повернутыми на угол, кратный 90° по отношению к этому положению, если в соответствующих стандартах отсутствуют специальные указания. В отдельных случаях допускается условные графические обозначения поворачивать на угол, кратный 45° .

Контакты реле, приборов и аппаратов, а также всех коммутирующих устройств на принципиальных электрических схемах показываются в нормальном положении, т. е., при таком их действительном положении, когда отсутствует ток во всех цепях данной схемы и внешнее принудительное механическое воздействие на подвижные контакты.

Коммутирующие устройства (переключатели), для которых нет явно выраженного положения, изображают на принципиальных схемах в одном из положений, принимаемом за исходное, что оговаривается на чертеже соответствующим примечанием: «За исходное положение для переключателя принято такое, когда его переключающее устройство установлено в первом положении».

В тех случаях, когда коммутирующее устройство имеет два исходных положения (например, двухпозиционное реле), их изображают на схеме в одном из двух произвольно выбранных положений, что тоже оговаривается соответствующим примечанием.

Контакты приборов, измеряющих контролируемые величины (температуру, давление и т. п.), показывают в соответствии с их положением при оптимальном значении этих величин. Например, при сигнализации минимальной и максимальной температур контакты прибора, измеряющего эти температуры, показывают разомкнутыми, так как процесс ведется на оптимальном режиме.

Как исключение для схем релейной защиты допускается изображение контактов в схемах показывать в рабочем положении, но это нужно обязательно оговаривать в примечании. Схемы управления, регулирования, защиты блокировочных зависимостей и сигнализации располагают в левой части чертежа.

В тех случаях, когда в принципиальных схемах применяются контакты часто встречающихся приборов для измерения неэлектрических величин (температуры, давления и т. п.) или аппаратов, имеющих узлы питания электроэнергией (измерительные системы, электронные усилители, двигатели и т. п.), схемы этих приборов можно не показывать, а изображать их в виде прямоугольников, внутри которых помещать клемники для присоединения проводов питания и цепей контактов (рис. 16.18а). Если же для аналогичных условий применяют редко встречающиеся приборы или аппараты, то для облегчения чтения этих чертежей показывают их схемы, которые обводят пунктиром, как это показано на рис. 16.18б.

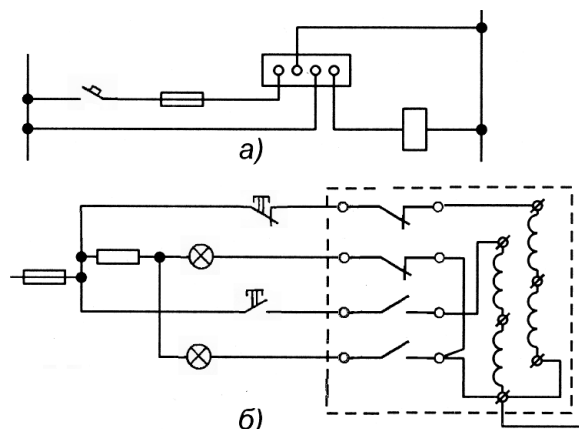


Рис. 16.18. Изображение прибора (аппарата) в электрических схемах автоматизации для часто встречающихся приборов (а) и для редко встречающихся приборов (б)

Условные графические обозначения в схемах выполняют совмещенным или разнесенным способом. При совмещенном способе составные части элементов и устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу.

При разнесенном способе условные графические обозначения составных частей элементов располагают в разных местах схемы таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно. Разнесенным способом допускается вычерчивать как всю схему, так и отдельные элементы.

Расположение цепей в схеме рекомендуется производить в последовательности их работы, принятой для осуществления управления или блокировочной зависимости: например, если после включения какого-то агрегата производится автоматическое открытие задвижки, то сначала изображаются цепи управления агрегатом, а потом — цепи управления задвижкой и т. п.

При построении схем электротехнического оборудования рекомендуется пользоваться строчным способом, при этом условные графические обозначения элементов и их составных частей, входящих в одну цепь, изображаются последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи — рядом, образуя параллельные (горизонтальные или вертикальные) строки, рис. 16.19.

В схемах должны быть показаны все электрические связи, необходимые для осуществления спроектированной функции управления, регулирования, блокировок, защит и сигнализации. В зависимости от сложности и характера функций, выполняемых системой, схемы должны содержать:

- связь цепей управления, регулирования и сигнализации с распределительной линией питания электроэнергией;
- порядок действия системы в соответствии с заданной программой работы автоматизируемого оборудования;
- порядок действия отдельных цепей;
- входные и выходные связи системы со смежными цепями других систем;
- средства автоматики, благодаря которым осуществляется функция управления;

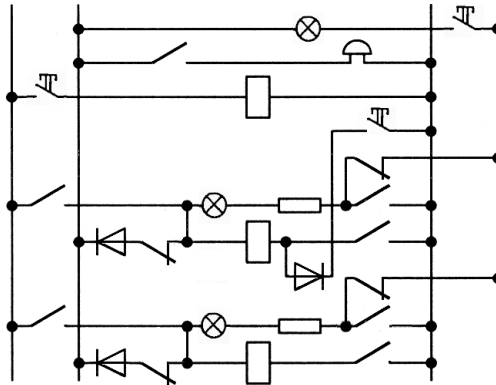


Рис. 16.19. Пример принципиальной электрической схемы, выполненной в виде развернутой (элементарной) схемы

- порядок действия отдельных средств автоматики, входящих в цепи управления;
- цепи управления оборудованием;
- цепи защитно-блокировочных зависимостей;
- сигнализацию;
- порядок перехода на ручной, дистанционный и автоматический виды управления.

При выполнении схемы строчным способом допускается для облегчения нахождения элементов на схеме, особенно когда эти схемы сложны и имеют большое количество цепей с взаимными связями через контакты командной аппаратуры, целесообразно нумеровать параллельные строки (рис. 16.20), а также указывать адреса контактов этой аппаратуры.

Позиционные обозначения строят по определенной системе. Она заключается в следующем. Буквы и цифры расположены в определенном порядке без пробелов и разделительных знаков между ними. Во всех без исключения случаях написанный буквенный код должен обозначать вид элемента. В простейшем случае он состоит из одной, обязательной, буквы, например *R*, *C*, *H*, *K* и т. п. В более сложных — из двух букв, например *HA*, *HL*, *KM* и т. п.

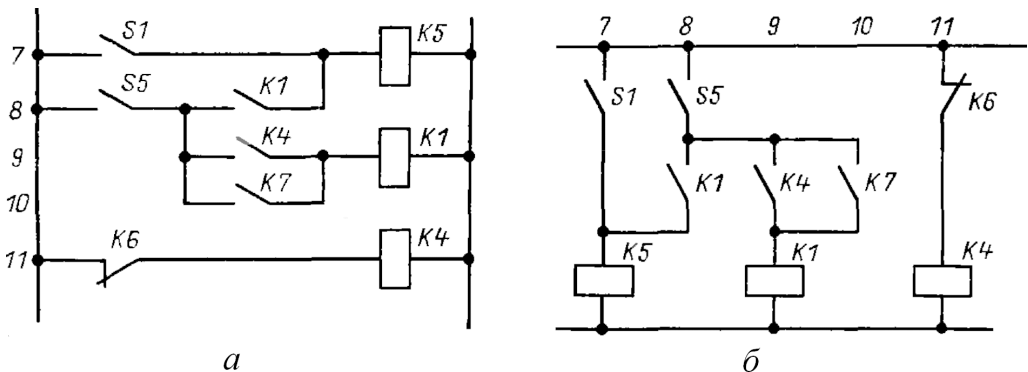


Рис. 16.20. Нумерация параллельных строк на принципиальной схеме при горизонтальном (а) и вертикальном (б) расположении строк

За буквенным кодом обязательно следует порядковый номер в пределах элементов данного вида, например $R1, R2 \dots R15$ (резисторы № 1, 2 и 15). Еще далее допускается (но не обязательно!) писать еще одну или несколько букв, определяющих функциональное назначение элемента. Например, $R2F$ — резистор № 2, используемый как защитный (предохранительный).

После позиционного обозначения может быть поставлена (но не обязательно) либо точка, либо двоеточие, а за точкой (двоеточием) следует цифра (цифры). Если поставлена точка, то цифра (цифры) за ней — это номер части элемента (устройства) на схеме (но не в натуре) при разнесенном способе изображения. Например, если части элемента, имеющего позиционное обозначение $KM4$, изображены в трех местах схемы, то их условно нумеруют: $KM4.1$ — первая часть, $KM4.2$ — вторая часть, $KM4.3$ — третья часть.

Обратите внимание: точку можно ставить в любом случае. Если же нужно подчеркнуть, что цифры относятся к контакту, то точку заменяют двоеточием. Например, $KM4:2$ и $KM4:5$ соответственно обозначают: второй и пятый контакты элемента $KM4$.

Помимо поясняющей маркировки, а также присвоения элементам электрической схемы автоматизации буквенно-цифровых позиционных обозначений, цепи схемы маркируют с целью опознания проводников и определения функционального назначения и положения отдельных участков схемы. Маркировку цепей схемы наносят независимо от нумерации или условных обозначений зажимов аппаратов, приборов или других электрических устройств, к которым присоединяются проводники маркируемых цепей. В целях удобства монтажа и эксплуатации электрических установок рекомендуется наряду с принимаемой маркировкой около зажима аппарата, прибора или других электрических устройств проставлять в скобках их заводскую нумерацию или условные обозначения.

Для маркировки принимается система, состоящая из ряда последовательных чисел, и в случае необходимости она может быть дополнена буквенной или цифровой приставкой, которая проставляется перед порядковым номером участка цепи. Допускается в обозначение цепи включать обозначения, характеризующие ее функциональное назначение, например, перед номером писать букву, т. е. проставить буквенный код функционального назначения элемента, рис. 16.21. Для цифровой маркировки применяются арабские цифры, а для буквенных приставок — прописные буквы латинского алфавита. В электроустановках, изготовленных ранее, применялись русские буквы.

Участки цепей обозначают независимо от нумерации или условных обозначений зажимов (выводов) аппаратов, приборов, к которым подходят (или отходят) концы обозначаемых проводников. Цепи обозначают в последовательности от ввода источника питания к потребителю, а разветвляющиеся участки — сверху вниз в направлении слева направо. Обычно пропускают несколько номеров, оставляя их в резерве.

На схеме обозначения (маркировку) проставляют около конца или в середине участка цепи: при вертикальном расположении цепей — слева (а не справа!) от изображения цепи; при горизонтальном расположении — над изображением, рис. 16.22. Однако в технически обоснованных случаях допускается проставлять обозначения под изображением цепи. При однозначном обо-

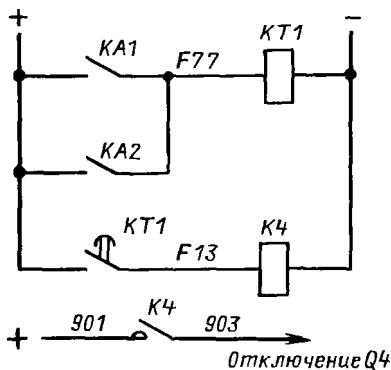


Рис. 16.21. Обозначение цепи с характеристикой ее функционального назначения

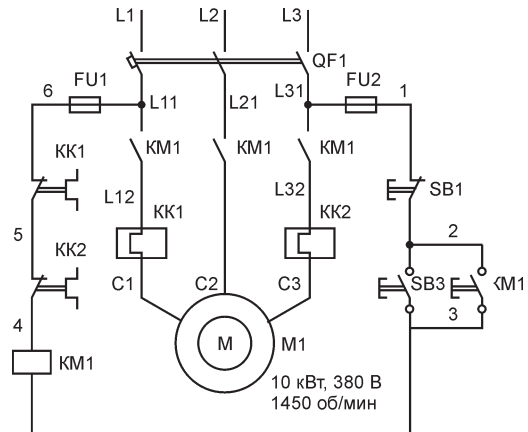


Рис. 16.22. Обозначения (маркировка) участка цепи

значении маркировки (цифра—цифра или буква—буква) обозначение ставится через разделительный знак, например: 1—4, 1—211 и т. д.

Участки цепей, разделенные замыкающими или размыкающими контактами аппаратов, приборов или других электрических устройств, катушками реле, соленоидов и вентилей, сопротивлениями, сигнальными лампами и т. п., считаются разными участками, и имеют разные обозначения, рис. 16.23. Участки цепей, соединяющиеся в одном месте, а также проходящие через одно неразъемное, разборное или разъемное контактное соединение, обозначаются одинаково. Однако участкам цепи, проходящим через разъемные соединения, допускается присваивать разные обозначения.

Рекомендуется, помимо маркировки цепей, проходящих через одно разъемное контактное соединение, показывать на схеме этот разъем и над его графическим изображением давать его порядковый номер на сборке зажимов, как это показано на рис. 16.23 для зажима 5 в цепи 202—202. Контакты, используемые в других схемах, маркируются в соответствии с их маркировкой по схеме, для которой они предназначены. Маркировка схем соединения должна соответствовать маркировке, принятой на данных участках в принципиальной электрической схеме автоматизации.

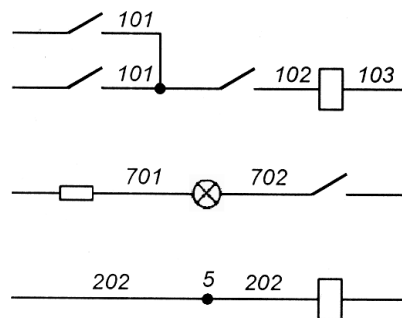


Рис. 16.23. Маркировка цепей на принципиальных электрических схемах

Маркировка цепей электрической схемы присваивается в зависимости от функциональных признаков этой схемы. Рекомендуется применять для маркировки группы чисел указанные в табл. 16.24

Таблица 16.24. Рекомендуемые для маркировки группы чисел

Наименование цепей	Группа чисел	
	основная	резервная
Цепи управления, регулирования, измерения	1—399	1001—1399 2001—2399 и т. д.
Цепи сигнализации	400—799	1400—1799 2400—2799 и т. д.
Цепи питания	800—999	1800—1999 2800—2999 и т. д.

В тех случаях, когда схема выполнена с совмещением нескольких функциональных признаков (например, если в схему управления включены цепи сигнализации и технологических измерений), маркировка присваивается по усмотрению исполнителя в зависимости от основного функционального признака схемы.

Маркировку цепей технологических измерений выполняют порядковыми числами рекомендуемой группы чисел в пределах каждого самостоятельного измерения, закрепляя за ним ряд чисел, например: для 1-го измерения — от 1 до 22; для 2-го измерения — от 23 до 42; для 3-го измерения — от 43 до 62 и т. д.

В тех случаях, когда цепи указанных измерений подводятся к одному щиту, допускается применять сквозную маркировку, с первого номера данной группы чисел, т. е. 1, 2 и т. д. Для каждой группы самостоятельного щита или взаимосвязанных щитов (местный щит — оперативный щит), но изолированных от первого щита, маркировка цепей измерений может повторяться, т. е. начинаться также с 1, 2 и т. д.

Маркировка цепей схем управления и сигнализации выполняют порядковыми числами рекомендуемых соответствующих групп чисел в пределах взаимосвязанных по этим схемам щитов. Для других щитов, не связанных с первыми, маркировка может повторяться.

При многократном использовании схем управления, сигнализации и технологических измерений или регулирования для однотипных агрегатов или однородных систем, не связанных между собой, маркировка наносится для первого агрегата или системы, но на чертеже приводится таблица применимости маркировок для других агрегатов и систем, как это показано в виде примера в табл. 16.25.

В тех случаях, когда автоматизируемый объект состоит из нескольких аналогичных агрегатов или систем (насосов, турбин, котлов и т. п.), маркировка цепей этих агрегатов или систем дополняется индексом из римских цифр, начиная с единицы, соответствующих номеру, присвоенному агрегату или сис-

Таблица 16.25. Таблица применяемости маркировок

Маркировка для 1-го агрегата или системы	Маркировка для агрегатов или систем		
	2-го	3-го	4-го
601	621	641	661
602	622	642	662
603	623	643	663

теме, например: для 1-й системы маркировка будет *I-425*, *I-426* и т. д., а для 2-й *II-425*, *II-426* и т. д.

При взаимосвязи щитов со схемами измерения, управления и сигнализации, например: оперативные щиты — диспетчерский щит, и наличии при этом на оперативных щитах маркировки для аналогичных агрегатов или систем, маркировка диспетчерских цепей дополняется условным буквенным индексом. Буквенный индекс, как правило, состоит из начальной буквы названия объекта, например: *K* — котельная, *H* — насосная, *T* — турбинное отделение, *Ц* — циркуляционная насосная, *Г* — градирня и т. д. Данный индекс проставляется перед основной маркировкой, и маркировка будет состоять в этом случае из названия объекта, номера системы (агрегата) и основной маркировки, например: *KI-621*, *III-703*, *TI-703*. Допускается так же вместо буквенного индекса применять цифровой индекс — арабские порядковые числа, начиная с единицы; тогда маркировка будет иметь следующий вид: *1-I-621*, *2-II-703*, *3-I-504*, *4-III-703* и т. д.

В схемах постоянного тока участки цепей положительной полярности маркируются нечетными числами, а участки отрицательной полярности — четными числами в порядке их нарастания.

Участки цепей постоянного тока, не имеющие явно выраженной полярности (например, проводник соединяющий две последовательно соединенные катушки, резисторы и т. д.), а равно участки цепей, которые в процессе работы могут менять полярность, маркируются по усмотрению исполнителя как четными, так и нечетными цифрами. В схемах переменного тока участки цепей маркируются последовательными числами без деления на четные и нечетные согласно рекомендуемой разбивке групп чисел по функциональному признаку. Маркировка этих участков цепей порядковая буквенно-цифровая или цифровая.

Участки трехфазных цепей маркируются так же, но с добавлением перед цифровой частью буквы *A*, *B* или *C*, характеризующей фазу, например *A1*, *B1*, *C1*. В цепях управления, сигнализации и т. п. допускается опускать буквенный индекс фазы. В этом случае четные или нечетные числа могут быть присвоены участкам цепей любой фазы. В цепях однофазного переменного тока (фаза-нуль) участок, характеризующий нейтраль, маркируется цифрой *0* или буквой *N*. Допускается опускать буквенный индекс нейтрали и маркировать его числами.

Общие шины в цепях как постоянного, так и переменного тока маркируются следующими прописными буквами: шина мигания — *ШМ*; шина управления — *ШУ*; шина сигнализации — *ШС*; шина привода — *ШП*; шина звуко-

вой предупредительной сигнализации — ШЗП; шина звуковой аварийной сигнализации — ШЗА; шина контроля цепей — ШКЦ.

Для цепи, где находится катушка реле или другого аппарата, имеющего контактное устройство, делается табличка или выноска, разделенная на две части, как это показано на рис. 16.24а. В левой части выноска под буквой *З* (замыкающие контакты) в порядковой последовательности сверху вниз проставляются номера цепей, в которых заняты замыкающие контакты данного реле, а в правой части под буквой *Р* (размыкающие контакты) в такой же последовательности проставляются номера цепей, в которых они участвуют. Если контакт данного реле занят также и в других схемах, то в выноске указывается номер цепи данной схемы. Нумерация цепей всех взаимосвязанных схем в этом случае должна быть сквозной.

На рис. 16.24б помещена табличка, в клетках которой написаны дроби, где числители — номера строк, а знаменатели — номера участков цепей, присоединенных к выводам контактов. Табличку можно выполнить иначе. Так, на рис. 16.24в в числителе по прежнему номера строк, а знаменатели — обозначения выводов. Все указанные формы, несмотря на некоторые различия, имеют одно и то же назначение, все правильны и все употребимы.

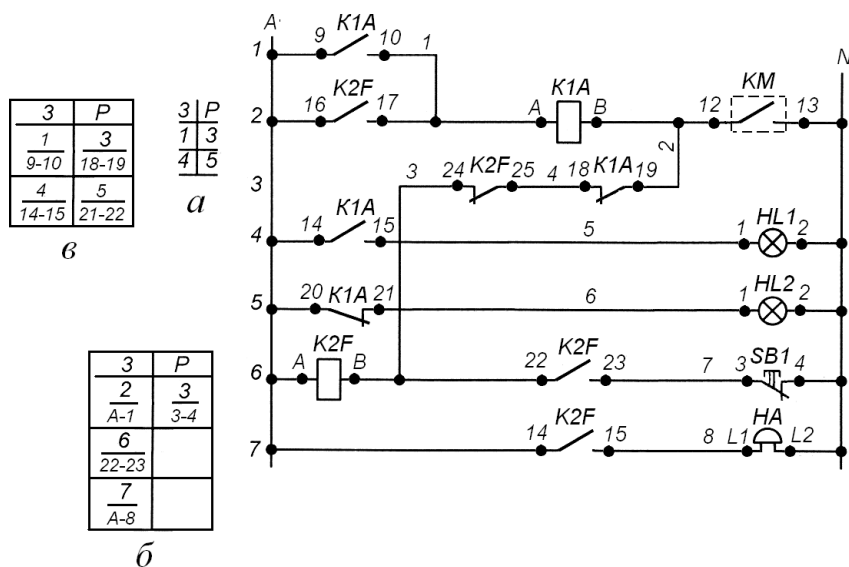


Рис. 16.24. Указание на схеме адресов контактов аппаратуры

При изображении элементов разнесенным способом допускается на свободном поле схемы помещать условные графические обозначения элементов или устройств, выполненных совмещенным способом. При этом элементы, используемые в изделии частично, изображают полностью с указанием использованных и неиспользованных частей (например, все контакты многоконтактного реле). Выводы (контакты) неиспользуемых элементов (частей) изображают короче, чем выводы (контакты) используемых элементов, рис. 16.25.

Схемы выполняют в однолинейном или многолинейном изображении. При многолинейном изображении каждую цепь изображают отдельной лини-

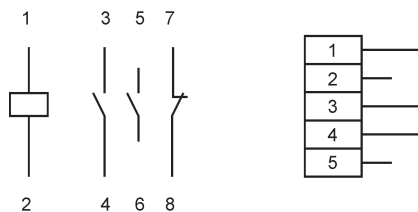


Рис. 16.25. Изображение на принципиальной схеме неиспользуемых выводов элементов и контактов

ей, а элементы, содержащиеся в этих цепях — отдельными условными графическими обозначениями, рис. 16.26а. При однолинейном изображении цепи, выполняющие идентичные функции, изображают одной линией, а одинаковые элементы — одним условным графическим обозначением.

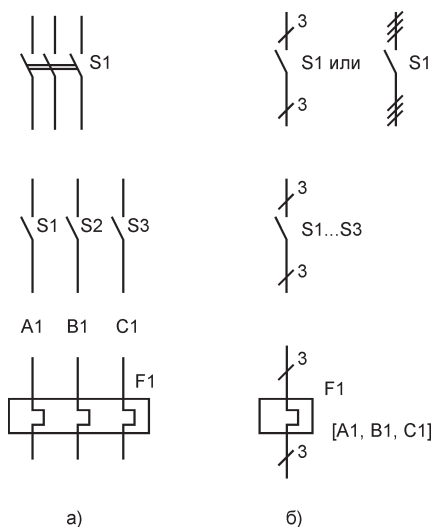


Рис. 16.26. Многолинейное (а) и однолинейное (б) изображение цепей схемы

При выделении функциональных цепей допускается применять линии разной толщины. Элементы, включенные в цепь, которая выделена толщиной линии, рекомендуется вычерчивать линиями той же толщины, что и цепь. На одной схеме рекомендуется применять не более трех размеров линий по толщине. При необходимости на поле схемы помещают соответствующие пояснения.

Для упрощения схемы допускается несколько электрически не связанных линий связи сливать в общую линию, но при подходе к контактам (элементам) каждая линия связи должна быть изображена отдельной линией. При слиянии линий связи каждую линию помечают в месте слияния, а при необходимости, и на обоих концах условными обозначениями (цифрами, буквами или сочетанием букв и цифр) или обозначениями, принятыми для электрических цепей.

Линии электрической связи, сливаемые в линию групповой связи, как правило, не должны иметь разветвлений, т. е. всякий условный номер должен

встречаться на линии групповой связи два раза. При необходимости разветвлений их количество указывают после порядкового номера линии через косую черту, рис. 16.27.

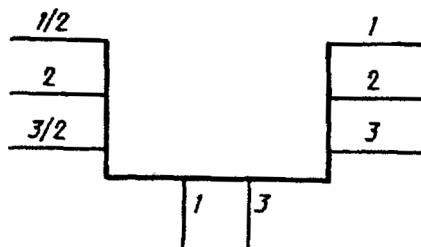


Рис. 16.27. Линия групповой связи имеющая разветвления

Порядковые номера элементам (устройствам) следует присваивать, начиная с единицы, в пределах группы элементов (устройств), которым на схеме присвоено одинаковое буквенное позиционное обозначение, например $R1$, $R2$, $R3$ и т. п., $C1$, $C2$, $C3$ и т. п. Порядковые номера должны быть присвоены в соответствии с последовательностью расположения элементов или устройств на схеме сверху вниз и в направлении слева направо.

При необходимости допускается изменять последовательность присвоения порядковых номеров в зависимости от размещения элементов в изделии, направления прохождения сигнала или функциональной последовательности процесса. При внесении изменений в схему последовательность присвоения порядковых номеров может быть нарушена.

Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с условным графическим обозначением элемента и (или) устройства с правой стороны или над ним.

На схеме изделия, в состав которого входят функциональные группы, позиционные обозначения присваивают вначале элементам не входящим в функциональные группы, а затем элементам, входящим в функциональные группы.

При изображении на схеме элемента или устройства разнесенным способом позиционное обозначение, присвоенное элементу или устройству, проставляют около каждой его составной части, рис. 16.28—16.29. Последовательность присвоения порядковых номеров должна соответствовать последовательности расположения на схеме основных составных частей элемента, например обмоток реле.

Допускается, если это не усложняет схему, отдельно изображенные части элементов соединять линией механической связи, указывающей на принадлежность их к одному элементу. В этом случае позиционные обозначения элементов проставляют у одного или у обоих концов линии механической связи.

При изображении отдельных элементов устройств в разных местах в состав позиционных обозначений этих элементов должно быть включено позиционное обозначение устройства, в которое они входят, например, $+A3-C5$ — конденсатор $C5$, входящий в устройство $A3$.

При разнесенном способе изображения функциональной группы (при необходимости и при совмещенном способе) в состав позиционных обозначе-

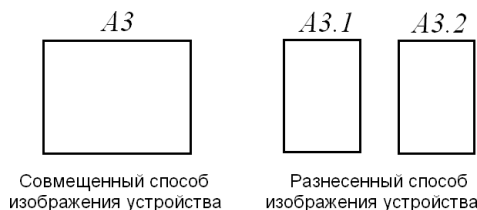


Рис. 16.28. Совмещенный и разнесенный способ изображения устройства на схеме

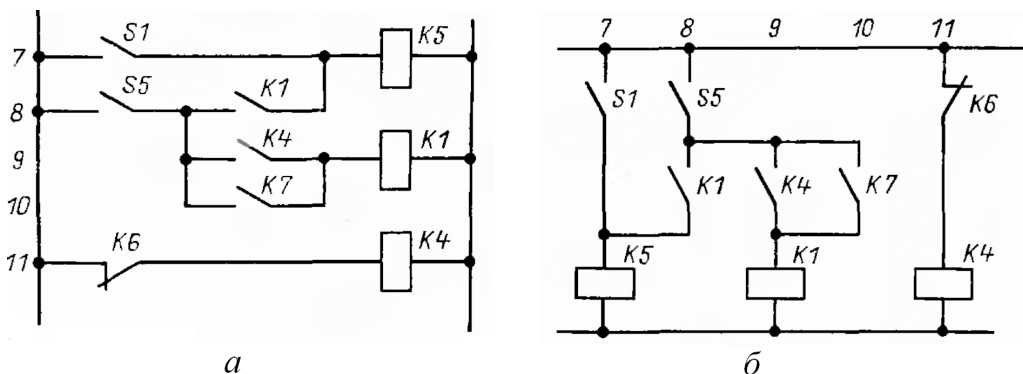


Рис. 16.29. Пример изображения на схеме устройства разнесенным способом

ний элементов, входящих в эту группу, должно быть включено обозначение функциональной группы, например, $\neq T1-C5$ — конденсатор $C5$, входящий в функциональную группу $T1$.

На принципиальной схеме должны быть однозначно определены все элементы, входящие в состав изделия и изображенные на схеме. Данные об элементах должны быть записаны в перечень элементов. При этом связь перечня с условными графическими обозначениями элементов должна осуществляться через позиционные обозначения. Допускается в отдельных случаях все сведения об элементах помещать около условных графических обозначений.

При сложном вхождении, например, когда в устройство, не имеющее самостоятельной принципиальной схемы, входит одно или несколько устройств, имеющих самостоятельные принципиальные схемы, и (или) функциональных групп, или если в функциональную группу входит одно или несколько устройств и т. д., то в перечне элементов в графе «Наименование» перед наименованием устройств, не имеющих самостоятельных принципиальных схем, и функциональных групп допускается проставлять порядковые номера (т. е. подобно обозначению разделов, подразделов и т. д.) в пределах всей схемы изделия, рис. 16.30. Если на схеме в позиционное обозначение элемента включено позиционное обозначение устройства, или обозначение функциональной группы, то в перечне элементов в графе «Поз. обозначение» указывают позиционное обозначение элемента без позиционного обозначения устройства или обозначения функциональной группы.

Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют в виде последующих листов. В перечень заносятся все аппараты (приборы, уст-

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
A1	Дешифратор АБВГ. ХХХХХХ. 033	1	
D1	Микросхема К155ТМ2 бка. 348. 006ТУ1	1	
D2	Микросхема К155ЛАЗ. бка. 348. 006ТУ1	1	
	<i>Резисторы</i>		
R1, R2	МЛТ-0,25-430 Ом ± 10 % ГОСТ...	2	
R3	МЛТ-0,25-13 Ом ± 10 % ГОСТ...	1	
R4	ППЗ-43-60 Ом ± 10 % ... ТУ	1	
SA1	Переключатель АБВГ. ХХХХХХ. 154	1	
A2	1. Блок включения ФЭУ. АБВГ. ХХХХХХ. 249	1	
AB1	Блок индикации АБВГ. ХХХХХХ. 122	1	
	<i>Резисторы ГОСТ...</i>		
R1, R2	МЛТ-0,25-120 Ом ± 10 %	2	
R3	МЛТ-0,25-220 Ом ± 10 %	1	
R4... R6	МЛТ-0,25-120 Ом ± 10 %	3	
LPM1	<u>1.1. Измеритель</u>		
AC1	Блок сигнализации АБВГ. ХХХХХХ. 021	1	
C1, C2	Конденсатор КМ-3а-Н30-0,22 ... ТУ	2	
R7	Резистор МЛТ-0,25-470 Ом ± 10 % ГОСТ...	1	
KLВ1...KLВ4	<u>2. Переключатель тока</u>	4	
A3	Блок индикации АБВГ. ХХХХХХ. 020	1	
R5	Резистор МЛТ-0,25-4,7 кОм ± 10% ГОСТ...	1	
R6, R7	Резистор МЛТ-0,25-4,7 кОм ± 10% ГОСТ...	2	

Рис. 16.30. Перечень элементов

ройства), основной элемент (токоприемник) которых изображен на данном чертеже, в том числе электрооборудование, заимствованное из других частей проекта.

Электроаппараты, не имеющие явно выраженного основного элемента, например ключи или переключатели управления, заносятся в перечень того чертежа, на котором были заняты первые номера контактов этих ключей и переключателей. Готовые изделия, серийно выпускаемые заводами, заносятся в перечень комплектно, без расчленения на отдельные элементы, например: «Станции управления», «Блоки сигнализации» и т. п.

Перечень элементов оформляют в виде таблицы, заполненной сверху вниз. Если перечень помещают на первом листе схемы, то располагают его, как правило, над основной надписью. При отсутствии места для продления граф перечня элементов над основной надписью продолжение перечня помещают слева от нее.

Элементы в перечень записывают в следующем порядке:

- при буквенно-цифровых позиционных обозначениях элементов — группами в порядке расположения буквенных позиционных обозначений; в пределах каждой группы, имеющей одно и тоже буквенное позиционное обозначение, элементы располагаются по возрастанию порядковых номеров.
- для облегчения внесения изменений между отдельными группами элементов, а также при большом количестве элементов внутри групп и между элементами допускается оставлять несколько незаполненных строк;
- при цифровых позиционных обозначениях — в порядке возрастания номеров; через определенные интервалы допускается оставлять несколько незаполненных строк; при этом нумерация заполненных строк должна быть непрерывной.

В каждой графе перечня элементов даются следующие сведения.

- Графа («Поз. обозначение») содержит условные буквенно-цифровые обозначения, принятые для элементов схемы. При этом надо иметь в виду, что под одним порядковым номером перечня группируются все аппараты и приборы, одинаковые по каталожному наименованию и имеющие одинаковые технические характеристики, а также тип и место установки, но различающиеся буквенно-цифровыми обозначениями. В полосе этого порядкового номера дается перечень всех буквенно-цифровых обозначений однотипного оборудования. Например, под одним порядковым номером заносятся предохранители *FU1*, *FU3*, *FU5* — *FU19* и т. д. Размер полосы по вертикали для данной графы перечня не регламентируется и определяется в каждом конкретном случае в зависимости от числа буквенных обозначений, вносимых в эту графу.
- В графе («Наименование») указывается полное наименование и характеристика оборудования, а именно: реле промежуточное, реле времени РВТ-120, пускатель магнитный ПМЕ212, выключатель автоматический АП50-3МТ, табло световое, арматура сигнальной лампы и т. п. Кроме того, проставляются номинальные данные аппаратов и приборов.
- В графе («Количество») указывается количество однотипного оборудования, показанного на данном чертеже. В том случае, когда схема вы-

полнена на нескольких листах, а перечень аппаратуры приводится на первом листе, в этой графе указывается количество однотипного оборудования, предусмотренного на всех листах этой схемы. В этом случае допускается примечание: «В перечне количество оборудования предусмотрено для чертежей № ...».

- В графу («Примечание») заносятся особые сведения, например: «Указанное оборудование заспецифицировано в электротехнической части проекта, см. спецификацию № ...».

На принципиальных электрических схемах следует указывать обозначения выводов (контактов) элементов (устройств), нанесенные на изделие или установленные в их документации, рис. 16.31. Если в конструкции элемента (устройства) и в его документации обозначения выводов (контактов) не указаны, то допускается условно присваивать им обозначения на схеме, повторяя их в дальнейшем в соответствующих конструкторских документах.

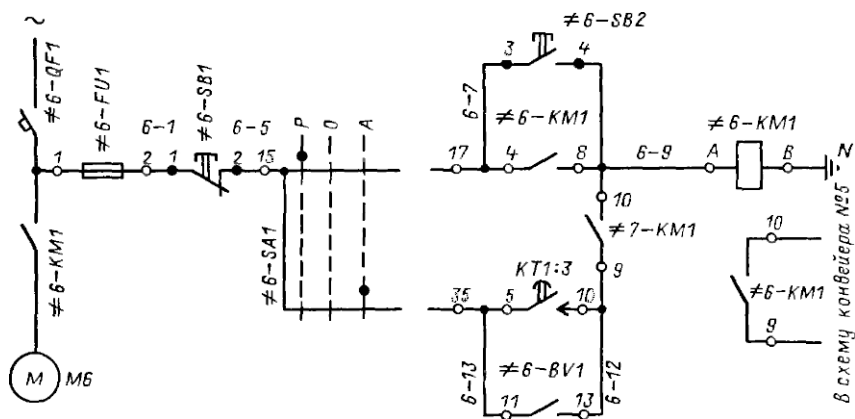


Рис. 16.31. Пример обозначения на схеме выводов (контактов) элементов (устройств) нанесенных на изделие или установленных в их документации

Для отличия на схеме обозначений выводов (контактов) от других обозначений (обозначений цепей и т. п.) допускается записывать обозначения выводов (контактов) с квалифицирующим символом в соответствии с требованиями ГОСТ 2.710.

На схемах около условных графических обозначений элементов, назначение или использование которых в условиях эксплуатации требует пояснения (например, переключатели, потенциометры, контрольные гнезда, предохранители и т. п.), должны быть помещены соответствующие поясняющие надписи. Надписи, предназначенные для нанесения на изделие, на схеме заключают в кавычки.

При изображении элемента или устройства разнесенным способом поясняющую надпись помещают около одной части изделия или на поле схемы около изображения элемента или устройства, выполненного совмещенным способом.

На схеме рекомендуется указывать характеристики входных и выходных цепей изделия (частота, напряжение, сила тока, сопротивление, индуктив-

При изображении на схеме многоконтактных соединителей допускается применять условные графические обозначения, не показывающие отдельные контакты (ГОСТ 2.755), при этом сведения о соединении контактов соединителей указывают одним из следующих способов: около изображения соединителей, на свободном поле схемы или на следующих листах схемы помещают таблицы, в которых указывают адрес соединения, т. е. обозначение цепи (рис. 16.33а) и (или) позиционное обозначение элементов, присоединяемых к данному контакту, рис. 16.33б.

$\times 2$										
Конт.	Адрес	Цепь	Адрес внешний	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Конт.</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Адрес</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-K1:3</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">2</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-K1:5</td> </tr> </table>	Конт.	Адрес	1	-K1:3	2	-K1:5
Конт.	Адрес									
1	-K1:3									
2	-K1:5									
1	5	+ 27В	=A1-X1:1							
2	20	- 27В	=A1-X1:2							

а
б

Рис. 16.33. Таблица, помещаемая на свободном поле схемы или на последующих листах схемы (а) и таблица, помещаемая около изображения соединителя (б)

В графах таблиц указывают следующие данные:

- в графе «Конт.» — номер контакта соединителя; номера контактов записывают в порядке возрастания;
- в графе «Адрес» — обозначение цепи и (или) позиционное обозначение элементов, соединенных с контактами;
- в графе «Цепь» — характеристику цепи;
- в графе «Адрес внешний» — адрес внешнего соединения.

Соединения с контактами соединителя изображают разнесенным способом (рис. 16.34), при этом, точки соединенные штриховой линией с соединителем, обозначают соединение с соответствующими контактами соединителя. При необходимости характеристики цепей помещают на свободном поле схемы над продолжением линии связи.

При изображении на схеме элементов, параметры которых подбирают при регулировании, около позиционных обозначений этих элементов на схе-

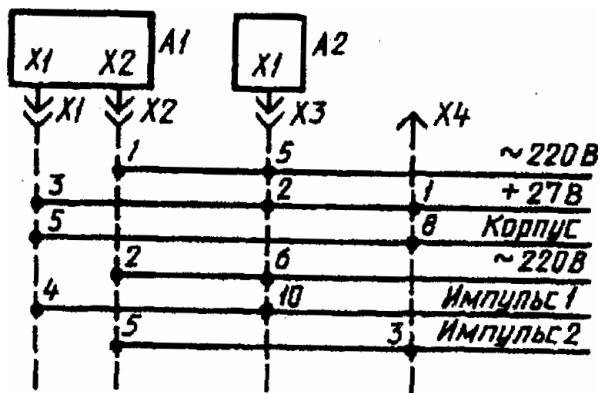


Рис. 16.34. Соединения с контактами соединителя изображенное разнесенным способом

ме и в перечне элементов проставляют звездочки (например $R1^*$), а на поле схемы помещают сноску: «* Подбирают при регулировании».

При изображении устройства (или устройств) в виде прямоугольника допускается в прямоугольнике взамен условных графических обозначений входных и выходных элементов помещать таблицы с характеристиками входных и выходных цепей (рис. 16.35а), а вне прямоугольника допускается помещать таблицы с указанием адресов внешних присоединений, рис. 16.35б. При необходимости допускается вводить в таблицы дополнительные графы.

На схеме изделия в прямоугольники, изображающие устройства, допускается помещать структурные или функциональные схемы устройств, либо полностью или частично повторять их принципиальные схемы. Элементы этих устройств в перечень элементов не записывают.

Силовые цепи на принципиальных схемах (шины однофазные и трехфазные), как правило, выполняют в развернутом виде в многолинейном изобра-

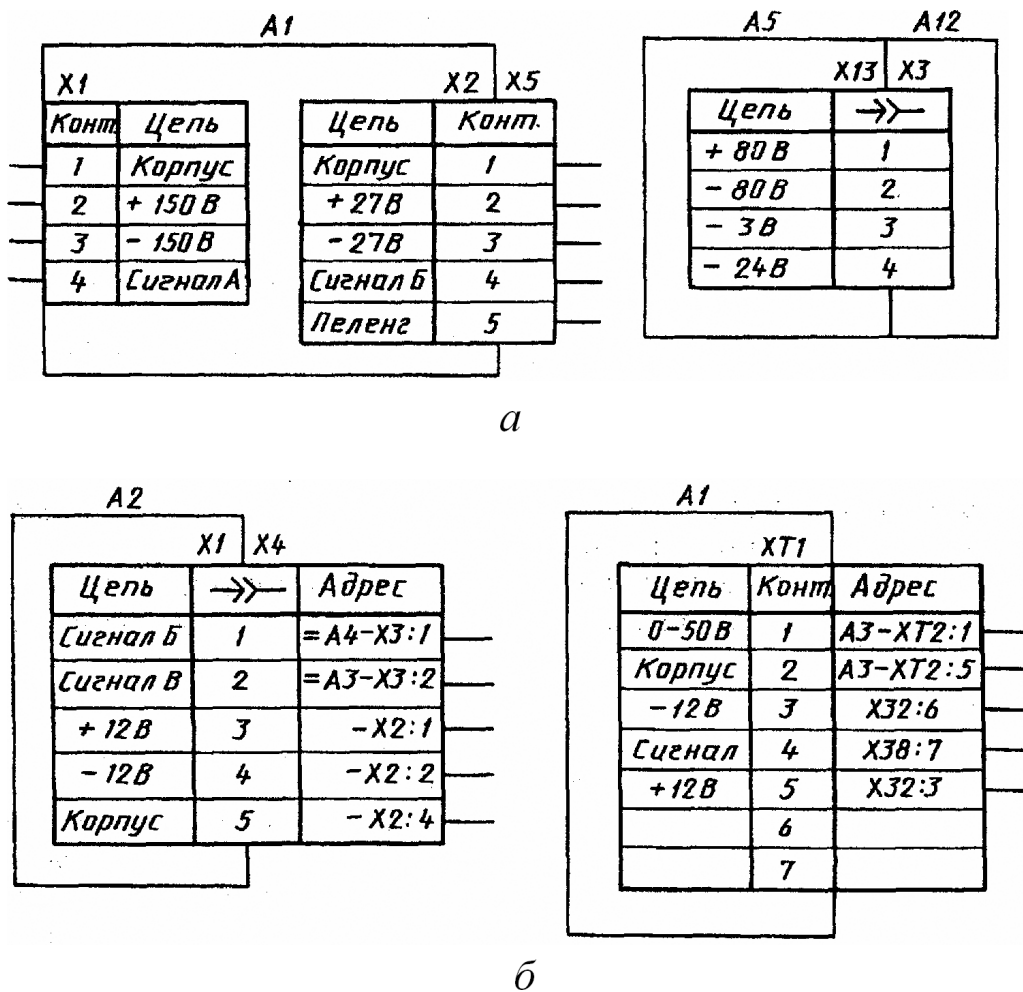


Рис. 16.35. Таблицы с характеристиками входных и выходных цепей (а) и таблицы с указанием адресов внешних присоединений (б)

жении и показывают горизонтальными сплошными линиями толщиной 1,5—2 мм с расстоянием между ними 10—15 мм. Нулевая шина в четырехпроводной системе изображается также горизонтально, но пунктирной линией, более тонкой, чем шины силовых цепей (рис. 16.36). Силовые цепи электродвигателей, трансформаторов и т. п. изображаются вертикальными сплошными линиями с расстоянием между ними 15—20 мм и толщиной, немного меньшей, чем толщина главных шин.

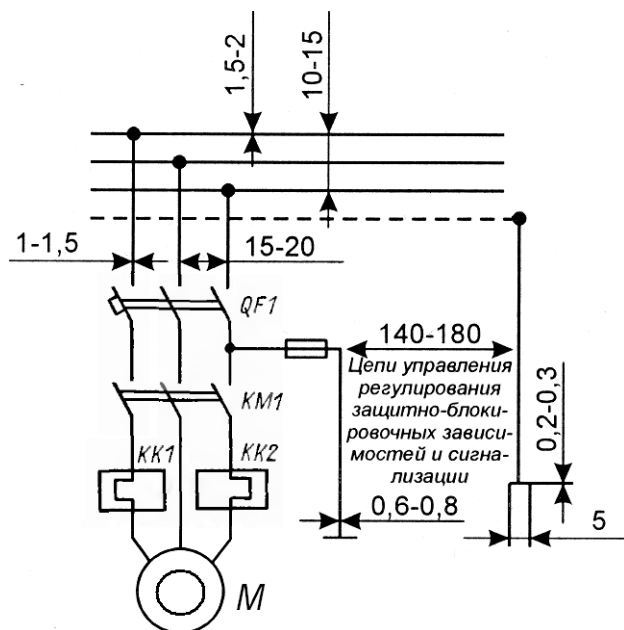


Рис. 16.36. Пример исполнения силовых цепей электрических схем

Элементы управления силовым оборудованием изображаются условными графическими изображениями с такой же толщиной линий, как силовые цепи.

Места соединения силовых цепей с главными шинами на схеме показываются темными точками, но допускается также показывать их в виде светлых точек диаметром, немного большим, чем толщина линий шин. Электроприемники силового оборудования изображаются условными графическими обозначениями линиями такой же толщины, как линии силовых цепей.

Питающие участки цепей управления (однофазных и трехфазных) на схеме показываются сплошными вертикальными линиями толщиной 0,6—0,8 мм с расстоянием между ними 140—180 мм и располагаются с правой стороны силовых цепей. К питающим участкам подсоединяются приборы и аппаратура управления, регулирования или сигнализации, причем цепи управления и сигнализации располагаются горизонтально в порядке вертикальной последовательности их действия при чтении схемы сверху вниз.

В тех случаях, когда цепи управления имеют зависимое питание, т. е. когда они получают питание от силовых цепей, которые также показаны на дан-

ной схеме, на питающих участках цепей управления показывают выключательную и предохраняющую аппаратуру (выключатели, предохранители), а при независимом питании цепей управления выключатели и предохранители, как правило, на схеме не показываются, так как в этом случае они предусматриваются в схеме питания электроэнергией. На концах линий, питающих участки цепей управления, наносятся перпендикулярные штрихи длиной 5 и шириной 0,2—0,3 мм, показывающие, что все цепи управления предусмотрены этой схемой.

Элементы цепей управления изображают согласно условным графическим обозначениям тонкими линиями толщиной приблизительно 0,2 мм. Элементы цепей управления должны быть расположены друг от друга на расстоянии не менее 10 мм и соединены короткими, удобно обозреваемыми линиями с возможно меньшим количеством пересечений.

В тех случаях, когда отдельные цепи управления имеют общее соединение, в целях наименьших пересечений и для удобства чтения таких схем вычерчивают еще один или несколько вертикальных участков, к которым подсоединяются эти цепи, как показано на рис. 16.37. Этот участок соединения вычерчивается линиями той же толщины, что и линии цепей управления. В тех случаях, когда схема управления имеет шины управления или шины контроля цепей, эти участки шин наносят на схему в виде сплошных линий той же толщины, что и линии питающих участков цепей управления.

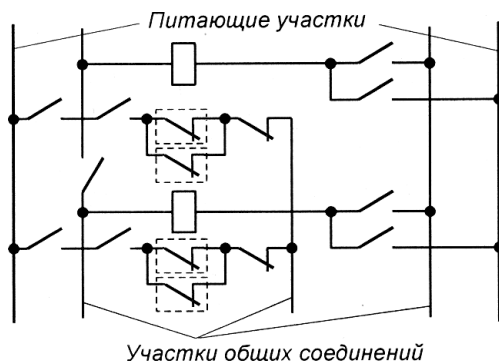


Рис. 16.37. Пример исполнения принципиальных электрических схем с общими участками соединений

Места соединения проводников с шинами или проводника с проводником осуществляется при помощи темных точек диаметром, немного большим, чем толщина линий этих проводников или шин. В местах соединения проводников с зажимами готовых изделий (аппаратов, приборов и т. п.), т. е. там, где имеются разъемные соединения, на линиях этих проводников проставляются светлые точки диаметром 2—3 мм, пересеченные наклонным штрихом.

Все токоприемники цепей управления — катушки пускателей, контакторов, реле, соленоидов и т. п. — по возможности располагают на схеме на одной вертикальной линии при горизонтальном начертании цепей или же на одной горизонтальной линии при вертикальном изображении этих цепей.

Замыкающиеся, размыкающиеся и переключающиеся элементы реле и переключателей и других устройств следует также располагать по одной или

максимум трех вертикальным или горизонтальным линиям в зависимости от способа начертания цепей управления. Переключающиеся элементы переключателей располагают на одной из линий расположения элементов электроаппаратов.

Когда переключатель или ключ управления применяется в схемах для работы с несколькими режимами, делается надпись, поясняющая эти режимы на каждом положении переключателя или ключа. Эти поясняющие надписи допускается выполнять в сокращенном виде — в виде начальных букв наименования режима, а именно: *Р* — ручное; *А* — автоматическое; *Д* — дистанционное управление; *О* — отключено и т. д. В этом случае в поясняющем тексте чертежа делается буквенное обозначение расшифровки выбранных режимов работы.

Против каждой цепи управления с правой стороны (как исключение — с левой стороны) или внизу схемы в зависимости от ее начертания даются поясняющие надписи. Эти надписи заносятся в прямоугольник, расположенный на расстоянии 10—15 мм от линии питающего участка цепей управления, выполненный линиями толщиной 0,3—0,4 мм (рис. 16.38). С левой внутренней стороны прямоугольника по всей его высоте отделяется полоса шириной примерно 10 мм, в которой заносится общая надпись: «Цепи управления». Если же в одной схеме находят применение не только цепи управления, но и цепи сигнализации, то эта полоса разделяется соответственно назначению этих цепей, и в них наносятся надписи: «Цепи управления», «Цепи сигнализации».

Надписи для цепей, которые не относятся к цепям управления или сигнализации, наносятся по всей ширине прямоугольника без вертикальной полосы, например: «Цепь контроля напряжения». Надпись каждой цепи отделяется от соседних надписей линиями в местах разделения этих цепей.

Поясняющие надписи должны быть лаконичными и давать пояснения назначения или наименования операции рабочего цикла с указанием ее длительности, например: «Пуск агрегата», «Реле контроля состоявшегося пуска

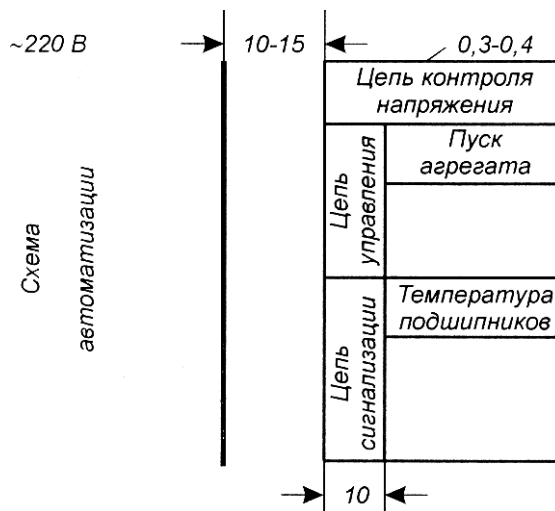


Рис. 16.38. Графическое исполнение поясняющих надписей в электрических схемах

60 с», «Реле аварийного останова», «Реле контроля температуры воды», «Реле контроля наличия протока воды», «Реле останова агрегата» и т. д.

Общие надписи заносятся в полосы снизу вверх параллельно питающим участкам цепей управления, а надписи для каждой цепи — горизонтально, перпендикулярно расположению указанных участков. Над схемой управления указываются величина напряжения и род тока, которым производится питание цепей управления данной схемы, например: ~220 В.

Для облегчения чтения принципиальных электрических схем автоматизации на чертеже этих схем приводятся диаграммы замыкания контактов приборов, датчиков, реле и устройств, участвующих в работе этих схем, с целью определения технической сущности схемы и последовательности работы ее отдельных цепей, как по технологическому признаку, так и по времени.

Диаграммы замыкания контактов вычерчиваются для всех электрических приборов и аппаратов, имеющих контактные системы, которые настраиваются и работают в зависимости от протекания технологического процесса или устанавливаемого режима.

Диаграммы замыкания контактов вычерчиваются с целью фиксации, как момента, так и длительности замыкания контактов, что в свою очередь определяет выбранный порядок работы схемы. Над каждой диаграммой замыкания контактов указывается наименование аппарата или прибора, для электрических аппаратов — также их буквенно-цифровое обозначение, принятое на принципиальной электрической схеме автоматизации, а для приборов — номера приборов по спецификации.

В виде примера на рис. 16.39г показан способ вычерчивания диаграммы замыкания контактов вольтметрового переключателя. Диаграмма составлена на основании принятой схемы цепей подключения вольтметра к указанному переключателю рис. 16.39а.

Диаграммы замыкания контактов универсальных переключателей управления составляют согласно каталогам и заводским инструкциям в соответствии с выбранной схемой их работы и вычерчивают по образцу, показанному на рис. 16.40а, где указываются номера секций, номера контактов, положение рукоятки (в градусах), замыкания (х) контактов при различных положениях рукоятки переключателя. В тех случаях, когда не все контакты универсального переключателя используются, неиспользуемые отмечают звездочкой (*) с указанием под диаграммой: «Контакт не используется».

В тех случаях, когда положение рукоятки фиксирует явно выраженный режим или определяет функцию работы схемы, диаграмму замыкания контактов следует дополнить надписями, соответствующими этому режиму или функции согласно положению рукоятки, рис. 16.40б. Указанные надписи допускается давать в сокращенном виде (*Авт.* — автоматическое, *Ручн.* — ручное, *Дист.* — дистанционное и т. п.).

При выборе контактов универсального переключателя управления рекомендуется в первую очередь использовать контакты, расположенные вблизи рукоятки, т. е. контакты с большими номерами. Рекомендуемые размеры диаграммы замыкания контактов универсального переключателя управления даны на рис. 16.40, но допускается изменять их по усмотрению исполнителя в зависимости от числа цепей и комбинаций их включения.

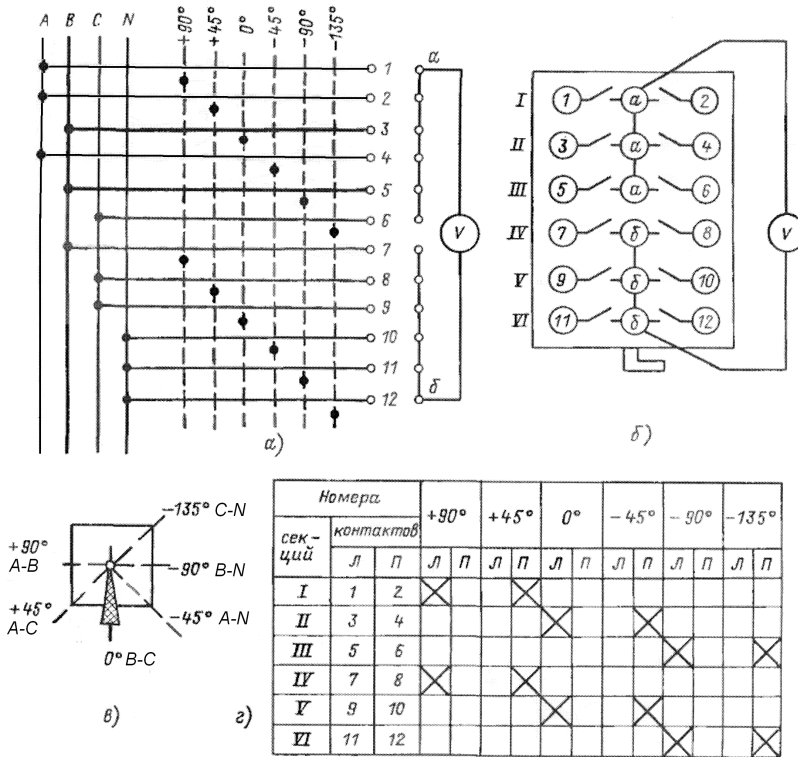


Рис. 16.39. Схема цепей вольтметрового переключателя (а), «монтажное изображение» переключателя (б), вид переключателя спереди (в) и диаграмма замыкания контактов (г)

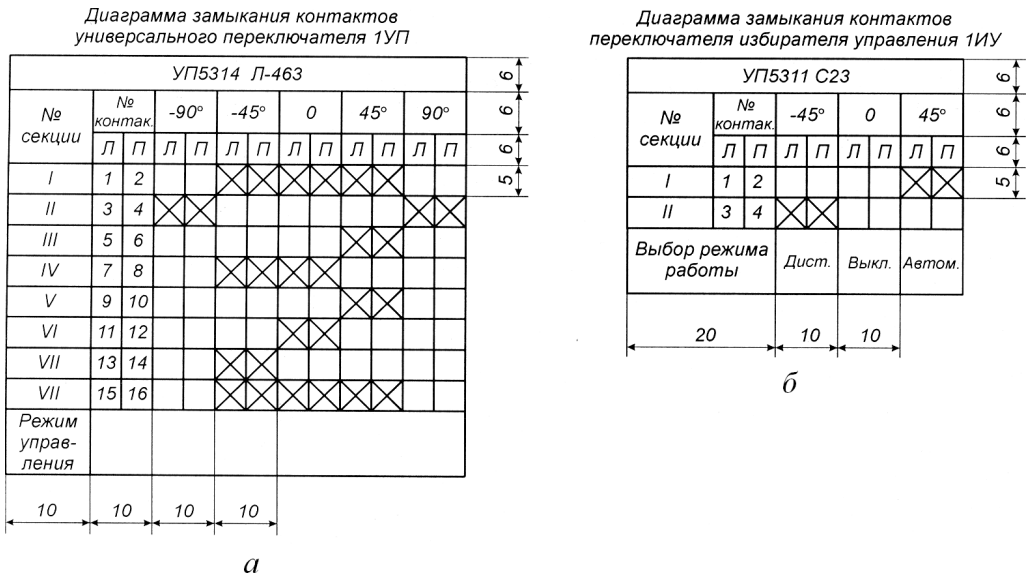


Рис. 16.40. Диаграмма замыкания контактов универсального переключателя без указания режимов (а) и с указанием режимов работы (б)

Диаграммы замыкания путевых выключателей составляются на основании принятой схемы их работы и вычерчиваются по образцу, показанному на рис. 16.41, где указываются следующие данные:

- номера шайб и контакты командного аппарата;
- направление кулачковой шайбы;
- длительность замыкания контакта в зависимости от направления и углового поворота кулачковой шайбы;
- назначение цепей, в которых участвует каждый контакт.

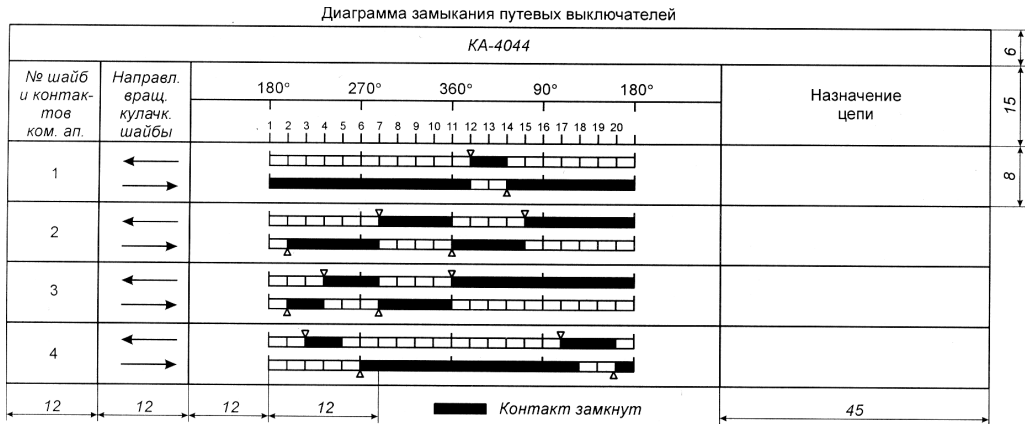


Рис. 16.41. Диаграмма замыкания контактов путевых выключателей

Если какой-либо из контактов не занят в электросхемах, то в графе «Назначение цепи» против данного контакта делается надпись «Не используется». Надписи о назначении цепей должны быть лаконичными и с предельной ясностью определять функции контактов, например: «Включение механизма загрузки» и т. п.

Рекомендуемые размеры диаграммы замыкания контактов путевых выключателей приведены на рис. 16.41, но допускается изменять их по усмотрению исполнителя в зависимости от числа контактов и комбинаций их включений, для которых требуется наиболее обширное пояснение их назначения.

Диаграммы замыкания контактов конечных выключателей составляются на основании их работы и функционального назначения. Вычерчиваются они по образцу, показанному на рис. 16.42, где указываются следующие данные:

- принятые по электрической схеме условные буквенные обозначения контактов;
- графическое исполнение контактов;
- замыкание контактов при различных положениях перемещаемого устройства (шибера задвижки, исполнительного механизма и т. п.) по отношению к его крайним положениям; указанные крайние положения отмечаются вертикальными линиями с соответствующими надписями над ними, например: «Закрото», «Открыто», «Включено» и т. п.; допускается эти надписи давать в сокращенном виде: «Закр.», «Откр.» и т. д.;

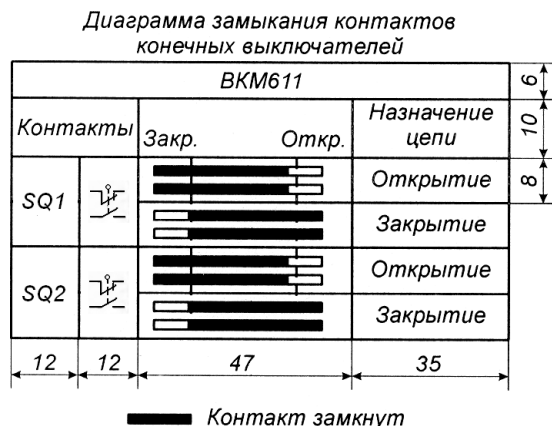


Рис. 16.42. Диаграмма замыкания контактов конечных выключателей

- длительность замыкания контакта в зависимости от положения перемещающегося устройства;
- назначение цепи, в которой участвует каждый контакт: «Открытие», «Закрытие» и т. п.; если какой-либо из контактов не занят в электросхемах, то в графе «Назначение цепи» против данного контакта делается надпись: «Не используется».

Диаграммы замыкания контактов для многоцепных аппаратов или реле времени составляются на основании их работы и функционального назначения и вычерчиваются по образцу, показанному на рис. 16.43, где указываются следующие данные:

- принятые по электрической схеме условные буквенно-цифровые обозначения контактов;
- замыкание контактов при установленных значениях времени одного цикла или одного срабатывания реле времени;
- время в секундах или часах одного цикла или одного срабатывания реле времени;
- длительность замыкания контакта по времени;
- назначение цепи, в которой участвует каждый контакт, например: «Открытие задвижки № ... подачи пара», а также для многоцепного аппарата назначение общих цепей управления этим аппаратом.

Когда разработанная принципиальная электрическая схема автоматизации предусматривает циклический режим работы самого процесса, то для лучшего понимания этого процесса необходимо на чертеже привести диаграмму, как это показано на рис. 16.44.

На поле принципиальной схемы допускается помещать указания о марках, сечения и расцветке проводов и кабелей, которыми должны быть выполнены соединения элементов, а также указания о специфических требованиях к монтажу данного изделия.

Текстовый материал на принципиальных электрических схемах приводится кратким, четко сформулированным и исключающим возможность различных толкований. В тех случаях, когда схема в связи со сложностью принципа

Диаграмма замыкания контактов
многоцепного аппарата (или реле времени)

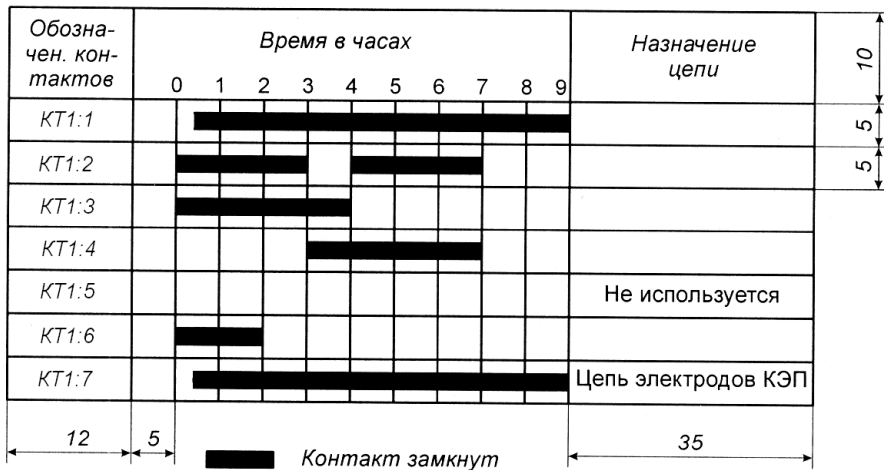


Рис. 16.43. Диаграмма замыкания контактов многоцепного аппарата (или реле времени)

Диаграмма процесса

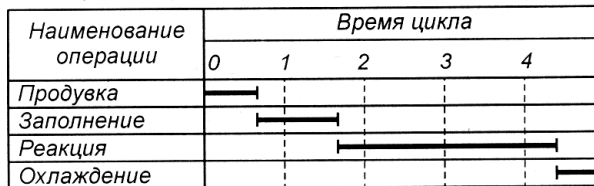


Рис. 16.44. Диаграмма для циклических процессов

ее действия не может быть прочитана без поясняющего текста, допускается приводить краткое описание работы этого узла на чертеже.

Расположение графического текстового материала на каждом чертеже должно быть таким, чтобы оно облегчало чтение этого чертежа и пользование им. Рекомендуется на левой части листа располагать основную схему, а затем графический материал, поясняющий эту схему, например диаграммы замыкания контактов, циклограммы и т. п., а на правой — текстовый материал.

16.5. Монтажные схемы щитов и пультов

Ниже приводятся требования к оформлению монтажных схем щитов и пультов адресным способом, который принят большинством заводов, изготавливающих щитов и другую подобную продукцию.

Чертеж монтажной схемы должен содержать:

- компоновку приборов, средств автоматизации, аппаратов и вспомогательных устройств электрических систем автоматизации с монтажной

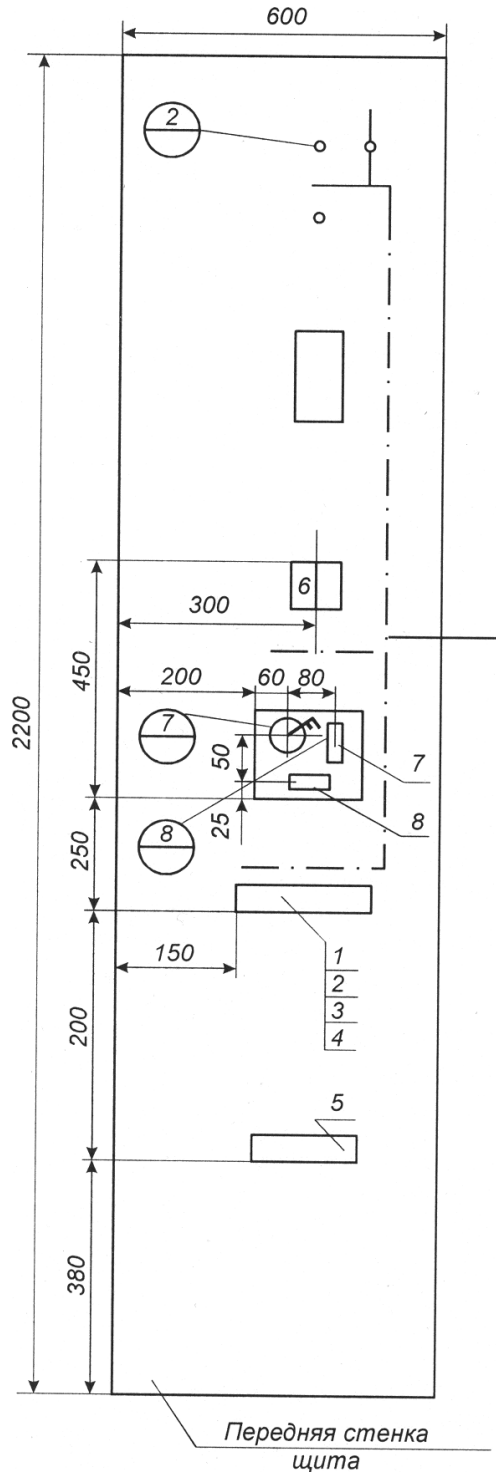


Рис. 16.45. Пример компоновки приборов и аппаратов устанавливаемых с монтажной стороны щита

стороны панели щита, на которую выполняется монтажная схема, рис. 16.45;

- монтажную схему;
- развертку ключей, переключателей, реле и т. п. (в случаях, когда они не могут быть показаны на самой схеме);
- спецификацию монтажных изделий и материалов;
- перечень приборов и аппаратуры, устанавливаемых с монтажной стороны щита, рис. 16.46;
- таблицу надписей в рамках, рис. 16.47;
- таблицу состава сборки зажимов-клемников (при наличии только одной сборки зажимов — не выполняется), рис. 16.48.

Обозн.	Наименование и техническая характеристика	Тип	Кол-во	№ установочного чертежа	Примечание
1 - 6	Реле промежуточное без основания ~220В, 2НО, 2НЗ	МКУ-0-126 ГОСТ11147-65	6	ТКЧ-1772-69	
8	Трансформатор ~220/36В; 10Ва	Т6С2-01	1	ТКЧ-1963-69	
9	Источник мигающего света ~220, 4Ва, 50 импульсов в мин.	ИМС-5	1	ТКЧ-1991-69	
15	Фильтр воздуха	П-112	2	НАБО.257.290	
16	Редуктор давления	П-280	2	НАБО.257.290	
17	Манометр 0-2,5квс/см ²	МТ-60	2	НАБО.257.290	

Рис. 16.46. Пример заполнения перечня приборов и аппаратов

№ рамки	Надпись	Кол.
1	~220В. Питание щита	1
2	~220; 10/1а. К трансформатору 1т	1
3	~36В; 10/4а. К штепсельной розетке	1
4	~220В; 10/4а. В схему сигнализации	1
5	~220В; 10/4а. В схему защиты	1
6	~220В; 10/2,5. К ИМС	1

Рис. 16.47. Пример заполнения таблицы надписей в рамках

Обозначение сборки зажимов	Количество изделий, входящих в состав сборки зажимов				
	Рейка зажимов		Зажим коммутационный		Колодка маркировочная
	РЗ-32	РЗ-3	ЗК-Н	ЗК-П	КМ
1К	3	1	69	36	2
2К	3	1	103	-	4
3К	3	1	105	-	2
4К	3	1	105	-	2

Рис. 16.48. Пример заполнения состава сборки зажимов (клемника)

При выполнении собственно монтажной схемы щита или пульта рекомендуется изображать ее без масштаба и показывать на чертеже:

- очертания развернутых в одну плоскость (с монтажной стороны) стенки щита и (или) пульта, а также рамы блочных каркасных щитов с упро-

ценным изображением на них всех запроектированных средств автоматизации, аппаратуры управления электроприводами, вспомогательных устройств электрической системы автоматизации, монтажные изделия и т. п., взаимное расположение которых должно соответствовать их действительному размещению на щите (пульте);

- внутри контуров приборов и аппаратов — расположение (соответствующее действительному расположению) вводных зажимов с нанесением внутри них заводской маркировки (при ее наличии) или присваиваемой условно;
- внутреннюю схему аппаратов, например реле (выполняется при необходимости и может изображаться группами на свободном поле чертежа);
- подсоединение электрических проводок к средствам автоматизации, аппаратуре управления, аппаратам и монтажным изделиям;
- присоединение внешних проводок к сборкам зажимов, допускается внешние поводки на монтажной схеме щитов и пультов не показывать, если эти проводки вместе со сборками зажимов или другими переходными устройствами показаны на других чертежах.

На чертеже монтажной схемы присваиваются.

- каждому прибору и аппарату — условное обозначение, которое изображается в виде дроби, показанной в кружке диаметром 12—14 мм. В числителе указываются порядковые номера по монтажной схеме, проставляемые попанельно слева направо и сверху вниз. В знаменателе — обозначения по принципиальным электрическим схемам, а в случае отсутствия на последних обозначений приборов и аппаратов в знаменателе указываются их позиционные обозначения по функциональной схеме автоматизации или заказным спецификациям. Допускается платам с диодами, триодами, микросхемами, конденсаторами, резисторами и т. п., а также унифицированным изделиям (например, щиткам питания) присваивать в числителе один номер. В этом случае обозначения аппаратов по электрическим схемам показываются вблизи аппаратов;
- сборкам зажимов — порядковые номера (начиная с единицы) с добавлением буквы X, которые проставляются попанельно слева направо и сверху вниз и изображаются в числителе дроби, показанной в кружке.

Кроме того, на чертеже монтажной схемы проставляются:

- маркировка проводов;
- маркировка кабелей по чертежам схем внешних электрических проводок;
- позиции изделий и материалов, необходимых для монтажа щита и пульта, порядковыми номерами по чертежу. Номера проставляются вблизи изделий и материалов на полках линий выносок в одну строчку или группируются в колонку.

Адресный способ выполнения монтажных схем щитов и пультов заключается в том, что вместо графического изображения внутрищитовых электрических проводок все соединения между аппаратами, приборами и сборками зажимов изображаются в виде отрезков прямых линий с указанием на них встречных адресов. Все соединения между аппаратами, приборами и сборками зажимов выполняются на основании принципиальных схем автоматизации.

Адресом является номер прибора, аппарата и сборки зажимов, присвоенный на монтажной схеме.

При изображении внутрищитовых соединений должно применяться встречное адресование, которое заключается в следующем:

- от выводных зажимов и ламелей вычерчиваются отрезки прямых линий (изображающие электрические проводки), в торцах которых проставляются направления соединений (адресов); над отрезками этих линий проставляется маркировка цепей по принципиальным электрическим схемам;
- от каждого коммутационного зажима вычерчиваются и обозначаются отрезки прямых линий аналогично рекомендациям в предыдущем пункте.

Длину отрезков, изображающих провода, рекомендуется выполнять одинаковой (независимо от того, откуда они отходят), но она должна обеспечивать четкость нанесения маркировки.

Петлевые переемы изображаются в следующих случаях:

- в пределах одного аппарата;
- между лампами и табло, стоящими вплотную;
- между сигнальными лампами и кнопками, если они располагаются на расстоянии не более 100 мм;
- между предохранителями и пакетными выключателями, расположенными в пределах одной стенки щита;
- между сопротивлениями, электронной и другой аппаратурой, расположенной в один ряд или несколько рядов в пределах одной стенки.

Направление прокладки проводов от аппаратов и приборов к сборке зажимов рекомендуется объединять под скобку и показывать стрелкой.

Для выделения линий электрических проводок, идущих от приборов и аппаратов к сборкам зажимов, рекомендуется вычерчивать их отрезками прямых линий толщиной 1 мм.

Все внутрищитовые переемы электрических проводок рекомендуется вычерчивать сплошными основными линиями. Толщина основной линии рекомендуется равной 0,6—0,8 мм.

Для выполнения измерительных цепей, требующих отдельной прокладки, допускается: при большом количестве этих цепей вводить дополнительное условное обозначение отрезков прямых линий, как это показано на рис. 16.49. При небольшом количестве этих цепей их маркировку указывают в технических требованиях.

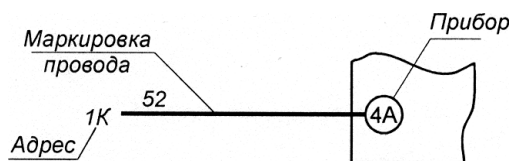


Рис. 16.49. Пример обозначения (адреса) измерительных цепей

Номера кабелей проставляются в кружке диаметром 10 мм, пример выполнения монтажной схемы, выполненной адресным способом, показан на рис. 16.50.

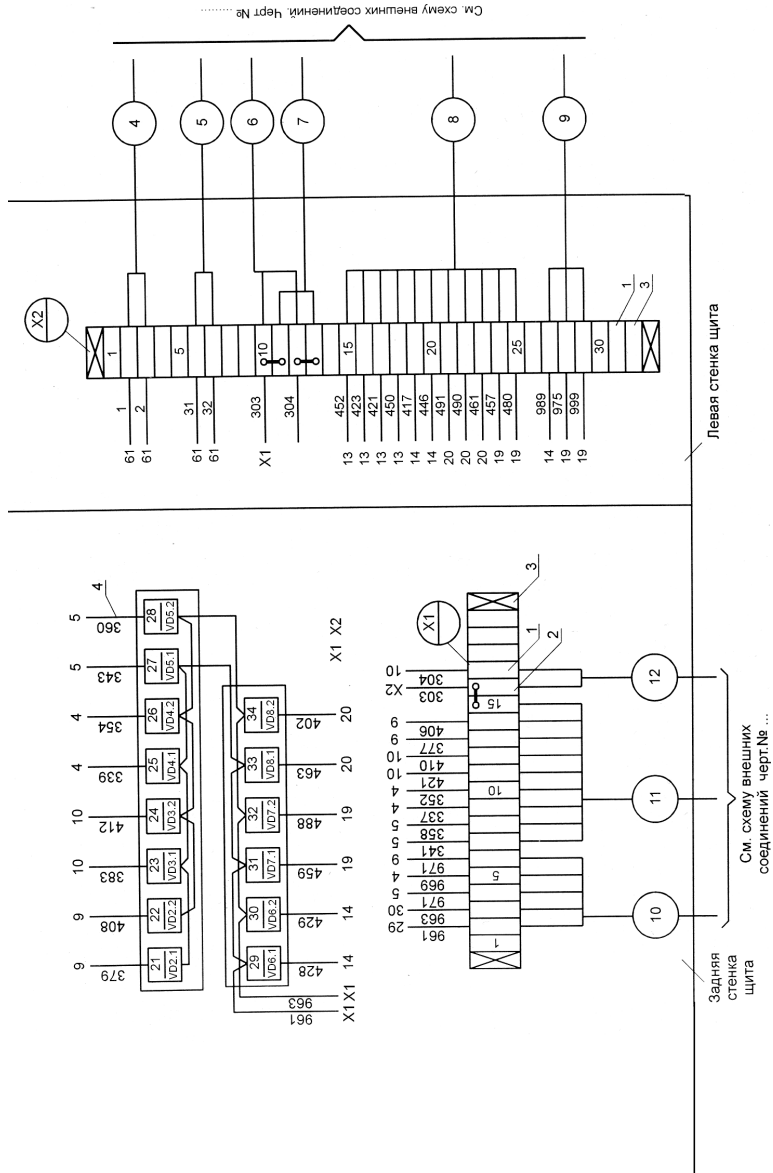


Рис. 16.50. Пример изображения монтажной схемы адресным способом (окончание)

16.6. Чтение схем

Электромонтеру, так же как и инженерно-техническому работнику, все время придется работать со схемами, т. е. читать их. А прочитать схему — то, значит, почерпнуть из нее сведения, необходимые для выполнения определенной работы. Так, например, если нужно рассчитать ток КЗ, то чтение схемы сводится к выборке из нее данных для расчета.

В других случаях прочитать схему необходимо, чтобы: понять принцип действия электроустановки; выяснить назначение того или иного элемента; определить, что с чем следует соединить; обнаружить ложную цепь и найти способ ее устранения; проверить, верно ли задан режим работы и т. п. Одним словом, разнообразных задач, которые решаются в результате чтения схем — много, и задачи эти не только различны, но и разнообразны. Соответственно различны и разнообразны приемы, с помощью которых читают схемы.

Часто, когда дело доходит до чтения схемы электроустановки, приходится слышать: расшифруйте условные обозначения — и схема будет прочитана. Но знание условных обозначений и правил их применения так же необходимо, но не достаточно для чтения схем, как знание алфавита необходимо, но не достаточно для чтения текста.

К чтению схем нужно подготовиться, т. е. накопить необходимый минимум знаний, точно так же, как перед чтением текста нужно изучить алфавит, правила словообразования и словосочетания, т. е. для прочтения схем кроме знаний условных обозначений необходим определенный минимум знаний из электротехники, и умение логически рассуждать.

Представьте себе человека, который выучил алфавит, знает, что слова образуются из сочетания букв, что слова друг от друга отделяются промежутками, усвоил знаки препинания и знает язык, на котором написано. Достаточно ли этого, чтобы читать?

Если представить себе человека, который знает язык, но читает не слева направо и сверху вниз и не строка за строкой, а как попало, выхватывая отдельные слова, читает с пропусками. Получится ли что-нибудь путное из такого «чтения»? Так же ничего не получит из чтения схемы, если не придерживаться определенного порядка.

Чтение схем всегда преследует определенную цель, т. е. подчинено задачам выполняемой работы. Так, если нужно узнать систему электроснабжения (рис. 16.51), схему читают сверху вниз (слева направо), т. е. от источника к ее потребителям. Если же нужно выяснить возможные варианты питания электроприемника, схему читают снизу вверх, т. е. чтение начинают с этого электроприемника и идут затем к источнику энергии. И, наконец, если какой либо элемент схемы отказал или работает явно неверно, то чтение схемы начинают с этого элемента и от него идут к источнику питания.

Почти на каждой рассматриваемой схеме есть обычно ссылка на другие схемы: как на те схемы, из которых заимствованы какие-либо части элементов (например, контакты аппаратов, полностью показанные на другой схеме), так и на те схемы, в которые входят части элементов данной схемы. Ясно, что сначала нужно подобрать все взаимосвязанные схемы, а также хорошо уяснить принятую систему обозначений.

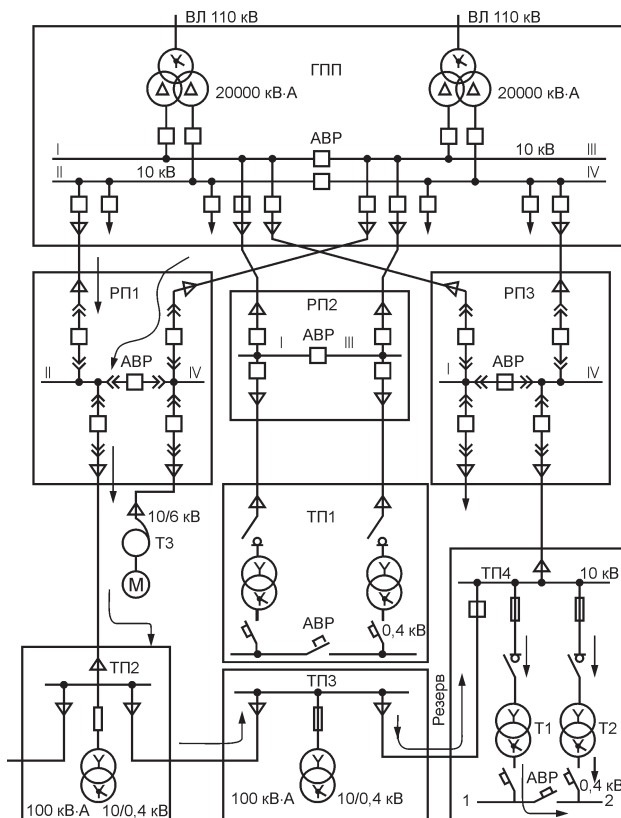


Рис. 16.51. Схема электроснабжения промышленного предприятия

На схеме следует прочитать все надписи, начиная с основной, и разобраться в поясняющих схемах и таблицах переключений. Прочитать перечни элементов и обязательно найти на схеме все перечисленное в перечне.

Если приведены ссылки на другие схемы, то надо разобраться в каждой из них. Например, в схему входит контакт аппарата, изображенного на другой схеме. Значит, нужно уяснить, что это за аппарат, для чего служит, в каких условиях работает и т. п.

Чтение и анализ схем — один и тот же процесс. Значит, в результате чтения нужно не только представить себе отчет в том, что на схеме изображено — это сравнительно просто, но и оценить реальность принятых решений, устойчивость режима, правильность учета свойств материальной базы, на которой создана эта схема, условий, в которых электроустановка будет работать.

Чтобы проанализировать схему, нередко приходится прибегать к более подробным изображениям (например, показывать все обмотки, обозначать их начала и т. п.), строить диаграммы взаимодействия, выполнять прикидочные подсчеты и т. п.

В схемах иногда встречаются элементы, назначение которых не совсем очевидно. И тогда их объявляют лишними. Нужно знать, что ни один элемент нельзя считать лишним до тех пор, пока схема не подвергнута самому тщательному анализу.

Решая арифметическую задачу, можно проверить правильность сложения вычитанием, умножения — делением, извлечения корня — возведением в степень и т. п. Точно так же есть ряд приемов, по которым можно проверить, правильно ли прочитана схема. В процессе чтения схемы нужно проверять правильность сделанных предположений, пользуясь приемами, либо подтверждающими, либо опровергающими предположения.

Из вышесказанного становится ясно, что заучивать схемы — бесполезное занятие. И вместе с тем, чтобы читать схемы, нужно кое-что знать на память совершенно так же, как нужно помнить таблицу умножения и формулы сокращенного умножения:

- нужно помнить наиболее распространенные условные обозначения обмоток, катушек, контактов, трансформаторов, двигателей и т. п.;
- нужно помнить условные обозначения, применяемые в той области, с которой приходится преимущественно сталкиваться в силу профессии;
- полезно помнить схемы наиболее распространенных узлов электроустановок, например схемы двигателей, выпрямителей, схемы освещения лампами накаливания и газоразрядными лампами и т. п.;
- нужно знать свойства последовательного и параллельного соединения контактов, катушек индуктивностей, емкостей, сопротивлений, видов соединений в звезду и треугольник.

Соединения контактов (рис. 16.52). При выборе типа соединения контактов полезно руководствоваться следующими общими положениями.

Замыкающие контакты разных аппаратов 1 и 2 соединяют:

- параллельно (рис. 16.52а), если нужно, чтобы при срабатывании цепь замыкалась раздельно любым из них, а при возврате размыкалась всеми контактами;
- последовательно (рис. 16.52г), если нужно, чтобы цепь при срабатывании замыкалась всеми контактами, а при возврате размыкалась раздельно любым из них.

Размыкающие контакты разных аппаратов 1 и 2 соединяют:

- параллельно (рис. 16.52б), если нужно, чтобы при срабатывании цепь размыкалась совместно всеми контактами, а при возврате замыкалась любым из них;
- последовательно (рис. 16.52в), если нужно, чтобы цепь при срабатывании размыкалась любым контактом, а при возврате замыкалась совместно всеми контактами.

Кроме того, контакты одного и того же аппарата соединяют параллельно, если длительный ток в цепи больше длительного тока, допускаемого каждым контактом. Надо, однако, иметь в виду, что переходные сопротивления соединяемых параллельно контактов, как правило, не равны, из-за чего токи распределяются не строго поровну.

Контакты одного и того же аппарата соединяют последовательно, чтобы облегчить размыкание цепи: дуга, возникающая при отключении, дробится на

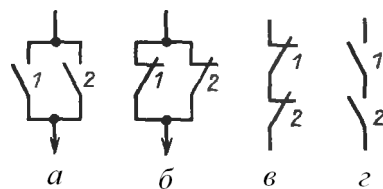


Рис. 16.52. Соединения контактов

части, на каждую из них приходится меньшее напряжение, что способствует гашению.

Проверка по принципиальной схеме правильности монтажа. Принципиальная схема дает исчерпывающие сведения, необходимые для проверки правильности монтажа. Проверка не таит в себе каких-либо сложностей, но требует аккуратности, строгой последовательности действий, однозначно определенной схемой, и не терпит торопливости. Проверку производят при снятом рабочем напряжении.

Прибор — «пробник», должен иметь настолько низкое напряжение, чтобы от него не смог сработать ни один элемент схемы. В простейшем случае пробником может быть карманный фонарик с гибкими проводами, снабженными короткими металлическими наконечниками с изолированными рукоятками.

Предупреждение: контрольной лампой для проверки схем пользоваться категорически запрещено.

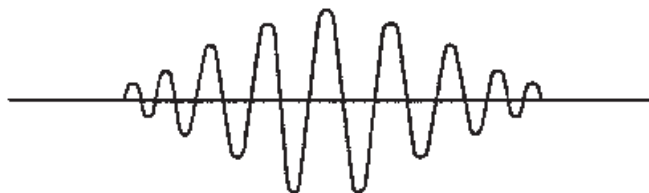
Если в процессе проверки лампочка не горит, то необходимо убедиться в ее исправности. Для этого достаточно закоротить наконечники проводов: исправная лампочка должна загореться.

Если нужно какой-нибудь контакт временно разомкнуть, то его пластины разъединяют изолирующей прокладкой из неворсистого материала, т. е. не из бумаги и не из материи. Прокладки нужно пересчитать, а еще лучше пронумеровать, чтобы после окончания работы убедиться, что все они извлечены.

После того как соединения проверены, нужно при разомкнутом выключателе питания проверить, что на его вход подана правильная полярность в установках постоянного тока или же фазы и нейтраль в установках переменного тока, которые указаны на схеме. Следует учесть, что в схеме на постоянном токе на катушки должен быть подан минус (а не плюс). В схеме на переменном токе — нейтраль (а не фаза), если схема предназначена для питания фазным, а не линейным напряжением.

Сначала проверяют, что плюс (или фаза) подведен ко всем выводам, идя по схеме, а не фактическому расположению элементов. Затем в той же последовательности проверяют присоединение минуса (или нейтрали).

Убедившись в том, что питание подведено правильно, т. е. туда и только туда и ничего не пропущено, переходят к проверке индивидуальных цепей. Проверку начинают с самой левой по схеме цепи при их вертикальном расположении, или с самой верхней при горизонтальном расположении цепей. Закончив проверку первой цепи, переходят к проверке второй и т. д., ничего не пропуская.



Глава семнадцатая

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ



17.1. Общие сведения

Электрическим монтажом называется процесс установки элементов и сборочных единиц электротехнического изделия и включения их в электрические цепи.

Электромонтажные работы выполняются при сборке, перемещении и установке электрооборудования, кабельных изделий и других элементов электрических установок. Эти работы производят согласно требованиям строительных норм и правил (СНиП), правил устройства электроустановок (ПУЭ), норм пожарной безопасности (НПБ), техники безопасности, ведомственных инструктивных указаний и монтажных инструкций заводов-изготовителей электрооборудования.

Механизация ручных работ позволяет повысить производительность труда и значительно облегчить труд электриков. Большую роль в механизации ручных процессов играют электрифицированные и пневматические инструменты.

К электрифицированным инструментам относятся электрические сверлильные машины, а также различные насадки и приспособления, смонтированные на этих инструментах: прессы для оконцевания жил кабелей, приспособления для ввертывания электродов заземления, выборки борозд в строительных основаниях для прокладки скрытых проводок в кирпичных или гипсолитовых перегородках.

Пневматические инструменты работают на энергии сжатого воздуха. Они предназначены для тех же целей, что и электрифицированные. В электромонтажном производстве широко применяются пневматические сверлильные и шлифовальные машинки.

17.2. Воздушные линии электропередачи

Воздушной линией электропередачи (ВЛ) называют устройство для передачи электрической энергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным с помощью изоляторов к опорам, кронштейнам и стойкам. Провода ВЛ напряжением до 10 кВ крепят к изоляторам, установленных на траверсах деревянных или железобетонных опор.

В зависимости от конструкций, назначения и места установки различают промежуточные, угловые, анкерные, ответвительные и концевые опоры.

Промежуточные опоры служат поддержания проводов на определенной высоте от земли и не рассчитаны на усилие тяжения от проводов в продольном направлении или под углом. Их устанавливают на прямых участках трассы на расстоянии 35—45 м при напряжении ВЛ до 1 кВ, 50—60 м — при напряжении 10 кВ. Промежуточные опоры составляют более 80 % общего количества опор ВЛ.

Угловые опоры рассчитаны на натяжение проводов с усилиями, действующими по биссектрисе внутреннего угла, образуемого проводами в смежных пролетах. Их устанавливают в местах изменения направления трассы ВЛ.

Анкерные опоры воспринимают усилия от разности тяжения проводов, направленных вдоль ВЛ. Их устанавливают на прямых участках трассы в ее опорных точках, а также на пересечении с различными сооружениями. Анкерный пролет — это расстояние между двумя анкерными опорами, на которых жестко закреплены провода. Анкерные опоры могут быть промежуточными, угловыми, ответвительными или концевыми.

Ответвительные опоры предназначены для ответвления от проводов магистральных ВЛ при необходимости электроснабжения потребителей, находящихся на некотором расстоянии от трассы.

Концевые опоры воспринимают направленные вдоль линии усилия, создаваемые нормальным односторонним тяжением проводов. Их устанавливают в начале и конце ВЛ.

Количество и типы опор, необходимых для сооружения ВЛ, а также расстояния между ними (шаг опор) определяются: сложностью и конфигурацией трассы; количеством, материалом и сечением подвешиваемых проводов; климатическими условиями района; степенью населенности территории, по которой проходит трасса ВЛ; требованиями, обеспечивающими надежность и безопасность эксплуатации ВЛ.

Высота опор зависит от количества проводов, их взаимного расположения и высоты подвеса, которая складывается из габарита нижнего провода над землей, стрелы провеса этого провода и глубины зарытия опор в грунт, рис. 17.1.

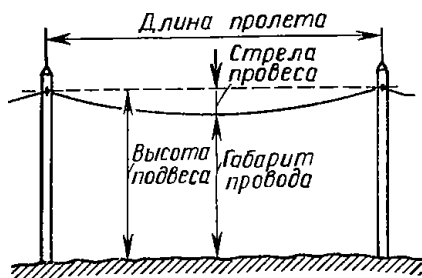


Рис. 17.1. Основные данные ВЛ

Расстояние по вертикали от точки наибольшего провеса провода до земли называется габаритом провода ВЛ над землей. Кратчайшее расстояние по вертикали от проводов до пересекаемого объекта называют габаритом пересечения проводов ВЛ.

Допустимое кратчайшее расстояние от проводов линии до объектов (зданий, эстакад, надземных сооружений и т. п.), называют габаритом сближения проводов ВЛ.

Расстояние по вертикали от наинизшей точки провода в пролете до прямой, соединяющей точки крепления провода на двух смежных опорах, называют стрелой провеса провода, рис. 17.2. Габариты провода над землей в зависимости от напряжения ВЛ и местности, по которой проходит трасса линии, устанавливаются Правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

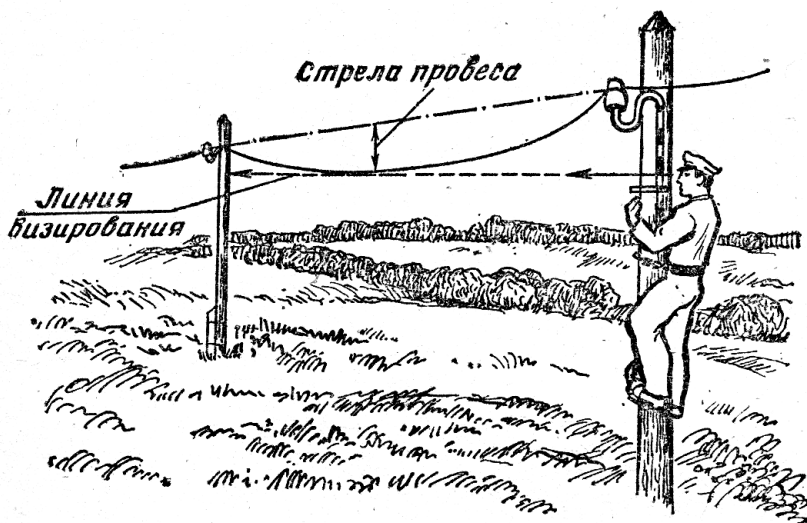


Рис. 17.2. Определение стрелы провеса

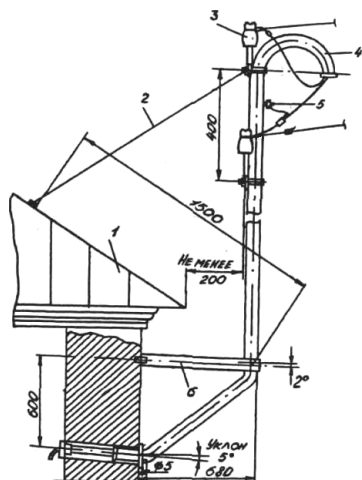


Рис. 17.3. Ввод трубостойкой через стену: 1 — крыша, 2 — оттяжка; 3 — изоляторы; 4 — трубостойка; 5 — болт зануления; 6 — кронштейн

Расстояние от проводов ВЛ до 1000 В до поверхности земли и проезжей части улиц должно быть не меньше 6 м при максимальной стреле пролета, т. е. в условиях наивысшей температуры воздуха или наибольшего гололеда. В местах пересечения непроезжей части улиц ответвлениями от воздушных линий к вводам в здания и сооружения, расстояние от проводов до тротуаров и пешеходных дорожек, допускается уменьшать до 3,5 м. Если и это расстояние обеспечить не удастся, то возле здания должна быть установлена дополнительная опора или вводная конструкция (трубостойка) на здании.

По способу закрепления и прохода внутрь здания трубостойки различают: ввод трубостойкой через стену и ввод трубостойкой через крышу. Ввод трубостойкой через стену (рис. 17.3) более удобен. При монтаже трубо-

стоек следят за тем, чтобы нижний горизонтальный конец трубы был установлен с уклоном 5° наружу, в нижней точке изгиба просверливают отверстие диаметром 5 мм для выхода влаги.

Ввод трубостойкой через крышу применяют в том случае, если расстояние от поверхности земли до низа трубостойки, устанавливаемой на стене, оказывается меньше 2 м. Особое внимание при монтаже прохода трубостойки через кровлю уделяют гидроизоляции прохода.

Перед установкой в трубостойку затягивают стальную проволоку для последующего протягивания проводов. Верхний конец трубостойки двумя оттяжками из круглой стали диаметром 4—5 мм крепят к стене или к стропилам крыши. Все болтовые крепления вводов должны выполняться с применением пружинящих шайб, предохраняющих гайки от самооткручивания при раскачивании трубостоек и проводов ветром. Болтовые соединения смазывают защитной смазкой или техническим вазелином. Расстояние от самого нижнего проводника ввода через трубостойку до крыши должно быть не меньше 2,5 м. Запрещается прокладывать голые или изолированные провода по крышам жилых домов.

Для трубостоек используют водогазопроводные трубы, внутренний диаметр которых из условий механической прочности должен быть не менее 20 мм при вводе двух проводов и не менее 32 мм при вводе четырех проводов. Верхний конец трубостойки загибают на 180° , чтобы в нее не могла попасть влага. К трубе под изгибом приваривают траверсу с двумя штырями для установки вводных изоляторов. Для траверс к трубостойкам диаметром 20 мм используют стальной уголок длиной 500 мм сечением $45 \times 45 \times 5$ мм.

На трубостойке приваривают болт для зануления (соединения нулевой жилы с металлической трубой), который для предохранения от коррозии смазывают техническим вазелином. Острые края трубы обрабатывают напильником, чтобы не повредить об них изоляцию проводов при затягивании. Ближе к изгибу приваривают кольцо (гайку), в котором закрепляют проволочную оттяжку, для компенсации усилия натяжения проводов ответвления от воздушной линии. Внутреннюю и внешнюю поверхность трубы окрашивают.

Опоры для ВЛ изготавливают из дерева, металла или железобетона. Деревянные опоры широко применяют в районах, богатых лесами, но они не долговечны и поэтому их постепенно заменяют железобетонными, срок службы которых составляет 50—60 лет. Железобетонные опоры ВЛ напряжением до 1 кВ имеют коническую форму и прямоугольное сечение. Они снабжены жестким металлическим каркасом из арматурной стали, повышающим механическую прочность опоры. К арматуре каркаса железобетонных опор приварен вывод для присоединения нулевого провода линии с заземленной нейтралью.

Работы по оснастке опор (установка траверс, штырей и изоляторов) выполняют, как правило, до их подъема и установки, что значительно облегчает труд электромонтажников. Устанавливают опоры, как правило, с помощью буро-крановой установки, рис. 17.4.

Провода, перед тем как поднимать их на опору, предварительно прокладывают по земле вдоль всей трассы линии или, по крайней мере, от одной анкерной опоры до другой. Затем их поднимают и накладывают на крюки изоляторов. После этого в самом начале линии провода крепят к изоляторам ан-

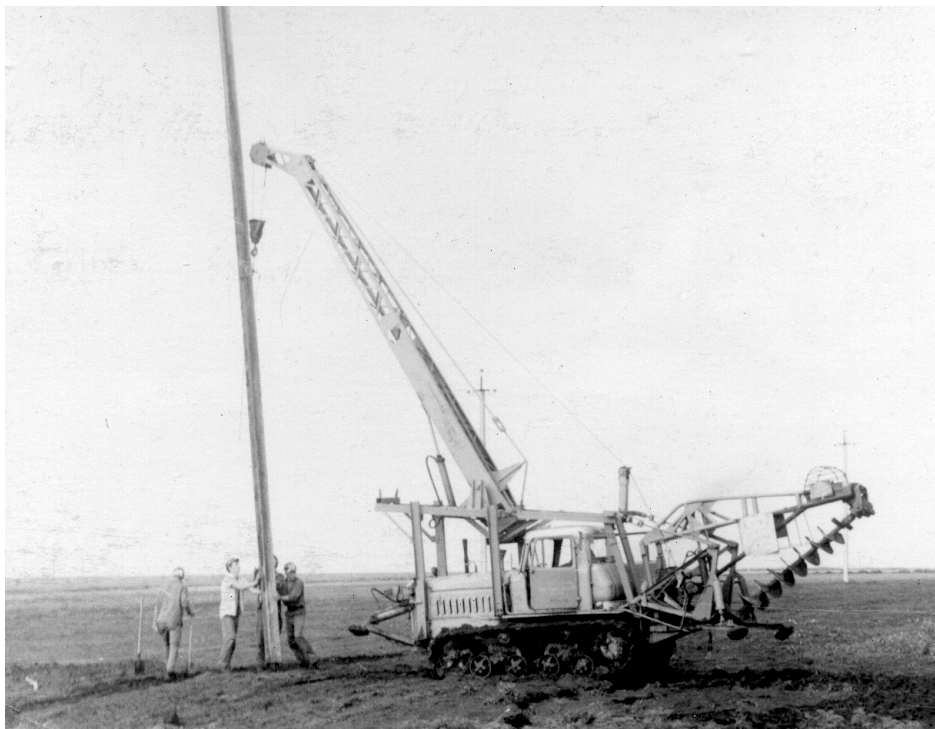


Рис. 17.4. Установка опоры буро-крановой установкой

керной опоры и натягивают их при помощи полиспаста закрепленного на соседней анкерной опоре.

Натягивая провода, постоянно контролируют стрелу провеса. Стрелу провеса измеряют угломерными приборами, либо путем глазомерного визирования, фактически стрела провеса может отличаться от нормируемой не более чем на 5%. Стрелы провеса не рекомендуется измерять при скорости ветра, превышающей 8—10 м/с.

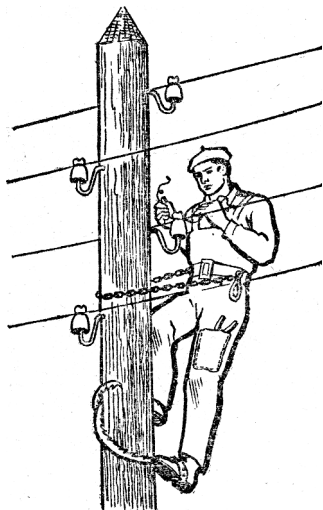


Рис. 17.5. Вязка проводов к штыревым изоляторам на промежуточной опоре

Натянутые провода закрепляют на изоляторах анкерной опоры и лишь затем на изоляторах всех промежуточных опор, рис. 17.5 и рис. 17.6.

При подъеме на опору (цепь) строп предохранительного пояса должен быть заведен за стойку. Запрещается подниматься на опору и работать со стороны внутреннего угла на угловых опорах линий (со стороны натяжения провода), а также подниматься на опору и работать на той стороне опоры, в которую натягивается провод.

При работах на опоре следует пользоваться предохранительным поясом, цепью, заведенной за опору на крюк и опираться на оба когтя (лаза) в случае их применения. При работах, когда не

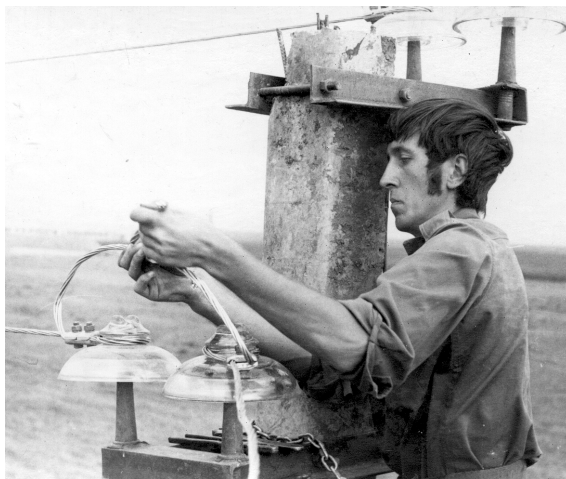


Рис. 17.6. Крепление проводов к изоляторам на анкерной опоре

представляется возможность закрепить строп предохранительного пояса за конструкцию опоры, следует пользоваться страховочным канатом. На рис. 17.7 показаны: предохранительный пояс, когти и лазы.

Перед началом работы на деревянной опоре линий электропередач необходимо убедиться в прочности опоры или ее частей (приставок, подпор и т. д.). Опоры или ее части считаются опасными, если они подгнили на глубину более чем на 2 см при диаметре основания 20—25 см, на 3 см при диаметре 25—30 см и на 4 см при диаметре более 30 см. Кроме того, необходимо проверить исправность и наличие клейма или бирки об испытании когтей и предохранительного пояса или страховочного каната.

Подниматься на опору и работать на ней разрешается только в тех случаях, когда имеется уверенность в достаточной устойчивости и прочности опоры. Необходимость и способы укрепления опоры, прочность которой вызывает сомнение (недостаточное заглубление, вспучивание грунта, загнивание дре-

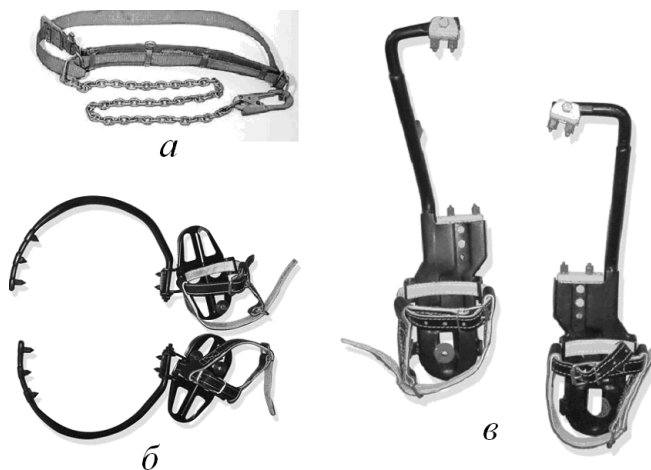


Рис. 17.7. Предохранительный пояс (а), когти (б) и лазы (в)

весины, трещины в бетоне и т. п.), определяются на месте производителем или руководителем работ.

Не допускается нарушать целостность проводов и снимать вязки на промежуточных опорах без предварительного укрепления опор.

Подниматься на опору разрешается работникам:

- с группой по электробезопасности III — при всех видах работ до верха опоры;
- с группой по электробезопасности II — при работах, выполняемых с отключением ВЛ, до верха опоры, а при работах на нетоковедущих частях неотключенной ВЛ — не выше уровня, при котором от головы работающего до уровня нижних проводов этой ВЛ остается расстояние не менее 2 м;
- с группой по электробезопасности I — при всех видах работ не выше 3 м от земли (до ног работающего).

По условиям механической прочности для ВЛ напряжением до 1000 В применяют однопроволочные и многопроволочные провода различных сечений: алюминиевые — А-16 мм² (не менее); сталеалюминиевые — АС-10 мм² (не менее); стальные однопроволочные ПСО — диаметром 4 мм.

Провода ВЛ соединяют различными способами: скруткой, рис. 17.8а; болтовым сжимом, рис. 17.8б; с помощью овального соединителя (гильзы) с последующей опрессовкой или скруткой. Выбор способа соединения проводов ВЛ определяется их конструкцией и сечением, районом гололедности, напряжением и механическими нагрузками.

Надежная работа плашечных и контактных зажимов при эксплуатации зависит от правильного выбора зажимов по проводу и точного выполнения правил монтажа. В процессе монтажа необходимо предохранить от повреждения контактные поверхности зажимов и участки проводов, предназначенные для монтажа. При правильной затяжке гаек давление по каждому болту создается в пределах:

- для болтов М10 — 530—550 кгс;
- для болтов М12 — 850—900 кгс;
- для болтов М16 — 1100—1300 кгс.

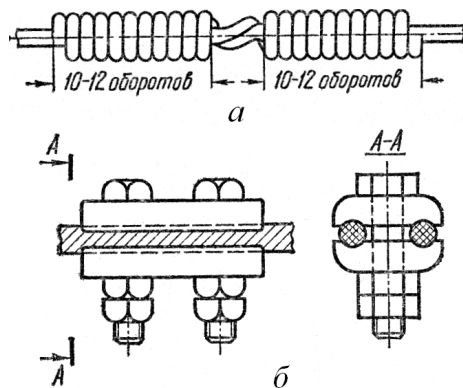


Рис. 17.8. Соединение проводов воздушной линии электропередачи: а — скруткой; б — соединительный плашечный зажим

При правильном подборе зажимов после полной затяжки гаек между плашками и корпусом зажима должен оставаться зазор. Сближение плашек вплотную указывает на неправильность подбора зажимов по диаметру провода.

Надежная работа контактов, создаваемых болтовыми зажимами, обеспечивается при достижении давления в следующих пределах:

- между медными проводами и контактной поверхностью, а также между медными поверхностями $50\text{--}70$ кгс/см²;
- между алюминиевыми проводами и контактной поверхностью, а также между алюминиевыми поверхностями $150\text{--}200$ кгс/см².

Плотность тока на переходном контакте не должна превышать:

- для медных поверхностей — $0,3\text{--}0,4$ А/мм²;
- для алюминиевых поверхностей — $0,1\text{--}0,2$ А/мм².

Перед закреплением проводов в зажимах контактные поверхности зажимов и участки проводов, предназначенные для закрепления их в зажиме, должны быть обработаны под контакт. Для этого участок провода длиной не менее $0,5$ м промывается в бензине и протирается насухо. Желобки и плоские контактные поверхности зажимов необходимо тщательно промывать бензином и вытереть насухо; при этом медные поверхности желательно зачистить наждачной бумагой. После этого желобки и плоские контактные поверхности зажимов, а также поверхность медного или алюминиевого провода, равная двойной длине контакта, подготавливается к монтажу.

Контактные поверхности покрываются слоем нейтрального вазелина. Алюминиевые поверхности зажимов и алюминиевые провода должны быть дополнительно обработаны под контакт путем зачистки под слоем вазелина до блеска стальной щеткой. Не удаляя вазелиновую смазку с провода и контактных поверхностей зажима, вложить провода в желобки зажима и установить плашки.

При монтаже переходных зажимов медные провода должны укладываться в медную часть зажима, а алюминиевый провод — в алюминиевую часть зажима. Нарезка болтов смазывается маслом, не допуская попадания его на контактную поверхность.

Через несколько дней необходимо дополнительно подтянуть болты, так как из-за деформации провода давление в контакте обычно несколько ослабевает.

Соединение проводов с помощью овального соединителя (гильзы) с последующей опрессовкой. При обжиме овальных соединителей клещами в них образуются углубления, расположенные в шахматном порядке. Эти углубления создают волнообразные изгибы провода, чем и создается необходимая прочность заделки проводов. Для обжима овальных соединителей методом местного вдавливания применяются монтажные клещи МИ-19А (рис. 17.9), которые предназначены для монтажа овальных соединителей для стальных проводов сечением до 95 мм², медных — сечением до 150 мм² и алюминиевых и сталеалюминиевых проводов — сечением до 185 мм².

Клещи представляют собой рычажное устройство с винтовым приводом. Каждый тип соединителя монтируется специальными вкладышами-матрицами. Качество соединения проводов в овальных соединителях методом местного вдавливания обеспечивается правильным выбором самих соединителей и

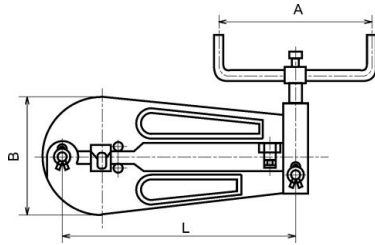


Рис. 17.9. Клещи для монтажа овальных соединителей МИ-19А

вкладышей к клещам МИ-19А, а также точным выполнением требований инструкции по монтажу.

Перед началом работы клещами нужно тщательно смазать трущиеся части: шарниры рычагов, нажимной винт и пята винта, входящего в гнездо на узком конце рычага. Установку вкладышей нужно производить следующим образом:

- раскрыть клещи и вывернуть винты для закрепления вкладышей;
- вкладыши установить в гнезде, при этом выбитые номера на вкладышах должны находиться с одной стороны; закрепить вкладыши стопорными винтами;
- упорный винт, регулирующий высоту опускания верхнего рычага установить так, чтобы при полном схождении рычагов между вкладышами оставалось расстояние около 0,5 мм.

Затем, на концы соединяемых проводов следует наложить бандаж и ровно обрезать концы ножовкой или специальными вкладышами к клещам МИ-19А и зачистить их от заусенцев напильником. Тщательно очистить от грязи и промыть бензином участки проводов, равные полутора кратной длине соединителя, и внутреннюю поверхность соединителя.

Внутреннюю поверхность соединителя и соединяемые участки проводов покрыть нейтральным техническим вазелином и под его слоем зачистить поверхность от окиси до блеска металлической щеткой. Соединение проводов производить без удаления вазелина. При зачистке сильно загрязненных проводов нужно расплести провод и зачистить каждый провод в отдельности.

Провода вставляют в соединитель последовательно с противоположных сторон так, чтобы концы вышли из зажима на длину 20—25 мм. Соединители должны быть обязательно установлены так, чтобы крайние риски были расположены на стороне обрезанных концов соединяемых проводов. Обжатие соединителя должно производиться до соприкосновения верхнего рычага клещей МИ-19А с упорным болтом. По окончании каждого обжима необходимо выдержать клещи в сжатом состоянии в течение 1 мин. Обжатие соединителей клещами производится в последовательности согласно нумерации, приведенной на рис. 17.10.

Соединение проводов с помощью овального соединителя (гильзы) способом скрутки. Сталеалюминевые провода марок АС сечением 10—185 мм² выпуска-

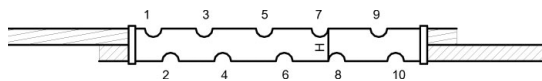


Рис. 17.10. Последовательность обжатия овального соединителя

ются в настоящее время с однопроволочным стальным сердечником. Для получения надежно работающего соединения сталеалюминевых проводов с однопроволочным стальным сердечником применяется соединение этих проводов овальными соединителями способом скрутки. Скручивание соединителя производится при помощи приспособлений МИ-189А или МИ-230А, рис. 17.11.

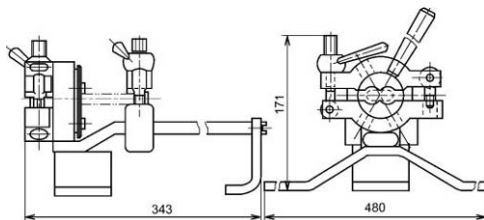


Рис. 17.11. Приспособление МИ-189А

Концы проводов подготовленных к соединению (очищенных, смазанных и зачищенных) вводятся в овальный соединитель внахлестку с двух сторон так, чтобы они вышли из зажима на длину 20—25 мм, рис. 17.12а.

Скрутка проводов при помощи приспособлений МИ-189А производится в следующем порядке:

- ослабить гайки откидного болта 1 (рис. 17.12б) или отвинтить гайки 4 (рис. 17.12в);
- открыть верхние плашки 2 или 5, освободив тем самым прорезь в головке бабки;
- соединитель, с введенными в него концами провода, установить одним концом в прорезь головки бабки 3 и, развернув его на 90°, положить плоской частью на ползушку 6, а другой конец на нижнюю плашку 8 или матрицу 10 так, чтобы концы соединителя выступали за плашки не более 10 мм;
- установить верхние плашки на соединитель, закрепив их гайками до упора;
- вставить вороток 7 или 9 в отверстие головки бабки и повернуть на 4—4,5 оборота в любую сторону (рис. 17.12г и рис. 17.12д);
- скрученный соединитель освобождается от плашек и вынимается из приспособления через прорезь головки бабки (рис. 17.12е).

Смонтированный с проводами соединитель должен иметь не менее 4 оборотов для проводов АС50-185 и не менее 4,5 оборотов для проводов АС10-35. Монтаж проводов, сечением от 10 до 35 мм² производится в приспособлении МИ-189А, а проводов сечением от 50 до 185 мм² — в приспособлении МИ-230А.

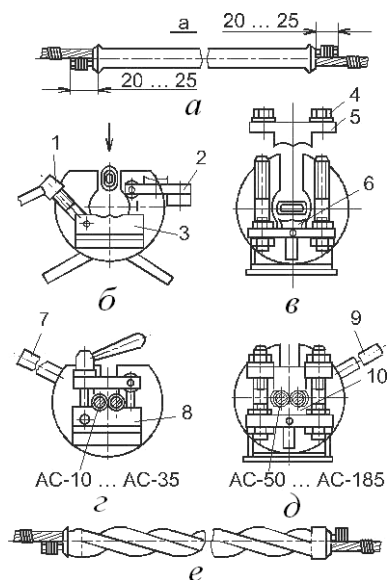


Рис. 17.12. Скручивание соединителя при помощи приспособлений МИ-189А

Изоляторы для крепления проводов на ВЛ выбирают с учетом расчетных нагрузок от тяжения проводов, района гололедности, давления ветра на провода и других факторов. Способы крепления проводов на штыревых изоляторах показаны на рис. 17.13 и рис. 17.14.

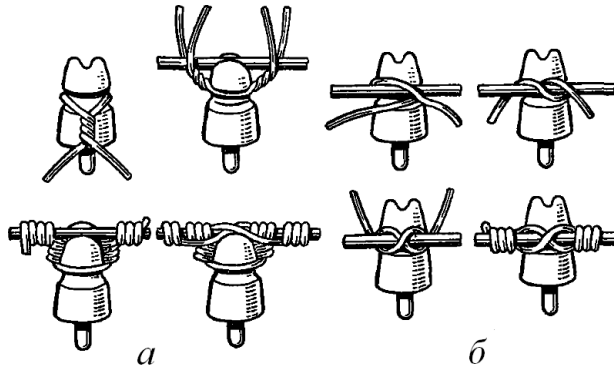


Рис. 17.13. Способы крепления проводов ВЛ напряжением до 1000 В на изоляторах: *а* — вязкой на головке; *б* — вязкой на шейке

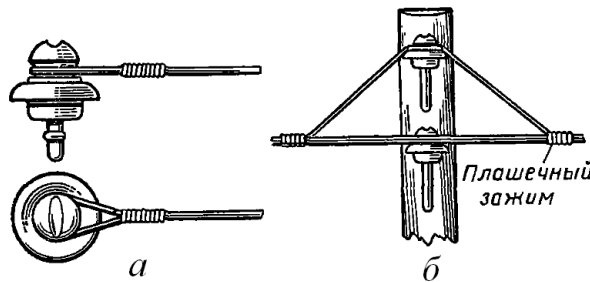


Рис. 17.14. Крепление проводов ВЛ напряжением 6–10 кВ заглушкой (*а*) и двойное крепление (*б*)

Самонесущие изолированные провода (СИП) применяются в энергетике уже более 30 лет. За это время подвергались изменениям как сами провода, так и арматура для них. Провода СИП предназначены для передачи и распределения электрической энергии в воздушных силовых и осветительных сетях на напряжение до 0,6–1 кВ (СИП-1А; 2А; 4; 5) и до 20 кВ (СИП-3).

В настоящее время фазные проводники СИП изготавливаются в большинстве случаев из алюминия, а нейтраль — из алюминия или алюминиевого сплава. Изоляция СИП в большинстве стран выполняется из сшитого полиэтилена. Преимущественная область применения СИП: для магистральных воздушных линий электропередач и ответвлений к вводам в жилые дома и хозяйственные постройки.

Преимущества самонесущих изолированных проводов:

- резкое снижение (до 80 %) эксплуатационных расходов за счет исключения систематической расчистки трасс, замены поврежденных изоляторов, кроме того, исключены короткие замыкания из-за схлестывания при вибрационной пляске проводов, обрывы из-за падения деревьев, гололедообразование и снегоналипание;

- уменьшение затрат на монтаж ЛЭП, связанное с вырубкой более узкой просеки в лесной местности, применением более коротких (4 метра вместо 6) опор, отсутствием изоляторов и дорогостоящих траверс (для ЛЭП-0,4 кВ);
- возможность монтажа ЛЭП по фасадам зданий, что может исключить установку части опор, загромаждающих тротуары, и улучшить общую эстетику в городских условиях;
- возможность совместной подвески на опорах проводов с разным уровнем напряжения и с телефонными линиями;
- снижение электропотерь в линии из-за уменьшения более чем в три раза реактивного сопротивления изолированных проводов по сравнению с неизолированными (0,1 Ом/км по сравнению с 0,35 Ом/км для неизолированных проводов);
- простота монтажных работ, возможность подключения новых абонентов под напряжением, без отключения остальных от энергоснабжения и как следствие сокращение сроков ремонта и монтажа;
- высокая пожаробезопасность ЛЭП, связанная с исключением коротких замыканий при схлестывании фазных проводников и применением грозозащитных устройств;
- значительное снижение несанкционированных подключений к линии и случаев вандализма и воровства;
- высокая безопасность обслуживания и отсутствие риска поражения при касании фазных проводов находящихся под напряжением при монтаже, ремонте и эксплуатации линии;
- безопасность работ вблизи ЛЭП.

Провод воздушный защищенный СИП 3. Провод СИП-3 одножильный провод, в котором уплотненная жила, выполненная из алюминиевого сплава АВЕ, имеет изоляционный покров из сшитого полиэтилена. Провод рассчитан на рабочее напряжение до 20 кВ и предназначен для воздушных линий электропередач. Применение этих проводов позволяет уменьшить ширину просеки при прохождении лесных массивов, а также исключить последствия от повреждения линии. Конструкция самонесущих изолированных проводов СИП-3 позволяет обеспечивать бесперебойную работу линии даже в случаях падения деревьев на провода или их схлестывания, что совершенно невозможно для аналогичных линий с использовавшимися ранее голыми проводами марок А и АС.

Токопроводящая жила проводов СИП-3 скручена из круглых проволок алюминиевого сплава, имеет круглую форму, уплотненная. Изоляция черного цвета. Провод стоек к изгибу при температуре минус 40 °С. Срок службы провода не менее 25 лет. Прокладка и монтаж провода производится при температуре окружающей среды не ниже минус 20 °С.

Допустимое усилие при тяжении провода не более 35 Н на 1 мм² сечения жилы. Минимальный радиус изгиба провода при монтаже не менее 10 наружных диаметров провода. Допустимый нагрев токопроводящей жилы провода не более 90 °С при нормальном режиме эксплуатации и 250 °С при коротком замыкании. В табл. 17.1 приведены основные характеристики защищенного провода СИП-3.

Таблица 17.1. Основные характеристики защищенного провода СИП-3

Сечение жилы, мм ²	Наружный диаметр провода, мм	Масса 1 км провода, кг	Разрывная нагрузка жилы, кН, не менее	Электрическое сопротивление жилы, на длине 1 км, Ом, не более	Допустимый ток нагрузки, А, не более	Односекундный ток КЗ, кА, не более
50	12,6	239	14,2	0,72	245	4,3
70	14,3	304	20,6	0,493	310	6,4
95	16	383	27,9	0,363	370	8,6
120	17,4	461	35,2	0,288	430	11
150	18,8	552	43,4	0,236	485	13,5

Самонесущий изолированный провод СИП-4, в котором все четыре жилы несут на себе механическую нагрузку и находятся в напряженном состоянии, требует применения специальных соединительных зажимов. Кроме того, требуется большее количество промежуточных опор, чем для конструкции СИП с нулевой несущей жилой. Помимо этого достаточно трудно обеспечить равномерное распределение механической нагрузки между всеми жилами, что увеличивает вероятность обрыва линии. В связи с этим в России практически нет опыта эксплуатации данной конструкции.

В настоящее время в России для ЛЭП до 1 кВ применяются два основных типа конструкций самонесущих изолированных проводов: СИП-1, СИП-2 с изолированной и неизолированной нейтральной жилой, рис. 17.15.

Нулевая несущая жила проводов СИП-1 и СИП-2 выполнена из алюминиевого сплава или из алюминиевого провода, упрочненного стальной проволокой. Фазные токопроводящие жилы — из алюминиевого сплава или стале-

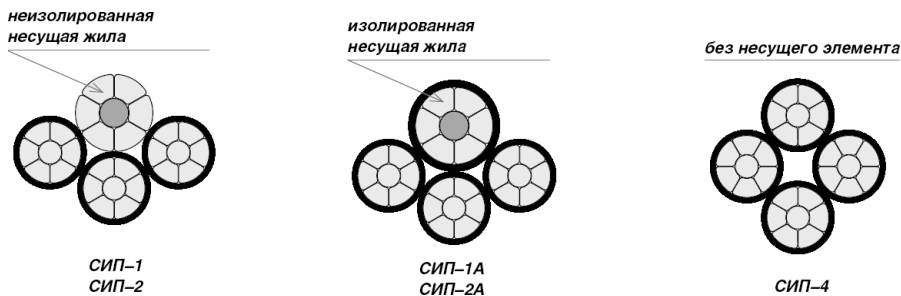


Рис. 17.15. Конструкция самонесущих изолированных проводов

алюминиевые, многопроволочные, уплотненные, скручены вокруг нулевой несущей жилы. Изоляция жил:

- СИП-1, СИП-1А — светостабилизированный термопластичный полиэтилен;
- СИП-2, СИП-2А — светостабилизированный сшитый полиэтилен.

Изолированные фазные токопроводящие жилы, для облегчения монтажа, имеют отличительную расцветку.

Преимущественные области применения СИП-1, СИП-2 с изолированной и неизолированной нейтральной жилой — для воздушных линий электропере-

дач и ответвлений к вводам в жилые дома, хозяйственные постройки в районах с умеренным и холодным климатом, в атмосфере воздуха типов II-промышленная и III-морская по ГОСТ 15150—69. Вид климатического исполнения проводов — УХЛ, категории размещения 1, 2 и 3 по ГОСТ 15150—69.

Наибольшее распространение на территории России получил провод СИП 2А. На его основе накоплен большой опыт по строительству и монтажу линий электропередач. В условиях больших городов и в районах с высокой химической агрессивностью внешней среды (например, вдоль автомобильных дорог) из-за интенсивной коррозии неизолированного нулевого провода, применять провод СИП-2 не рекомендуется. Кроме того, так как в России опоры в основном железобетонные, применение проводов СИП-1 и СИП-2 с неизолированным несущим нулевым проводом небезопасно.

При прокладке самонесущих проводов в пожароопасных зонах необходимо применение дополнительных мер противопожарной защиты, например, нанесение огнезащитных покрытий.

В табл. 17.2 и табл. 17.3 приведены характеристики самонесущих проводов СИП-1 и СИП-2, а на рис. 17.16 — типовая схема ВЛИ (воздушной линии изолированной).

Таблица 17.2. Техническая характеристика самонесущих проводов СИП-1 и СИП-2

Наименование параметра	СИП-1, СИП-1А	СИП-2, СИП-2А
Номинальное переменное напряжение частоты 50 Гц, кВ	1,0	1,0
Рабочая температура жилы, не более °С	70	90
Температура жилы в режиме перегрузки в течение 8 часов, не более °С	80	130
Температура жилы при коротком замыкании, °С	135	250
Температура окружающей среды, мин/макс. °С	-50/+50	
Монтаж при температуре, не ниже °С	-20	
Прочность при растяжении проволок из алюминиевого сплава до их скрутки в нулевую несущую жилу, не менее Н/мм ²	295	
Срок службы, лет	25	
Гарантийный срок эксплуатации, год	3	

Таблица 17.3. Характеристика проводов СИП-1 и СИП-2

Число и номинальное сечение фазных и нулевой несущей жил, мм ²	Допустимый ток нагрузки проводов, А		Односекундный ток короткого замыкания проводов, кА		Наружный диаметр провода, мм		Масса 1 км провода, кг	
	СИП-1, СИП-1А	СИП-2, СИП-2А	СИП-1, СИП-1А	СИП-2, СИП-2А	СИП-1, СИП-1А	СИП-2, СИП-2А	СИП-1, СИП-1А	СИП-2, СИП-2А
1x16+1x25	75	105	1,0	1,5	15	14	140	135
3x16+1x25	70	100	1,0	1,5	22	21	280	270
3x25+1x35	95	130	1,6	2,3	26	25	400	390
3x25+1x54,6	—	130	—	2,3	—	29	—	530
3x35+1x50	115	160	2,3	3,2	30	32	555	685

Окончание табл. 17.3

Число и номинальное сечение фазных и нулевой несущей жил, мм ²	Допустимый ток нагрузки проводов, А		Односекундный ток короткого замыкания проводов, кА		Наружный диаметр провода, мм		Масса 1 км провода, кг	
	СИП-1, СИП-1А	СИП-2, СИП-2А	СИП-1, СИП-1А	СИП-2, СИП-2А	СИП-1, СИП-1А	СИП-2, СИП-2А	СИП-1, СИП-1А	СИП-2, СИП-2А
3x35+1x54,6	—	160	—	3,2	—	34	—	740
3x50+1x50	140	195	3,2	4,6	33	37	695	930
3x50+1x54,6	—	195	—	4,6	—	39	—	990
3x50+1x70	140	195	3,2	4,6	35	41	750	1190
3x70+1x54,6	—	240	—	6,5	—	43	—	1255
3x70+1x70	180	240	4,5	6,5	38	46	965	1480
3x70+1x95	180	240	4,5	6,5	41	21	1030	340
3x95+1x70	220	300	6,0	8,8	43	25	1235	490
3x95+1x95	220	300	6,0	8,8	44	30	1300	500
3x120+1x95	250	340	5,9	7,2	47	33	1530	600
4x16+1x25	70	100	1,0	1,5	22	36	350	760
4x25+1x35	95	130	1,6	2,3	26	38	500	
945								

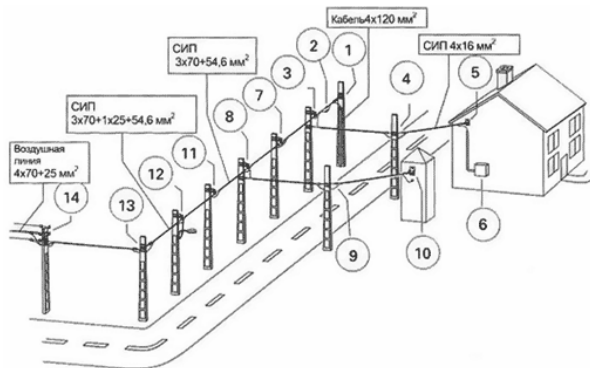


Рис. 17.16. Типовая схема ВЛИ СИП-2А: 1 — анкерное крепление и соединение СИП с силовым кабелем; 2 — соединение проводов СИП; 3 — промежуточная арматура СИП и абонентское ответвление; 4 — анкерная арматура для СИП абонентов; 5 — арматура для прокладки СИП по фасадам зданий; 6 — окончание СИП абонентов; 7 — промежуточная арматура СИП и арматура для повторного заземления; 8 — промежуточная арматура и арматура для основного ответвления СИП; 9 — двойное анкерное крепление СИП при отклонении направления трассы больше 100° и установка ограничителей перенапряжения; 10 — ввод СИП в ТП и подключение к трансформатору; 11 — промежуточная арматура СИП для основной линии; 12 — промежуточная арматура СИП и присоединение уличного освещения; 13 — двойное анкерное крепление СИП при отклонении направления трассы 90°; 14 — анкерная арматура и зажимы для присоединения СИП к голым проводам

На рис. 17.17 — рис. 17.30 приведены основные узлы ВЛИ СИП-2А и указаны расходные материалы, необходимые для монтажа данного узла.

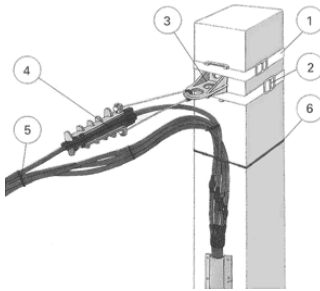


Рис. 17.17. Анкерное крепление и соединение СИП с силовым кабелем: 1 — лента из нержавеющей стали F 207 (2 м); 2 — скрепы для крепления лент А 200 (2 шт.); 3 — кронштейн СА 1500; 4 — анкерный зажим РА 1500; 5 — кабельный ремешок CSB (3 шт.); 6 — кабельный ремешок CSL 350 (4 шт.)

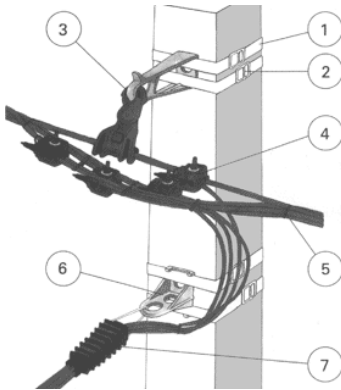


Рис. 17.19. Промежуточная арматура СИП и абонентское ответвление: 1 — лента из нержавеющей стали F 207 (4 м); 2 — скрепы для крепления лент А 200 (4 шт.); 3 — промежуточный зажим с кронштейном ES 1500; 4 — прокалывающий зажим P2X 95 (4 шт.); 5 — кабельный ремешок CSB (7 шт.); 6 — кронштейн СА 1500; 7 — анкерный зажим для проводов абонентов РА 25x100

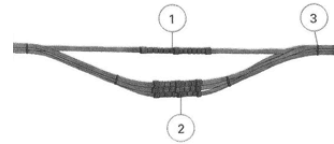


Рис. 17.18. Соединения проводов СИП: 1 — изолированный соединитель для несущей нейтрали MJPT-54; 2 — изолированные соединители для фазных проводов MJPT-70N (3 шт.); 3 — кабельный ремешок CSB (4 шт.)

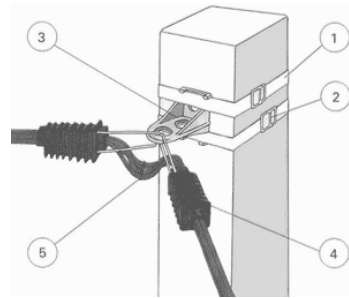


Рис. 17.20. Анкерная арматура для СИП абонентов: 1 — лента из нержавеющей стали F 207 (2 м); 2 — скрепы для крепления лент А 200 (2 шт.); 3 — кронштейн СА 1500; 4 — анкерный зажим для проводов абонентов РА 25x100 (2 шт.); 5 — кабельный ремешок CSB (3 шт.)

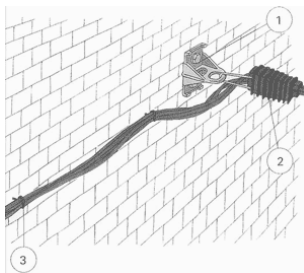


Рис. 17.21. Арматура для прокладки СИП по фасадам зданий: 1 — кронштейн СА 1500; 2 — анкерный зажим для проводов абонентов РА 25x100; 3 — арматура для прокладки по фасадам BRPF70-150-1F (1 шт./0,7 м)

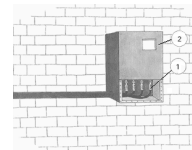


Рис. 17.22. Оконцевание СИП абонентов: 1 — герметичные изолированные наконечники СРТАУ 16 (4 шт.); 2 — вводное устройство

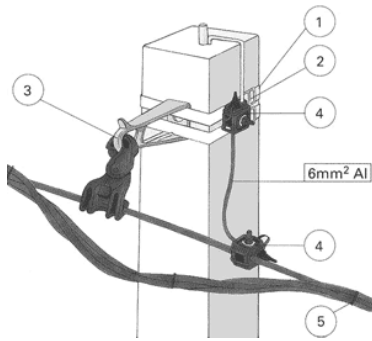


Рис. 17.23. Промежуточная арматура СИП и арматура для повторного заземления: 1 — лента из нержавеющей стали F 207 (2 м); 2 — скрепы для крепления лент А 200 (2 шт.); 3 — промежуточный зажим с кронштейном ES 1500; 4 — прокалывающий зажим P2X 95 (2 шт.); 5 — кабельный ремешок CSB (4 шт.)

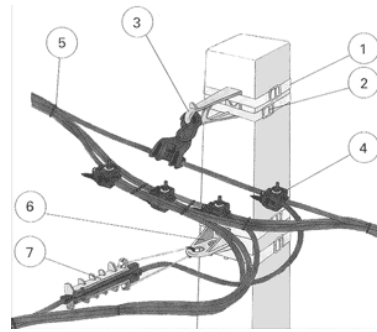


Рис. 17.24. Промежуточная арматура и арматура для основного заземления: 1 — лента из нержавеющей стали F 207 (4 м); 2 — скрепы для крепления лент А 200 (4 шт.); 3 — промежуточный зажим с кронштейном ES 1500; 4 — прокалывающий зажим P3X 95 (4 шт.); 5 — кабельный ремешок CSB (8 шт.); 6 — кронштейн СА 1500; 7 — анкерный зажим РА 1500

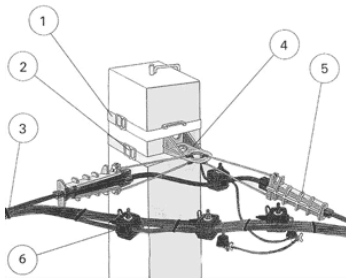


Рис. 17.25. Двойное анкерное крепление СИП при отклонении направления трассы более 100° и установка ограничителей перенапряжения: 1 — лента из нержавеющей стали F 207 (2 м); 2 — скрепы для крепления лент А 200 (2 шт.); 3 — кабельный ремешок CSB (8 шт.); 4 — кронштейн СА 1500; 5 — анкерный зажим РА 1500 (2 шт.); 6 — ограничитель перенапряжения LVA-440-CS (3 шт.); 7 — прокалывающий зажим P2X 95 (5 шт.)

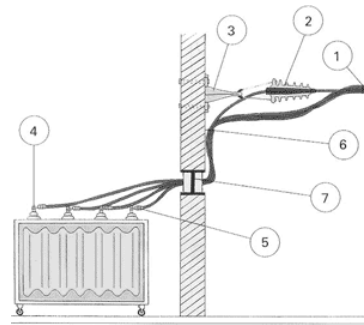


Рис. 17.26. Ввод СИП в ТП и подключение к трансформатору: 1 — кабельный ремешок CSB (2 шт.); 2 — кронштейн СА 1500; 3 — анкерный зажим РА 1500; 4 — герметичные изолированные наконечники СРТАУ 70 (3 шт.); 5 — герметичный изолированный наконечник СРТАУ 54; 6 — арматура для прокладки по фасадам BRPF 70-150-1F (1 шт./0,7 м)

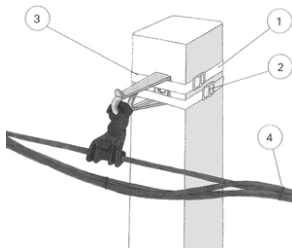


Рис. 17.27. Промежуточная арматура СИП для основной линии: 1 — лента из нержавеющей стали F 207 (2 м); 2 — скрепы для крепления лент А 200 (2 шт.); 3 — промежуточный зажим с кронштейном ES 1500; 4 — кабельный ремешок CSB (3 шт.)

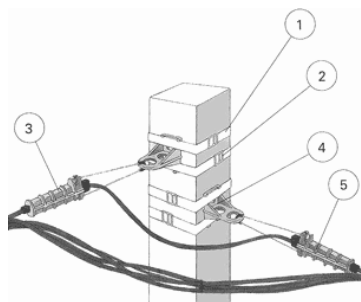


Рис. 17.29. Двойное анкерное крепление СИП при отклонении направления трассы 90°: 1 — лента из нержавеющей стали F 207 (2 м); 2 — скрепы для крепления лент А 200 (2 шт.); 3 — кабельный ремешок CSB (3 шт.); 4 — кронштейн СА 1500 (2 шт.); 5 — анкерный зажим РА 1500 (2 шт.)

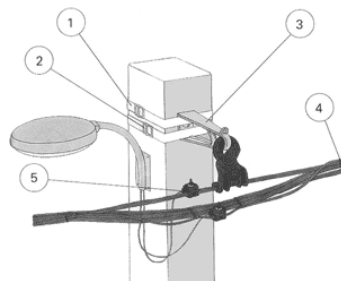


Рис. 17.28. Промежуточная арматура СИП и присоединение уличного освещения: 1 — лента из нержавеющей стали F 207 (2 м); 2 — скрепы для крепления лент А 200 (2 шт.); 3 — промежуточный зажим с кронштейном ES 1500; 4 — кабельный ремешок CSB (6 шт.); 5 — прокалывающий зажим KZEP-13 (2 шт.)

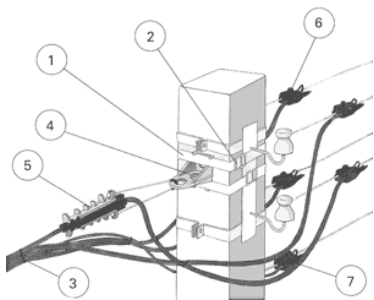


Рис. 17.30. Анкерная арматура и зажимы для присоединения СИП к голым проводам: 1 — лента из нержавеющей стали F 207 (2 м); 2 — скрепы для крепления лент А 200 (2 шт.); 3 — кабельный ремешок CSB (8 шт.); 4 — кронштейн СА 1500; 5 — анкерный зажим РА 1500; 6 — ответвительный зажим для присоединения СИП к голым проводам SLIP 22.12 (4 шт.); 7 — ответвительный зажим для присоединения СИП к голым проводам SLIP 22.12 (1 шт.)

17.3. Электропроводки

17.3.1. Виды и конструктивные особенности электропроводок

Осветительные и силовые сети, представляющие совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями, называются электропроводками.

Электропроводки разделяются на открытые, прокладываемые по поверхности стен, потолков, ферм и других конструкций, и скрытые, выполняемые в конструктивных элементах (в стенах, полах, перекрытиях) зданий и сооружений, под слоем штукатурки.

При открытой проводке провода и кабели подвергаются непосредственному воздействию окружающей среды и, как правило, не имеют дополнительной защиты, кроме той, которая предусмотрена конструкцией провода или кабеля.

Скрытые проводки значительно меньше подвержены воздействию окружающей среды и механическим повреждениям.

Открытую проводку можно выполнять незащищенными и защищенными изолированными проводами, изолированными проводами в изоляционных трубках, кабелем, изолированными проводами в стальных трубах, в коробах или на лотках. При прокладке в коробах или на лотках значительно сокращается расход стальных труб, повышается почти в два раза производительность труда, улучшается эстетический вид электропроводок.

Лотки и короба (рис. 17.31) в виде легких металлических конструкций для прокладки проводов и кабелей обладают большими преимуществами по сравнению со стальными трубами. Они удобны в монтаже, обеспечивают возможность прокладки по сложным трассам, свободный доступ и легкую замену проводов и кабелей.

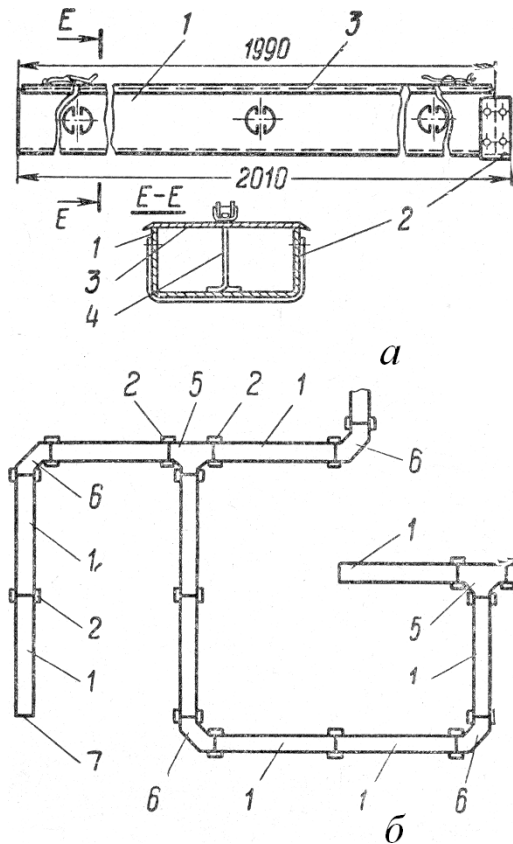


Рис. 17.31. Короб для прокладки проводов и кабелей: а — короб однопанельный; б — пример сборки коробов; 1 — короб; 2 — обойма съемная; 3 — крышка сварная; 4 — уголок; 5 — тройник; 6 — уголок универсальный; 7 — крышка торцевая

Лотки комплектуются разными деталями заводского изготовления — разделительными уголками, прижимами для крепления их к кабельным полкам, подвесками с пряжками для укладки кабелей и проводов на лотках и крепления их пучками бандажной лентой, рис. 17.32.

Скрытую проводку прокладывают плоскими незащищенными (АППВ и др.) и защищенными (ПУНП и др.) изолированными проводами непосред-

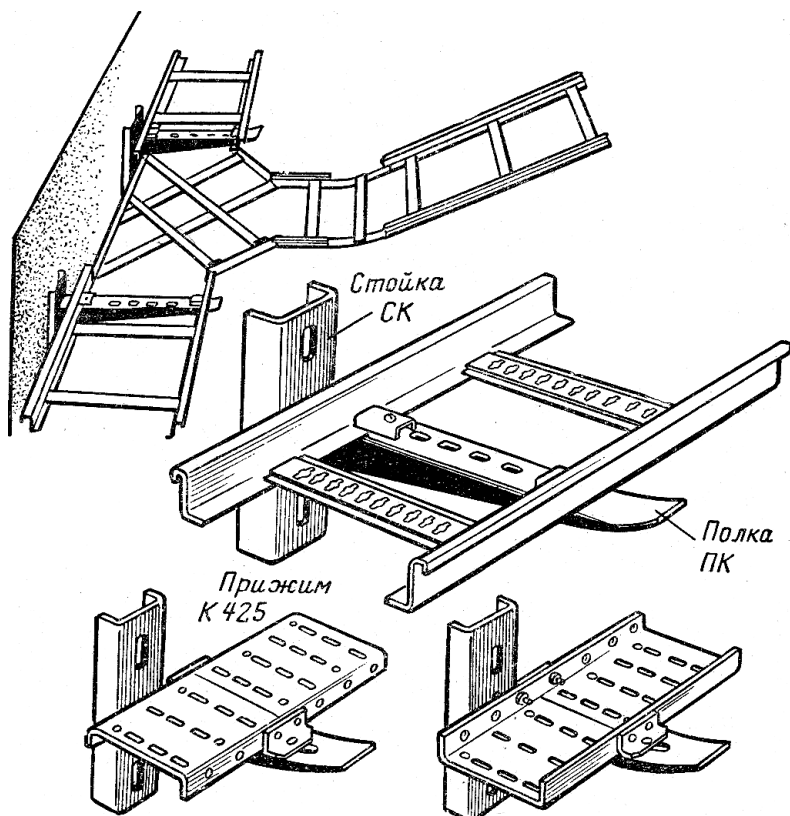


Рис. 17.32. Лотки для прокладки проводов и кабелей; примеры крепления

венно под штукатуркой или внутри конструктивных элементов зданий и сооружений (в стенах, полах, фундаментах), а также по перекрытиям в подготовке полов, непосредственно под съемным полом, в пустотах строительных конструкций, замкнутых каналах, трубах и рукавах.

При сооружении электрических сетей для сокращения сроков монтажа применяют магистральные, распределительные, крановые и осветительные шинопроводы. Шинопровод представляет собой комплектную электрическую сеть, состоящую из отдельных секций, соединяемых сваркой, болтовыми или штепсельными соединениями, а также из кожухов и материалов для изоляции мест стыков и конструкций для крепления кронштейнов, стоек, подвесок. Секции шинопровода изготавливают прямыми и фигурными (угловые и ответвительные) для обеспечения сборки электрических сетей любой конфигурации.

Пример прокладки осветительного шинопровода серии ШОС приведен на рис. 17.33.

Электропроводка должна соответствовать условиям окружающей среды, условиям техники безопасности и пожарной безопасности. Она может прокладываться по несгораемым, трудносгораемым и несгораемым поверхностям.

Несгораемые поверхности под воздействием огня или высокой температуры не тлеют и не обугливаются. Это кирпич, бетон, асбест и др.

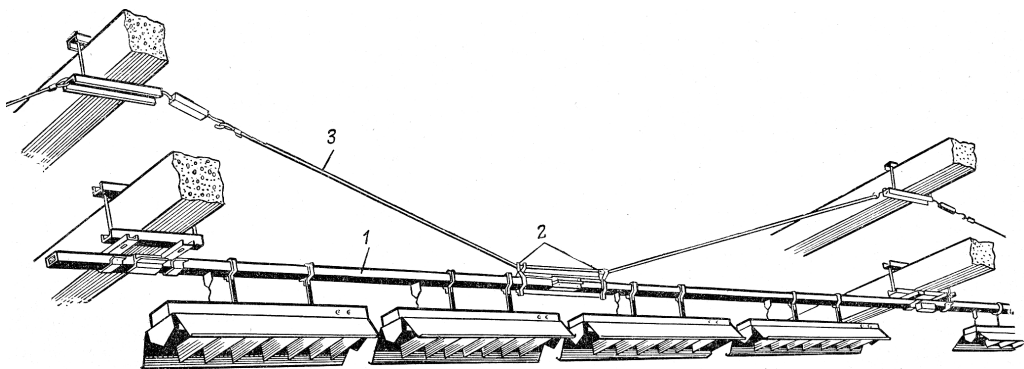


Рис. 17.33. Осветительный шинопровод, смонтированный на тросовых подвесах: 1 — шинопровод; 2 — подвеска тросовая двояная; 3 — поддерживающий трос

Трудногораемые воспламеняются с трудом, тлеют или обугливаются, а также продолжают гореть или тлеть только под воздействием огня, а после его удаления горение и тление прекращаются (пропитанное специальным составом дерево, а также защищенное от огня штукатуркой или облицовкой из негораемых материалов).

Сгораемые поверхности воспламеняются от огня или высокой температуры и продолжают гореть и тлеть после удаления источника огня.

В зависимости от конструкции, назначения и условий эксплуатации электропроводки, ее делят на кабели, провода и шнуры.

Кабель — одна или несколько изолированных токопроводящих жил, заключенных в герметическую оболочку.

Провод представляет собой одну или несколько изолированных токопроводящих жил, поверх которых могут быть наложены защитные покровы.

Шнур — две или несколько изолированных гибких или особо гибких токопроводящих жил, скрученных или уложенных параллельно, поверх которых накладываются легкие защитные оболочки.

Установочные изолированные провода и шнуры служат для распределения электрической энергии в силовых и осветительных установках при неподвижной прокладке их внутри помещений.

Изолированные провода применяются также для прокладки на открытом воздухе при устройстве вводов в здания и при прокладке на лотках и т. п.

Кабели предназначены для передачи электрической энергии при различных условиях прокладки (в земле, под водой, на открытом воздухе и внутри помещений).

По способу защиты от механических повреждений кабели подразделяются на защищенные и незащищенные.

Защищенным кабелем называется кабель, имеющий поверх электрической изоляции металлическую или иную оболочку.

Незащищенным кабелем называется кабель, изоляция которого не предохранена специальными оболочками от механических повреждений.

В зависимости от вида электропроводки различают и способы ее прокладки, табл. 17.4 — табл. 17.5.

Таблица 17.4. Виды электропроводок, способы прокладки проводов и кабелей в зависимости от окружающей среды

Вид электропроводки	Способ прокладки		Вид и характеристика проводов и кабелей	Условия окружающей среды (помещений, установок)
Открытая	На изолирующих опорах	На изоляторах	Провода незащищенные однопроволочные	В помещениях всех видов и наружных установках.
	Непосредственно по поверхности стен, потолков, на струнах, полосах и другим несущим конструкциям		Провода не защищенные и защищенные, одно- и многожильные. Кабели в неметаллической и металлической оболочке	В помещениях всех видов. В наружных установках только кабели.
	На лотках	В помещениях всех видов и наружных установках		
	В коробах с открываемыми крышками			
	На тросах		Специальные провода с несущим тросом. Провода не защищенные и защищенные, одно- и многожильные. Кабели в неметаллической и металлической оболочке	В помещениях всех видов. В наружных установках только специальные провода с несущим тросом для наружных установок или кабели
Открытая и скрытая	В металлических гибких рукавах		Провода не защищенные и защищенные, одно- и многожильные. Кабели в неметаллической и металлической оболочке	В помещениях всех видов и наружных установках. <i>Исключение.</i> Запрещается в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках применять изоляционные трубы с металлической оболочкой, стальные трубы и стальные глухие короба со стенками толщиной 2 мм и менее
	В стальных трубах обыкновенных и тонкостенных, глухих стальных коробах			
	В неметаллических трубах из трудногорючих материалов и неметаллических глухих коробах (винилпластовых и т. п.)			
	В трубах изоляционных с металлической оболочкой			
Скрытая	В трубах неметаллических из сгораемых материалов		То же	То же
	В замкнутых каналах строительных конструкций			
	Под штукатуркой			

Таблица 17.5. Виды электропроводок, способы прокладки проводов и кабелей в зависимости от условия пожарной безопасности для электропроводок

Вид электропроводки и характеристика проводов, кабелей и труб		Способ прокладки по основаниям и конструкциям из материалов			
		горючих	трудногораемых	несгораемых	
Открытая прокладка	Незащищенные провода		На изоляторах или с подкладкой негорючих материалов ¹		Непосредственно
	Защищенные провода и кабели в оболочке из материалов	горючих			
		трудногораемых			
		несгораемых	Непосредственно		
	Трубы и короба из материалов	горючих	Запрещается		
		трудногораемых	Запрещается		Непосредственно
несгораемых		Непосредственно			
Скрытая прокладка	Незащищенные провода		С подкладкой негорючих материалов ¹		Непосредственно
	Защищенные провода и кабели в оболочке из материалов	горючих			
		трудногораемых			
		несгораемых	Непосредственно		
	Трубы и короба из материалов	горючих	Запрещается		Замоноличивание в бороздах и т. п. — в сплошном слое негорючих материалов ³
		трудногораемых	С подкладкой негорючих материалов и последующим заштукатуриванием ^{1,2}		Непосредственно
несгораемых		Непосредственно			

Примечание. 1. Подкладка негорючих материалов может быть выполнена в виде слоя листового асбеста толщиной не менее 3 мм или слоя штукатурки или алебастра толщиной не менее 10 мм, выступающих с каждой стороны провода (кабеля) или трубы не менее чем на 10 мм.

2. Последующее заштукатуривание трубы выполняют сплошным слоем штукатурки, алебастра и т. п. толщиной не менее 10 мм над трубой.

3. Сплошным слоем негорючего материала вокруг трубы может быть слой штукатурного, алебастрового или цементного раствора или бетона толщиной не менее 10 мм.

17.3.2. Кабели и провода

Провод это одна неизолированная или одна и более изолированных жил, поверх которых в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может иметься неметаллическая оболочка, обмотка или оплетка волокнистыми материалами или проволокой.

Шнур представляет собой две или более изолированных гибких или особо гибких жилы сечением до 1,5 мм², скрученных или уложенных параллельно,

поверх которых в зависимости от условий эксплуатации могут быть наложены неметаллическая оболочка и защитные покрытия. Шнур предназначен для подключения электрических бытовых приборов к электрической сети.

Кабель это одна или более изолированных жилы (проводников), заключенных, как правило, в металлическую или неметаллическую оболочку, поверх которой в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может иметься соответствующий защитный покров, в который может входить броня.

По назначению кабели подразделяются на силовые и контрольные. Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии к различным токоприемникам и распределительным устройствам, контрольные — для присоединения к электрическим приборам, аппаратам и сборкам зажимов (в сетях управления, сигнализации и автоматики).

По виду изоляции и оболочки кабели подразделяют на следующие группы:

- с пропитанной бумажной изоляцией в металлической оболочке;
- с бумажной изоляцией пропитанной нестекающим составом, в металлической оболочке;
- с пластмассовой изоляцией в пластмассовой или металлической оболочке;
- с резиновой изоляцией в пластмассовой, резиновой или металлической оболочке.

Кроме того, в каждой группе кабели подразделяют по номинальному напряжению, сечению, числу и материалу жил и типу защитного покрова.

Кабели изготавливают на номинальное напряжение 0,66; 1; 3; 6; 10; 20; и 35 кВ и сечениями токопроводящих жил 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 625; 800; и 1000 мм². Кабели и их конструктивные элементы изготавливают в соответствии с действующими государственными стандартами (ГОСТ), отраслевыми стандартами (ОСТ) и техническими условиями (ТУ).

Основными элементами всех типов кабелей являются: токопроводящие жилы, изоляция, экраны, оболочка и наружные защитные покрытия.

Токопроводящие жилы силовых кабелей изготавливаются из электротехнической меди марки М0 и М1 или алюминия марок А0 и А01 и нормируют по сечению. По механическим свойствам медная проволока может быть твердой (неотожженной) марки МТ и мягкой (отожженной) марки ММ, а алюминиевая — твердой (неотожженной) марки АТ, полутвердой (частично отоженной) марки АПТ и мягкой (отожженной) марки АМ.

Проволоку скручивают в стренгу (часть гибкой многопроволочной жилы, скрученная из нескольких проволок) или в жилу. При правильной скрутке проволока в жиле, стренге, а также стренги в жиле должна прилегать друг к другу, при этом не должно быть перекрещиваний проволок или стренг, расположенных в одном повиве.

В зависимости от условий прокладки алюминиевые и медные жилы изготавливают различной гибкости и делят на шесть классов. В связи с этим жилы могут быть однопроволочными и многопроволочными, рис. 17.34. Для неподвижной прокладки применяют жилы I, II и III классов, для подвижной — более гибкие жилы IV, V и VI классов.

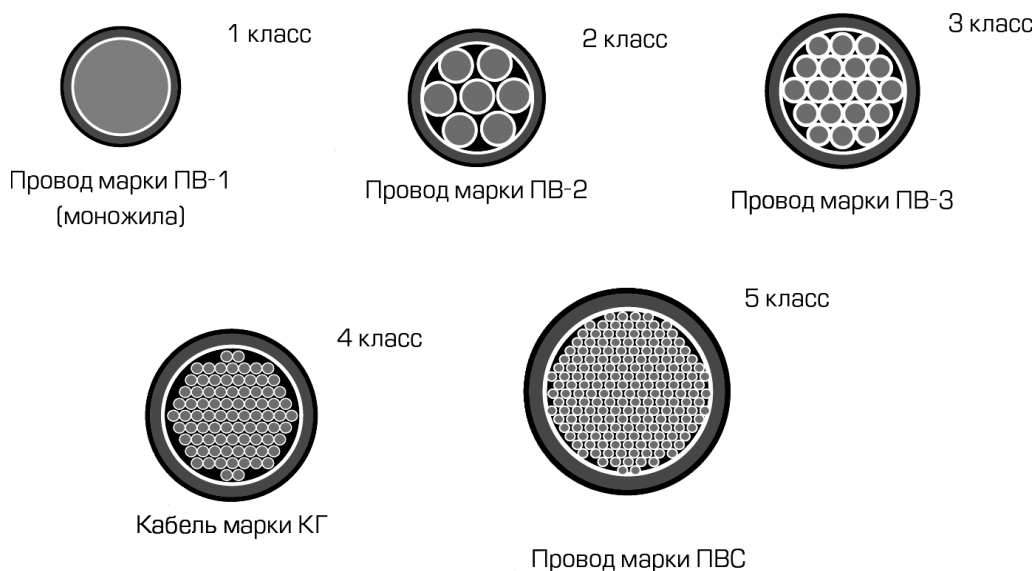


Рис. 17.34. Сечение жил проводов и кабелей различного класса гибкости

Для силовых кабелей стационарной прокладки изготавливают жилы круглой (рис. 17.35а и рис. 17.35б) или фасонной (секторной или сегментной) формы, рис. 17.35в и рис. 17.35г.

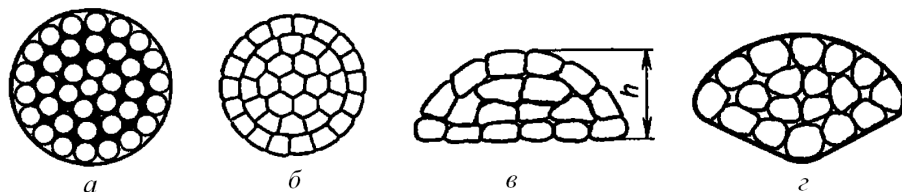


Рис. 17.35. Круглая токопроводящая неуплотненная (а) и уплотненная жила (б); уплотненная сегментная токопроводящая жила для двухжильного кабеля (в) и секторная для трехжильного кабеля (г)

Применение секторных и сегментных жил вместо круглых приводит к уменьшению диаметра кабеля на 20—25 % и соответственно к сокращению расхода материалов на изоляцию, оболочку и защитные покрытия. Экономия материалов также достигается уплотнением жил, которое выполняется на специальных вальцах. Жилы одножильных кабелей всех сечений и многожильных кабелей до 16 мм^2 изготавливают круглой формы, а жилы кабелей с поясной изоляцией сечением 25 мм^2 и более — секторной или сегментной формы.

Применение однопроволочных алюминиевых жил сечением до 240 мм^2 уменьшает стоимость кабелей (исключается скручивание отдельных проволок), но одновременно увеличивает общую жесткость кабелей, что создает определенные трудности при их прокладке, особенно в зимнее время. В обозначении кабелей с однопроволочными жилами после цифры, указывающей сечение, добавляются буквы *ож* (в скобках).

Надежная работа кабеля в значительной мере зависит от качества изоляции.

Изоляция должна иметь такую электрическую прочность, чтобы возможность электрического пробоя ее при напряжении, на которое рассчитан кабель, была исключена.

Для изоляции жил кабелей между собой и от наружных металлических оболочек применяют бумажную, пластмассовую и резиновую изоляцию.

Бумажная пропитанная изоляция жил кабелей имеет высокие электрические характеристики, продолжительный срок службы, сравнительно высокую допустимую температуру и невысокую стоимость. Благодаря этому она находит наибольшее применение. К недостаткам бумажной изоляции следует отнести ее гигроскопичность, которая обуславливает необходимость тщательного изготовления и полной герметизации оболочек и муфт кабелей.

В многожильных кабелях с бумажной изоляцией верхние ленты изоляции жил имеют цифровое обозначение или отличительную расцветку.

При цифровом обозначении на верхнюю ленту первой жилы наносят цифру 1, второй — 2, третьей — 3, четвертой — 4.

При отличительной расцветке номеру 1 соответствует белый или желтый, номеру 2 — синий или зеленый, номеру 3 — красный или малиновый, номеру 4 — коричневый или черный цвет.

Изолированные жилы многожильных кабелей скручивают, заполняя промежутки между ними до получения круглой формы. На скрученные изолированные жилы накладывают поясную изоляцию бумажными лентами определенной толщины.

Бумажную изоляцию кабелей вначале сушат, а затем пропитывают маслосодержащими составами: МП-1 (или синтетическое масло октол) для кабелей напряжением 1—10 кВ и МП-2 — напряжением 20—35 кВ. Пропиткой достигают увеличения электрической прочности бумажной изоляции.

Пропитанная бумажная изоляция освобожденная от избытка пропиточного состава, называется обедненной. Она предназначена для кабелей вертикальных и наклонных трасс. Кабели с обедненной пропитанной изоляцией маркируются прописной буквой *В* в конце марки кабеля (например, СБВ).

Маслосодержащие пропиточные составы с содержанием изобутилена и церезина или низкомолекулярного полиэтилена имеют повышенную вязкость при рабочих температурах. Поэтому бумажная изоляция, пропитанная этим составом, пригодна для кабелей вертикальных и крутонаклонных трасс. Кабели с нестекающим пропиточным составом маркируют буквой *Ц*, которую ставят перед обозначением кабеля (например, ЦСК).

Пластмассовую изоляцию для силовых и контрольных кабелей изготавливают из полиэтилена или поливинилхлорида (ПХВ).

Полиэтилен обладает хорошими механическими свойствами в широком интервале температур, стойкостью к действию кислот, щелочей, влаги и высокими электроизоляционными характеристиками. В зависимости от способа получения и применяемых добавок различают полиэтилен низкой и высокой плотности. Полиэтилен высокой плотности имеет большие по сравнению с полиэтиленом низкой плотности температуру плавления и механическую прочность.

Введение в полиэтилен органических перекисей и последующая вулканизация значительно повышают его температуру плавления и стойкость к рас-

трескиванию. Вулканизированный полиэтилен незначительно деформируется при температуре 150 °С. Для получения самозатухающего полиэтилена, в него вводят специальные добавки (соединения фтора и хлора или добавки окиси сурьмы и сурьмаорганические соединения). Для электропроводящих экранов кабелей с полиэтиленовой изоляцией в полиэтилен добавляют полиизобутилен, ацетиленовую сажу и стеариновую кислоту.

Поливинилхлорид представляет собой твердый продукт полимеризации, не распространяет горения. Для повышения эластичности и морозостойкости ПВХ в него добавляют пластификаторы, для улучшения электроизоляционных характеристик — каолин, тальк, карбонат кальция, для получения цветного ПВХ — вводят окрашивающие добавки.

Под воздействием температуры, солнечной радиации, различных сред ПВХ стареет за счет улетучивания пластификатора, т. е. происходит снижение эластичности и хладостойкости.

Поливинилхлоридные пластикаты — это смеси поливинилхлорида с различными пластификаторами, стабилизаторами и другими добавками. Для кабельных пластификаторов применяют суспензионные смолы марок ПВХ-С1, ПВХ-С2 и ПВХ-С4. В качестве пластификаторов используют эфиры фталевой, фосфорной и себациновой кислот. При введении в пластикат антиоксидантов (дифенилпропан) повышается их нагревостойкость. Стойкость против горения увеличивается при добавлении хлорированных парафинов; существенно повышают температуру разложения пластификатора стабилизаторы (углекислый свинец и соли стеариновой кислоты, кальций, кадмий, барий, стронций, а также стеариты свинца в композиции с эпоксидными смолами).

Резиновая изоляция состоит из смеси каучука (натурального или синтетического), наполнителя, мягчителя, ускорителя вулканизации, противостарителя, красителя и др. Для изоляции кабелей применяют резину РТИ-1 (35 % каучука).

К преимуществам резиновой изоляции относится ее гибкость и практически полная негидроскопичность. К недостаткам резиновой изоляции относится ее более высокая стоимость, более низкая температура рабочей жилы (65 °С) по сравнению с другими видами изоляции, что снижает допустимую нагрузку на кабель. Кроме того, у изоляционных резин наблюдается с течением времени значительное снижение эластичности и других физико-механических свойств. Старение резиновой изоляции происходит под воздействием различных факторов (повышенная температура, наличие озона, свет и т. п.) и является в основном следствием окислительной деструкции (разрушения) содержащегося в резине каучука.

Смеси резин, выполненных на основе кремнийорганического каучука, содержат наполнитель — аморфную кремневую кислоту. В качестве усиливающих наполнителей применяют двуокись титана, карбонат кальция, гидрат окиси алюминия, каолин, органические сажи. Кремнийорганические резины термостойки в пределах –60 до +200 °С. Ее применяют для изоляции нагревостойких проводов РКГМ, проводов для зарядки осветительной арматуры, монтажных кабелей и проводов.

Поясная изоляция. Силовые кабели с пропитанной бумажной изоляцией и кабели связи в алюминиевой или свинцовой оболочке поверх жил имеют бу-

мажную поясную изоляцию из кабельной бумаги марок К-120, КМ-120 или КМ-170, наложенную методом обмотки.

Поясную изоляцию поверх скрученных жил с пластмассовой изоляцией в пластмассовой оболочке выполняют лентами ПЭ, ПЭТФ, ПВХ и др. для получения требуемой емкости верхнего повива жил в кабеле по отношению к экрану. В кабелях с резиновой изоляцией в качестве поясной изоляции применяют прорезиненную ткань. Иногда кабель обматывают лентами для облегчения наложения на него оболочки. Кабель с обмоткой лентами в качестве поясной изоляции имеет большую подвижность жил по отношению к оболочке и становится более гибким.

Оболочки. Для защиты изоляции жил от воздействия света, влаги, различных химических веществ, а также для предохранения ее от механических повреждений кабель снабжают оболочками.

Лучшими материалами для оболочек кабелей в отношении герметичности и влагонепроницаемости, гибкости и теплостойкости являются металлы (свинец, алюминий). Кабели с невлагоемкой (пластмассовой или резиновой) изоляцией не нуждаются в металлической оболочке, поэтому их обычно изготавливают в пластмассовой или резиновой оболочке. Толщина оболочки нормируется и зависит от материала, из которого она изготовлена, диаметра кабеля и условий эксплуатации.

Алюминиевые оболочки. Прессованную алюминиевую оболочку изготавливают из алюминия чистотой не менее 99,6 (марка А-5) по ГОСТ 11069—74.

Алюминиевые оболочки герметичны и в 2—2,5 раза прочнее, чем свинцовые, имеют повышенную стойкость к вибрационным нагрузкам. Высокая электрическая проводимость алюминия позволяет использовать алюминиевые оболочки в качестве экрана для защиты кабеля от внешних электрических влияний или в качестве нулевой жилы силовых кабелей.

К числу основных недостатков алюминиевых оболочек следует отнести большие технологические трудности наложения их на кабель и малую устойчивость против электрохимической коррозии, что объясняется высоким нормальным отрицательным потенциалом алюминия ($-1,67$ В).

Коррозия сводится к вытеснению из среды, с которой соприкасается алюминий, ионов водорода и переходу самого алюминия в виде ионов в раствор. Поэтому кабели с алюминиевыми оболочками защищают особо стойкими против гниения покровами, не пропускающими к оболочке влагу.

Свинцовые оболочки. Свинцовые оболочки силовых кабелей изготавливаются из свинца марок С-2 и С-3 по ГОСТ 3778—77 или из свинцово-сурьмянистых сплавов по ГОСТ 1292—81. Оболочка должна быть герметична по всей длине, не иметь царапин и вмятин.

Из-за большой ползучести свинца на вертикальных и крутонаклонных трассах наблюдаются необратимые процессы растяжения оболочек силовых кабелей с пропитанной бумажной изоляцией приводящие их к разрыву. Под воздействием вибрационных и тепловых нагрузок происходит рост кристаллов и образование трещин. Рекомендуются для прокладки в земле как с низкой, так и с высокой коррозионной активностью.

Оболочки из ПВХ пластика. Поливинилхлоридные оболочки изготавливают из шлангового пластика, отличающегося от изоляционного соответ-

вующим подбором пластификаторов и стабилизаторов, обеспечивающих большую стойкость против светового старения. ПВХ оболочки кабеля при температуре ниже допустимой становятся жесткими и при ударе могут разрушаться. При положительных температурах эластические свойства ПВХ пластификатов восстанавливаются. Из-за улетучивания пластификаторов холодостойкость ПВХ пластификатов с течением времени снижается.

Достаточная механическая прочность ПВХ пластика позволяет широко применять кабели в оболочке без защитных покровов (не распространяет горения, влаго- и маслостоек, стоек к электрической и химической коррозии). Кабели в такой оболочке просты в производстве и удобны в монтаже.

Полиэтиленовые оболочки. Высокие физико-механические свойства полиэтилена и особенно малая влагопроницаемость, а также стойкость против агрессивных сред послужили основанием применения его для оболочек кабелей связи.

Однако, несмотря на высокие физико-механические свойства, через полиэтилен постепенно диффундируют водяные пары, что приводит к падению сопротивления изоляции кабелей. Поэтому полиэтилен нельзя использовать для оболочек кабелей с влагоемкой бумажной изоляцией без металлического экрана. В качестве экрана применяют алюминиевую ленту толщиной 0,15–0,2 мм, которую наматывают поверх поясной изоляции из полиэтилена. На экран наносят битумный состав и накладывают оболочку из полиэтилена.

Для увеличения светостойкости применяются полиэтилены с присадкой 2 % газового канального углерода.

Резиновые оболочки. Для оболочек кабелей применяются шланговые резины следующих типов: РШ-1, РШМ-2, РШТ-2, РШТМ-2, РШН-1, РШН-2.

Шланговые резины РТИШМ, РШ-1, РШМ-2 и РШТМ-2 имеют холодостойкость -50°C , резины РТИШ и РШТ-2 -40°C , резины РШН-1 и РШН-2 -30°C . Физико-механические свойства резин РШН-1 и РШН-2 после 24ч. в машинном масле марки И-40А или И-50А при температуре 100°C не снижаются более чем на 20 % по разрушающему напряжению при растяжении и более чем на 25 % по относительному удлинению при разрыве. Резины РНИ, РШН-1 и РШН-2 не распространяют горение.

Кабели с кремнийорганической изоляцией изготавливают из кремнийорганической резины, пригодной для работы при температурах до 200°C .

Защитные покровы состоят из подушки, брони и наружного покрова и предназначены для защиты кабелей от механических повреждений и коррозии. В обозначении марки кабеля, не имеющего защитного покрова поверх оболочки, добавляется буква Г.

Подушка кабеля. Подушка кабеля предназначена для предохранения его оболочки от повреждения стальными лентами или проволоками и защиты ее от коррозии. Она представляет собой концентрические слои из предварительно пропитанной кабельной пряжи, крепированной бумаги или предварительно пропитанной кабельной бумаги с покрытием битумом или битумным составом по оболочке и поверх подушки.

Усиленную подушку с дополнительной обмоткой двумя пластмассовыми лентами, обеспечивающую защиту от коррозии и блуждающих токов, марки-

руют буквой *л*. Для повышения стойкости против коррозии подушку изготовляют с двумя слоями пластмассовых лент и маркируют — *2л*.

Для повышения коррозионно- и влагостойкости подушки поверх лент из ПВХ пластиката (или другого равноценного материала) накладывают слой выпрессованного полиэтилена или ПВХ пластиката. В маркировке это тип подушки обозначается буквами *п* (полиэтилен) и *в* (ПХВ пластикат). Защитные покровы без подушки маркируют буквой *б*. Минимальная толщина подушки зависит от конструкции, диаметра кабеля и составляет 1,5—3,4 мм.

В кабелях в пластмассовой или резиновой оболочке подушку под броней накладывают без нанесения битума.

Броня служит для защиты кабелей от механических повреждений. Для кабелей, не подвергающихся в процессе эксплуатации растягивающим усилиям, применяют ленточную броню. Она состоит из двух стальных лент толщиной от 0,3 до 0,8 мм (в зависимости от диаметра кабеля по оболочке) из низкоуглеродистой стали (ГОСТ 3559—75) трех групп: *А* — лента оцинкованная, *Б* — лента без антикоррозийного покрытия, *В* — лента битуминированная.

Ленточная броня накладывается так, чтобы верхняя лента перекрывала зазоры между витками нижней ленты.

Кабели, растягивающиеся в условиях эксплуатации, бронируют оцинкованными стальными проволоками (ГОСТ 1526—81). Стальные проволоки накладывают поверх подушки сплошным повивом, направленным навстречу скрученным жилам, что бы при растяжении кабеля проволоки не раскручивались. Шаг наложения брони принимают равным 20 диаметрам. Суммарный просвет между проволоками не превышает диаметра проволоки. Кабели с пластмассовой и резиновой изоляцией и в оболочке из этих материалов для защиты от механических повреждений оплетают отожженной оцинкованной металлической проволокой диаметром 0,3 мм.

Наружный покров кабеля состоит из слоя битумного состава или битума, пропитанной кабельной пряжи или пряжи из штапелированного стекловолокна, слоя битумного состава или битума и мела или дробленой слюды, предохраняющих витки кабеля от слипания на барабане.

Негорючий наружный защитный покров состоит из слоя негорючего состава (каменноугольного пека и совола), пряжи из штапелированного стекловолокна, слоя негорючего состава и покрытия, предохраняющего витки кабеля от слипания. Наружный покров кабелей холодостоек.

Пластмассовый наружный покров кабелей состоит из слоя битумного состава или битума, ленты ПВХ, ПЭТФ или другого равноценного материала и полиэтиленового или ПВХ шланга. В маркировке кабелей этот тип наружного покрова обозначается буквами *Шп* и *Шв*. В наружных покровах типа *ПбШп*, *ПбШв* пластмассовые ленты и битумный состав не накладываются.

На рис. 17.36—17.38 приведена структура условного обозначения проводов, а на рис. 17.39 — силовых и контрольных кабелей.

Рассмотрим некоторые марки и характеристики проводов и кабелей, применяемых при электромонтажных работах.

Провод алюминиевый плоский АППВ с разделительным основанием в пластмассовой изоляции — предназначен для стационарного монтажа силовых и осветительных сетей в машинах и станках и неподвижной открытой проклад-



Рис. 17.36. Буквенное обозначение установочных проводов с оболочкой

**Примеры:**

МГШ – многопроволочный, гибкий, в оплетке из полиамидного шелка.

МГСЛ – многопроволочный, гибкий, в обмотке и в оплетке из стекловолокна, лакированный.

МШВ – однопроволочный с волокнистой и поливинилхлоридной изоляцией.

Рис. 17.37. Буквенное обозначение монтажных проводов

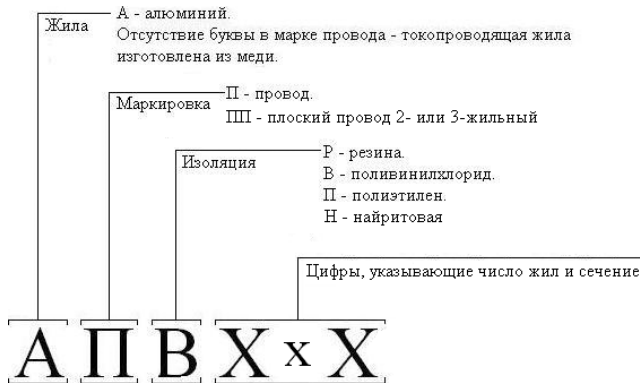


Рис. 17.38. Буквенное обозначение установочных проводов

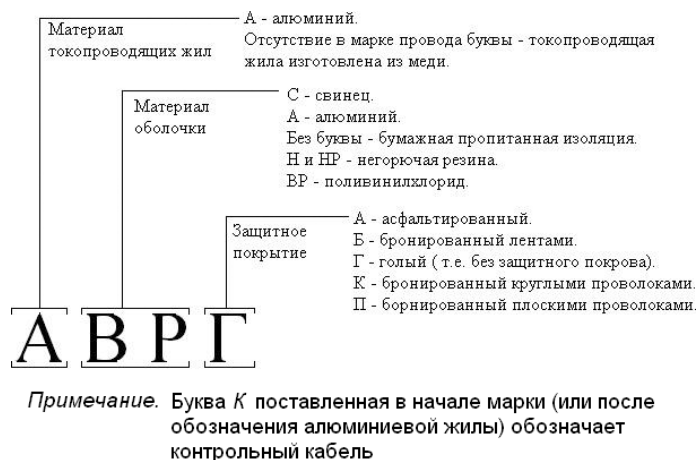


Рис. 17.39. Буквенное обозначение силовых и контрольных кабелей

ки при температуре окружающей среды от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Монтаж допускается при температуре не ниже -15°C . Предельный радиус изгиба при монтаже не менее 10 диаметров. Изоляция — ПВХ пластикат, алюминиевая токопроводящая жила.

Провод алюминиевый одножильный АПВ в пластмассовой изоляции — предназначен для стационарного монтажа вторичных цепей, прокладки в трубах, пустотных каналах негорючих конструкций и монтажа силовых и осветительных сетей, а так же прокладки на открытом воздухе при температуре окружающей среды от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Монтаж допускается при температуре не ниже -15°C . Предельный радиус изгиба не менее 10 диаметров. Изоляция — ПВХ пластикат, алюминиевая токопроводящая жила.

Провод медный ППВ, плоский с разделительным основанием в пластмассовой изоляции. Предназначен для монтажа силовых и осветительных цепей машин и станков при открытой стационарной прокладке, а так же внутри распределительных щитов и шкафов при температуре окружающей среды не ниже -15°C . Изоляция — ПВХ пластикат, класс гибкости первый, медная токопроводящая жила.

Провод медный одножильный ПВ-1, ПВ-3 в пластмассовой изоляции — предназначен для монтажа стационарных вторичных цепей при температуре окружающей среды от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Прокладка в пустотных каналах негорючих строительных конструкций, монтаж силовых и осветительных цепей. Монтаж всех видов проводов допускается при температуре не ниже -15°C . Предельный радиус изгиба проводов (ПВ-1) — 10 наружных диаметров, (ПВ-3) — 5 наружных диаметров. Изоляция — ПВХ пластикат, токопроводящая жила медная одно-проволочная (ПВ-1) и многопроволочная (ПВ-3).

Провод алюминиевый установочный АПБПП, АПУНП с параллельно уложенными жилами, в двойной пластмассовой изоляции. Предназначен для стационарной прокладки в осветительных сетях. Изоляция — ПВХ пластикат, оболочка — ПВХ пластикат, алюминиевая токопроводящая жила.

Провод медный ПУГНП гибкий — предназначен для стационарной прокладки в осветительных сетях напряжением до 250 В переменного тока. Мон-

тажные радиусы изгиба при прокладке — не менее 10 наружных диаметров, рабочая температура эксплуатации от -15°C до $+50^{\circ}\text{C}$, срок службы в нормальных условиях эксплуатации не менее 15 лет. Изоляция — ПХВ пластикат, оболочка — ПХВ пластикат, медная токопроводящая жила.

Провод ПВС круглый, гибкий, медный, со скрученными жилами — предназначен для подключения бытовых электроприборов и электроинструмента, средств малой механизации для садоводства, приборов микроклимата к источникам питания, если провод подвергается истиранию и действию влаги, а так же для изготовления удлинителей. Монтаж производится при температуре окружающей среды от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Изоляция — ПХВ пластикат, оболочка — ПХВ пластикат. Токопроводящая жила — медная отожженная проволока повышенной гибкости.

Шнур ШВВП гибкий, медный, со скрученными жилами, уложенными параллельно без разделительного основания. Предназначен для подключения бытовых приборов к источникам питания, если шнур часто подвергается механическим деформациям, а так же для изготовления удлинителей. Монтаж производится при температуре окружающей среды от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Минимальный радиус изгиба при монтаже — 0,03 м. Изоляция — ПХВ пластикат, оболочка — ПХВ пластикат. Токопроводящая жила — медная отожженная проволока повышенной гибкости.

Провода МГШВ, МГШВЭ предназначены для подвижного внутри-приборного и межприборного монтажа электрических устройств и вводных концов электроаппаратуры при напряжении до 380 В для сечения до 0,14 мм² и 1000 В для сечений 0,2—1,5 мм² частотой до 10000 Гц и постоянным напряжением до 500 В и 1500 В соответственно при температуре от -50°C до $+70^{\circ}\text{C}$. Токопроводящая жила — медная проволока, луженая оловянно-свинцовым сплавом. Изоляция — первый слой нить полиэфирная, второй слой — ПХВ пластикат. Экран из медной, луженой проволоки с плотностью оплетки не менее 0,70. Провода устойчивы к синусоидальным вибрациям, механическому удару одиночного и многократного действия, линейному ускорению и акустическому шуму. Провода устойчивы: к атмосферным конденсируемым осадкам, к статической пыли, соляному туману и соленой воде, плесневым грибам, солнечному излучению, к воздействию бензина, минерального масла. Срок службы 15 лет.

Провод РКГМ — с медной многопроволочной токопроводящей жилой в оплетке из стекловолокна, пропитанного эмалью или нагревостойким лаком. Применяется для наружной и внутренней прокладки при температуре окружающей среды от -60°C до $+180^{\circ}\text{C}$ при номинальном напряжении до 660 В. Широко используется в качестве выводных концов электродвигателей, в тепловых приборах, в осветительных приборах высокой мощности. Изоляция из кремнийорганической резины, оболочка — из стеклоткани с пропиткой, медная токоведущая жила.

Кабель АВВГ алюминиевый силовой с пластмассовой изоляцией без защитного покрова. Кабель предназначен для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках на напряжение 0,66 и 1 кВ при температуре окружающей среды от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$ при относительной влажности до 98 % (при температуре до $+35^{\circ}\text{C}$).

Прокладка (монтаж) данной группы силовых кабелей допускается (без предварительного прогрева) при температуре не ниже -15°C . Кабели данного вида прокладываются с радиусом изгиба: одножильные — 10 наружных диаметров, многожильные — 7,5 наружных диаметров. Не рекомендуется прокладка в земле. Изоляция — ПВХ пластикат, оболочка — ПВХ пластикат, (для кабелей с индексом *НГ* — ПВХ пластикат пониженной горючести). Алюминиевая одно и многопроволочная токопроводящая жила.

Кабель ВВГ — силовой кабель с пластмассовой изоляцией. Предназначен для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках на напряжение 0,66 и 1 кВ при температуре окружающей среды от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$ при относительной влажности до 98 % (при температуре до $+35^{\circ}\text{C}$). Прокладка (монтаж) данной группы силовых кабелей допускается (без предварительного прогрева) при температуре не ниже -15°C . Кабели данного вида должны прокладываться с радиусом изгиба не менее 6 диаметров кабеля. Токопроводящая жила: медная, мягкая, одно или многопроволочная. Изоляция — ПВХ пластикат. Оболочка — ПВХ пластикат, (для кабелей с индексом *НГ* — ПВХ пластикат пониженной горючести).

Кабель НУМ — предназначен для промышленного и бытового стационарного монтажа (открытого или скрытого), электрических цепей внутри помещений и на открытом воздухе. Применение вне помещений возможно только вне прямого воздействия солнечных лучей. Возможно применение кабеля поверх штукатурки, в ней и под ней, в сухих, влажных и мокрых помещениях, а так же в кирпичной кладке и в бетоне, за исключением прямой запрессовки в виброзасыпной и штамповочный бетон. Прокладка может осуществляться в трубах, в закрытых установочных каналах. Токопроводящая жила — медная проволока, оболочка — ПВХ пластикат, промежуточная оболочка — мело-наполненная резина, изоляция — ПВХ пластикат не поддерживающий горение.

Кабель КГ — гибкий кабель общего назначения. Применяется для присоединения передвижных механизмов к электрическим сетям с переменным напряжением до 660 В. Предназначен для работы в различных атмосферных условиях при температуре от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$ (от -60°C до $+50^{\circ}\text{C}$ — исполнение *ХЛ*). Токопроводящая жила — медная, гибкая, многопроволочная. Изоляция — резина, оболочка — резина.

Кабель АВББШВ, ВББШВ — силовой кабель с пластмассовой изоляцией. Предназначен для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках на напряжение 0,66 и 1 кВ при температуре окружающей среды от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$ при относительной влажности до 98 % (при температуре до $+35^{\circ}\text{C}$). Прокладка (монтаж) данной группы силовых кабелей допускается (без предварительного прогрева) при температуре не ниже -15°C . Кабели данного вида должны прокладываться с радиусом изгиба не менее 10 диаметров кабеля. Изоляция — ПВХ пластикат, шланг — ПВХ пластикат, для кабеля с индексом *НГ* — ПВХ пластикат пониженной горючести. Броня — плоская стальная оцинкованная лента. Токопроводящая жила для АВББШВ — алюминиевая, одно или многопроволочная. Токопроводящая жила для ВББШВ — медная, мягкая, одно или многопроволочная.

17.3.3. Выбор проводов и кабелей

Способы выполнения электропроводок в различных условиях определяются ПУЭ (Правила устройства электроустановок), а рекомендуемые при этом марки проводов и кабелей — Руководством по выбору и применению проводов для силовых и осветительных сетей, а также Едиными техническими указаниями по выбору и применению электрических кабелей.

В сухих отапливаемых помещениях (жилых комнатах, отапливаемых складах, подсобных помещениях, где относительная влажность не превышает 60 %) разрешаются все виды проводок. В сухих неотапливаемых и влажных помещениях (к последним относятся помещения, где пары или конденсирующаяся влага выделяются лишь временно в небольших количествах и где относительная влажность больше 60 %, но не превышает 75 %: кухни в жилых помещениях, лестничные клетки, неотапливаемые склады и т. п.) запрещены скрытые проводки в изоляционных трубках.

В пыльных помещениях (выделяемая по технологическим условиям пыль может оседать на проводах, проникать внутрь машин и аппаратов) разрешена открытая проводка изолированными проводами в изоляционных трубках с тонкой металлической оболочкой, открытая и скрытая проводки изолированными проводами в стальных трубах и кабелем.

К сырым относятся помещения, где относительная влажность длительно превышает 75 %: овощехранилища, туалеты. К особо сырим относятся помещения с относительной влажностью воздуха до 100 %, когда потолок, стены, полы и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой. Особо сырими являются теплицы, парники, наружные установки под навесом, в сараях, в неотапливаемых временных помещениях. Здесь возможна открытая или скрытая проводка изолированными защищенными или незащищенными проводами в трубах и кабелем.

Есть много помещений особо сырых с химически активной средой: помещения, где содержатся животные. В таких помещениях выполняют открытые или скрытые проводки изолированными защищенными или незащищенными проводами в трубах или кабелем.

В пожароопасных помещениях выполняют открытые проводки изолированными проводами на изоляторах или в трубах, скрытые — изолированными проводками в стальных трубах и кабелем.

К взрывоопасным относятся хранилища нефтепродуктов. Здесь все проводки (открытые и скрытые) монтируют изолированными проводами в стальных трубах. Разрешена открытая прокладка небронированных кабелей с резиновой изоляцией в свинцовой или поливинилхлоридной оболочке для осветительных сетей при напряжении не более 250 В по отношению к земле при отсутствии механических и химических воздействий.

Основным материалом для токоведущих жил проводов и кабелей является алюминий. Провода и кабели с алюминиевыми жилами дешевле проводов с медными жилами эквивалентных сечений, хотя алюминиевые жилы имеют некоторые недостатки по сравнению с медными: меньшую механическую прочность, плохую сопротивляемость повторяющимся механическим нагрузкам (изгиб, вибрация). Поэтому в некоторых помещениях, таких как, жилые

и административные здания, зрительные залы, взрывоопасные помещения и ряд других помещений, правилами устройства электроустановок предусматривается применение проводов и кабелей с медными жилами.

Изоляция проводов должна обеспечивать безопасность людей при прикосновении к проводу и предотвращать утечку тока через землю. Провода, защищенные слоем лака, краски или же пропитанными обмотками и оплетками из волокнистых веществ, приравниваются к голым проводам.

Правильный выбор изолированного провода или кабеля и способа прокладки, необходимы для обеспечения сопротивляемости изоляции проводки внешним воздействиям (сырости, агрессивным газам, температуре и т. п.) и сохранения постоянства изолирующих свойств в тех или иных условиях окружающей среды.

Рекомендуемые марки проводов и кабелей для различных помещений в зависимости от вида электропроводок и способа их прокладки приведены в табл. 17.6.

Таблица 17.6. Марки проводов и кабелей в зависимости от вида и способа прокладки электропроводок

Вид электропроводки и способ ее прокладки		Марки проводов и кабелей
Сухие помещения		
Открытая по негорячим, трудногорячим и сгораемым основаниям	Непосредственно по поверхностям стен, потолков, покрытых сухой или мокрой штукатуркой на роликах	АПВ, АППВ, АВВГ, АВРГ
	В электротехнических плинтусах	АПВ, АППВ, АПРИ
	В виниловых и стальных трубах	АПВ, АППВ, АПРН
	На тросах	АПВ, АВВГ, АВРГ
Скрытая по негорючим, трудногорючим и горючим строительным конструкциям и поверхностям	В замкнутых каналах строительных конструкций, под штукатуркой, в бороздах железобетонных плит, поверх негорючих плит перекрытий под чистым полом, в пределах чердака или кровли поверх перекрытия верхнего этажа	АПВ, АППВ, ПУНП, АПУНП
	В виниловых и полиэтиленовых трубах (в том числе замоноличенные в строительные конструкции при их изготовлении)	АПВ, АППВ, АПРН
	В стальных трубах (непосредственно)	АПВ, АППВ, АПРН
	При закладке (замоноличивании) в крупнопанельные конструкции жилых зданий при их изготовлении на заводах	ПУНП
Влажные помещения		
Открытая по негорячим, трудногорячим и сгораемым основаниям	Непосредственно по поверхностям стен, потолков, на стальных лентах, полосах, струнах	АПВ, АППВ, АВВГ
	По поверхностям стен, потолков покрытых сухой или мокрой штукатуркой	АППВ, АПУНП
	В виниловых и стальных трубах, на тросах	АПВ, АППВ, АПРН

Окончание табл. 17.6

Вид электропроводки и способ ее прокладки		Марки проводов и кабелей
Скрытая по негорючим трудногорючим и горючим строительным конструкциям и поверхностям	В замкнутых каналах строительных конструкций, под штукатуркой, в бороздах железобетонных плит, поверх негорючих плит перекрытий под чистым полом, в пределах чердака или кровли поверх перекрытия верхнего этажа	АПВ, АППВ, АПУНП
	В виниловых и полиэтиленовых трубах	АПВ, АППВ, АПРН
	В стальных трубах	АПВ, АППВ, АПРН
	В замкнутых каналах негорючих строительных конструкций	АПВ, АППВ
Сырые и особосырые помещения		
Открытая по негорючим, трудногорючим и горючим основаниям	Непосредственно по поверхностям стен, потолков, на стальных лентах, полосах, струнах	АПВ, АВВГ, АВРГ, АНРГ
	На тросах	АПВ, АНРГ
Скрытая по негорючим трудногорючим и горючим строительным конструкциям и поверхностям	В виниловых и стальных трубах	АПВ, АППВ, АПРН
	В замкнутых каналах негорючих строительных конструкций	АПВ, АППВ
Жаркие помещения		
Открытая по негорючим, трудногорючим и горючим основаниям	Непосредственно по поверхностям стен, потолков, на стальных лентах, полосах, струнах	АВВГ, АВРГ, АНРГ, АПРФ, АПРН
	В стальных трубах	АПВ, АПРН
	На тросе	АВВГ, АВРГ, АНРГ
Скрытая по негорючим трудногорючим и горючим строительным конструкциям и поверхностям	В стальных трубах	АПВ, АПРН
Наружные электропроводки		
Открытая по негорючим, трудногорючим и горючим основаниям	Непосредственно по поверхностям стен, потолков, на стальных лентах, полосах, струнах	АВВГ, АВРГ, АНРГ
Скрытая по негорючим трудногорючим и горючим строительным конструкциям и поверхностям	В виниловых, стальных и полиэтиленовых трубах	АПВ

Сечение проводов и кабелей напряжением до 1000 В определяют исходя из двух условий:

- по условию нагревания длительным расчетным током $I_{\text{Доп}} > I_{\text{р}}$, где $I_{\text{Доп}}$ — длительно допустимый ток для принятого сечения провода или кабеля и условий его прокладки; $I_{\text{р}}$ — расчетный ток, А;

- по условию соответствия сечения провода аппарату защиты $I_{\text{Доп}} > K_3 \times I_{\text{н.пл.}}$,
где K_3 — коэффициент защиты; $I_{\text{н.пл.}}$ — номинальный ток плавкой вставки, А.

Коэффициент защиты при защите проводников с резиновой и пластмассовой изоляцией во взрыво- и пожароопасных, торговых и т. п. помещениях плавкими предохранителями и автоматическими выключателями равен, $K_3 = 1,25$. При защите этих же проводников в невзрыво- и непожароопасных помещениях $K_3 = 1,0$.

Осветительные проводки дополнительно рассчитывают на потерю напряжения.

Допустимые длительные токовые нагрузки на провода и кабели, а также выбор пусковой и защитной аппаратуры, проводов и кабелей для отдельно устанавливаемых электродвигателей находят по справочникам.

Сечение проводов и кабелей для внутренней электропроводки, исходя из условий допустимого нагрева провода и допустимой потери напряжения, выбирают от величины тока нагрузки. Нагрев проводов не должен превышать предельных значений длительно допустимой температуры для проводов и кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией $+55^\circ\text{C}$, а для кабелей с бумажной изоляцией $+80^\circ\text{C}$.

Токовые нагрузки, установленные в действующих нормативных документах по использованию кабелей и проводов в электрических сетях, указаны в табл. 17.7—17.20. Указанные значения токов приведены для температур окружающего воздуха $+25^\circ\text{C}$ и земли $+15^\circ\text{C}$ для усредненных условий прокладки. В случае необходимости выбора конкретной токовой нагрузки для конкретного типа кабеля или провода и конкретных условий прокладки, необходимо руководствоваться методиками, указанными в стандартах и правилах.

Таблица 17.7. Допустимый длительный ток для проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами, А

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14
1,5	23	19	17	16	18	15
2,5	30	27	25	25	25	21
4	41	38	35	30	32	27
6	50	46	42	40	40	34
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70

Окончание табл. 17. 7

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250

Таблица 17.8. Допустимый длительный ток для проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами, А

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
2,5	24	20	19	19	19	16
4	32	28	28	23	25	21
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190

Таблица 17.9. Длительно допустимый ток для гибких кабелей и проводов с резиновой изоляцией, А

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Одножильные	Двухжильные	Трехжильные
0,5	—	12	—
0,75	—	16	14
1,0	—	18	16
1,5	—	23	20
2,5	40	33	28

Окончание табл. 17.9

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Одножильные	Двухжильные	Трехжильные
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	190	150	130
50	235	185	160
70	290	235	200

Таблица 17.10. Допустимый длительный ток для кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной изоляцией на низкое напряжение в свинцовой оболочке, прокладываемых в земле, А

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	—	80	70	—	—	—
10	140	105	95	80	—	85
16	175	140	120	105	95	115
25	235	185	160	135	120	150
35	285	225	190	160	150	175
50	360	270	235	200	180	215
70	440	325	285	245	215	265
95	520	380	340	295	265	310
120	595	435	390	340	310	350
150	675	500	435	390	355	395
185	755	—	490	440	400	450
240	880	—	570	510	460	—
300	1000	—	—	—	—	—
400	1220	—	—	—	—	—
500	1400	—	—	—	—	—
625	1520	—	—	—	—	—
800	1700	—	—	—	—	—

Таблица 17.11. Допустимый длительный ток для кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной изоляцией на низкое напряжение в свинцовой оболочке, прокладываемой в воздухе, А

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырежильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	—	55	45	—	—	—
10	95	75	60	55	—	60
16	120	95	80	65	60	80
25	160	130	105	90	85	100
35	200	150	125	110	105	120
50	245	185	155	145	135	145
70	305	225	200	175	165	185
95	360	275	245	215	200	215
120	415	320	285	250	240	260
150	470	375	330	290	270	300
185	525	—	375	325	305	340
240	610	—	430	375	350	—
300	720	—	—	—	—	—
400	880	—	—	—	—	—
500	1020	—	—	—	—	—
625	1180	—	—	—	—	—
800	1400	—	—	—	—	—

Таблица 17.12. Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной изоляцией на низкое напряжение в свинцовой оболочке, прокладываемых в земле, А

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырежильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	—	60	55	—	—	—
10	110	80	75	60	—	65
16	135	110	90	80	75	90
25	180	140	125	105	90	115
35	220	175	145	125	115	135
50	275	210	180	155	140	165
70	340	250	220	190	165	200
95	400	290	260	225	205	240
120	460	335	300	260	240	270

Окончание табл. 17. 12

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двужильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырежильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
150	520	385	335	300	275	305
185	580	—	380	340	310	345
240	675	—	440	390	355	—
300	770	—	—	—	—	—
400	940	—	—	—	—	—
500	1080	—	—	—	—	—
625	1170	—	—	—	—	—
800	1310	—	—	—	—	—

Таблица 17.17. Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной изоляцией на низкое напряжение в свинцовой оболочке, прокладываемых в воздухе, А

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двужильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырежильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	—	42	35	—	—	—
10	75	55	46	42	—	45
16	90	75	60	50	46	60
25	125	100	80	70	65	75
35	155	115	95	85	80	95
50	190	140	120	110	105	110
70	235	175	155	135	130	140
95	275	210	190	165	155	165
120	320	245	220	190	185	200
150	360	290	255	225	210	230
185	405	—	290	250	235	260
240	470	—	330	290	270	—
300	555	—	—	—	—	—
400	675	—	—	—	—	—
500	785	—	—	—	—	—
625	910	—	—	—	—	—
800	1080	—	—	—	—	—

Таблица 17.18. Допустимый длительный ток для кабелей с медными жилами с пластмассовой изоляцией на напряжение до 3 кВ, А

Номинальное сечение жилы, мм ²	Одножильных		Двужильных		Трехжильных	
	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле
1,5	29	32	24	33	21	28
2,5	40	42	33	44	28	37
4	53	54	44	56	37	48
6	67	67	56	71	49	58
10	91	89	75	94	66	77
16	121	116	101	123	87	100
25	160	148	134	157	115	130
35	197	178	166	190	141	158
50	247	217	208	230	177	192
70	318	265	—	—	226	237
95	386	314	—	—	274	280
120	450	358	—	—	321	321
150	521	406	—	—	370	363
185	594	455	—	—	421	406
240	704	525	—	—	499	468

Таблица 17.19. Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией на напряжение до 3 кВ, А

Номинальное сечение жилы, мм ²	Одножильных		Двужильных		Трехжильных	
	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле
2,5	30	32	25	33	21	28
4	40	41	34	43	29	37
6	51	52	43	54	37	44
10	69	68	58	72	50	59
16	93	83	77	94	67	77
25	122	113	103	120	88	100
35	151	136	127	145	109	121
50	189	166	159	176	136	147
70	233	200	—	—	167	178
95	284	237	—	—	204	212
120	330	269	—	—	236	241
150	380	305	—	—	273	274
185	436	343	—	—	313	308
240	515	396	—	—	369	355

Таблица 17.20. Допустимый длительный ток для кабелей с пластмассовой изоляцией на напряжение 6 кВ, А

Номинальное сечение жилы, мм ²	С алюминиевой жилой		С медной жилой	
	на воздухе	в земле	на воздухе	в земле
10	50	55	65	70
16	65	70	85	92
25	85	90	110	122
5	105	110	135	147
50	125	130	165	175
70	155	160	210	215
95	190	195	255	260
120	220	220	300	295
150	250	250	335	335
185	290	285	285	380
445				

Допустимые длительные токи для проводов, проложенных в лотках, при однорядной прокладке (не в пучках) следует принимать, как для проводов, проложенных в воздухе.

Допустимые длительные токи для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах, следует принимать как для одиночных проводов и кабелей, проложенных открыто (в воздухе), с применением снижающих коэффициентов, указанных в табл. 17.21. При выборе снижающих коэффициентов контрольные и резервные провода и кабели не учитываются.

Таблица 17.21. Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводов, питающих	
	одножильных	многожильных	отдельные электроприемники с коэффициентом использования до 0,7	группы электроприемников и отдельные приемники с коэффициентом использования более 0,7
Многослойно и пучками	—	До 4	1,0	—
	2	5—6	0,85	—
	3—9	7—9	0,75	—
	10—11	10—11	0,7	—
	12—14	12—14	0,65	—
	15—18	15—18	0,6	—
Однослойно	2—4	2—4	—	0,67
	5	5	—	0,6

Сечение проводов и кабелей до 1000 В по условию соответствия сечения провода номинальному току аппарата защиты приведено в табл. 17.22.

Таблица 17.22. Нормируемые соотношения между длительно допустимыми токами проводников (I_n) и номинальными токами аппаратов защиты (I_2)

Проводники	Характеристика помещений, где требуется защита проводников	Нормируемое соотношение I_n/I_2 для аппаратов защиты			
		Плавкие предохранители	Автоматические выключатели с обратной зависимой от тока характеристикой		Автоматические выключатели, имеющие только максимальные мгновенно действующие расцепители
			нерегулируемый расцепитель	регулируемый расцепитель	
Сети, защищаемые от токов короткого замыкания					
Проводники всех типов	Все помещения	$\geq 0,33$	≥ 1	$0,66 \geq$	$0,22 \geq$
Сети, защищаемые от перегрузки					
Открыто проложенные незащищенные изолированные провода с горючей оболочкой	Производственные взрывоопасные помещения	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1
	Все прочие помещения	$\geq 1,25$	≥ 1	≥ 1	$\geq 1,25$
Защищенные провода, кабели с резиновой изоляцией и провода в трубах	Производственные пожароопасные помещения	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1
	Помещения: торговые, служебно-бытовые промышленных предприятий; общественные и жилые здания; взрывоопасные установки	$\geq 1,25$	≥ 1	≥ 1	$\geq 1,25$
Кабели с бумажной изоляцией	Помещения: пожароопасные, торговые, служебно-бытовые промышленных предприятий; общественные и жилые здания; взрывоопасные установки	≥ 1	≥ 1	$\geq 0,8$	≥ 1

Электрическая проводка должна иметь строго ограниченную потерю напряжения, чтобы обеспечить нормальную работу электродвигателей с аппаратами для их пуска и управления, допускающими отклонение напряжения от номинального в пределах от $-7,5$ до $+10$ % и электрических светильников, у которых повышенное напряжение сокращает срок службы, а пониженное — уменьшает световой поток.

Для обеспечения допустимых потерь напряжения внутренние электропроводки рассчитывают по потере напряжения. В соответствии с ПУЭ, потери напряжения во внутренних электропроводках не должны превышать 2,5 % от номинального значения напряжения.

Сечение проводов по заданной потере напряжения определяют по формуле:

$$S = \frac{M}{C \Delta U \%},$$

где S — сечение жилы провода, мм^2 ; M — момент нагрузки на провод, $\text{кВт} \cdot \text{м}$; ΔU % — потеря напряжения, %; C — коэффициент (см. табл. 17.23).

Таблица 17.23. Значение коэффициента C при равномерной нагрузке фаз

Род тока, напряжение и система распределения напряжения		Коэффициент для проводов	
		медных	алюминиевых
Трёхфазные четырехпроводные линии (3 фазы и нуль) 380/220 В		83	50
Двухфазные линии (2 фазы и нуль) при трёхфазной системе 380/220 В		37	22
Однофазные линии постоянного тока на- пряжением, В	220	14,0	8,3
	36	0,37	0,22
	12	0,041	0,025

17.3.4. Основные этапы монтажа внутренних электропроводок

Внутренние электропроводки монтируют, как правило, в две стадии. Сначала выполняют общестроительные работы: закладывают трубы в фундаменты, подготавливают трассы электропроводок, устраивают проемы и ниши в стенах и перекрытиях.

Монтаж одновременно с основными строительными работами производят только в порядке выполнения первой стадии монтажа.

К первой стадии относятся также работы, выполняемые вне зоны монтажа. Это подготовка в мастерских базы различных комплектных устройств, заготовка труб, шин и узлов ошиновки, ревизия аппаратуры и т. п.

Ко второй стадии монтажных работ относятся монтажные работы на объекте: разметка, прокладка проводов и кабелей, установка оборудования и аппаратуры, присоединение проводов и кабелей к электрооборудованию, установка комплектных устройств и т. п.

Электромонтажные работы второй стадии проводят после окончания строительных работ, т. е. строительные работы в производственных помещениях должны быть доведены до состояния, обеспечивающего нормальное и безопасное ведение электромонтажных работ, защиту монтируемого оборудования, кабельных изделий и электроматериалов от влияния атмосферных осадков, грунтовых вод и низких температур, от загрязнения и случайных повреждений при производстве дальнейших работ смежными организациями.

Во второй стадии электромонтажные работы начинают с разметки мест установки вводных распределительных устройств, комплектных устройств, кнопочных станций, шкафов и станций управления, пусковых и защитных аппаратов, мест крепления групповых щитков, выключателей, штепсельных розеток и т. п., затем наносят линии прокладки проводов и кабелей, места обходов выступающих частей строительных конструкций здания, пересечений проводов между собой и с трубопроводами, проходов через стены и перекрытия, места крепления крюков для светильников, если они не были установлены в первой стадии.

Электропроводки размечают в соответствии с требованиями действующих строительных норм и правил устройства электроустановок.

Окончив разметку, начинают устанавливать распределительные и комплектные устройства, пусковые и защитные аппараты, кнопочные станции, групповые щитки, штепсельные розетки, выключатели, устанавливают крепежные детали для крепления проводов и кабелей. При тросовой проводке устанавливают концевые опоры и натяжное устройство.

Далее подготавливают провода или кабели для прокладки, выполняют соединения и ответвления к выключателям, розеткам, осветительным приборам, автоматам, пускателям, электродвигателям и другим токоприемникам, устраивают обходы, пересечения, проходы через стены и перекрытия, натягивают провода и крепят их на всем протяжении прокладки. Тросовую проводку подготавливают для подвески, проверяют крепления соединительных коробок, светильников, места соединений, ликвидируют перекручивание проводов и т. п.

Осветительную сеть в жилых и культурно-бытовых зданиях прокладывают также в две стадии. В первой стадии закладывают проводки до штукатурки по кирпичным и гипсолитовым основаниям в бороздах, выбираемых с помощью бороздофреза. Производят выборку гнезд под распределительные коробки, розетки и выключатели. Уложенные провода «примораживают» алебастровым раствором. Одновременно устанавливают арматурные крюки на потолках. Производят соединение проводов в распределительных коробках.

После выполнения штукатурных работ устанавливают на алебастре коробки под выключатели и розетки. После завершения отделочных работ, перед окончательной отделкой полов, устанавливают штепсельные розетки, выключатели, патроны, плафоны и квартирные щитки.

Стояки (магистраль питания) прокладывают после строительной готовности всех этажей дома в специальных закрытых каналах, выполненных в процессе сооружения дома.

Открытые незащищенные изолированные провода в производственных помещениях непосредственно по строительным поверхностям и конструкциям на изоляторах, а также провода на тросах во всех случаях допускается прокладывать и подвешивать на высоте не менее 2,5 м от пола. Провода, проложенные на меньшей высоте, а также спуски к выключателям, штепсельным розеткам, щиткам и другим устройствам в этих помещениях должны быть защищены от механических повреждений на высоте не менее 1,5 м от пола или площадки обслуживания.

В бытовых помещениях промышленных предприятий, в жилых и общественных зданиях незащищенные провода допускается прокладывать на высоте 2 м от пола. В этих помещениях допускается спуск к выключателям и розеткам не защищать от механических повреждений.

Высота прокладки проводов и кабелей в стальных трубах и гибких металлических рукавах, а также шланговых кабелей для тяжелых условий работы, от уровня пола или площадки обслуживания не нормируется.

Места соединений и ответвлений проводов и кабелей не должны испытывать механических усилий. В местах соединений и ответвлений жилы проводов и кабелей должны иметь изоляцию, равноценную изоляции жил целых мест этих проводов и кабелей.

Соединения и ответвления проводов, проложенных в трубах и гибких металлических рукавах, при открытой и скрытой проводках, должны выполнять-

ся в соединительных и ответвительных коробках. Конструкция соединительных и ответвительных коробок должна соответствовать способам прокладки и условиям окружающей среды.

Провода в местах выхода из стальных труб и гибких металлических рукавов должны быть защищены от повреждений путем оконцевания труб и металлорукавов изоляционными втулками, а в местах пересечения электропроводок с температурными осадочными швами должны быть предусмотрены компенсирующие устройства.

Между проводами или кабелями и трубопроводами, идущими параллельно, должно быть расстояние не менее 100 мм, а до трубопроводов с горючими жидкостями и газами — не менее 250 мм.

При горячих трубопроводах провода и кабели защищают от воздействия высокой температуры, либо они должны иметь соответствующее исполнение.

Пересечение незащищенными проводами трубопроводов выполняют на расстоянии от них не менее 50 мм, а от трубопроводов с горючими жидкостями и газами — не менее 100 мм в бороздах в изоляционных трубках, либо в металлических трубах.

Если провода или кабели пересекаются горячими трубопроводами, они должны быть защищены от воздействия высокой температуры, либо иметь соответствующую термостойкую изоляцию.

При пересечении между собой незащищенных изолированных проводов, проложенных на расстоянии один от другого менее допустимых для наибольшего сечения пересекающихся линий, на каждый из проводов одной из пересекающихся линий должна быть надета и закреплена неразрезанная изоляционная трубка либо провода одной из линий должны быть заложены в борозду в изоляционных трубках.

Пересечений плоских однопроволочных проводов следует избегать или изоляцию в месте пересечения усиливать тремя-четырьмя слоями прорезиненной или полихлорвиниловой липкой ленты.

Проходы через стены незащищенными изолированными проводами выполняют в неразрезанных изоляционных полутвердых трубках, которые должны быть оконцованы в сухих помещениях изолирующими втулками, а в сырых и при выходе наружу — воронками, раструбами вниз.

При проходе проводов из одного сухого помещения в другое все провода одной линии допускается прокладывать в одной изоляционной трубе, а из сухого помещения в сырое, из сырого в другое сырое и при выходе из помещения наружу каждый провод прокладывают в отдельной изоляционной трубе. При проходе проводов в сырое помещение с другой температурой, влажностью и т. п. воронки должны быть залиты с обеих сторон изолирующим компаундом. При выходе проводов из сухого помещения в сырое и наружу здания соединение их выполняют в сухом помещении.

Защищенные или незащищенные изолированные провода и кабели через междуэтажные перекрытия должны проходить в трубах или проемах. Проход через междуэтажное перекрытие скрученными проводами запрещается.

Открытые проводки прокладывают с учетом архитектурных линий помещений и сооружений (карнизов, плинтусов, углов и др.)

Длину провода во влажных, сырых и особо сырых помещениях (в туалетах, ванных комнатах и т. п.) допускают минимальной. Скрытая проводка по нагреваемым поверхностям (дымоходам, боровам и т. п.) не допускается. В зоне горячих трубопроводов, дымоходов и т. п. температура окружающего воздуха не должна превышать $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Крепить провод металлическими скобами необходимо с изоляционными подкладками. Металлическая скоба должна иметь антикоррозионное покрытие.

17.3.5. Соединение, ответвление и оконцевание проводов и жил кабелей

Качество монтажа электропроводок в значительной степени зависит от правильного выбора способа соединения, ответвления и оконцевания токопроводящих жил проводов и кабелей, выполнения монтажных работ. Основные требования к электрическому соединению: обеспечить надежный и долговечный контакт в электрической цепи с сопротивлением, не превышающим сопротивление эквивалентного участка целого проводника, а для соединений, работающих в условиях, не исключающих случайное растяжение, обеспечить также механическую прочность не менее прочности проводника.

Соединения, ответвления и окончания проводов и кабелей должны осуществляться с помощью сварки, пайки, опрессовки или специальных зажимов. Выполнять соединения жил проводов и кабелей методом скрутки запрещается.

Наибольшие трудности при соединениях вызывают алюминиевые жилы, на поверхности которых всегда имеется плохо проводящая, твердая и тугоплавкая оксидная пленка. После зачистки поверхности алюминия она мгновенно образуется вновь. При пайке эта пленка препятствует сцеплению с припоем, при сварке образует в расплаве нежелательные включения. Температура ее плавления около $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$, то есть в три раза больше, чем алюминия. При креплении в винтовых зажимах алюминий проявляет другой свой недостаток — низкий предел текучести, в результате чего алюминий «вытекает» из-под зажима, ослабляя контакт.

Места соединений и ответвлений проводов надежно изолируют (рис. 17.40), они, как правило, не должны при эксплуатации подвергаться растяжению и должны быть доступны для осмотра и ремонта. Наиболее распространенным материалом для изоляции мест соединений проводов и кабелей, уплотнения мест ввода проводов и кабелей в ответвительные коробки, аппараты, распределительные устройства и т. п. является изоляционная лента. Ее выпускают рулоном весом от 150 до 800 г.

Основой изоляционной ленты служит хлопчатобумажная ткань, пропитанная с одной или двух сторон резиновой клейкой смесью. Длина ленты в одном круге колеблется от 55 до 85 м. Цвет ленты черный или серый. Изоляционная прорезиненная лента выпускается шириной 10, 15, 20, 25, 30, 40 и 50 мм.

В настоящее время выпуск изоляционной ленты на основе из хлопчатобумажной ткани значительно сокращен. На смену ей пришла поливинилхлоридная клейкая лента марки ПХЛ шириной 15, 20, 30 и 55 мм. Толщина ленты

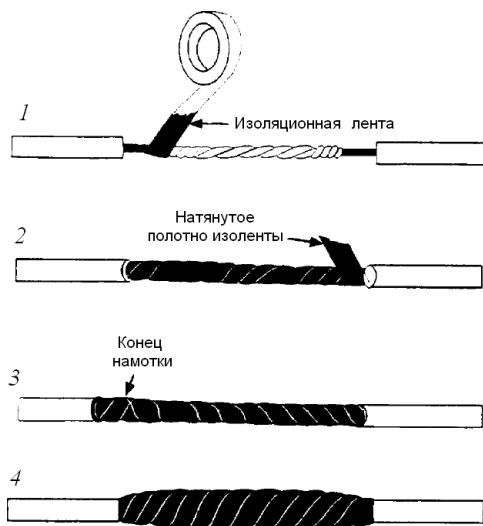


Рис. 17.40. Изолирование мест соединения проводов

соответственно 0,2; 0,3; 0,4 и 0,85 мм. Лента может иметь различную окраску. Назначение полихлорвиниловой ленты такое же, как и прорезиненной, но в отличие от нее, полихлорвиниловая лента обеспечивает полную герметичность разделки кабелей, и мест соединений проводов.

Одной из широко используемых и экономически оправданных технологий для изоляции и герметизации проводки, защиты мест соединений проводов и различных элементов электрооборудования стало применение термоусадочных материалов. Это различные виды термоусадочных трубок, термоусадочных трубок с внутренним клеевым слоем, специальных изделий — муфт, колпачков и их комбинации с термо- и не термопластичными клеями и герметиками.

Преимущества использования термоусадочной трубки для этих целей перед другими способами изоляции и защиты — кембриками, изолянтами и т. п. заключаются в следующем:

- процесс установки термоусадочных трубок на изделие более прост и занимает меньше времени, чем использование изолянтов или бандажных лент, выполняющих те же функции;
- плотное облежание защищаемого участка — исключено смещение изоляции даже при механическом воздействии;
- дополнительная механическая прочность места изоляции;
- низкая трудоемкость при установке;
- долговечность.

Монтаж термоусаживаемой трубки производится с помощью газовой горелки или высокотемпературного фена при температуре 120—140 °С. Трубка уменьшается в диаметре (усаживается) до контакта с изолируемой поверхностью. После остывания до температуры окружающего воздуха ее новая форма сохраняется. Трубки выпускаются следующих видов, см. табл. 17.24.

Таблица 17.24. Характеристики некоторых типов термоусаживающих трубок

Диаметр кабеля, мм		Обозначение трубки		Размеры, мм			
Min	Max	без клея	с клеем	Диаметр		толщина стенки	
				до усадки	после усадки	до усадки	после усадки
Термоусаживаемые трубки со средними стенками MWTM							
3,5	9	MWTM 10/3-A/U	MWTM 10/3-1000/172	10	3	0,3	1,0
5,5	14,5	MWTM 16/5-A/U	MWTM 16/5-1000/172	16	5	0,3	1,4
9	22,5	MWTM 25/8-A/U	MWTM 25/8-1000/172	25	8	0,4	2,0
13	31,5	MWTM 35/12-A/U	MWTM 35/12-1000/172	35	12	0,4	2,0
17,5	45	MWTM 50/16-A/U	MWTM 50/16-1000/172	50	16	0,5	2,0
21	57	MWTM 63/19-A/U	MWTM 63/19-1000/172	63	19	0,6	2,4
24	68	MWTM 75/22-A/U	MWTM 75/22-1000/172	75	22	0,6	2,7
27,5	77	MWTM 85/25-1000/U	MWTM 85/25-1000/172	85	25	0,6	2,8
32	86	MWTM 95/29-1000/U	MWTM 95/29-1000/172	95	29	0,7	3,1
37	104	MWTM 115/34-1000/U	MWTM 115/34-1000/172	115	34	0,7	3,1
46	126	MWTM 140/42-1000/U	MWTM 140/42-1000/172	140	42	0,7	3,1
55	144	MWTM 160/50-1000/U	MWTM 160/50-1000/172	160	50	0,7	3,2
66	162	MWTM 180/60-1000/U	MWTM 180/60-1000/172	180	60	0,7	3,2
Среднестенные трубки с клеевым подслоем MDT-A							
—	—	—	MDT-A 12/3	12	3	—	2,5
—	—	—	MDT-A 19/6	19	6	—	3,3
—	—	—	MDT-A 27/8	27	8	—	3,3
—	—	—	MDT-A 32/7,5	32	7,5	—	3,3
—	—	—	MDT-A 38/12	38	12	—	3,3
—	—	—	MDT-A 50/18	50	18	—	3,3
—	—	—	MDT-A 70/26	70	26	—	3,3
—	—	—	MDT-A 90/36	90	36	—	3,3
—	—	—	MDT-A 120/40	120	40	—	3,3
Толстостенные термоусаживаемые трубки WCSM							
3.5	8	—	WCSM 9/3-1000/172	9	3	0,6	2,0
4.5	11	—	WCSM 13/4-1000/172	13	4	0,6	2,4
6.5	17	—	WCSM 20/6-1000/172	20	6	0,7	2,5
9	30	—	WCSM 33/8-1000/172	33	8	0,7	3,2

Окончание табл. 17.24

Диаметр кабеля, мм		Обозначение трубки		Размеры, мм			
Min	Max	без клея	с клеем	Диаметр		толщина стенки	
				до усадки	после усадки	до усадки	после усадки
13	39	—	WCSM 43/12-1000/172	43	12	0,8	4,3
18	44	—	WCSM 51/16-1000/172	51	16	1,0	4,5
23	62	—	WCSM 70/21-1000/172	70	21	1,0	4,4
27	76	—	WCSM 85/25-1000/172	85	25	1,0	4,3
33	94	—	WCSM 105/30-1000/172	105	30	1,0	4,3
40	117	—	WCSM 130/36-1000/172	130	36	1,0	4,3
55	145	—	WCSM 160/50-1000/172	160	50	1,0	4,3
55	155	—	WCSM 180/50-1000/172	180	50	1,0	4,3

Примечания. 1. Толстостенные термоусаживаемые трубки WCSM из полиолефина используют для усиления электрической изоляции и герметизации. Трубки обладают стойкостью к изменению погодных условий и ультрафиолетовому излучению солнца. Диапазон температур от -40 до $+90$ °С. Электрическая прочность: 14 кВ/мм.

2. Термоусаживаемые трубки MWTM со стенками средней толщины используют для усиления электрической изоляции, герметизации и антикоррозийной защиты. Трубки обладают стойкостью к изменению погодных условий и ультрафиолетовому излучению солнца. Диапазон температур от -40 до $+120$ °С (без клея) и от -40 до $+90$ °С (с клеем). Электрическая прочность: 14 кВ/мм.

3. Среднестенные трубки с клеевым подслоем MDT-A применяются для изоляции и герметизации соединений напряжением до 1000 В.

Основным параметром термоусаживающих трубок является ее внутренний диаметр до усадки (в состоянии поставки) и после усадки (в свободном состоянии). Эти параметры и являются основными показателями при подборе необходимого диаметра изолируемого изделия. При этом необходимо руководствоваться следующими рекомендациями.

- Минимальный диаметр изолируемого изделия должен быть на 10—15 % больше внутреннего диаметра полностью усаженной трубки в свободном состоянии, чтобы обеспечить плотное прилегание.
- Наиболее оптимальный диаметр изолируемого изделия должен быть на 15—30 % больше внутреннего диаметра полностью усаженной трубки в свободном состоянии. Только в этом случае термоусаживаемая трубка будет удовлетворять требованиям технических условий в части длительной эксплуатации при повышенной температуре 130 °С.
- При изолировании мест соединения проводов внутренний диаметр термоусаживаемой трубки после ее полной усадки в свободном состоянии подбирается по диаметру изолируемой жилы, чтобы трубка после усадки

плотно обжимала жилу без зазоров. При этом раздутая трубка должна свободно заходить и на изоляцию провода.

Монтаж соединения с изолированием жил проводов или кабелей производится в следующем порядке.

- Продеть трубку на какой-либо конец провода, рис. 17.41а.
- Осуществить пайку (сварку) жил, при этом нельзя перегреть жилы, чтобы не начала усаживаться трубка, рис. 17.41б.
- Надвинуть термоусаживаемую трубку на место соединения проводов или жил кабеля симметрично относительно места пайки, или сварки, рис. 17.41в.
- Осуществить усадку трубки, начиная с середины (с места соединения) и усаживая вначале одну сторону, потом другую, рис. 17.41г.
- Длина термоусаживаемой трубки определяется по формуле: $L = 2L_1 + 2L_2$, где L — длина трубки, мм; L_1 — длина разделки жилы L_2 — длина захода трубки на изоляцию жилы провода, рис. 17.41д. Обычно длина захода термоусаживаемой трубки на изоляцию жилы составляет от 20 до 70 мм, причем, чем больше диаметр изолируемого провода, тем больше длина захода термоусаживаемой трубки на изоляцию (но не более 100 мм).

Соединяемые участки и ответвления проводов размещают в соответствующих коробках с закрывающейся крышкой. В соединительных а ответвитель-

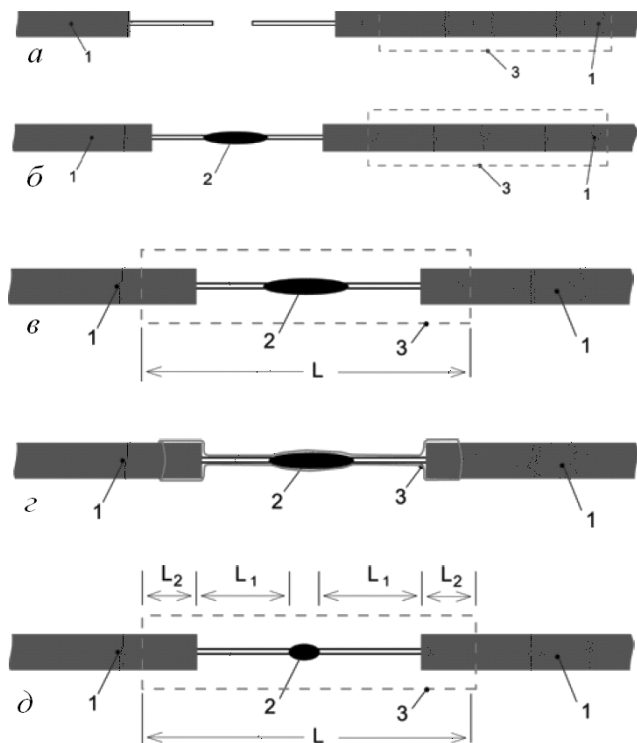


Рис. 17.41. Монтаж соединения с применением термоусаживаемой трубки: 1 — соединяемые жилы; 2 — место соединения жил; 3 — термоусаживаемая трубка

ных коробках проводники могут стягиваться винтовым соединением, для чего в основании коробок запрессовываются либо гайки, либо винты, либо иным способом, обеспечивающим надежный контакт.

Соединения проводов в соединительных и ответвительных коробках, для ускорения монтажа, изолируют полиэтиленовыми колпачками, рис. 17.42. Для изоляции места соединения и ответвления однопроволочных жил проводов сечением до 4 мм^2 , наиболее часто, применяют колпачки К440УХЛ2.1, К441УХЛ2.1, К444УХЛ2.1. Колпачки применяют в качестве встроенных элементов внутри оболочек электротехнических устройств (в устройствах, ящиках, панелях, щитах и т. п.) в электропроводках напряжением до 660 В переменного тока частотой до 50 Гц в помещениях всех видов, за исключением пожаро- и взрывоопасных. В табл. 17.25 приведены основные характеристики изолирующих колпачков.

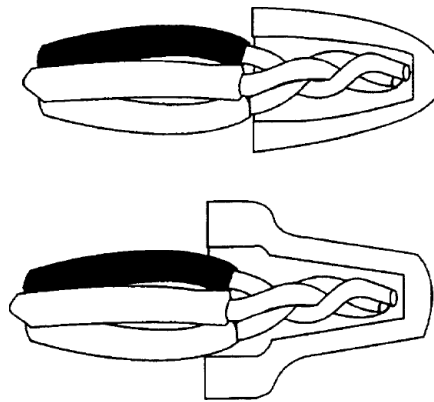
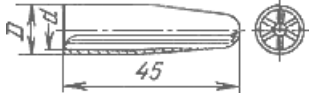
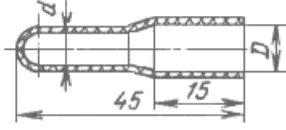


Рис. 17.42. Изолирование проводов с помощью полиэтиленовых колпачков

Таблица 17.25. Основные характеристики изолирующих колпачков

Наименование	Тип	Размеры	Изоляция мест соединения	Чертеж
Колпачки изолирующие	К440АУХЛ2.1	$D = 11, d = 9$	2—5 проводов сечением 2 мм^2 или 2 провода сечением 4 мм^2	
Колпачки изолирующие	К441АУХЛ2.1	$D = 14, d = 12$	6—7 проводов сечением 2 мм^2 или 3—4 провода сечением 4 мм^2	
Колпачки изолирующие	К440УХЛ2.1	$D = 9, d = 7$	Жил с помощью гильзы 7,5-4-1-А-00УТ2	
Колпачки изолирующие	К441УХЛ2.1	$D = 12, d = 9$	Жил с помощью гильзы 13-5-1-А-00УТ2	
Колпачки изолирующие	К444УХЛ2.1	$D = 15, d = 10,5$	Жил с помощью гильзы 20,5-6-1-А-00УТ2	

Подготовка жил проводов и кабелей для соединения и ответвления. Предварительно с токопроводящих жил проводов и кабелей снимают изоляцию с помощью специальных клещей (например, клещи МБ-1 и др., рис. 17.43) и монтерского ножа и очищают жилу от загрязнения ветошью, смоченной в бензине, ацетоне или уайт-спирите. На рис. 17.44 показан прием снятия изоляции с жилы кабеля при помощи клещей.

Оголенные участки алюминиевых и медных жил зачищают наждачной бумагой или металлической щеткой до металлического блеска. Алюминиевые жилы при подготовке их под опрессовку зачищают под слоем нейтральной смазки (технический вазелин, кварцвазелиновая паста). При подготовке алюминиевых жил к сварке или пайке смазку при очистке не применяют.

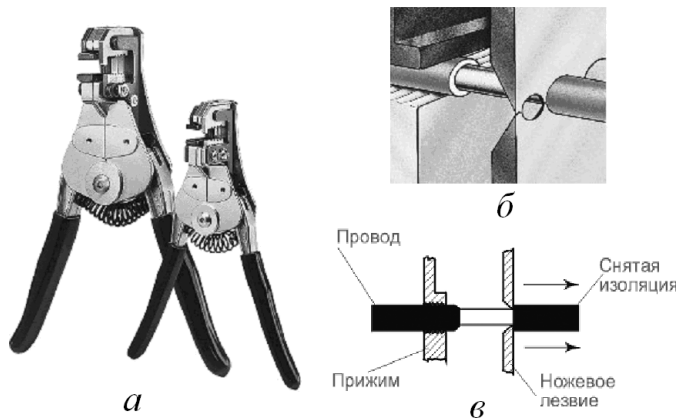


Рис. 17.43. Лезвия клещей для снятия изоляции (а) ножевого типа имеют клиновидные режущие кромки (б), которые проникают в изоляцию как нож, обеспечивая чистый прорез и сьем изоляции (в)

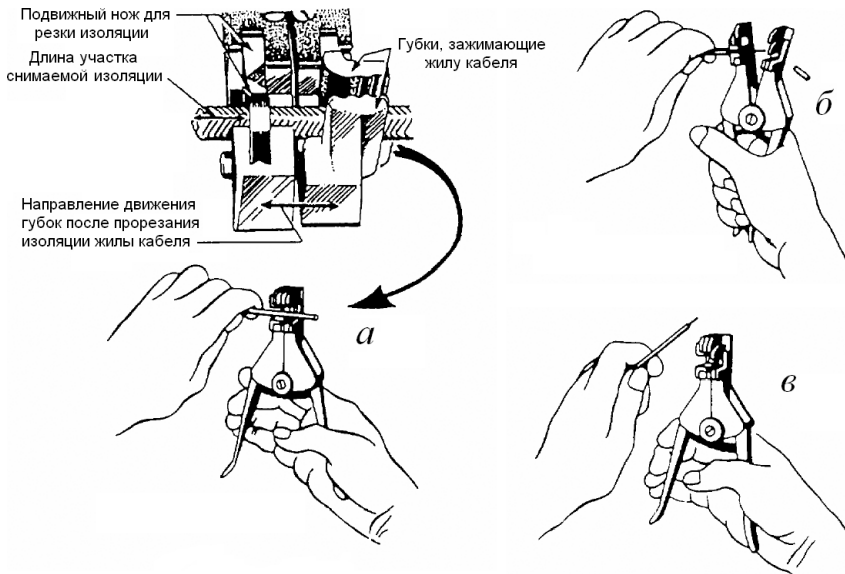


Рис. 17.44. Снятие изоляции с жилы кабеля при помощи клещей

Длина разделки провода или кабеля зависит от выбранного способа соединения и сечения токопроводящей жилы, табл. 17.26 и табл. 17.27.

Таблица 17.26. Длина разделки при соединении алюминиевых жил проводов и кабелей

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Длина разделки при соединении, мм				
	опрессовкой в гильзах	электросваркой	пайкой		методом контактного разогрева по торцам*
			в скрутке	в гильзе	
2,5	20—30	30—40	50	—	—
4	20—30	30—40	60	—	—
6	20—30	30—40	80	—	—
10	20—30	30—40	90	—	—
16	35	—	—	50	—
25	35	—	—	50	—
35	35	—	—	50	80
50	40	—	—	60	85
70	40—45	—	—	60	85

Примечание. * Для суммарного сечения жил

Таблица 17.27. Длина разделки при ответвлении алюминиевых жил проводов и кабелей

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Длина разделки при ответвлении, мм					
	опрессовкой в гильзах	пайкой			в ответвительных сжимах	
		в скрутке		в гильзе или форме	магистральной жилы в сжимах всех типов	ответвляемой жилы в сжимах У730М, У734М, У739
		магистральной жилы	ответвляемой жилы			
2,5	20—30	50	65	—	—	30
4	20—30	55	75	—	35	30
6	20—30	60	95	—	35	30
10	20—30	70	105	—	35	30
16	—	—	—	50	35	30
25	—	—	—	50	35	30
35	—	—	—	60	35	60
50	—	—	—	60	55	60
70	—	—	—	60	55	—

Соединения контактными зажимами. Такие зажимы в силу простоты и удобства широко применяются для присоединения проводов к розеткам, выключателям, к токнесущим элементам электроприборов, для соединения и ответвления проводов в электропроводке. Контактные зажимы разделяются на винтовые и без винтовые (пружинные). Основные виды контактных соеди-

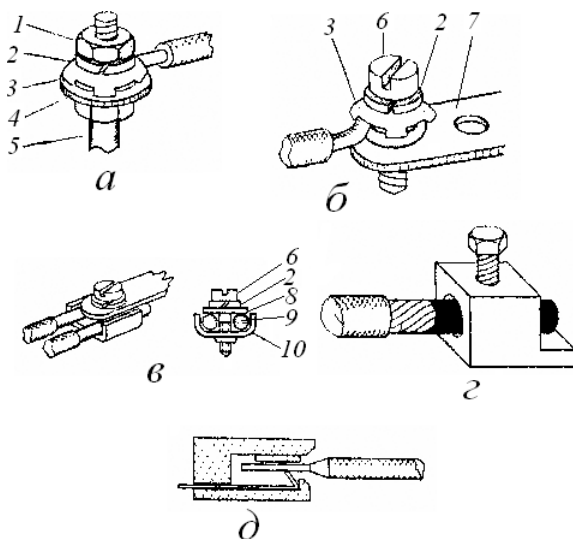


Рис. 17.45. Основные типы контактные соединений: *а* — соединение: однопроволочной жилы со штыревым выводом; *б* — соединение однопроволочной жилы с плоским выводом; *в* — контактный зажим для присоединения алюминиевых жил; *г* — соединение жилы с гнездовым выводом; *д* — безвинтовой контактный пружинящий зажим; 1 — гайка; 2 — пружинная шайба; 3 — шайба-звездочка; 4 — стальная шайба; 5 — штыревой вывод; 6 — винт; 7 — плоский вывод; 8 — шайба или основание контактного зажима; 9 — провод; 10 — скоба, ограничивающая растекание алюминиевой жилы

нений приведены на рис 17.45. Винтовые зажимы для однопроволочных алюминиевых и многопроволочных медных жил снабжаются фасонной шайбой или шайбой-звездочкой, препятствующей выдавливанию жилы из-под крепления, а алюминиевые жилы — и разрезной пружинной шайбой, обеспечивающей постоянное давление на жилу. Стальные детали, а также детали для соединения с алюминиевыми проводами должны иметь антикоррозийное гальваническое покрытие.

С конца провода, подготавливаемого для изгибания в кольцо, срезают изоляцию на длине, равной трем диаметрам винта плюс 2—3 мм. Чтобы отдельные проволочки многопроволочной жилы не расходились, их свивают в плотный жгутик. Жилы зачищают мелкой наждачной бумагой, смазанной вазелином. Подготовленный конец жилы круглогубцами (или пассатижами на круглой оправке) изгибают в кольцо с диаметром отверстия, соответствующим винту. Изгиб кольца на винтовом зажиме должен быть направлен по часовой стрелке. Зажимной винт или гайку затягивают до полного сжатия пружинной шайбы и дожимают еще примерно на половину оборота.

Большинство унифицированных установочных изделий рассчитано на винтовое соединение втычного типа, при котором прямой конец жилы вводится в зажим без формирования кольца. В светильниках с люминесцентными лампами соединения проводов с патронами ламп и стартеров выполнены в виде безвинтовых зажимов — пружинящих пластин из высококачественной бронзы. Попытка вытянуть провод из такого зажима может привести к поломке зажима. Для освобождения провода вставляют в зажим тонкую отвертку или стальную спицу, которая отождмет пружину и освободит провод.

В резьбовых патронах для ламп накаливания, патронах для люминесцентных ламп и стартеров, проходных и встроенных малогабаритных выключателях контактные зажимы рассчитаны на присоединение только медных проводов.

Зажимы лифтового типа. Для присоединения проводов и жил кабеля к токонесящим элементам электроприборов очень часто применяются зажимы лифтового типа, рис. 17.46. Зажимная клетка и винт этих зажимов, выполнены из закаленной стали, что обеспечивает требуемую степень зажима. Винт и клетка прижимают провод к токонесящей шине, выполненной из меди или высококачественной латуни.

При затягивании клеммы винт подпружинивается стальной пластиной, являющейся частью зажимной клетки. Данная пружина обеспечивает закрепление винта в клемме и гарантирует высокую виброустойчивость клемм с винтовыми зажимами. Вибрации зажатого в клемму провода гасаются эластичным зажимом, вследствие чего клеммы не требуют никакого подтягивания и обслуживания при эксплуатации.

Стальная клетка зажима гарантирует надежное, плотное, вибро- и удароустойчивое соединение между проводником и токовой шиной.

В клеммах *Weidmuller* (рис. 17.47) реализована патентованная система зажима, которая рассчитанных на большие сечения проводов. Для упрощения ввода провода большого сечения в клемму зажимной элемент может быть просто вынут из клеммы. Провод без проблем укладывается в клемму на токонесящую шину, далее вставляется зажимной элемент с винтом и провод надежно зажимается в клемме.

Вследствие разницы в длине между винтом клеммы и пружинящим стальным толкателем зажим провода в клемме получается очень эластичным. Эластичность способствует ослаблению передачи вибраций от провода на винт клеммы и обеспечивает высокое усилие зажима. Клеммы такого типа также не требуют в процессе эксплуатации ни подтягивания, ни какого-либо другого обслуживания.

Система подключения и зажим типа TOP (рис. 17.48) соответствует требованиям параллельности зажимаемого в клемму провода и винта клеммы. Для определенных условий монтажа (например, в узких и тесных клеммных ко-

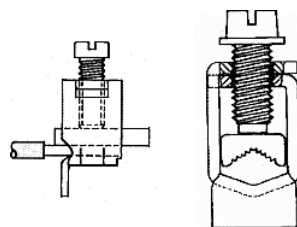


Рис. 17.46. Зажим лифтового типа для тонких проводов (слева) и проводов больших сечений (справа)

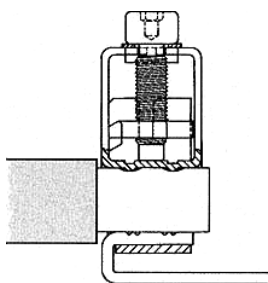


Рис. 17.47. Клемма Weidmuller

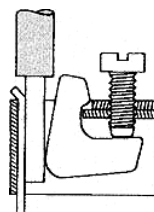


Рис. 17.48. Зажим типа TOP

робках) система TOP упрощает и удешевляет монтаж. Система TOP объединяет положительные качества меди, и стали — провод прижимается непосредственно к медной или латунной шине с помощью прочного стального толкателя. Стальной прижим гарантирует надежное, вибро- и удароустойчивое соединение между проводником и токовой шиной.

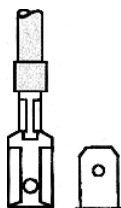


Рис. 17.49. Ножевые контакты

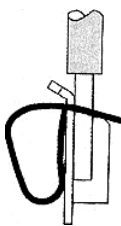


Рис. 17.50. Пружинные клеммы

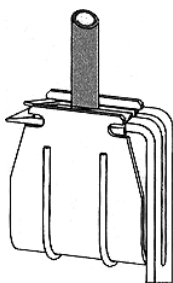


Рис. 17.51. Клемма системы IDC

Ножевые контакты (рис. 17.49) представляют собой нормированное соединение, при котором провод с обжатым на нем штекером вставляется в ножевой контакт клеммы. Необходимое прижимное усилие обеспечивается пружинным штекером. Преимуществом такой системы является относительно малое время монтажа, но только в том случае, когда монтажнику предоставлены провода с уже обжатыми штекерами.

Согласно данным предварительного стандарта DIN 46249-1 ножевой контакт выдерживает до 10 коммутаций «соединение-разъединение».

Пружинный зажим. Пружинные клеммы (рис. 17.50) работают аналогично клеммам с винтовым прижимом. Пружина из нержавеющей и кислотостойкой стали обеспечивает необходимое усилие прижима провода к медной токоведущей шине. Гальваническое покрытие шины не допускает коррозии клемм, а пружина клеммы разделяет механическую и электрическую функции всей системы. Пружины выполнены из специальной стали с очень низкой временной и температурной усталостью. Высокое усилие прижима дает возможность получить низкое переходное сопротивление клеммы, сохраняющееся на протяжении всего периода эксплуатации.

Система подключения IDC (Insulation Displacement Connection — соединение с прорезкой изоляции) представляет собой способ подключения медных проводов без предварительной подготовки провода, то есть снятия изоляции или обжима наконечников, рис. 17.51. При подключении изоляция провода прорезается и устанавливается электрический контакт между проводом и токоведущей шиной клеммы. Система IDC разделяет механические и электрические функции в клемме. Пружина из нержавеющей стали прижимает провод к токовой шине, гарантируя низкое переходное сопротивление и вибростойкость соединения.

Инсталляционная пружинная клемма. Казалось бы, что может быть проще самой стандартной операции в электромонтаже, как соединение электропроводов. Однако способов и устройств для достижения этой цели существует достаточно много: начиная от примитивных цилиндрических скруток, блочных винтовых клеммников и заканчивая проходными клеммами для монтажа на DIN-рейку. Но, когда условия монтажных работ осложняются стесненным пространством, при соединении в распаячных коробках, вопрос габаритов клеммника и удобство (а значит и скорость) монтажа встает особенно остро.

Для решения подобных проблем наилучшим образом подходит инсталляционная пружинная клемма для распаячных коробок немецкой фирмы Weidmuller, рис. 17.52. Данные клеммы предназначены для надежного соединения двух, трех, четырех, пяти или даже восьми проводов одновременно, объединяя их на одну токопроводящую шину, находящуюся в изоляционном корпусе.

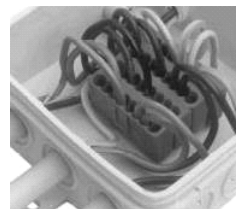


Рис. 17.52. Инсталляционные пружинные клеммы немецкой фирмы Weidmuller установленные в распаячную коробку

Для работы с инсталляционными клеммами нужно просто вставить провод с предварительно снятой изоляцией в конусообразное гнездо клеммы, а при необходимости отсоединения достаточно вытянуть провод, прокручивая его вдоль оси. Компактная конструкция клеммы и возможность механического соединения нескольких клемм друг с другом при помощи защелки «ласточкин хвост» помогут сэкономить место в распределительной коробке и обеспечить наглядность соединений. Специальные тестовые отверстия в клеммах Weidmuller позволяют производить электрические измерения без разъединения проводов.

Фирма Weidmuller выпускает всего два типоразмера инсталляционных клемм, именуемые как «D-клеммы», перекрывая весь диапазон сечений провода, используемого в бытовых силовых сетях и сетях освещения: клемма D 2.5 (от 0,75 до 2,5 мм²) на 2, 3, 4, 5, 8 полюсов и клемма D 4.0 (от 1,5 до 4,0 мм²) на 3 полюса, рис. 17.53.

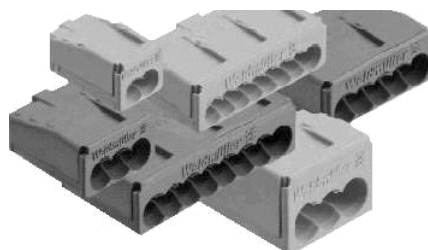


Рис. 17.53. «D-клеммы» фирма Weidmuller

Инсталляционные клеммы обеспечивают надежный, долговременный электрический и механический контакт с контактным элементом клеммы, представляющей собой токоведущую шину из электролитической меди спрессованной с лепестковой стальной пружиной, покрытой хромоникелевым сплавом.

Высокие показатели D-клемм по надежности электрического контакта (напряжение до 450 В, ток до 35 А) и коррозионной стойкости соединения достигаются за счет применения оловосвинцового покрытия медной токоведущей шины. Такое покрытие обеспечивает «мягкий» контакт проводника с медной шиной гарантируя низкое переходное сопротивление.

Для работы с алюминиевым проводом фирма Weidmuller выпускает контактную пасту Alu-Top 30 разрушающую оксидную пленку на алюминиевом проводнике и защищающую его от дальнейшего окисления. Контактная паста

Alu-Top 30 поставляется в тубике-шприце, позволяющем заполнять внутреннее пространство клеммы при работе с алюминиевым проводом.

Втычные клеммы. Клеммы WAGO предназначены для соединения жил проводов. Клеммы состоят из пластмассового корпуса со встроенной втычной клеммной колодкой для зажима жил проводов, рис. 17.54, табл. 17.28.



Рис. 17.54. Втычные клеммы WAGO

Таблица 17.28. Характеристики втычных клем WAGO

Марка	Кол-во жил и их сечение, мм ²	Номинальный ток (алюминий/медь), А	Габаритные размеры, мм
273-503	3x4,0	30	24x18x15
773-302	2x2,5	16/24	20x10x10
773-304	4x2,5	16/24	20x14x13
773-306	6x2,5	16/24	20x14x20
773-308	8x2,5	16/24	20x14x25

Соединители болтовые (рис. 17.55) предназначены для соединения алюминиевых жил проводов и кабелей сечением от 35 мм² до 240 мм² напряжением до 10 кВ. Закрепление соединителей на жилах проводов и кабелей осуществляется методом завинчивания болта со специальной срывной головкой, которая скручивается при достижении определенного усилия, обеспечивая надежное соединение. Болтовые соединители изготавливаются из алюминиевого сплава В 95 по ГОСТ 21488—97. Климатическое исполнение соединителей — УХЛ3.

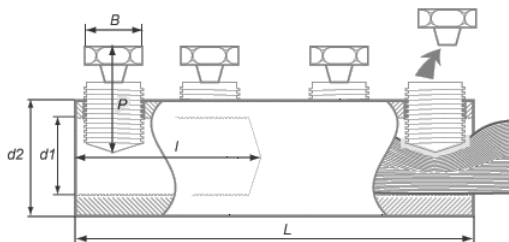
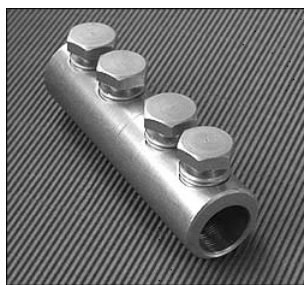


Рис. 17.55. Соединитель болтовой

Монтаж болтовых соединителей имеет ряд преимуществ:

- производится без применения сложного и дорогостоящего инструмента;
- занимает меньше времени по сравнению с монтажом методом опрессовки или пайки;
- не требует наличия высокой квалификации электромонтажника.

В табл. 17.29 приведены основные размеры болтовых соединителей.

Таблица 17.29. Основные размеры болтовых соединителей

Тип соединителя	Размер, мм						Масса, г
	d1	d2	L	l	P	B	
4СБ 25/50	11	20	60	28	20	12	76
4СБ 70/120	17	28	70	32	23	17	123
4СБ 150/240	22	34	80	34	28	22	127

Наконечники болтовые кабельные (рис. 17.56) предназначены для оконцевания алюминиевых жил проводов и кабелей сечением от 35 мм² до 240 мм² напряжением до 10 кВ. Закрепление наконечника на жилах проводов и кабелей осуществляется методом завинчивания болта со специальной срывной головкой, которая скручивается при достижении определенного усилия, обеспечивая надежное соединение. Наконечники болтовые кабельные изготавливаются из алюминиевого сплава В 95 по ГОСТ 21488—97. Климатическое исполнение наконечников — УХЛ3.

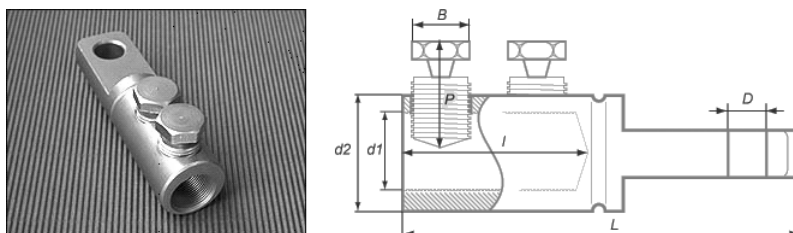


Рис. 17.56. Наконечники болтовые кабельные

Монтаж болтовых наконечников имеет те же преимущества, что и болтовых соединителей. В табл. 17.30 приведены основные размеры болтовых соединителей.

Таблица 17.30. Основные размеры болтовых кабельных наконечников

Тип наконечника	Размер, мм							Масса, г
	d1	d2	L	l	D	P	B	
2НБ 25/50	11	20	62	29	10	20	12	59
2НБ 70/120	17	28	81	38	12	23	17	106
2НБ 150/240	22	34	91	40	16	28	22	215

Соединение, ответвление и оконцевание алюминиевых и медных жил методом опрессовки. В основу метода опрессовки положен принцип обжима с местным вдавливанием трубчатой части соединительной гильзы или внешний обжим (рис. 17.57), а для опрессовки медных жил сечений до $2,5 \text{ мм}^2$ — принцип гребенчатого вдавливания.

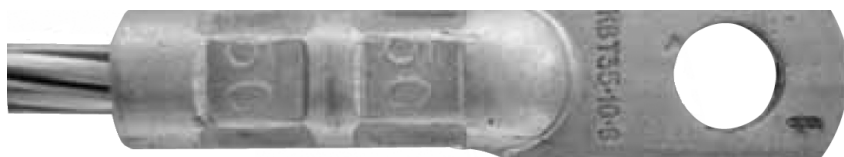


Рис. 17.57. Опрессованный обжимом кабельный наконечник

Обжим — это неразъемное соединение, обеспечивающее надежное электрическое и механическое соединение провода и контакта. Для надежного обжима необходимо, чтобы все компоненты процесса, а именно: провод (его строение и сечение), соединительная гильза или кабельный наконечник, инструмент и его правильная настройка, были правильно подобраны для совместной работы.

В процессе опрессовки обжимом сила сжатия материалов столь велика, что металлы «текут», а поверхностные окислы и плохо проводящие налеты на металле полностью разрушаются. Усилие прижима получается таким высоким, что гарантируется герметичность и невозможность последующего окисления точки соединения, провода и контактов при колебаниях температуры, вибрациях или в агрессивной атмосфере. Для достижения высокого качества обжимаемый наконечник и провод должны соответствовать друг другу.

Качество контакта при опрессовке определяется правильным выбором размеров соединительных гильз, рабочего инструмента и зависит от чистоты поверхности жилы и внутренней поверхности гильзы. Для лучшего разрушения пленки оксида алюминия перед опрессовкой в гильзу вводят пасту, состоящую из механической смеси вазелина и мелких частиц кварцевого песка. В процессе опрессования частицы кварцевого песка разрушают пленку оксида алюминия, а вазелин предотвращает новое образование оксидной пленки.

















При опрессовке алюминиевых и медных жил применяют два вида механизмов: механические и гидравлические пресс-клещи, развивающие усилие на пуансоне от 0,4 до 1,4 т, а также механические и гидравлические прессы, развивающие усилия от 5 до 13 т.

В табл. 17.31 приведены основные характеристики инструмента для опрессовки соединительных гильз и наконечников.





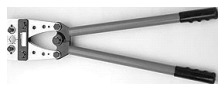







Пресс гидравлический ручной (рис. 17.58) состоит из рабочей головки 1, помпы-гидроцилиндра 2, рукоятки подвижной 3 и рукоятки неподвижной 4. Рабочая головка представляет собой корпус с отверстием для штока гидроцилиндра 8 и направляющими 5 для установки матриц. Ход матриц 6 в рабочей головке ограничен упорным штифтом 7. Угол поворота рабочей головки 360° .

Помпа-гидроцилиндр состоит из плунжерного насоса, гидроцилиндра, запорного клапана, штока и возвратной пружины. Положение запорного клапана («Открыть»—«Заккрыть») регулируется поворотом дроссельного винта 9.









Таблица 17.31. Основные характеристики инструмента для опрессовки соединительных гильз и наконечников

Инструмент		Обжим		Характеристика инструмента
Тип	Внешний вид	Поперечное сечение	Тип обжима	
Пресс-клещи				
ПК-6			Двойной обжим на жиле и изоляции	Встроенные профильные матрицы; Диапазон сечений: 0,5—6 мм ² ; Вес: 0,53 кг
ПК-16			Точечный обжим	Встроенные профильные матрицы; Диапазон сечений: 2,5—16 мм ² ; Концевые заглушки: КИЗ-4, КИЗ-5; Вес: 0,47 кг;
ПК-35			Точечный обжим	Встроенные профильные матрицы; Диапазон сечений: медных наконечников — 2,5—35 мм ² ; алюминиевых — 16—25 мм ² ; Вес: 0,76 кг
Пресс-клещи универсальные				
ПКУ-35			Точечный обжим	Встроенные матрицы револьверного типа; Диапазон сечений: медных наконечников — 10—35 мм ² ; алюминиевых — 16—25 мм ² ; Вес: 2,2 кг;
ПКУ-120			Точечный обжим	Встроенная V-образная матрица; Диапазон сечений: медных наконечников — 10—120 мм ² ; алюминиевых — 16—120 мм ² ; Вес: 3,28 кг
ПКУ-240			Точечный обжим	Встроенная V-образная матрица; Диапазон сечений: медных наконечников — 10—240 мм ² ; алюминиевых — 16—240 мм ² ; Телескопические рукоятки; Вес: 4,45 кг
Пресс-клещи гексагональные				
ПКГ-50			Гексагональный обжим	Встроенные матрицы револьверного типа; Диапазон сечений медных наконечников — 6—50 мм ² ; Вес: 1,5 кг
ПКГу-50			Гексагональный и точечный обжим	Сменные матрицы револьверного типа для гексагонального и точечного обжима; Диапазон сечений: медных наконечников — 6—50 мм ² ; алюминиевых — 16—35 мм ² ; Телескопические рукоятки; Вес: 1,52 кг





Продолжение табл. 17.31

Инструмент		Обжим		Характеристика инструмента
Тип	Внешний вид	Поперечное сечение	Тип обжима	
ПКГу-95			Гексагональный и точечный обжим	Сменные матрицы револьверного типа для гексагонального и точечного обжима; Диапазон сечений: медных наконечников — 16—95 мм ² ; алюминиевых — 16—70 мм ² ; Телескопические рукоятки; Вес: 2,94 кг
ПКГ-120М			Гексагональный обжим	Встроенные матрицы револьверного типа; Диапазон сечений медных наконечников — 10—120 мм ² ; Вес: 4,07 кг
ПКГ-120А			Гексагональный обжим	Встроенные профильные матрицы; Диапазон сечений алюминиевых наконечников — 16—120 мм ² ; Вес: 4,07 кг
Пресс-клещи механические				
ПКМ-240			Гексагональный обжим	Набор из 10 сменных матриц в комплекте; Диапазон сечений: медных наконечников — 16—185 мм ² ; алюминиевых — 16—240 мм ² ; Вес: 4,76 кг
ПКМу-240			Гексагональный обжим	Набор из 12 сменных матриц в комплекте; Диапазон сечений: медных наконечников — 6—185 мм ² ; алюминиевых — 16—240 мм ² ; Телескопические рукоятки. Вес: 2,4 кг
Пресс ручной гидравлический				
ПГР-70			Гексагональный обжим	Набор из 8 сменных матриц в комплекте; Диапазон сечений: медных наконечников — 4—70 мм ² ; алюминиевых — 16—70 мм ² ; Вращающаяся головка; Максимальное усилие — 5 т; Ход поршня — 12 мм; Вес — 1,83 кг

Продолжение табл. 17.31

Инструмент		Обжим		Характеристика инструмента
Тип	Внешний вид	Поперечное сечение	Тип обжима	
ПГР-120			Гексагональный обжим	Набор из 8 сменных матриц в комплекте; Диапазон сечений: медных наконечников — 10—120 мм ² ; алюминиевых — 16—120 мм ² ; Вращающаяся головка; Механизм быстрого хода поршня; Максимальное усилие: 8 т; Ход поршня: 16 мм; Вес 3,0 кг
ПГР-150			Точечный обжим	Револьверная матрица и набор из 4 сменных пуансонов в комплекте; Диапазон сечений: медных наконечников 16—120 мм ² ; алюминиевых 16—120 мм ² ; Вращающаяся головка; Максимальное усилие: 12 т; Ход поршня: 20 мм; Вес 3,83 кг
ПГР-300			Гексагональный обжим	Набор из 12 сменных матриц в комплекте; Диапазон сечений: медных наконечников 10—240 мм ² ; алюминиевых 16—240 мм ² ; Вращающаяся головка; Механизм быстрого хода поршня; Максимальное усилие: 12 т; Ход поршня: 20 мм; Вес 4,32 кг
ПГРс-300			Гексагональный обжим	Набор из 11 сменных матриц в комплекте; Диапазон сечений: медных наконечников 16—240 мм ² ; алюминиевых — 16—240 мм ² ; Вращающаяся головка; Механизм быстрого хода поршня; Механизм сброса давления; Максимальное усилие: 13 т; Ход поршня: 20 мм; Вес 4,13 кг

Окончание табл. 17.31

Инструмент		Обжим		Характеристика инструмента
Тип	Внешний вид	Поперечное сечение	Тип обжима	
ПГРС-300у			Гексагональный обжим	Набор из 9 сменных матриц в комплекте; Диапазон сечений: медных наконечников 35—240 мм ² ; алюминиевых — 10—300 мм ² ; Механизм быстрого хода поршня; Механизм автоматического сброса давления; Минимальное усилие при опрессовке; «С»-образная вращающаяся головка; Максимальное усилие: 13 т; Ход поршня: 30 мм; Вес 6,6 кг
ПГРС-400у			Гексагональный обжим	Набор из 9 сменных матриц в комплекте; Диапазон сечений: медных наконечников 50—240 мм ² ; алюминиевых — 10—400 мм ² ; Механизм быстрого хода поршня; Механизм автоматического сброса давления; «С»-образная вращающаяся головка; Максимальное усилие: 13 т; Ход поршня: 38 мм; Вес 11,5/ 7,4 кг

В модели ПГРС-300 предусмотрен дополнительный встроенный механизм автоматического сброса давления при достижении критической нагрузки.

Все модели прессов: ПГР-120, ПГР-300 и ПГРС-300 оснащены механизмом быстрого хода поршня, обеспечивающим минимальное число подкачек для полного выдвижения штока.

Возвратно-поступательные движения подвижной рукоятки приводят в действие плунжерный насос. В результате этого масло нагнетается в рабочую полость гидроцилиндра. Под давлением масла шток перемещает матрицы по направляющим рабочей головки. Матрицы смыкаются и опрессовывают изделие. После смыкания матриц необходимо прекратить нагнетание давления (в модели ПГРС-300 сброс давления происходит автоматически). Для разблокировки матриц необходимо повернуть дроссельный винт в положение «Открыть». Дроссельный винт открывает запорный клапан, и шток под воздействием возвратной пружины перемещается в исходное положение, размыкая матрицы.

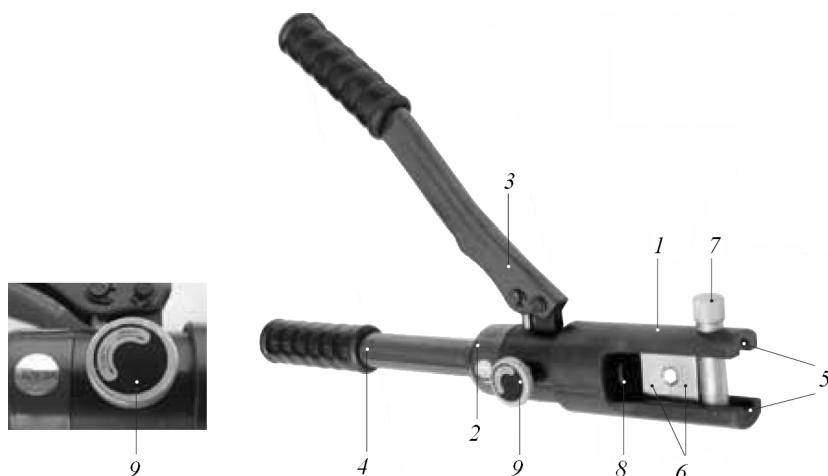


Рис. 17.58. Пресс ручной гидравлический

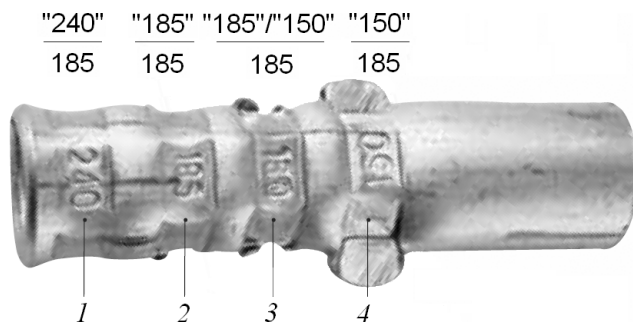
Алюминиевые жилы в соединительных гильзах опрессовывают по следующей технологии:

- подбирают тип и размер гильз, а также матрицы и пуансоны в соответствии с размерами гильз;
- проверяют наличие заводской смазки в гильзах и наконечниках, при отсутствии смазки гильзы и наконечники зачищают металлическим ершиком и смазывают защитной кварцево-вазелиновой или цинково-вазелиновой пастой;
- снимают с концов жил изоляцию: при оконцевании — на длине, равной длине трубчатой части наконечника, а при соединении — на длине, равной половине длины гильзы;
- зачищают концы токоведущих жил наждачной бумагой до металлического блеска, протирают тканью, смоченной в бензине, и покрывают кварцево-вазелиновой пастой;
- надевают на подготовленные жилы наконечник или гильзу;
- при оконцевании жилу вводят в наконечник до упора, а при соединении — так, чтобы торцы соединяемых жил соприкасались между собой в середине гильзы;
- устанавливают трубчатую часть наконечника или гильзу в матрицу и проводят опрессовку;
- изолируют соединение несколькими слоями изоляционной ленты.

Не разрешается на алюминиевую жилу опрессовывать медный наконечник, так как соединение будет непрочным из-за большой разности у меди и алюминия коэффициента линейного теплового расширения.

Технология опрессовки медных проводов аналогична технологии опрессовки алюминиевых проводов за исключением наложения кварцево-вазелиновой или цинково-вазелиновой пасты.

При опрессовке алюминиевых и медных жил необходимо следить за соответствием матриц номиналам медных, алюминиевых, алюмомедных наконеч-



1. Гильза опрессована матрицами «240». Изделие недожато (шестигранные матрицы не дожимают по углам).

2. Гильза опрессована матрицами «185». Изделие обжато оптимально (изделие в месте опрессовки принимает форму шестигранника; отсутствует облой).

3. Гильза опрессована матрицами «185», затем матрицами «150». Усиленный двойной обжим (поверх первичного обжима по его следу произведен повторный обжим матрицами меньшего размера). Изделие обжато оптимально (изделие в месте опрессовки принимает форму шестигранника; отсутствует облой).

4. Гильза опрессована матрицами «150». Изделие пережато (в местах смыкания матриц образовался толстый облой). Необходимо удалить облой.

Рис. 17.59. Опрессовка алюминиевой гильзы номиналом «185» различными размерами матриц

ников и гильз. Пример опрессовки алюминиевой гильзы номиналом «185» различными размерами матриц показан на рис. 17.59.

Кабельные наконечники и оконцеватели предназначены для оконцевания жил кабелей и проводов с целью обеспечения электрического контакта с токоприемными элементами электрической аппаратуры закрепляются опрессовкой. Наконечники изготавливаются из алюминия и меди (меднолуженые). Во всех случаях соединения должна быть обеспечена однородность по виду металла в местах соединения кабеля и аппаратуры для предотвращения образования гальванической пары и, как следствие, нарушения электрического контакта.

Маркировка наконечника включает в себя три элемента, рис. 17.60 и табл. 17.32:

- первая цифра — сечение присоединяемой жилы, мм²;
- вторая цифра — диаметр отверстия под крепящий элемент, мм;
- третья цифра — диаметр отверстия под токопроводящую жилу, мм.

Допускается применение луженых медных наконечников марки ТМЛ для опрессовки алюминиевых жил кабелей и проводов.

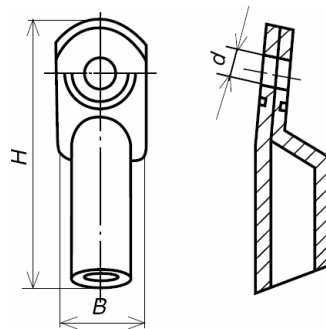


Рис. 17.60. Кабельный наконечник

Таблица 17.32. Наконечники для оконцевания проводов и жил кабелей методом опрессовки

Наименование	Размер		
	B	d	H
Медные наконечники марки ТМ и ТМЛ			
4-5-3	10	5,3	32
6-5-4	10	5,3	32
10-6-5	14	6,4	40
16-6-6	14	8,4	40
25-8-8	16	8,4	50
35-8-10	20	8,4	63
50-10-11	22	10,5	63
70-10-13	24	10,5	65
95-12-15	29	13	75
120-12-17	34	13	81
150-16-17	36	17	90
185-16-21	40	17	95
240-16-24	48	17	105
Алюминиевые наконечники марки ТА и ТМА			
16-8-5,4	16,5	8,4	59
25-8-7	18	8,4	62
35-10-8	20	10,5	63
50-10-9	23	10,5	65
70-10-11	25	10,5	86
95-12-13	28	13	89
120-12-14	33	13	96
150-12-16	34	13	107
185-16-18	36	17	116
240-20-20	40	17	126

Для перехода от алюминиевого наконечника на медную шину, при отсутствии медно-алюминиевых наконечников, необходима биметаллическая медно-алюминиевая (CuAl) шайба, гарантирующая надежный контакт алюминиевого провода с медной шиной. При установке шайбы медная сторона шайбы обращается к медной шине, алюминиевая сторона шайбы обращается к алюминиевому кабельному наконечнику, рис. 17.61. При затягивании болта в клемме рекомендуется придерживать кабель для ослабления передачи усилия зажима на корпус клеммы и монтажную шину.

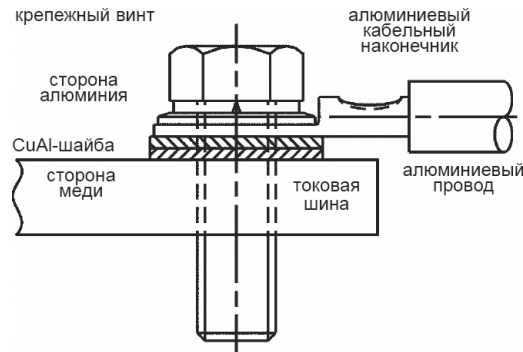


Рис. 17.61. Соединение алюминиевого кабельного наконечника с медной шиной

Соединение и ответвление однопроволочных алюминиевых жил сечением $2,5\text{--}10\text{ мм}^2$ опрессовкой выполняют в алюминиевых гильзах ГАО одним местным вдавливанием с вводом в гильзу проводов с одной стороны или при большем количестве ответвляемых жил применяют гильзы удвоенной длины с двусторонним вводом проводов и двумя вдавливаниями.

Опресовку производят в последовательности, показанной на рис. 17.62. При суммарном сечении жил меньше номинального, в гильзы вводят дополнительные проволоки. В процессе опрессовки вдавливание пуансона в гильзу производится до момента соприкосновения с заплечниками матрицы либо до срабатывания предохранительного устройства. Лунки от вдавливания должны располагаться на одной линии вдоль оси гильзы.

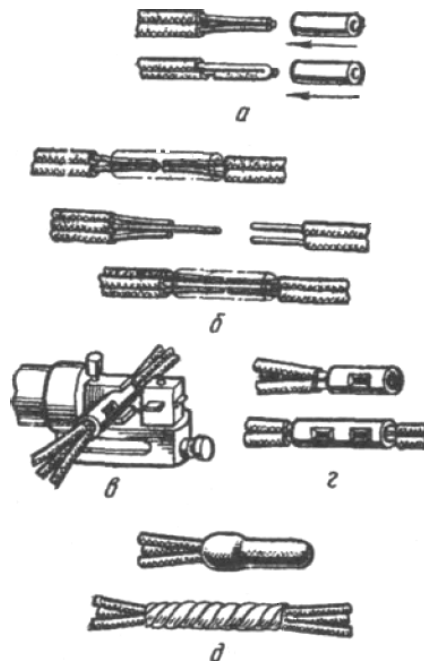


Рис. 17.62. Последовательность опрессовки алюминиевых проводов в гильзах: *а* — подготовка для односторонней опрессовки, *б* — подготовка для двусторонней опрессовки, *в* — процесс опрессовки, *г* — опрессованные соединения в гильзе, *д* — готовые изолированные соединения

Рекомендуемое количество опрессовок при монтаже наконечников и соединительных гильз приведено в табл. 17.33 и табл. 17.34, а на рис. 17.63 — показана последовательность опрессовки.

Таблица 17.33. Количество опрессовок при монтаже медных наконечников и соединительных гильз

Сечение, мм ²	Медные наконечники, типы: ТМ, ТМЛ			Медные гильзы, типы: ГМ, ГМЛ		
	Гексагональный метод		Точечный метод	Гексагональный метод		Точечный метод
	Узкие матрицы (5 мм)	Широкие матрицы (8—10 мм)		Узкие матрицы (5 мм)	Широкие матрицы (8—10 мм)	
2,5	2	—	1	4	—	2
4	2	1	1	4	2	2
6	2	1	1	4	2	2
10	2	1	1	4	2	2
16	2	1	1	4	2	2
25	2	1	1	4	2	2
35	2	1	1	4	2	2
50	3	1	1	6	2	2
70	3	1	1	6	2	2
95	4	2	1	8	4	2
120	4	2	1	8	4	2
150	—	2	1	—	4	2
185	—	2	1	—	4	2
240	—	2	1	—	4	2
300	—	2	—	—	4	—
400	—	3	—	—	6	—
500	—	3	—	—	6	—
630	—	3	—	—	6	—

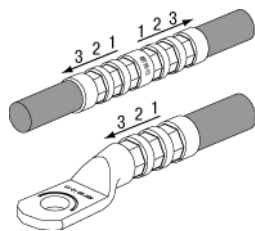


Рис. 17.63. Последовательность опрессовки при монтаже наконечников и соединительных гильз

Таблица 17.34. Количество опрессовок при монтаже алюминиевых наконечников и соединительных гильз

Сечение, мм ²	Медные наконечники, типы: ТА, ТАМ			Медные гильзы, типы: ГА, ГАМ		
	Гексагональный метод		Точечный метод	Гексагональный метод		Точечный метод
	Узкие матрицы (5 мм)	Широкие матрицы (8—10 мм)		Узкие матрицы (5 мм)	Широкие матрицы (8—10 мм)	
16	4	2	2	8	4	4
25	4	2	2	8	4	4
35	5	2	2	10	4	4
50	5	2	2	10	4	4
70	6	3	2	10	6	4
95	6	3	2	10	6	4
120	6	3	2	10	6	4
150	—	3	2	—	6	4
185	—	3	2	—	6	4
240	—	3	2	—	6	4
300	—	3	—	—	6	—
400	—	4	—	—	8	—
500	—	4	—	—	8	—
630	—	4	—	—	8	—

Соединение проводов пайкой. Подобное соединение обеспечивает долговечный контакт с отличной проводимостью, но для соединений, подвергающихся механическим воздействиям или нагреву, пайка не применяется.

Наибольшие трудности при соединениях пайкой вызывают алюминиевые жилы, на поверхности которых всегда имеется плохо проводящая, твердая и тугоплавкая оксидная пленка. После зачистки поверхности алюминия она мгновенно образуется вновь. При пайке эта пленка препятствует сцеплению с припоем.

Для пайки как медные, так и алюминиевые провода скручивают, предварительно очистив от изоляции. При этом нож следует держать не перпендикулярно проводу, а плашмя, с небольшим наклоном, чтобы не повредить жилы. Не держите зачищаемый провод на пальцах, так можно порезать руку. Для соединения двух, или более, проводов их скрещивают, рис. 17.64. Затем концом левого провода делают 7—8 оборотов, окружая им правый провод. Концом правого провода в другом направлении окружают левый провод.

Последовательность операций по ответвлению от провода с многопроволочной жилой в основном та же, отличие состоит в том, что жилы на конце ответвляемого провода после зачистки их до металлического блеска надо разделить на два одинаковых пучка и навить в двух противоположных направлениях, рис. 17.65.

На рис. 17.66 показано соединение многопроволочной жилы, на рис. 17.67 — примеры соединения многожильных кабелей.

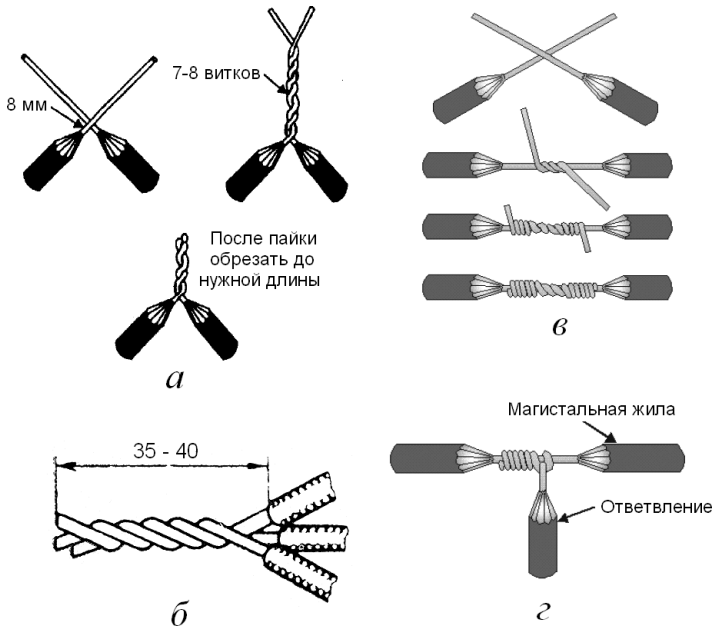


Рис. 17.64. Соединение жил однопроволочных проводов



Рис. 17.65. Ответвление от провода с многопроволочной жилой

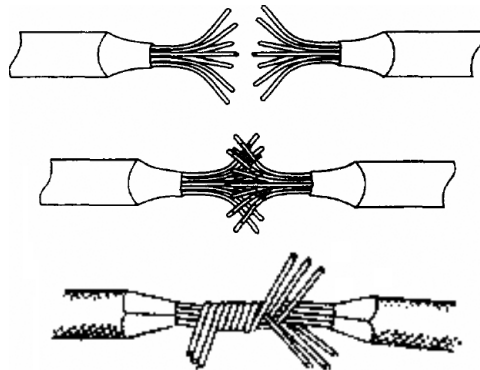


Рис. 17.66. Соединение многопроволочных жил

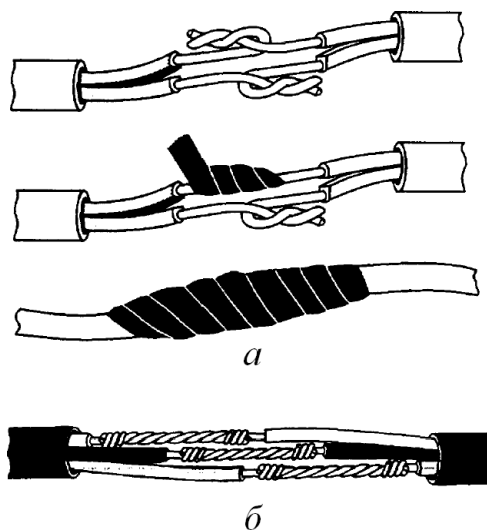


Рис. 17.67. Соединение жил кабеля параллельной (а) и последовательной скруткой (б)

Соединение и ответвление скруток алюминиевых жил нагревают в пламени пропано-воздушных горелок (например, табл. 17.35) и пропаивают припоями, составы которых приведены в табл. 17.36. Пайку скруток медных жил можно выполнять паяльником — электрическим или, при больших сечениях проводов, газовым, рис. 17.68.

Таблица 17.35. Пропано-воздушные горелки фирмы Rothenberger (Германия)

Наименование горелки	Внешний вид	Краткая характеристика
Рофлэйм пьезо		Сопло 22 мм с пьезоподжигом, может работать на ветру. Газовые баллончики С200 Супергаз. Температура пламени — 1800 °С. Рабочая температура — 650 °С. Вес — 750 г.
Турбопроф		Горелка оснащена турбинами с повышенной мощностью всасывания кислорода из воздуха и закручивания пламени на 4—5 оборотов, что обеспечивает обволакивающее пламя, более высокую температуру и равномерный нагрев места пайки. Сопло горелки, со штекерным соединением, выполненное из нержавеющей стали и латуни, дает очень короткое и узконаправленное пламя. Горелки комплектуются соплами диаметром 10, 12, 15, 18 и 24 мм

Таблица 17.36. Состав и температура плавления припоев

Название или обозначение припоя	Температура плавления, °С	Состав припоев %				
		цинк	олово	медь	алюминий	кадмий
Припой А	400—425	58—58,5	40	1,5—2	—	—
ЦО-12 Мосэнерго	500—550	73	12	—	15	—
П 150А	165	3,8	38,7	—	—	57,5
П 250А	250	20	80	—	—	—
П 300А	310	60	—	—	—	40



Рис. 17.68. Газовый паяльник фирмы Rothenberger имеет медное жало, согнутое под углом 45°, жало может поворачиваться на 360°

В промышленности и ремонтной практике для пайки монтажных элементов из алюминия и его сплавов, а также соединения их с медью и другими металлами применяют припои марок П150А, П250А и П300А. Пайку производят обычным паяльником, жало которого прогрето до температуры 350 °С, с применением флюса представляющего собой смесь олеиновой кислоты и йодида лития.

Для приготовления флюса, йодид лития (2—3 г) помещают в пробирку или колбу и добавляют 20 мл олеиновой кислоты (в состав флюса может входить от 5 до 17 % йодида лития). Смесь слегка подогревают до полного растворения соли. Готовый флюс сливают в чистую стеклянную посуду и охлаждают.

Перед пайкой жало хорошо прогретого паяльника (температура жала должна быть около 350 °С) зачищают и лудят припоем (П150А, П250А или П300А), пользуясь чистой канифолью. Соединяемые поверхности деталей смазывают флюсом, лудят и паяют. После охлаждения остатки флюса удаляют тампоном из ткани, смоченным в спирте, и покрывают шов защитным лаком.

Флюс в процессе пайки не выделяет токсичных или обладающих резким запахом веществ. С ткани и кожи рук он легко смывается водой с мылом.

Для пайки и облуживания медных жил обычно применяют оловянно-свинцовый припой ПОС-30 или ПОС-40. Цифры соответствуют содержа-

нию олова в процентах (по массе). Температура плавления этих припоев 255 °С и 234 °С соответственно. В качестве флюса для пайки и облуживания медных жил применяют канифоль, которую удобно использовать в виде 20 % спиртового раствора (по объему). Флюс наносится на жилы кисточкой.

Перед пайкой жилы зачищают мелкой наждачной бумагой до блеска, облуживают и закрепляют между собой. Основные виды соединений проводов под пайку показаны на рис. 17.69.

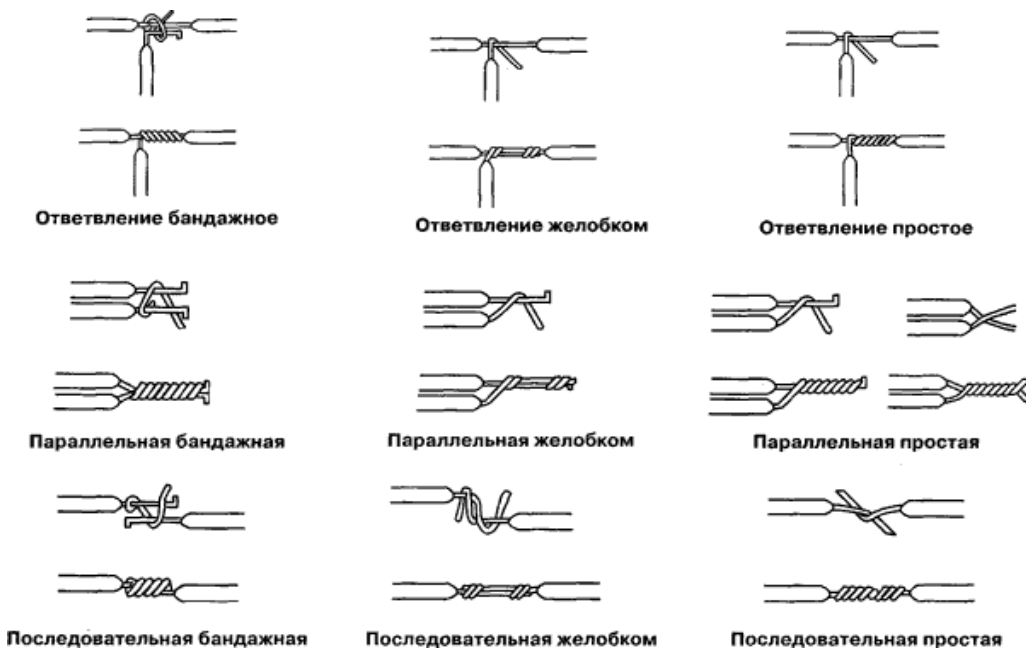


Рис. 17.69. Основные виды соединений проводов под пайку

Вид соединения выбирается в зависимости от материала жилы, ее сечения и т. п. При пайке алюминиевых жил рациональна скрутка желобком, в котором под слоем расплавленного припоя легче защищать жилы от оксидной пленки. Бандажная скрутка удобна для жил больших сечений, которые свить между собой трудно. В последнем случае удобно применить и совмещение бандажной скрутки с формированием желобка. Для бандажа берется медная проволока диаметром 0,6—1,5 мм, но не больше диаметра паяемых жил. Бандажная проволока облуживается, как и каждая подготовленная для пайки жила, в отдельности.

На пайку одной скрутки припоя потребуется больше, чем способно донести жало паяльника. Поэтому кончик палочки припоя подносят непосредственно к жалу паяльника, прогревающего скрутку, чтобы припой, расплавляясь, затекал в скрутку, рис. 17.70. Количество припоя будет достаточно, если он обволакивает скрутку так, что витки бандажа или скрутки просматриваются из-под слоя припоя.

После пайки остатки канифоли удаляют ватным тампоном, смоченным в ацетоне.

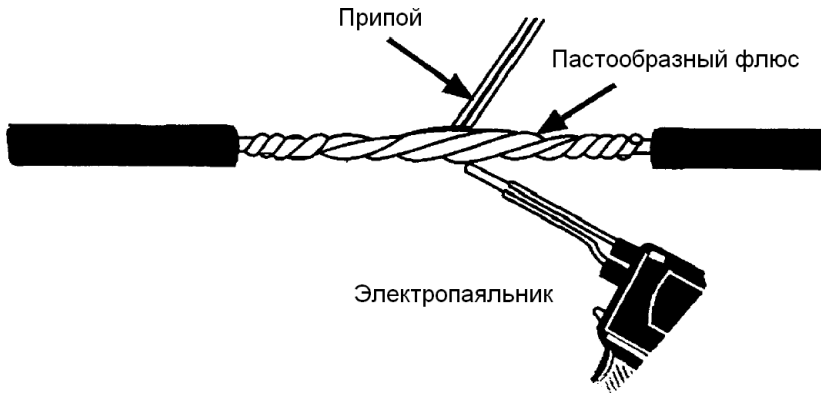


Рис. 17.70. Кончик палочки припоя подносят непосредственно к жалу паяльника

На рис. 17.71 приведена последовательность выполнения ответвления медных жил методом пайки.

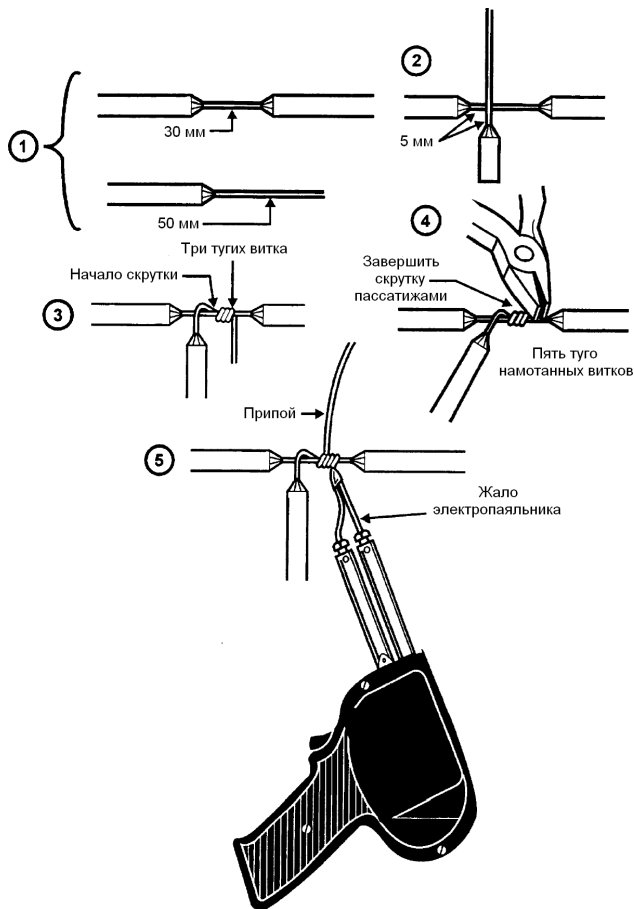


Рис. 17.71. Последовательность ответвления медных жил методом пайки

Технология пайки соединений и ответвлений однопроволочных алюминиевых жил сечением до 10 мм^2 следующая.

С концов соединяемых проводов снять изоляцию, после чего оголенные жилы зачистить до металлического блеска и соединить внахлестку двойной скруткой с образованием желобка в месте касания жил. Длина желобка для соединения и ответвления при различных сечениях жил указана на рис. 17.72.

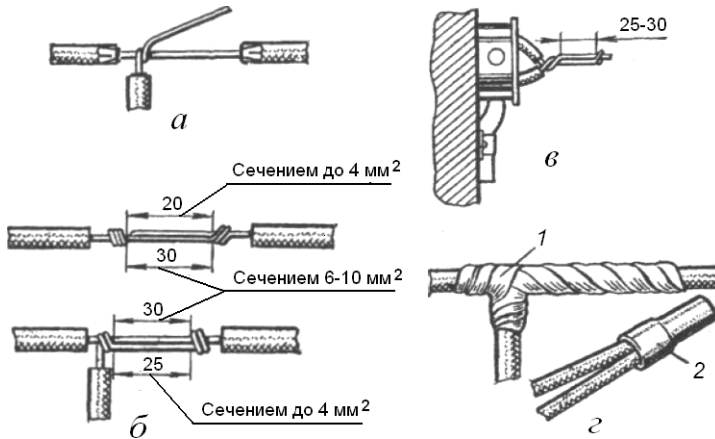


Рис. 17.72. Последовательность соединения и ответвления алюминиевых жил методом пайки: *а* — скрутка жил, *б, в* — подготовленные к пайке соединения, *г* — изолирование мест пайки; 1 — липкая лента, 2 — полиэтиленовый колпачок

Соединенные скруткой провода нагреть пламенем газовой горелки до температуры, близкой к температуре плавления припоя. После этого желобок протереть (с нажимом) с одной стороны соединения палочкой припоя, введенной предварительно в пламя горелки, рис. 17.73. В результате трения оксидная пленка сдвигается, желобок начинает облуживаться и заполняться припоем по мере прогрева места соединения, флюс при этом не требуется. Затем облуживают и опаявают желобок с другой стороны соединения. Одновременно протереть и облудить припоем внешние поверхности и места скрутки жил соединяемого участка.

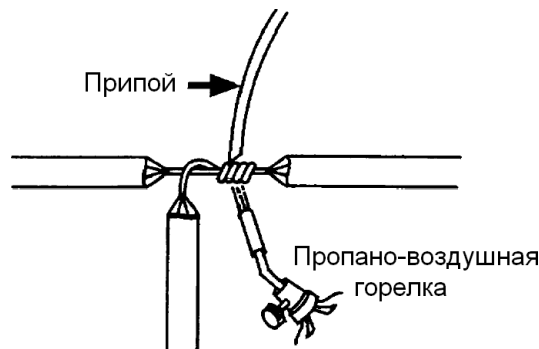


Рис. 17.73. Кончик палочки припоя вводят в пламя горелки

Места пайки соединяемых проводов подчистить, протереть тканью, смоченной бензином, покрыть влагонепроницаемым лаком и заизолировать изоляционной лентой.

Соединение проводов сваркой. Данный способ широко применялся в конце прошлого века. В настоящее время он потерял свою актуальность, на смену ему пришли опрессовка, инсталляционные и втычные клеммы. Но, к большому сожалению, в некоторых регионах страны его усиленно навязывает Энергонадзор и пожарные инспекторы (особенно это относится к жилым и культурно-бытовым помещениям).

Наиболее простой способ сварки алюминиевых жил проводов и кабелей сечением до 10 мм^2 , медных — до 4 мм^2 и алюминиевых с медными сечением $1,5\text{--}4 \text{ мм}^2$ — контактный разогрев их концов угольным электродом до образования расплавленного шарика. Нагрев происходит в точке соприкосновения электрода и жилы.

Сварку выполняют с помощью угольного электрода, установленного в электрододержателе и подключенного ко вторичной обмотке трансформатора напряжением $9\text{--}12 \text{ В}$, рис. 17.74. Мощность трансформатора $0,5 \text{ кВА}$. Цепь замыкают через держатель, в котором зажаты скрученные жилы.

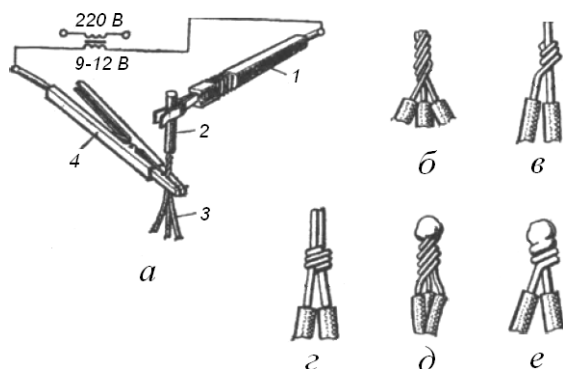


Рис. 17.74. Электросварка жил угольным электродом (а); алюминиевые жилы подготовленные к соединению (б); соединение алюминиевой жилы с медной (в—г); сварное соединение алюминиевых жил (д); сварное соединение алюминиевой и медной жил (е): 1 — электрододержатель, 2 — угольный электрод, 3 — алюминиевые однопроволочные провода, 4 — токопроводящий зажим

С концов жил проводов и кабелей, подлежащих сварке, снимают изоляцию: у алюминиевых и медных на длине $30\text{--}40 \text{ мм}$, а при соединении алюминиевой жилы с медной, у первой — на длине $50\text{--}65 \text{ мм}$, у второй — на длине $25\text{--}35 \text{ мм}$. Зачищают провода наждачной бумагой до блеска и скручивают, подготавливая их к соединению сваркой. При соединении алюминиевой жилы с медной, алюминиевую жилу навивают вокруг медной или вокруг сложенных вместе жил навивают отрезок алюминиевой проволоки сечением, равным сечению соединяемой алюминиевой жилы.

Для защиты расплава от кислорода воздуха применяют флюс «ВАМИ», состоящий из хлористого калия, хлористого натрия и криолита, взятых в соотношении $5:3:2$ (по массе). Можно обойтись и обычной бурой (тетраборатом натрия), продающейся в аптеках.

Место соединения покрывают тонким слоем флюса на длине 5–6 мм. Подготовленные концы жил располагают вертикально, зажимают в электродержателе и сваривают путем прикасания угольного электрода к их торцам. В процессе сварки угольный электрод прижимается к торцам жил до расплавления металла и образования сварного шарика. При сварке алюминиевых жил с медными электрод прижимают к выступающему концу медной жилы до тех пор, пока выступающая часть медной жилы и один-два витка алюминиевой жилы не расплавятся и не образуют сварной шарик.

После сварки соединение очищают от флюса, покрывают влагостойким электроизоляционным лаком и изолируют.

Хотя сварка проходит без брызг и капель расплавленного металла, для перестраховки ее следует выполнять в перчатках (лучше кожаных) и в защитных очках-светофильтрах. Полезно предварительно освоить технологию процесса на отрезках ненужных проводов, причем угольный электрод предварительно нужно обжечь (лучше всего на открытом воздухе).

Соединение проводов «скруткой», рис. 17.75. Скрутки (наконечники кабельные обжимные) предназначены для быстрого соединения и изоляции нескольких однопроволочных жил проводов без пайки. Внутри скрутки (полиамидного колпачка) запрессован металлический сердечник в виде конической пружины (из проволоки прямоугольного сечения), образующий резьбовую спираль. Скрутка осуществляет резьбовое соединение, нарезая резьбу на пучке проводов, создавая надежное электрическое неразъемное соединение. Скрутки применяются в электрических сетях с напряжением до 660 В. В табл. 17.37 приведены основные типы скруток.

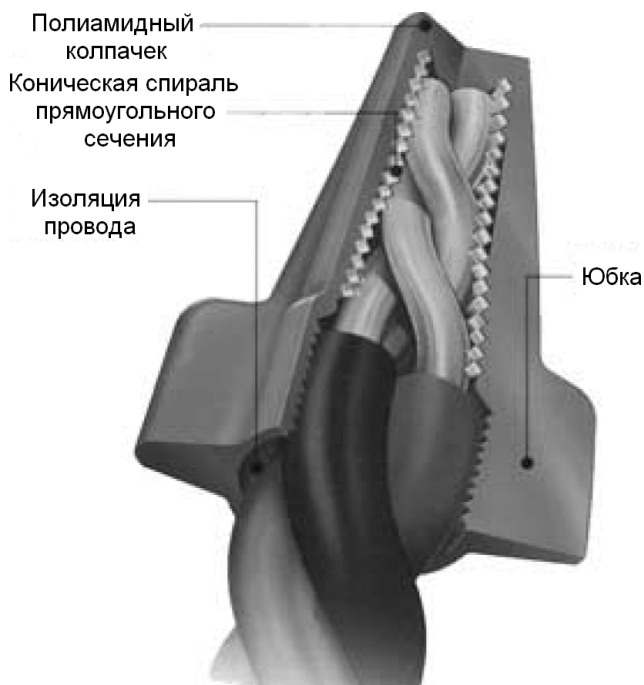













Рис. 17.75. «Скрутка» — наконечник кабельный обжимной

Таблица 17.37. Характеристики основных типов скруток

Наименование скрутки	Внешний вид	Размер (рис. 17.76), мм			Соединяемый провод
		L	B	C	
SW-Y11		25,8	15,5	8,5	—
SW-Y12		31,8	23,8	11,0	—
SW-Y13	—	33,2	27,0	14,0	—
SW-Y14				17,5	—
SW-72B		18,0	10,0	7,5	—
SW-74B	—	24,2	12,0	10,8	—
SW-78B		33,2	18,3	12,8	—
SP1		8,5	3,5	14,7	min. 0,75x1+0,5x1 max. 1,5x2
SP2		10,1	6,5	17,5	min. 0,75x3 max. 1,5x3
SP3		11,2	8,0	21,4	min. 0,75x3 max. 1,5x3+1x1
SP4		13,7	7,5	23,6	min. 2,5x1+0,75x1 max. 2,5x4+0,75x1
SP6		16,0	7,0	26,5	min. 0,25x2 max. 6x2+4x2
СИЗ-2		26	—	13	1,5x4; 2,5x3; 4x2
СИЗ-3		28	—	15	2,5x5

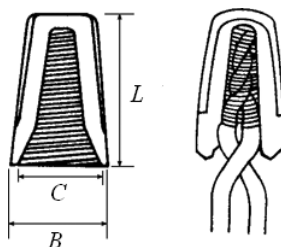


Рис. 17.76. Колпачки для скрутки проводов

17.3.6. Монтаж электропроводок

Выбор вида и способа прокладки электропроводки. Электрическая проводка состоит из проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями. Электропроводки разделяются на следующие виды:

- открытая электропроводка — проложенная по поверхности стен, потолков, по фермам и другим строительным элементам зданий и сооружений, по опорам и т. п. При открытой электропроводке применяются следующие способы прокладки проводов и кабелей: непосредственно по поверхности стен, потолков и т. п., на струнах, тросах, роликах, изоляторах, в трубах, коробах, гибких металлических рукавах, на лотках, в электротехнических плинтусах и наличниках, свободной подвеской и т. п. Открытая электропроводка может быть стационарной, передвижной и переносной;
- скрытая электропроводка — проложенная внутри конструктивных элементов зданий и сооружений (в стенах, полах, фундаментах, перекрытиях), а также по перекрытиям в подготовке пола, непосредственно под съемным полом и т. п. При скрытой электропроводке применяются следующие способы прокладки проводов и кабелей — в трубах, гибких металлических рукавах, коробах, замкнутых каналах и пустотах строительных конструкций, в заштукатуриваемых бороздах, под штукатуркой, а также замоноличиванием в строительные конструкции при их изготовлении;
- наружной электропроводкой называется электропроводка, проложенная по наружным стенам зданий и сооружений, под навесами и т. п., а также между зданиями на опорах (не более четырех пролетов длиной до 25 м каждый) вне улиц, дорог и т. п. Наружная электропроводка может быть открытой и скрытой;
- вводом от воздушной линии электропередачи называется электропроводка, соединяющая ответвление от ВЛ с внутренней электропроводкой, считая от изоляторов, установленных на наружной поверхности (стене, крыше) здания или сооружения, до зажимов вводного устройства.

Струной как несущим элементом электропроводки называется стальная проволока, натянутая вплотную к поверхности стены, потолка и т. п., предназначенная для крепления к ней проводов, кабелей или их пучков.

Полосой как несущим элементом электропроводки называется металлическая полоса, закрепленная вплотную к поверхности стены, потолка и т. п., предназначенная для крепления к ней проводов, кабелей или их пучков.

Тросом как несущим элементом электропроводки называется стальная проволока или стальной канат, натянутые в воздухе, предназначенные для подвески к ним проводов, кабелей или их пучков.

Коробом называется закрытая полая конструкция прямоугольного или другого сечения, предназначенная для прокладки в ней проводов и кабелей. Короб должен служить защитой от механических повреждений проложенных в нем проводов и кабелей. Короба могут быть глухими или с открываемыми крышками, со сплошными или перфорированными стенками и крышками. Глухие короба должны иметь только сплошные стенки со всех сторон и не иметь крышек. Короба могут применяться в помещениях и наружных установках.

Лотком называется открытая конструкция, предназначенная для прокладки на ней проводов и кабелей. Лоток не является защитой от внешних механических повреждений, проложенных на нем проводов и кабелей. Лотки изготавливаются из негорюемых материалов. Они могут быть сплошными, перфорированными или решетчатыми. Лотки могут применяться в помещениях и наружных установках.

Электропроводка должна соответствовать условиям окружающей среды, назначению и ценности сооружений, их конструкции и архитектурным особенностям. При выборе вида электропроводки и способа прокладки проводов и кабелей должны учитываться требования электробезопасности и пожарной безопасности. Кроме того, электропроводка должна обеспечивать возможность легкого распознавания по всей длине проводников по цветам:

- голубого цвета — для обозначения нулевого рабочего или среднего проводника электрической сети;
- двухцветной комбинации зелено-желтого цвета — для обозначения защитного или нулевого защитного проводника;
- двухцветной комбинации зелено-желтого цвета по всей длине с голубыми метками на концах линии, которые наносятся при монтаже — для обозначения совмещенного нулевого рабочего и нулевого защитного проводника;
- черного, коричневого, красного, фиолетового, серого, розового, белого, оранжевого, бирюзового цвета — для обозначения фазного проводника.

Выбор вида и способа прокладки определяют в зависимости от условий надежности, долговечности, безопасности, гигиеничности, а также из эстетических соображений. С учетом этих положений в цехах промышленных предприятий и во вспомогательных помещениях жилых и общественных зданий применяют преимущественно открытые виды электрической проводки с прокладкой проводов и кабелей на тросах, изоляторах, роликах непосредственно по поверхности стен и потолков, а также открыто в стальных тонкостенных, винипластовых и других трубах, на лотках и в коробах.

В жилых и общественных зданиях, в школах, административных зданиях, к которым предъявляются повышенные гигиенические и эстетические требования, применяют преимущественно скрытые виды электрической проводки.

При подборе проводов или кабелей для электроустановок необходимо выбрать не только провод или кабель подходящей марки, но и необходимую площадь сечения токоведущих жил. Площадь сечения проводов и кабелей должна быть выбрана с таким расчетом, чтобы рабочий ток не создавал перегрева проводов, была обеспечена достаточная механическая прочность электрической проводки, и обеспечивался требуемый уровень напряжения у электроприемников.

Подготовительные работы. Монтаж внутренней проводки условно делят на две стадии: подготовительную, во время которой выполняют разметочные и заготовительные работы; основную, во время которой прокладывают провода и делают все необходимые соединения.

К подготовительным работам относятся:

- ознакомление с рабочими чертежами проекта электроустановки и монтажными схемами;
- разметка мест установки электрооборудования, светильников, арматуры, коммутационных аппаратов, электрических щитков и линий прокладки проводов;
- выполнение в строительных основаниях отверстий и гнезд;
- сверление проходов через стены и другие элементы строительных конструкций, изготовление борозд (штробов) для скрытой проводки;
- установка крепежных деталей, предназначенных для закрепления на них оборудования;
- установка и закрепление электрооборудования, щитков, коммутирующих аппаратов, осветительных приборов.

Разметка элементов электропроводки. В проектах на новое строительство или реконструкцию существующих зданий и сооружений не всегда указывают точно места установки элементов электропроводки, поэтому правильное определение мест установки всех элементов должно быть основано на точном соблюдении нормированных расстояний элементов проводки от пола, проходов, трубопроводов, каналов, различных технологических машин и оборудования. Особенно должны учитываться специфика и назначение помещения, его пожароопасность и химическая агрессивность среды.

Для прокладки проводов и установки пускозащитного, регулирующего и распределительного электрооборудования должны быть выбраны преимущественно сухие основания и места, удобные для их обслуживания и выполнения всех технологических операций производственного назначения.

Элементы электропроводки можно размечать двумя способами.

Сначала размечают места для элементов электропроводки во всех помещениях, а затем размечают магистральные участки, идущие к групповому щитку.

При втором способе разметку начинают от группового (вводного) щитка и после этого переходят в отдельные помещения.

В каждом помещении, прежде всего, намечают места установки электрооборудования, подвески светильников, установки штепсельных розеток, выключателей и другой аппаратуры, необходимой для производственных нужд. Затем определяют места установки вводных устройств, групповых щитков, силовых сборок, защитной аппаратуры, проходов через перекрытия, мест непо-

средственного прохождения проводов в зависимости от магистрали питания, удобства обслуживания с учетом соблюдения норм электро- и пожаробезопасности и исключения помех производственному циклу.

Если потребуется, по проекту или по указанию соответствующих служб, должны быть определены места установки элементов проводки других видов освещения (аварийного, местного, безопасного и др.).

Места установки светильников можно размечать непосредственно на потолке (при его отсутствии на несущих фермах или перекрытиях) или на полу с перенесением полученных точек на потолок с помощью отвеса.

Если в помещении требуется установить один светильник, его место обычно выбирают в центре. Если устанавливают два светильника, то в начале определяют среднюю линию, которую делят на четыре части. Две первые точки от центра будут местом крепления светильников. В производственных помещениях светильники располагают, как правило, в шахматном порядке.

Выключатели и штепсельные розетки должны быть удалены не менее чем на 0,5 м от заземленных частей оборудования, трубопроводов, раковин и т. п.

Штепсельные розетки должны устанавливаться:

- в производственных помещениях, как правило, на высоте 0,8—1,0 м; при подходе проводов сверху допускается установка на высоте до 1,5 м;
- в административно-конторских, лабораториях, жилых и других помещениях на высоте, удобной для присоединения к ним электрических приборов, в зависимости от назначения помещения и оформления интерьера, но не выше 1 м. Допускается установка штепсельных розеток в (на) специально приспособленных для этого плинтусах, выполненных из негорючих материалов;
- в школах и детских учреждениях (в помещениях для пребывания детей) на высоте 1,8 м.

Выключатели для светильников общего освещения должны устанавливаться на высоте от 0,8 до 1,7 м от пола, а в школах, детских яслях и садах, в помещениях для пребывания детей — на высоте 1,8 м от пола. Выключатели устанавливают, как правило, у входа в помещение (внутри или вне его), и размещают так, чтобы их не закрывала открывающаяся дверь. Допускается установка выключателей под потолком с управлением при помощи шнура.

После того, как размечены места установок вводных устройств, групповых щитков, силовых сборок, токоприемников, штепсельных розеток, аппаратуры защиты и управления размечают линии прокладки проводов. Линии отбивают, как правило, с помощью «шнурки» или крученного шпагата, натягиваемых между двумя точками прямого участка линии и предварительно натертых мелом или окрашенных синькой, сухой охрой или другими красителями.

Линии под одиночные крепежные изделия размечают по центрам установки крепежа, а под скобы — в две линии.

При разметке осветительных проводок в зрелищных, спортивных, школьных, больничных и других культурно-бытовых, а также в различных производственных помещениях из-за сложной конфигурации помещений и строительных конструкций, а также из-за наличия нескольких видов проводок для обеспечения питания силовых токоприемников, рабочего дежурного, местно-

го и аварийного освещения необходимо тщательно разобраться в электрических и монтажных схемах этих помещений, ясно представить себе назначение и направление проводок в каждом помещении.

При разметке проводок нужно учитывать следующее.

1. В стальных и других механически прочных трубах, рукавах, коробах, лотках и замкнутых каналах строительных конструкций зданий допускается совместная прокладка проводов и кабелей (за исключением взаиморезервируемых):

- всех цепей одного агрегата;
- силовых и контрольных цепей нескольких машин, панелей, щитов, пультов и т. п., связанных технологическим процессом;
- цепей, питающих сложный светильник;
- цепей нескольких групп одного вида освещения (рабочего или аварийного) с общим числом проводов в трубе не более восьми;
- осветительных цепей до 42 В с цепями выше 42 В при условии заключения проводов цепей до 42 В в отдельную изоляционную трубу.

2. В одной трубе, рукаве, коробе, пучке, замкнутом канале строительной конструкции или на одном лотке запрещается совместная прокладка взаиморезервируемых цепей, цепей рабочего и аварийного эвакуационного освещения, а также цепей до 42 В с цепями выше 42 В. Прокладка этих цепей допускается лишь в разных отсеках коробов и лотков, имеющих сплошные продольные перегородки с пределом огнестойкости не менее 0,25 ч из негоряемого материала. Допускается прокладка цепей аварийного (эвакуационного) и рабочего освещения по разным наружным сторонам профиля (швеллера, уголка и т. п.).

3. При переменном или выпрямленном токе прокладка фазных и нулевого (или прямого и обратного) проводников в стальных трубах или в изоляционных трубах со стальной оболочкой должна осуществляться в одной общей трубе. Допускается прокладывать фазный и нулевой рабочий (или прямой и обратный) проводники в отдельных стальных трубах или в изоляционных трубах со стальной оболочкой, если длительный ток нагрузки в проводниках не превышает 25 А.

4. В производственных нормальных помещениях допускается использование стальных труб и тросов открытых электропроводок, а также металлических корпусов открыто установленных токопроводов, металлических конструкций зданий, конструкций производственного назначения (например, фермы, колонны, подкрановые пути) и механизмов в качестве одного из рабочих проводников линии в сетях напряжением до 42 В. При этом должны быть обеспечены непрерывность и достаточная проводимость этих проводников, видимость и надежная сварка стыков. Использование указанных выше конструкций в качестве рабочего проводника не допускается, если конструкции находятся в непосредственной близости от сгораемых частей зданий или конструкций.

5. При открытой прокладке защищенных проводов (кабелей) с оболочками из сгораемых материалов и незащищенных проводов расстояние в свету от провода (кабеля) до поверхности оснований, конструкций, деталей из сгораемых материалов должно составлять не менее 10 мм. При невозможности обес-

печить указанное расстояние провод (кабель) следует отделять от поверхности слоем несгораемого материала, выступающим с каждой стороны провода (кабеля) не менее чем на 10 мм.

6. При скрытой прокладке защищенных проводов (кабелей) с оболочками из сгораемых материалов и незащищенных проводов в закрытых нишах, в пустотах строительных конструкций (например, между стеной и облицовкой), в бороздах и т. п. с наличием сгораемых конструкций необходимо защищать провода и кабели сплошным слоем несгораемого материала со всех сторон.

7. При открытой прокладке труб и коробов из трудносгораемых материалов по несгораемым и трудносгораемым основаниям и конструкциям расстояние в свету от трубы (короба) до поверхности конструкций, деталей из сгораемых материалов должно составлять не менее 100 мм. При невозможности обеспечить указанное расстояние трубу (короб) следует отделять со всех сторон от этих поверхностей сплошным слоем несгораемого материала (штукатурка, алебастр, цементный раствор, бетон и т. п.) толщиной не менее 10 мм.

8. При скрытой прокладке труб и коробов из трудносгораемых материалов в закрытых нишах, в пустотах строительных конструкций (например, между стеной и облицовкой), в бороздах и т. п. трубы и короба следует отделять со всех сторон от поверхностей конструкций, деталей из сгораемых материалов сплошным слоем несгораемого материала толщиной не менее 10 мм.

9. Открытую прокладку незащищенных изолированных проводов непосредственно по основаниям, на роликах, изоляторах, на тросах и лотках следует выполнять:

- при напряжении выше 42 В в помещениях без повышенной опасности и при напряжении до 42 В в любых помещениях — на высоте не менее 2 м от уровня пола или площадки обслуживания;
- при напряжении выше 42 В в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных — на высоте не менее 2,5 м от уровня пола или площадки обслуживания.

Данные требования не распространяются на спуски к выключателям, розеткам, пусковым аппаратам, щиткам, светильникам, устанавливаемым на стене.

В производственных помещениях спуски незащищенных проводов к выключателям, розеткам, аппаратам, щиткам и т. п. должны быть защищены от механических воздействий до высоты не менее 1,5 м от уровня пола или площадки обслуживания. В бытовых помещениях промышленных предприятий, в жилых и общественных зданиях указанные спуски допускается не защищать от механических воздействий.

В помещениях, доступных только для специально обученного персонала, высота расположения открыто проложенных незащищенных изолированных проводов не нормируется.

10. При пересечении незащищенных и защищенных проводов и кабелей с трубопроводами расстояния между ними в свету должны быть не менее 50 мм, а с трубопроводами, содержащими горючие или легковоспламеняющиеся жидкости и газы — не менее 100 мм. При расстоянии от проводов и кабелей до трубопроводов менее 250 мм провода и кабели должны быть дополнитель-

но защищены от механических повреждений на длине не менее 250 мм в каждую сторону от трубопровода.

11. При параллельной прокладке расстояние от проводов и кабелей до трубопроводов должно быть не менее 100 мм, а до трубопроводов с горючими или легковоспламеняющимися жидкостями и газами — не менее 400 мм.

Работы по разметке электропроводки выполняют, как правило, двое рабочих со стремянок, устанавливаемых в противоположных концах помещения.

При наличии разметочного шеста пользуются одной стремянкой. Один из работающих со свободным концом «шнурки» располагается на стремянке, второй с шестом прикладывает ее на противоположной стороне помещения. Первый работающий на стремянке натягивает «шнурку» и отбивает нужную линию и т. д.

Разметка линий для скрытой электропроводки упрощается, так как не требует большой точности нанесения горизонтальных и вертикальных линий. Точность определения мест установки токоприемников и другой аппаратуры сохраняется для любого вида проводки.

После окончания разметки, перед началом монтажных работ, комплектуют крепежные изделия в зависимости от вида и способа выполнения электропроводки, а также комплектуют остальные элементы электропроводки в соответствии с проектом.

Пробивные работы. Пробивные работы являются наиболее трудоемкими. Содержание работ включает выполнение в строительных конструкциях отверстий: под закладные детали; под гнезда и ниши для осветительных и установочных коробок, групповых щитков; для проходов трасс сквозь стены и перекрытия.

В современном строительстве принимают необходимые меры для того, чтобы большая часть этих работ выполнялась в заводских условиях в процессе изготовления соответствующих строительных конструкций. Однако остается еще много случаев, когда все-таки приходится выполнять их на месте. В этих случаях применяют различные средства механизации:

- для получения отверстий используют ударные дрели со сверлами, снабженными на режущих кромках твердосплавными пластинками, и перфораторы;
- для создания борозд используют механизмы, рабочим инструментом которых служит фреза, прорезающая борозду глубиной 20 мм и шириной 6—8 мм.

Крепление электропроводок, установочных изделий и различных конструкций. При производстве электромонтажных работ невозможно обойтись без крепежных деталей. Это могут быть гвозди или шурупы-саморезы (рис. 17.77), то есть изделия, которые непосредственно сами, без дополнительных приспособлений способны скреплять материал и нести соответствующую нагрузку. Применительно к древесине, листам гипсокартона или тонким металлическим элементам, сцепление, возникающее меж-

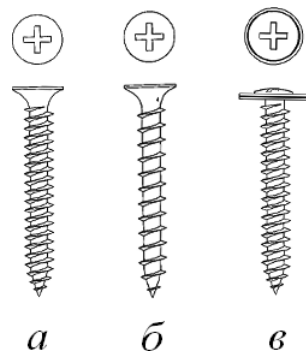


Рис. 17.77. Шурупы-саморезы: а — полимерные материалы—металл; б — по дереву; в — металл—металл

ду подобными простыми крепежными деталями и материалом, вполне достаточно для надежной фиксации и восприятия конструктивных нагрузок.

Вместе с тем, если основание состоит из бетона, камня или кирпича, т. е. обладает большей твердостью, то применение подобного крепежа не может решить возникающие задачи (достаточно попробовать вбить гвоздь в бетон, чтобы убедиться в справедливости этого утверждения). В этом случае применяется анкер.

Анкер в переводе с немецкого означает «якорь», т. е. само название объясняет принцип его действия. Крепежный элемент сопрягается с массивом основания не напрямую, а через анкер или дюбель, которые и создают необходимый момент сцепления. Строго говоря, сложно провести четкое разграничение между анкером и дюбелем. На наш взгляд, анкером или дюбелем является элемент, который определенным (механическим или химическим) образом повышает сцепление между основным крепежным изделием и основанием до необходимого уровня. По сути, дюбель является более легкой разновидностью анкера, рис. 17.78.

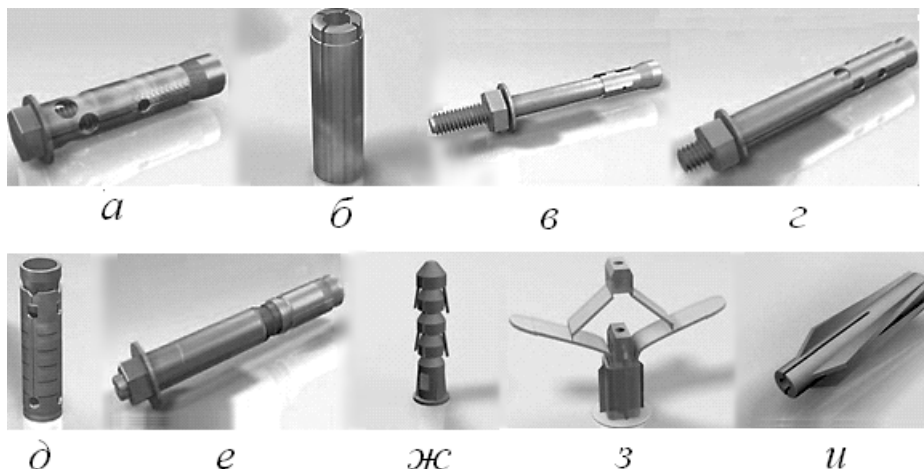


Рис. 17.78. Анкерный болт (а), забивной анкер (б), анкер-шпилька (в), анкерный болт с гайкой (г), анкерный болт (д), распорный анкер высокой нагрузки (е), пластмассовый дюбель под саморез (ж), дюбель для монтажа в гипсокартоне (з) и дюбель для монтажа в газобетоне (и)

Дюбель (распорный дюбель) применяется для крепления электропроводок и различных небольших изделий к строительным конструкциям из бетона или кирпича. Дюбель слегка сужен к одному концу и вдоль своей оси имеет несколько разрезов, не доходящий до широкого конца. По центру у него имеется сквозное отверстие под шуруп-саморез. Для установки дюбеля в кирпичном или бетонном основании делают отверстие так, чтобы дюбель плотно входил в него. При заворачивании крепежного шурупа в дюбель создается распор, прочно удерживающий его в отверстии, рис. 17.79.

Для крепления установочных изделий (стоек кабельных лотков и каналов, электрооборудования и т. п.) применяют металлические распорные и химические анкеры, рис. 17.80. Химический анкер — это стеклянная ампула с клеящим веществом (полиэфирной смолой) в сочетании с химической шпилькой.

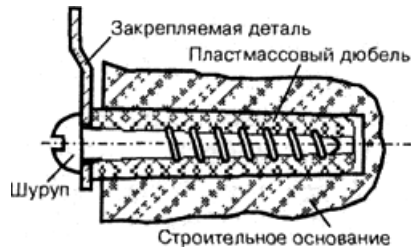


Рис. 17.79. Крепление пластмассовым дюбелем

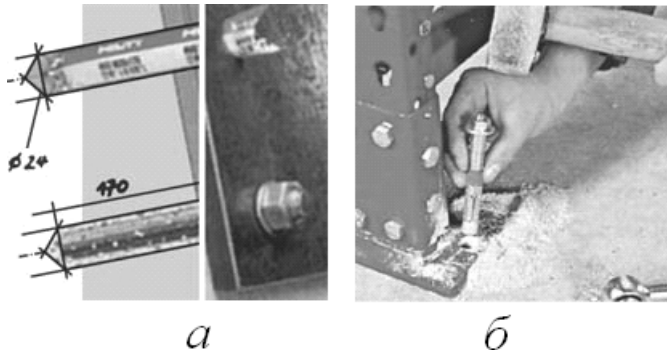


Рис. 17.80. Крепление анкерных болтов: а — химический анкер; б — распорный анкер

Может использоваться для крепления различных материалов под водой. Хорошо выдерживает воздействие агрессивной среды. К числу достоинств можно также отнести небольшой относительно шпильки размер отверстия. При необходимости можно использовать последовательно две ампулы, что увеличивает глубину и надежность крепления.

После подготовки отверстия в него устанавливается ампула, которую затем следует пробурить шпилькой, используя низкооборотистую дрель с ударной насадкой. Для твердения клеящего вещества должно пройти некоторое время, в течение которого анкер не следует нагружать. Продолжительность твердения зависит от температуры окружающей среды и может составлять от 10 мин. при температуре более 20 °С до 5 час. при температуре минус 5 °С.

Рассмотрим более подробно основные типы анкеров и дюбелей.

Стандартный распорный дюбель, рис. 17.81. Применяется для любых материалов из бетона и кирпича. Крепление элементов электромонтажных изделий производится с помощью шурупов-саморезов. Блокировочные язычки предотвращают проворачивание дюбеля в отверстии. Высококачественный нейлон обеспечивает устойчивость к атмосферным воздействиям, а так же старению, ржавчине и гниению. Диапазон рабочих температуры от -40 до +80 °С.



Рис. 17.81. Стандартный распорный дюбель

Стандартный распорный дюбель SX, рис. 17.82. Применяется для всех видов материалов из бетона и кирпича — от пустотелого кирпича до пустотелых блоков и газобетона. Дюбель имеет 4-х стороннее расширение, которое обеспечивает постоянную бло-

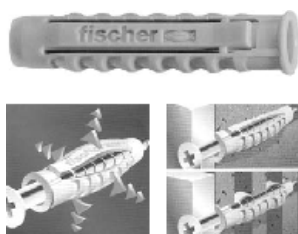


Рис. 17.82. Стандартный распорный дюбель SX

кировку с основой. Это качество гарантирует реализацию максимальных нагрузочных характеристик. Высококачественный нейлон обеспечивает устойчивость к атмосферным воздействиям, а так же старению, ржавчине и гниению. Диапазон рабочих температуры от -40 до $+80$ °С.

В табл. 17.38 приведены характеристики пластмассовых дюбелей.

Таблица 17.38. Характеристика пластмассовых дюбелей

Типоразмер	Диаметр дюбеля, мм	Длина дюбеля, мм	Диаметр сверла, мм	Глубина сверления, мм	Минимальная глубина анкеровки, мм	Диаметр шурупа, мм
6x30	6	30	6	40	30	4—5
8x40	8	40	8	50	40	4,5—6
10x50	10	50	10	70	50	6—8
12x60	12	60	12	80	60	8—10

Шпилька-шуруп (рис. 17.83) рекомендуется для крепления деталей в пластмассовый дюбель соответствующего диаметра или в дерево, с предварительным сверлением, при помощи метрического крепежа. Шпилька имеет с одной стороны шурупную резьбу и метрической с другой. Между метрической резьбой и шурупной резьбой имеется шестигранник, для закручивания шпильки шурупа. В табл. 17.39 приведены характеристики шпильки-шурупа.

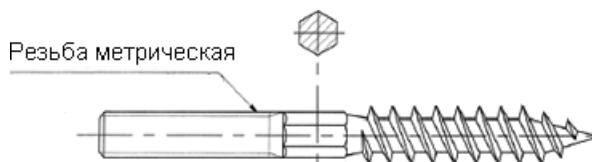


Рис. 17.83. Шпилька-шуруп

Таблица 17.39. Характеристика шпильки-шурупа

Обозначение	Диаметр метрической резьбы, мм	Общая длина, мм	Шаг метрической резьбы, мм	Шаг шурупной резьбы, мм	Диаметр шурупной резьбы, мм	Длина метрической резьбы, мм	Длина шурупной резьбы, мм	Размер под ключ, мм
8x80	M8	80	1,25	3,0—3,2	6,85—7,00	30,0	40,0	5,75—6,0
10x100	M8	100	1,25	3,0—3,2	6,85—7,00	40,0	45,0	5,75—6,0

Дюбель многофункциональный, полипропиленовый (рис. 17.84) и дюбель UX (рис. 17.85). Дюбель соединяет в себе две функции: распирающее и изгибающее. Применяется для бетона, полнотелых и пустотелых кирпичей, пустотелых блоков, газобетона, гипсокартона и строительных плит толщиной более 6 мм. Дюбель подходит для случаев, когда не имеется представления о свойствах строительного материала в который будет крепиться дюбель.

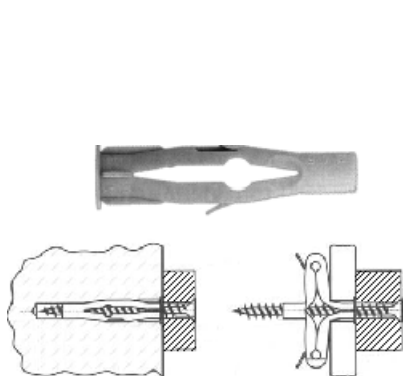


Рис. 17.84. Дюбель многофункциональный полипропиленовый

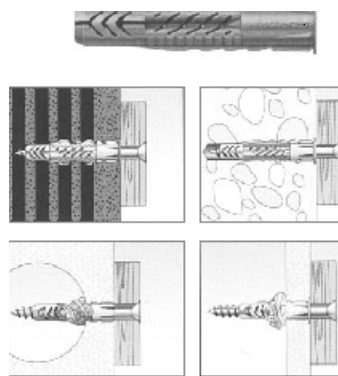


Рис. 17.85. Дюбель многофункциональный UX

В табл. 17.40 приведены характеристики многофункциональных пластмассовых дюбелей.

Таблица 17.40. Характеристика многофункциональных пластмассовых дюбелей

Типоразмер	Диаметр дюбеля, мм	Длина дюбеля, мм	Диаметр сверла, мм	Глубина сверления, мм	Глубина анкерования, мм	Диаметр шурупа, мм
6x35	6	35	6	45	35	4—5
8x50	8	50	8	60	50	4,5—6
10x60	10	60	10	70	60	6—8

Дюбель для гипсокартона HLD («бабочка»), рис. 17.86. Дюбель HLD предназначен для установки в гипсокартон, бетон и кирпич и применяется для крепления электрических и иных легких коммуникаций. Дюбель устанавливается в заранее просверленное отверстие. Закрепляемый материал присоединяется шурупом, который должен превышать длину дюбеля, как минимум на один диаметр шурупа. Нагрузка, закрепленная к дюбелю, удерживается за счет сил трения и упора поверхности лепестков, расклиненных шурупом в базовом материале.

Анкер HHD-S для гипсокартона (рис. 17.87) — специализированный анкер для установки в полые материалы для малых нагрузок. Идеально подходит для крепежных работ по гипсокартону. При затяжке винта до упора производит контролируемое расклинивание внутри отверстия. Анкер удерживает нагрузку за счет упора расклиненных частей гильзы внутри отверстия. Применяется для установки электрических и иных легких коммуникаций, а также легкого оборудования.

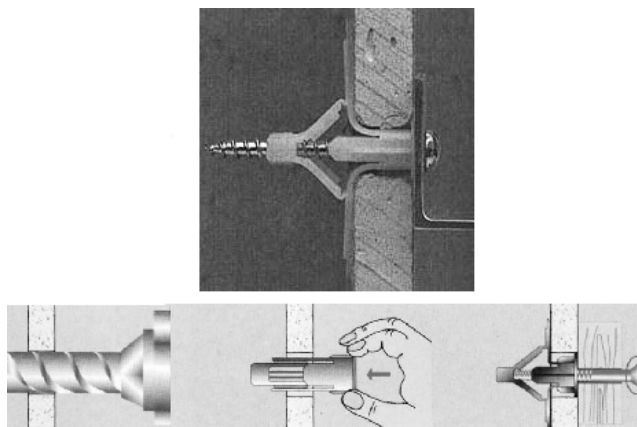


Рис. 17.86. Дюбель «бабочка» и его установка

Дюбель *Driva* (рис. 17.88) применяется для быстрой установки в гипсокартонную стену. Конструкция дюбеля предотвращает самопроизвольное его выкручивание и обеспечивает крепление без усилия на распираение. После монтажа к нему прикрепляется материал при помощи шурупа-самореза. При необходимости дюбель может быть вывернут из стены. В табл. 17.41 приведены характеристики дюбелей.

Таблица 17.41. Характеристика дюбелей *Driva*

Типоразмер	Диаметр дюбеля, мм	Длина дюбеля, мм	Диаметр сверла, мм	Минимальное расстояние до стены, мм	Диаметр шурупа, мм
15x23 нейлон	13—15	23	6	26	4—5
15x38 металл	13—15	38	8	44	4—5

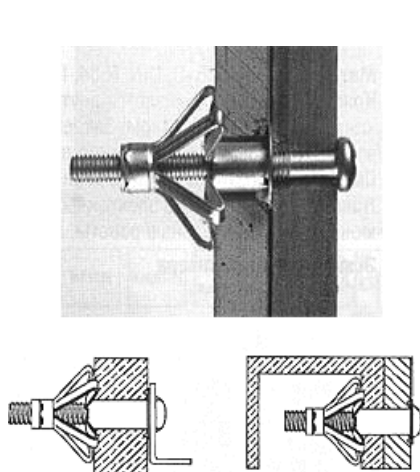
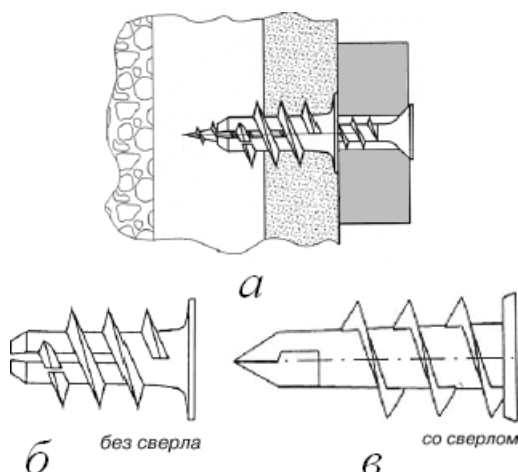


Рис. 17.87. Анкер ННД-S для гипсокартона

Рис. 17.88. Дюбель *Driva*: а — крепление изделия с помощью дюбеля; б — нейлоновый дюбель; в — металлический дюбель

Дюбель-гвоздь (рис. 17.89) предназначен для крепления к бетону, полнотелым материалам, кирпичу с пустотами, пенобетону профилей, кабельных каналов, зажимов для кабеля и труб, изделий из тонколистовой стали и т. п. Дюбель просто забивается молотком. Крепление может быть демонтировано или ослаблено при помощи отвертки. В табл. 17.42 приведены характеристики дюбелей.

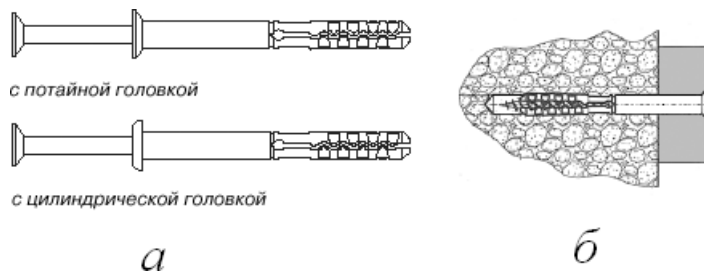


Рис. 17.89. Дюбель-гвоздь (а) и крепление с помощью дюбеля (б)

Таблица 17.42. Характеристика дюбель-гвоздей

Типоразмер	Диаметр дюбеля, мм	Длина дюбеля, мм	Диаметр сверла, мм	Диаметр гвоздя, мм	Длина гвоздя, мм
6x40	6	40	6	4	45
6x60	6	60	6	4	65
8x60	8	60	8	5	65
8x80	8	80	8	5	85
8x100	8	100	8	5	105
10x100	10	100	10	7	110

Распорный анкер HSL 3 (рис. 17.90) предназначен для установки в бетон, в том числе в растянутой зоне и применяется для крепежа оборудования. При затяжке гайки/болта до требуемого момента (шпильчатой и болтовой версии), происходит контролируемое расклинивание внутри отверстия. Анкер удерживает нагрузку за счет сил трения и упора расклиненных частей и имеет высокие нагрузки как на вырыв, так и на срез. Особенно высокая надежность крепежа вибрирующего оборудования и конструкций под ветровыми нагрузками.

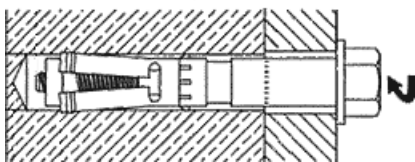
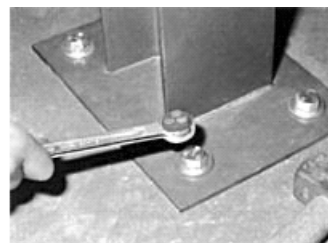


Рис. 17.90. Распорный анкер HSL 3

Анкер-крюк HA 8 (рис. 17.91) предназначен для установки в бетон. Анкер расклинивается рукой путем вытягивания стержня анкера из отверстия. Чем выше нагрузка на вырыв, тем выше усилие расклинивания. Удерживает нагрузку за счет сил трения по поверхности расклиненных частей гильзы.

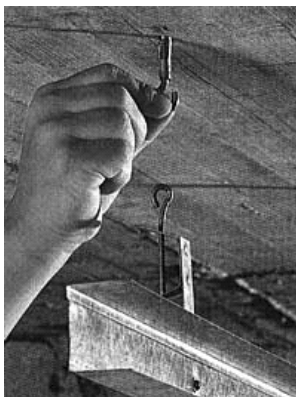


Рис. 17.91. Анкер-крюк НА 8 и его установка

Анкер применяется для установки электрических и иных легких коммуникаций, а также легкого оборудования.

Распорный анкер DBZ (анкер-клин) — простой и надежный анкер по бетону для малых нагрузок, рис. 17.92. Анкер расклинивается внутри отверстия за счет относительного движения двух деталей, образующих клин. Забивается молотком. Закрепляемая деталь предварительно наживляется на стержень анкера. Анкер удерживает нагрузку за счет сил трения по поверхности расклиненных частей анкера. Применяется для установки электрических и иных легких коммуникаций.

Химический анкер забивной (рис. 17.93) выдерживает высокие нагрузки, применяется для крепления близко расположенных к краю, вибрирующих или влажных поверхностей. Анкер используется с армированным стержнем или резьбовыми шпильками. Укрепляет мягкие и незакрепленные поверхности. В табл. 17.43 приведены основные характеристики химического анкера.

Таблица 17.43. Основные характеристики химического анкера

Диаметр анкера, мм	10	12	16
Максимально допустимая нагрузка одинарного анкера, Нм	8,0	10,0	17,0
Допустимый изгибающий момент на соответствующий край и осевой зазор, Нм	21,7	37,4	94,6
Размер используемой шпилькой, мм	M10x130	M12x160	M16x190
Время отверждения, мин, при температуре бетона	выше 20 °С	15	
	20—30 °С	30	
	10 °С	60	
	–5 °С	300	

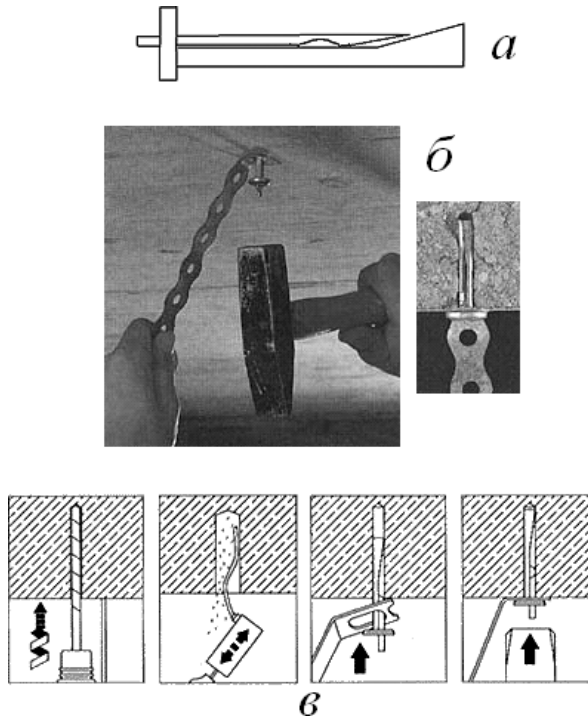


Рис. 17.92. Распорный анкер DBZ: *a* — конструкция анкера; *б* — установка анкера; *в* — схема установки

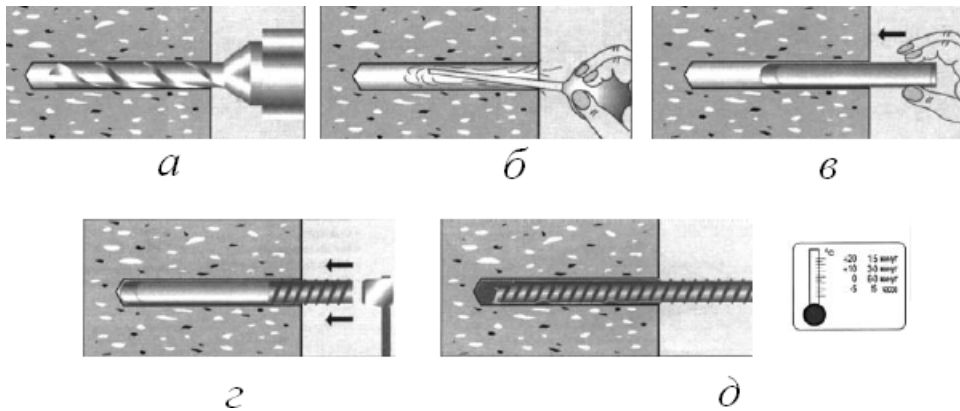


Рис. 17.93. Порядок установки химического анкера: *a* — просверлить отверстие; *б* — зачистить отверстие; *в* — ввести анкер в отверстие; *г* — установите армированные стержень или резьбовую шпильку с помощью молотка; *д* — подождать до отвердения (обратите внимание на время отвердения)

Крепление проводов и кабелей к строительным основаниям осуществляют с применением крепежных средств (пластмассовых закреп-пряжек, закреп-кнопок, металлических полосок, скоб и т. п.), рис. 17.94.

Металлическими скобами закрепляют провода:

- с одной лапкой на горизонтальных участках (при этом лапки скоб располагают ниже провода или кабеля);

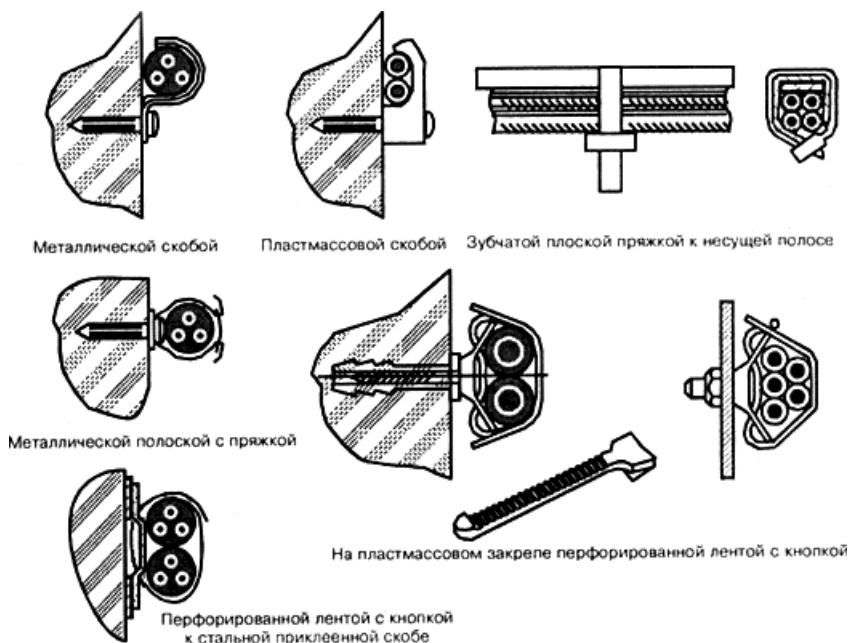
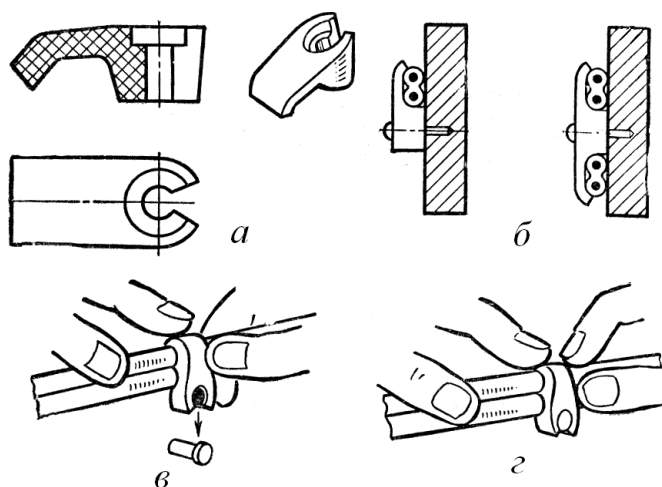


Рис. 17.94. Примеры крепления проводов и кабелей

- с двумя лапками при вертикальной прокладке по стенам, потолкам, при прокладке проводов и кабелей пучками, а также на поворотах и у вводов.

Для крепления некоторых видов проводов и кабелей сечением до 6 мм^2 используют полиэтиленовые скобы, рис. 17.95. В строительное основание вбивают дюбель-гвозди так, чтобы между головкой дюбеля и основанием оставалось расстояние 5—7 мм. В нижней части скобы сделана прорезь, предназначенная для надевания скобы на выступающую часть гвоздя. При нажатии

Рис. 17.95. Пружинящая пластмассовая скоба и ее крепление: *a* — скоба; *б* — кабели закрепляемые скобами; *в* — наложение скобки на кабели; *г* — закрепление скобки на дюбель-гвозде

на скобу она как бы защелкивается вокруг дюбель-гвоздя. Окончательную установку скобы осуществляют легкими ударами молотка по дюбелю.

Для крепления отдельных кабелей, гибких труб или кабельных жгутов диаметром до 40 мм применяются дюбель-хомуты или клипсы, рис. 17.96. Дюбель-хомуты подходят для крепления в бетон, полнотелый силикатный кирпич, легкий бетон, газобетон, полнотелый клинкерный кирпич и природный камень. Для монтажа требуется просверлить в основании отверстие диаметром 6 мм и вставить в него дюбель-хомут от руки, рис. 17.96б. Позволяют исключить из процесса монтажных работ традиционные дюбеля и шурупы, а также ускорить монтаж.

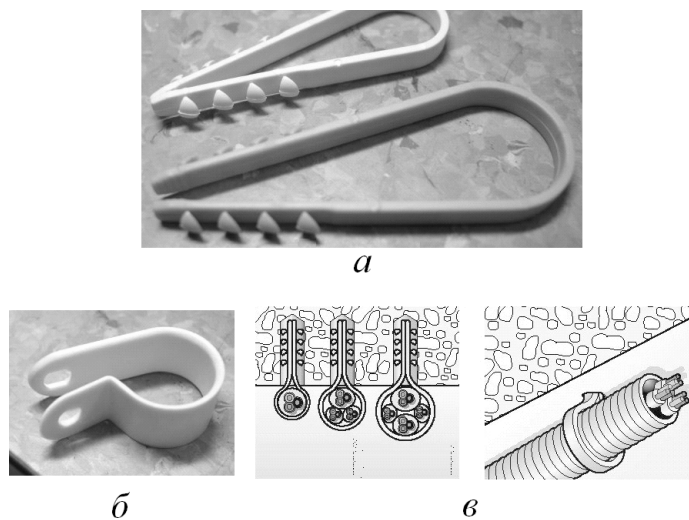


Рис. 17.96. Дюбель-хомуты (а); клипса (б); крепление кабельных жгутов и гибких труб дюбель-хомутами (в)

В производственных помещениях провода и кабели нередко крепят скобами или пряжками к несущим струнам, которые натягивают вплотную к стене. В качестве несущей струны применяют оцинкованную проволоку диаметром 2—4 мм.

Места установки опорных конструкций и крепежных деталей размечают в следующей последовательности: у коробок; у электроприемников; на поворотах; у проходов через стены; в точках промежуточных креплений. Места установки крепежных деталей, поддерживающих или закрепляющих провода и кабели, располагают вдоль трассы на одинаковых расстояниях. Максимальные расстояния между точками крепления открытой осветительной электропроводки защищенными проводами и кабелями сечением жилы до 4 мм² составляет:

- не более 0,5 м при горизонтальной прокладке;
- не более 1,0 м при вертикальной прокладке.

В последнее время, при проведении электромонтажных работ, приобрели достаточную известность кабельные стяжки, как один из наиболее быстрых, удобных и экономически выгодных способов бандажирования, крепления и маркировки кабелей.

Первый кабельный хомут (стяжка) из полимерного материала был изобретен в США в 1968 году. Сегодня стяжки или хомутики представляют собой полоску из гибкой прочной пластмассы полиамида (нейлона 6.6) — очень прочного синтетического полимера, физические свойства которого превосходят свойства некоторых металлов.

Стяжки могут различаться по размерам (длине и ширине) и соответственно величине максимальной нагрузки, которую они способны выдержать. По длине хомуты могут варьировать от 60 до 1219 мм, что позволяет проводить работы с пучками проводов различных диаметров. Ширина хомута (стяжки) определяет величину максимальной нагрузки, которую он способен выдержать, табл. 17.44.

Таблица 17.44. Максимальная нагрузка стяжек

Ширина стяжки, мм	Нагрузка, кг
2,5	8,1
3,2—3,6	18
4,6—4,8	22
7,0—8,0	54,5—55
9,0	80
10,0	91
12,7—14,96	114

Стяжки (хомуты) кабельные стандартные одноразовые (рис. 17.97) предназначены для быстрого и надежного бандажирования пучков проводов (кабелей) и крепления одиночных проводов (пучков) к различным конструкциям. Для стягивания кабелей или пучков больших диаметров можно соединять несколько хомутов до достижения необходимого размера, что позволяет решить практически любую задачу монтажа кабеля.



Рис. 17.97. Стяжка (хомут) кабельная стандартная одноразовая

На одном из концов стандартного одноразового хомута (стяжки) расположен замок, на внутренней стороне — выступы. Затянув хомут (стяжку), получают очень прочную фиксацию стяжки в замке, при этом «обратный ход» невозможен, для демонтажа потребуется разрезать хомут и, соответственно, его уже невозможно использовать повторно.

Стандартную стяжку (хомут) можно затянуть вручную, но лучше это делать специальным инструментом, который позволяет несколькими нажатиями на курок затянуть стяжку (хомут) с требуемым усилием и автоматически обрезать остаток у самого основания замка хомута, рис. 17.98.

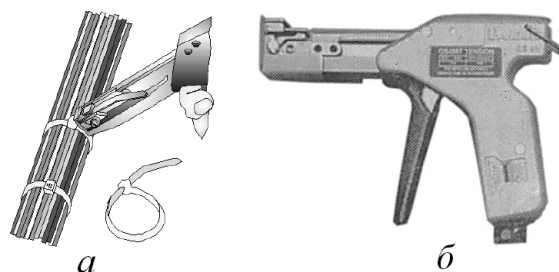


Рис. 17.98. Затяжка стяжки пистолетом (а) и пистолет МК-SD для затяжки бандажей

Применение двойной закрутки вокруг одного бунта кабелей обеспечит удвоение прочности без необходимости употребления более широкого и следовательно, более жесткого бандажа, рис 17.99.

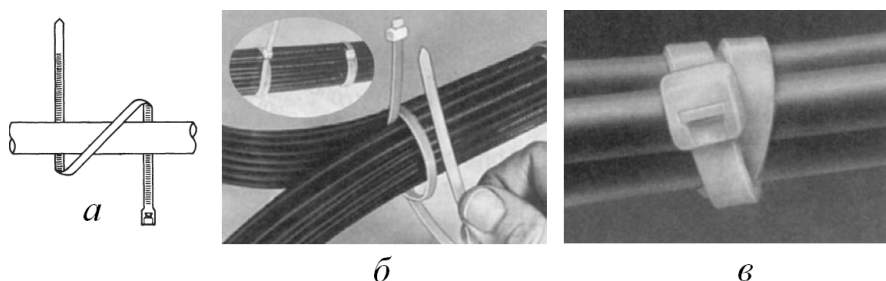


Рис. 17.99. Бандажирование пучка кабелей двойной закруткой. Схема (а) и исполнение (б) двойной закрутки; готовый бандаж (в)

Термостойкие стяжки изготовлены из термостойкого нейлона, устойчивого к продолжительному воздействию высоких температур (до 121 °С). Такие стяжки используют для наружных работ.

Стяжки многоразового использования с креплением (со специальным замком, который позволяет снимать хомуты и использовать их повторно), рис. 17.100а. Кроме этого выпускают стяжки с крепежным отверстием, рис. 17.100б; стяжки с анкерным креплением (одноразовые и многоразового использования), рис. 17.100в; стяжки кабельные маркировочные (с площадкой для нанесения надписи маркером или наклейки этикетки), рис. 17.100г; стяжки шариковые разъемные, рис. 17.100д; стяжки шариковые разъемные с шильдиком, рис. 17.100е.

Для крепления кабельных хомутов на гладких поверхностях используют специальные площадки под хомуты. Чаще всего эти площадки самоклеющиеся. При необходимости площадку к поверхности можно закрепить винтом или шурупом, для чего в площадке предусмотрено одно или несколько отверстий, рис. 17.101а. Для крепления кабельных хомутов (стяжек), при необходимости прокладки кабелей по бетонным, деревянным, кирпичным и им подобным несущим поверхностям, применяются дюбель-гвозди, рис. 17.101б.

Дюбель-гвозди нейлоновые предназначены для крепления пучков проводов и кабелей, связанных бандажами. Допускается монтаж в бетон, кирпич, природный камень и дерево. Рабочая часть гвоздя выполнена в виде пластин,

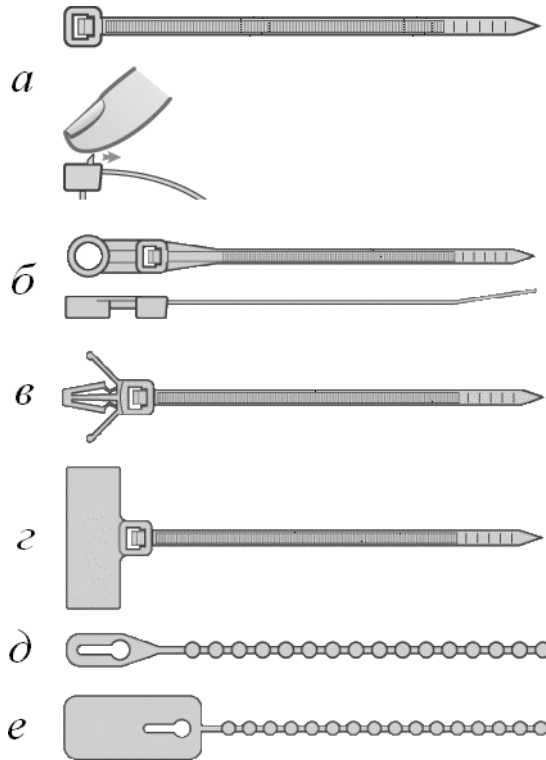


Рис. 17.100. Стяжки (хомуты) кабельные

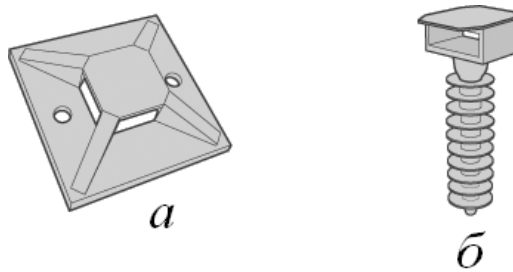


Рис. 17.101. Площадки под стяжки (хомуты) кабельные (а) и дюбель-гвоздь (б)

которые при забивании сминаются определенным образом и препятствуют вытаскиванию. В головке гвоздя выполнено прямоугольное отверстие шириной 9 мм, через которое продевается хомут. Для монтажа требуется только просверлить отверстие в основании диаметром 6 мм или 8 мм (зависит от размера дюбеля) и забить гвоздь молотком. Позволяет исключить из процесса монтажных работ традиционные дюбеля и шурупы, а также ускорить монтаж.

При использовании кабельных стяжек (хомутов) нужно учитывать следующее.

- Использование в условиях продолжительной вибрации приводит к образованию поверхностных микротрещин и ведет к ускоренному разрушению материала.

- Эксплуатация на больших высотах над уровнем моря, воздействие прямых солнечных лучей, радиации и ультрафиолетового излучения сокращает срок службы стяжки.
- При использовании в условиях 100 % влажности кабельные хомуты абсорбируют 8,5 % воды, и их прочность при натяжении сокращается на 50 %. При использовании в сухой среде, кабельные хомуты становятся более хрупкими. Одновременное воздействие высокой влажности и высокой температура приводит к разрушению нейлоновых хомутов.
- Под воздействием высокой температуры (большей +85 °С) материал стяжки, нейлон 6.6, становится более эластичным, но при этом менее прочным. Под воздействием низкой температуры (меньшей -40 °С) нейлон 6.6 становится более хрупким.

Крепление кабелей стяжками (хомутами) в кабельных каналах и на лотках, а также соединение перекрещивающихся под прямым углом кабелей, производится крестовым соединением, рис. 17.102г. Крестовое крепление может быть выполнено одним бандажом (рис. 17.102а), двумя бандажами —

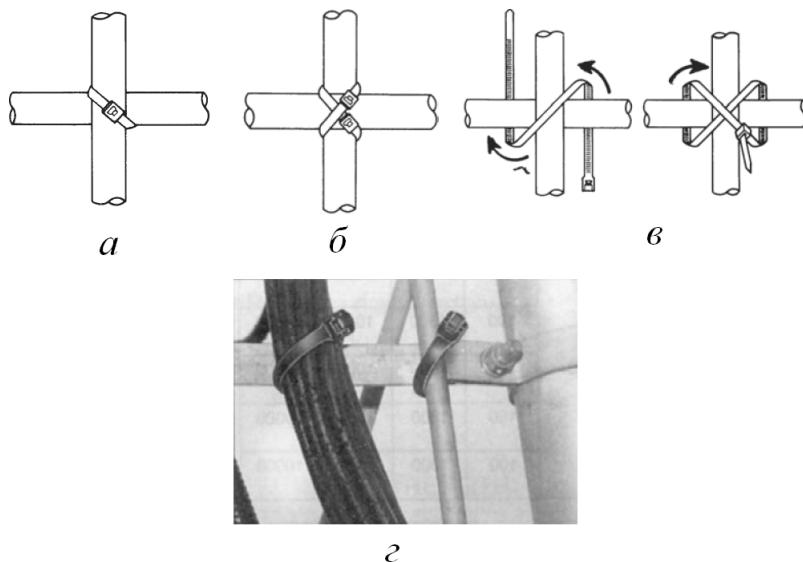


Рис. 17.102. Крестовое крепление кабелей стяжками

обеспечивает удвоение прочности крепления (рис. 17.102б) или одним длинным бандажом — обеспечивает повышение прочности на 50 % (рис. 17.102в).

Выпускаемые заводами изделия из перфорированной стали — полосы, ленты, швеллеры, рейки и другие профили с перфорацией (рис. 17.103) — удобны для изготовления опорных и крепежных конструкций с минимальными трудовыми затратами. Из них изготавливают рамы и каркасы для сборки блоков, щитков и пусковых устройств, для подвески собранных в блоки светильников и для крепления труб, проводов и кабелей, рис. 17.104.

Для непосредственной фиксации труб к перфорированному профилю применяется скоба-болт, рис. 17.103ж и табл. 17.45.

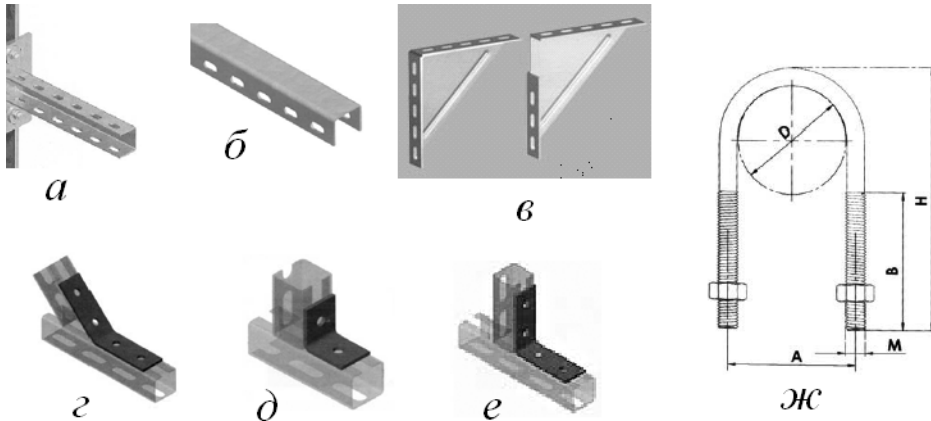


Рис. 17.103. Перфорированные швеллеры (а–б); кронштейн угловой (в); монтажный угольник 135°; монтажный угольник 90° на 2 и 4 отверстия (д–е) и скоба-болт (ж)

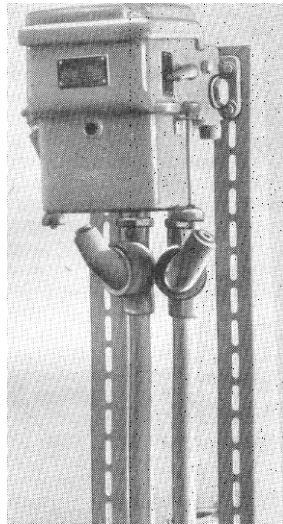


Рис. 17.104. Монтаж маслонаполненного пускателя на перфорированном швеллере

Таблица 17.45. Размеры скобы-болта

Размер трубы		Межосевое расстояние (А), мм	Длина скобы (Н), мм	Длина резьбы (В), мм	Резьба
дюймов	мм				
1/2	21,3	24	50	30	M6
3/4	26,9	30	60	30	M6
1	33,7	36	70	30	M8
1 1/4	42,4	46	80	40	M8
1 1/2	48,3	52	90	50	M8

При производстве электромонтажных работ, в большинстве случаев, приходится закреплять установочные изделия: выключатели и переключатели; штепсельные розетки; потолочные и настенные светильники; ответвительные коробки для соединения и ответвления проводов и кабелей, как при скрытой, так и открытой электропроводке.

Установочные (для выключателей и штепсельных розеток) и ответвительные коробки помещают в предварительно подготовленные гнезда так, чтобы их лицевая сторона находилась в плоскости оштукатуренных стен. Крепление коробок в гнездах производят алебастровым раствором.

Коробки для установки выключателей, переключателей и штепсельных розеток при скрытой электропроводке изготовляют в большинстве своем из металла (значительно реже из пластмассы). На коробках сделаны надрубы для ввода проводов. Надрубы, которые соответствуют направлению трассы электропроводки, перед установкой коробки в гнездо удаляют.

В корпусах ответвительных коробок, служащих для соединения и ответвления проводов для скрытой проводки, имеются тонкие участки, предназначенные для ввода проводов. При электромонтаже эти участки удаляют.

Выключатели и штепсельные розетки крепят в установочных коробках или в специальных гнездах с помощью распорных лапок, рис. 17.105. Для этого штепсельную розетку или выключатель привинчивают к распорной скобе, которую вместе с корпусом выключателя устанавливают в предназначенном для выключателя гнезде. При этом распорные лапки должны упираться в стенки и хорошо держаться. Винты служат для раздвигания распорных лапок.

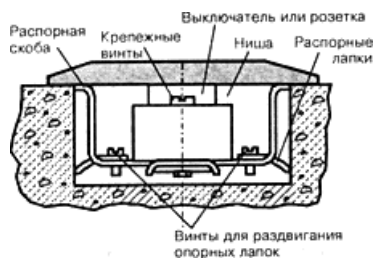


Рис. 17.105. Крепление розетки с помощью распорной скобы

При выполнении открытой проводки штепсельные розетки, выключатели, переключатели, настенные и потолочные светильники (плафоны) крепят к кирпичным и бетонным стенам с помощью шурупов и пластмассовых дюбелей.

Надежная работа электропроводки зависит от правильного выбора проводов и кабелей по условиям внешней среды и току нагрузки. Провода и кабели в электроустановках предназначены для определенных способов прокладки, которые следует учитывать. Как правило, изолированные провода не прокладываются незащищенными, а должны прокладываться в трубах, лотках и коробах, под штукатуркой.

В местах, где возможны механические повреждения электропроводки, открыто проложенные провода и кабели должны быть защищены от них своими защитными оболочками, а если такие оболочки отсутствуют или недостаточно

стойки по отношению к механическим воздействиям — трубами, коробами, ограждениями или применением скрытой электропроводки. Это относится и к бронированным кабелям, потому что броня и герметичные оболочки могут повредиться при различных ударах, например, при задевании перемещаемым грузом.

Трубы, короба и гибкие металлические рукава электропроводок должны прокладываться так, чтобы в них не могла скапливаться влага, в том числе от конденсации паров, содержащихся в воздухе.

В сухих непыльных помещениях, в которых отсутствуют пары и газы, отрицательно воздействующие на изоляцию и оболочку проводов и кабелей, допускается соединение труб, коробов и гибких металлических рукавов без уплотнения.

Соединение труб, коробов и гибких металлических рукавов между собой, а также с коробами, корпусами электрооборудования и т. п. должно быть выполнено:

- в помещениях, которые содержат пары или газы, отрицательно воздействующие на изоляцию или оболочки проводов и кабелей, в наружных установках и в местах, где возможно попадание в трубы, короба и рукава масла, воды или эмульсии — с уплотнением; короба в этих случаях должны быть со сплошными стенками и с уплотненными сплошными крышками либо глухими, разъемные короба — с уплотнениями в местах разъема, а гибкие металлические рукава — герметичными;
- в пыльных помещениях — с уплотнением соединений и ответвлений труб, рукавов и коробов для защиты от пыли.

Следует также учитывать, что провода и кабели могут повредиться и в трубах от действия воды и агрессивных жидкостей, действующих на изоляцию. Вода, попавшая в трубы с проводами и кабелями с резиновой изоляцией, ухудшает состояние изоляции, что может привести к замыканию между проводами, жилами кабелей или их замыканию на металл трубы. Обычно выходят из строя провода с резиновой изоляцией в хлопчатобумажной оплетке.

При замерзании воды в трубах лед может разорвать провода и кабели. Для предотвращения попадания воды в трубы с проводами или кабелями все отверстия в трубах нужно заделывать водонепроницаемой мастикой.

Кроме воды, на резиновую изоляцию влияют нефтепродукты, например, печное топливо, смазочные масла, что приводит к разбуханию резиновой изоляции и утрате ею всех необходимых свойств. Поэтому при возможности воздействия этих продуктов лучше применять кабели или провода с пластмассовой изоляцией.

Отрицательная температура приводит к отвердеванию изоляции, особенно пластмассовой, что приводит к ее растрескиванию и отколу при изгибе проводов. Это нужно учитывать при монтаже проводов и кабелей и при выборе кабелей для передвижных механизмов.

Соединение и ответвление проводов и кабелей, за исключением проводов, проложенных на изолирующих опорах, должны выполняться в соединительных и ответвительных коробках, в изоляционных корпусах соединительных и ответвительных сжимов, в специальных нишах строительных конструкций, внутри корпусов электроустановочных изделий, аппаратов и машин.

При прокладке на изолирующих опорах соединение или ответвление проводов следует выполнять непосредственно у изолятора, клицы или на них, а также на ролике.

Места соединения и ответвления проводов и кабелей должны быть доступны для осмотра и ремонта.

В местах соединения, ответвления и присоединения жил проводов или кабелей должен быть предусмотрен запас провода (кабеля), обеспечивающий возможность повторного соединения, ответвления или присоединения.

Перегрузка током проводов и кабелей приводит, прежде всего, к обгоранию изоляции у мест присоединения проводов к аппаратам или к электроприемникам. Возможно не только обгорание изоляции проводов, но и деталей корпусов, к которым крепятся токоведущие части, что приводит к выходу из строя аппаратов и панелей коробок зажимов электроприемников. Устранить это явление можно только заменой проводов или кабелей. Кроме того, при перегрузке током могут загореться и сами провода и кабели.

Тросовые электропроводки предназначены для производственных и складских помещений. Их применение обусловлено строительством современных производственных и складских зданий и сооружений из кирпича, железобетонных блоков, с совмещенным утепленным перекрытием из железобетонных (в ряде случаев ребристых) плит.

Крепить провода к элементам таких конструкций обычными способами крайне затруднительно и поэтому в таких случаях используют тросовую электропроводку. Эту проводку применяют как силовую и осветительную в магистральных и распределительных внутренних электрических сетях напряжением 380/220 В.

Использование тросовых электропроводок позволяет электромонтажные работы проводить в две стадии: подготовительные и собственно монтажные, т. е. подготовка всей проводки в мастерской, затем в готовом виде доставка в помещение (рис. 17.106) и установка по месту.

Тросовые электропроводки выполняются проводами АВТ, АВТУ, АВТВ, АВТВУ с алюминиевыми жилами и стальным несущим тросом, с ПВХ изоляцией, рис. 17.107. Несущий трос в проводах АВТ, АВТВ — из семи стальных оцинкованных проволок диаметром 0,5 мм, скрученных правильной скруткой, в проводах АВТУ, АВТВУ — из девятнадцати стальных оцинкованных проволок диаметром 0,5 мм, скрученных правильной скруткой.

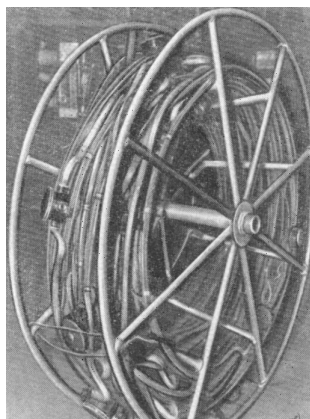


Рис. 17.106. Заготовленная тросовая проводка

Тросовые провода АВТ, АВТУ, АВТВ, АВТВУ предназначены для передачи и распределения электрической энергии в силовых и осветительных сетях на переменное напряжение до 380 В частоты 50 Гц. Провод устойчив при температуре до 40 °С к воздействию относительной влажности до 98 %. Диапазон температур эксплуатации: от -50 до +50 °С. Максимальная допустимая температура на жиле провода: +70 °С.

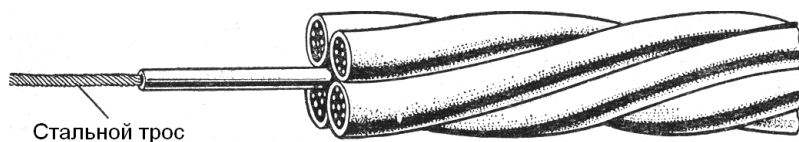


Рис. 17.107. Конструкция тросового провода АВТ

Провода марки АВТ применяются для наружной прокладки, для ввода в жилые дома и хозяйственные постройки в I и II районах гололедности.

Провода марки АВТУ применяются для наружной прокладки, для ввода в жилые дома и хозяйственные постройки в III и IV районах гололедности.

Провода марки АВТВ применяются для прокладки внутри помещений (в том числе животноводческих).

Провода марки АВТВУ применяются для прокладки внутри помещений (в том числе животноводческих), где требуется повышенная механическая прочность.

Тросовые электропроводки содержат два основных элемента: несущий трос с комплектом натяжных устройств и соединительные (ответвительные) коробки.

Для концевое крепления стального троса применяют анкеры с распорной гайкой (бетонные или железобетонные стены) или сквозные болты (кирпичные стены), которые скрепляют гайкой с наружной стороны, рис. 17.108.

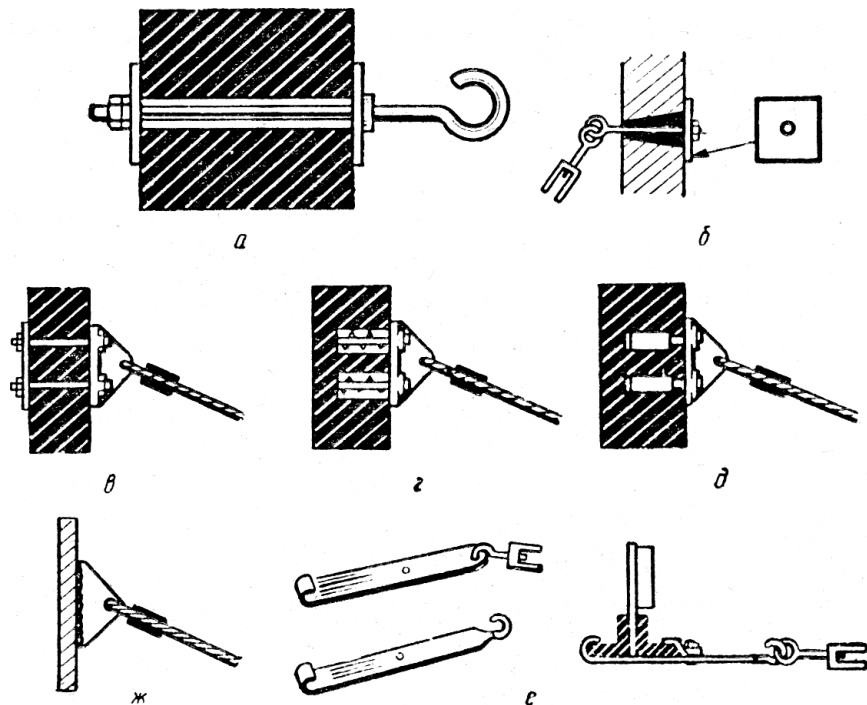


Рис. 17.108. Способы крепления анкерных крепежных конструкций и способы их установки: *а* — натяжной болт с крюком; *б* — то же но с кольцом; *в* — анкер закрепленный шпильками; *г*—*д* — натяжной анкер закрепленный в бетоне распорными анкерами; *ж* — крепление сваркой; *е* — конструкции для крепления к металлическим фермам

Для увеличения опорной площади в последнем случае применяют квадратные шайбы.

К металлическим фермам анкерные устройства крепятся обжимными стальными закрепами, или болтовыми соединениями, или привариваются анкера по его периметру. К закладным деталям анкера крепят сваркой.

Для соединения троса с анкерами на его концах делают петли, которые выполняют с помощью тросового или плашечного зажима и коуша, рис. 17.109. Коуш (стальная желобообразная обойма) предохраняет несущий трос от смятия и перетирания. Выполнять петли закруткой не допускается из-за уменьшения прочности троса в месте скрутки.

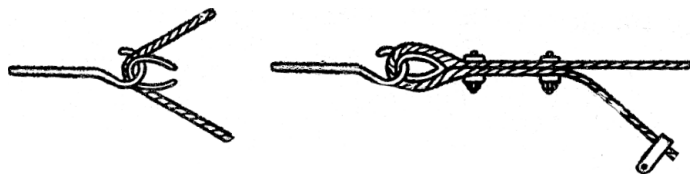


Рис. 17.109. Выполнение петли на конце несущего троса

Подвешенный несущий трос натягивают до расчетного провеса в пролетах электропроводки. В процессе эксплуатации может возникнуть необходимость в подтяжке тросовой проводки. Натяжку и подтяжку несущего троса осуществляют с помощью натяжных устройств, заранее встраиваемых в электропроводку, рис. 17.110. Для большей жесткости и устойчивости проводки устанавливают также боковые оттяжки.

Кроме крепления по концам, в зависимости от веса монтируемой электропроводки, светильников и допустимого провеса, устраивают промежуточные крепления троса на фермах или балках через каждые 6—12 м, уменьшая этим стрелу провеса и придавая всей линии большую устойчивость и механическую прочность.

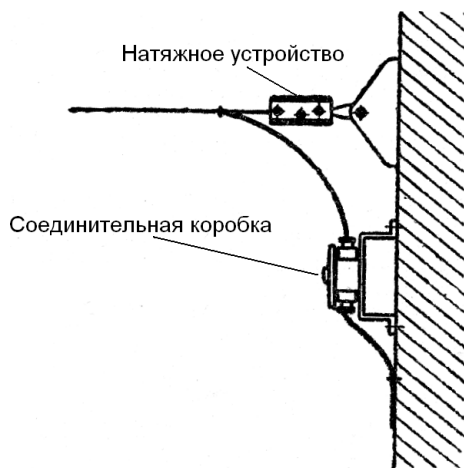


Рис. 17.110. Конечная конструкция тросовой проводки

Промежуточные вертикальные крепления троса целесообразно устраивать в местах установки ответвительных коробок, штепсельных разъемов, светильников. Для промежуточных подвесок рекомендуется применять стальную проволоку диаметром 2—3 мм — для силовых электропроводок и 1,5—2 мм — для осветительных.

При монтаже тросовых электропроводок ответвления к отдельным токоприемникам, светильникам делают в ответвительных коробках (рис. 17.111) или ответвительных сжимах (рис. 17.112).

Коробки тросовые типов У245 и У246 предназначены для ответвления от силовой или осветительной магистрали, выполненной кабелем или проводами, которые закреплены на проволоке диаметром до 8 мм, а также специальными тросовыми проводами сечением до 35 мм².

Коробка состоит из двух стальных штампованных крышек, соединенных между собой двумя винтами М4х12. В корпусе размещены сжимы типа У732

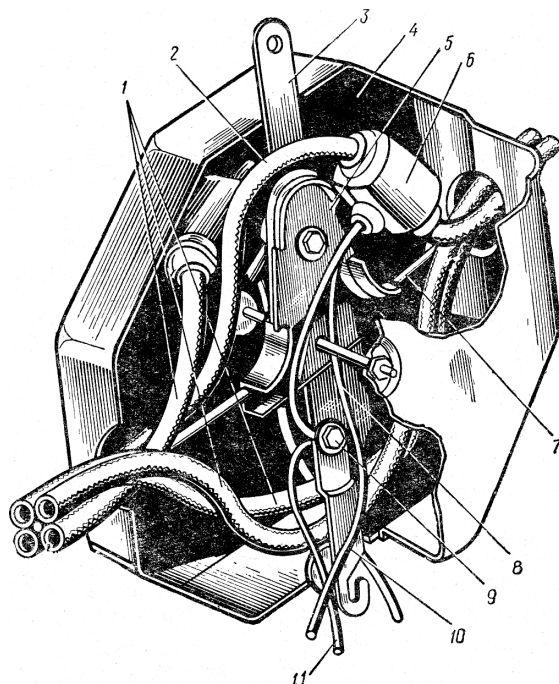


Рис. 17.111. Коробки тросовые У246: 1 — фазные провода; 2 — нулевой провод; 3 — планка; 4 — корпус; 5 — прижим; 6 — сжим в пластмассовом корпусе; 7 — трос; 8 — провод АТРГ; 9 — болт заземления; 10 — провод заземления светильника



Рис. 17.112. Сжим ответвительный

для выполнения ответвлений от магистральной линии без ее разрезания и специальная скоба с планкой для подвешивания коробки к тросу и крепления их к различным основаниям. В случае крепления троса внутри коробки скоба вставляется в пазы крышки, а планка с винтом фиксирует (прижимает) трос. Когда трос крепится снаружи, скоба прижимает его к корпусу коробки.

Корпус коробки заземляют, соединяя с ним нулевой провод магистрали. К коробке можно подвешивать светильник весом до 5 кг, который крепится к скобе крюком.

Технические данные ответвительных тросовых коробок приведены в табл. 17.46.

Таблица 17.46. Технические данные тросовых ответвительных коробок

Тип	Сечение проводов, мм ²		Количество сжимов в коробке, шт.	Масса, кг
	магистральных	ответвительных		
У245	4—10	1,5—2,5	2	0,54
У246	16—35	1,5—2,5	7	1,16

Сжимы ответвительные применяются для выполнения ответвлений от изолированных медных и алюминиевых проводов магистральных линий напряжением до 660В (без их разрезания) проводами из тех же материалов. Корпус сжима изготовлен из пластмассы и обеспечивает изоляцию места соединения. Степень защиты сжима по ГОСТ 14254—96 — IP20.

Технические данные ответвительных сжимов приведены в табл. 17.47.

Таблица 17.47. Технические данные ответвительных сжимов

Тип	Сечение проводов, мм ²		Размеры, мм	Масса, кг
	магистральных	ответвительных		
У731 МУЗ	4—10	1,5—10	44x44x36	50
У733 МУЗ	16—35	1,5—10	44x44x36	50
У734 МУЗ	16—35	16—25	44x44x36	50
У739 МУЗ	4—10	1,5—2,5	43x32x20	43,9
1 У859 МУЗ	50—70	4—35	64x45x79	250
1 У870 МУЗ	95—150	16—50	85x62x100	655
1 У871 МУЗ	95—150	50—95	85x62x100	633
1 У872 МУЗ	95—150	95—120	85x62x100	637

Тросовую проводку монтируют в следующем порядке.

Проводку разматывают на полу, а затем подвешивают на высоте 1,2—1,5 м. Осветительную арматуру крепят и подключают к проводке. При расположении проводки выше нижнего пояса ферм светильники устанавливают и подключают после подъема проводки на проектную отметку.

Проводку поднимают вверх. Трос проводки одним концом закрепляют за концевую анкерную конструкцию, где натяжной болт предварительно ослаблен.

Другой конец троса присоединяют к натяжному устройству. Трос в пролете заводят на ранее установленные промежуточные подвески или сопрягают с промежуточными оттяжками и предварительно натягивают его, после чего конец троса одевают на второй анкерный крюк.

Предварительное натяжение троса осуществляют при малых пролетах вручную, а при больших — с применением блоков, полиспастов или лебедки. При малых пролетах возможно прикрепление несущего троса к промежуточным подвескам после предварительного натяжения троса.

Окончательно натягивают несущий трос и регулируют стрелу провеса с помощью предварительного ослабления анкерных болтов и натяжных муфт.

Стрела провеса при расстоянии между промежуточными креплениями троса 6 м должна быть в пределах 110—150 мм, а при расстоянии 12 м — в пределах 200—250 мм.

По окончании перечисленных выше работ несущий трос и все металлические части проводки заземляют.

Монтируют питающую магистраль и подключают к ней тросовую проводку.

Проверяют и испытывают проводку, проверяют арматуру, устанавливают лампы и проверяют всю сеть на световой эффект.

Разновидность тросовых проводок — струнные электропроводки, рис. 17.113. Струну изготавливают из стальной проволоки диаметром 2—4 мм (можно использовать тросовый провод). Ее закрепляют вплотную к строительным основаниям, например, привариванием к закладным деталям или пристреливанием. Струнные проводки применяют для монтажа проводов по железобетонным стенам, балкам и другим конструкциям, где крепление проводок другими способами затруднено.

Электропроводка в пластмассовых и стальных трубах может выполняться как скрыто, так и открыто. Полиэтиленовые трубы допускается прокладывать только скрыто в перекрытиях и основаниях из негорючего материала. Винилпластовые и стальные трубы могут применяться для скрытой и открытой электропроводки, в том числе в зданиях промышленных предприятий и животноводческих помещениях. Запрещается применять пластмассовые трубы во взрывоопасных помещениях.

При монтаже пластмассовых труб глубина борозд, гнезд для установки ответвительных и протяжных коробок, установочных изделий для скрытых проводок должна быть в соответствии с толщиной штукатурного или облицовочного слоев.

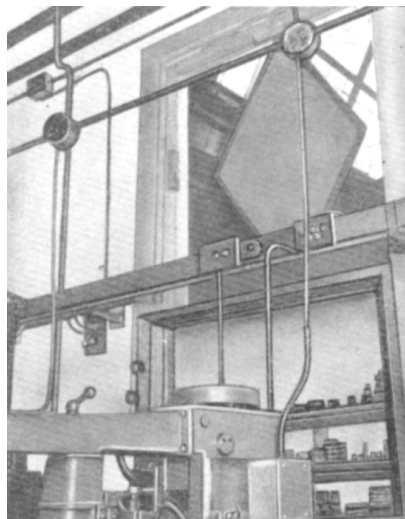


Рис. 17.113. Сеть, выполненная тросовым проводом АВТ

Монтаж трубопроводов, прокладываемых открыто, выполняют в процессе соответствующих строительных работ, например, в фундаментах агрегатов: после готовности котлована прокладывают трубы, закрепляют на специальных стойках, надевают колпачки на концы труб и трубопроводы сдают под заливку бетоном. Аналогичная последовательность соблюдается при прокладке в подливных полах машинных помещений и т. п.

При открытой прокладке после окончания основных строительных работ производят установку опорных конструкций, а затем после окончания отделочных работ прокладывают трубопровод и затягивают в них проводники с помощью стальной протяжки, пропущенной в трубы, рис. 17.114а. Крепление проводов к протяжке показано на рис. 17.114б.

Трубы должны прокладываться ниже труб отопления или горячего водоснабжения. Расстояние между пересекающимися трубами электропроводки и трубами отопления или горячего водоснабжения должно быть не менее 50 мм в свету. Соединение пластмассовых труб должно быть выполнено:

- полиэтиленовых — плотной посадкой с помощью муфт, горячей обсадкой в раструб, муфтами из термоусаживаемых материалов, сваркой;
- поливинилхлоридных — плотной посадкой в раструб или с помощью муфт; допускается соединение склеиванием.

Трубы монтируются так, чтобы на обходах, пересечениях и других местах не создавалась возможность скапливания влаги на отдельных участках, так называемые «водяные мешки».

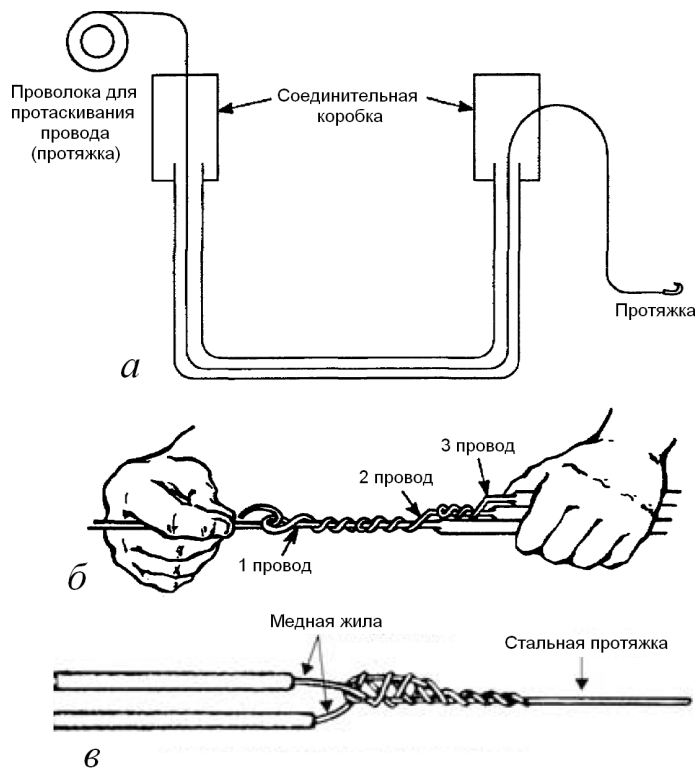


Рис. 17.114. Протяжка пропущенная в трубы (а) и примеры крепления проводов к протяжке (б—в)

Соединения и ответвления выполняются в ответвительных или соединительных коробках, рис. 17.115. Соединение проводов в трубах не допускается.

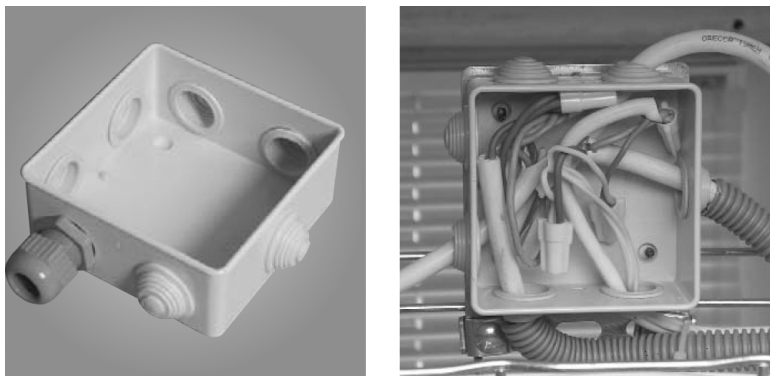


Рис. 17.115. Коробка ответвительная и пример соединения в коробке жил кабеля с помощью наконечника кабельного обжимного «скрутки»

Внутренний диаметр пластмассовых труб выбирают в зависимости от количества проводов, а также от сложности затяжки проводов (количества изгибов, длины участка, крутизны изгибов и др.) и в любом случае должен быть не менее 11 мм.

Расстояние между протяжными или соединительными коробками на прямых участках должно быть не менее 10 м, на участках с одним углом — 7,5 м, с двумя-тремя углами — 5 м. При большем числе на трубопроводе углов равных 90° протяжка провода становится затруднительна и в большинстве случаев невозможна. На рис. 17.116 приведен пример трубной проводки, а на рис. 17.117 — коробки угловые протяжные для стальных труб.

Радиус изгиба пластмассовых труб, прокладываемых в бетонном массиве, должен быть не менее десяти диаметров (допускается в виде исключения — до шести диаметров). При открытой прокладке труб диаметром до 70 мм — не менее четырех диаметров.

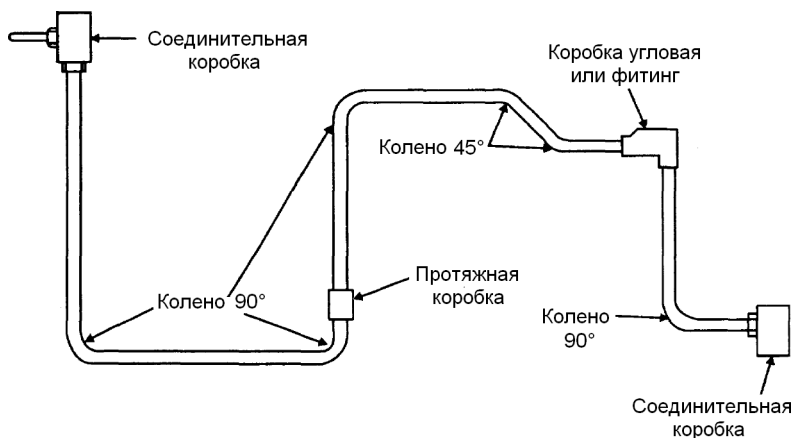


Рис. 17.116. Пример трубной проводки



Рис. 17.117. Коробки угловые протяжные для стальных труб (фитинги)

Пластмассовые трубы, гладкостенные и гофрированные, соединяются с ответвительными или соединительными коробками с помощью кабельного ввода или ниппеля, рис. 17.118.

Прокладку неметаллических (пластмассовых) труб для затяжки в них проводов и кабелей необходимо производить в соответствии с рабочими чертежами при температуре воздуха не ниже минус 20 и не выше плюс 60 °С. В фундаментах пластмассовые трубы должны быть уложены только на горизонтально утрамбованный грунт или слой бетона.



а



б



в



г

Рис. 17.118. Кабельный ввод (*а*); соединение пластмассовой гофрированной трубы с коробкой через кабельный ввод (*б*); гофрированная труба оконцованная кабельным вводом (*в*); уплотнение труб через ниппель (вверху коробки) и кабельный ввод (слева) — (*г*)

Крепление прокладываемых открыто неметаллических труб должно допускать их свободное перемещение (подвижное крепление) при линейном расширении или сжатии от изменения температуры окружающей среды. Расстояния между точками установки подвижных креплений должны соответствовать указанным в табл. 17.48. В качестве крепления для пластмассовых труб (гладкостенных и гофрированных) применяют: пластмассовые хомуты (клипсы); универсальный крепеж с дюбелем; площадку крепежную для труб и т. п., рис. 17.119.

Таблица 17.48. Расстояния между точками крепления неметаллических труб

Наружный диаметр трубы, мм	Расстояния между точками крепления при горизонтальной и вертикальной прокладке, мм
20	1000
25	1100
32	1400
40	1600
50	1700
63	2000
75	2300
90	2500

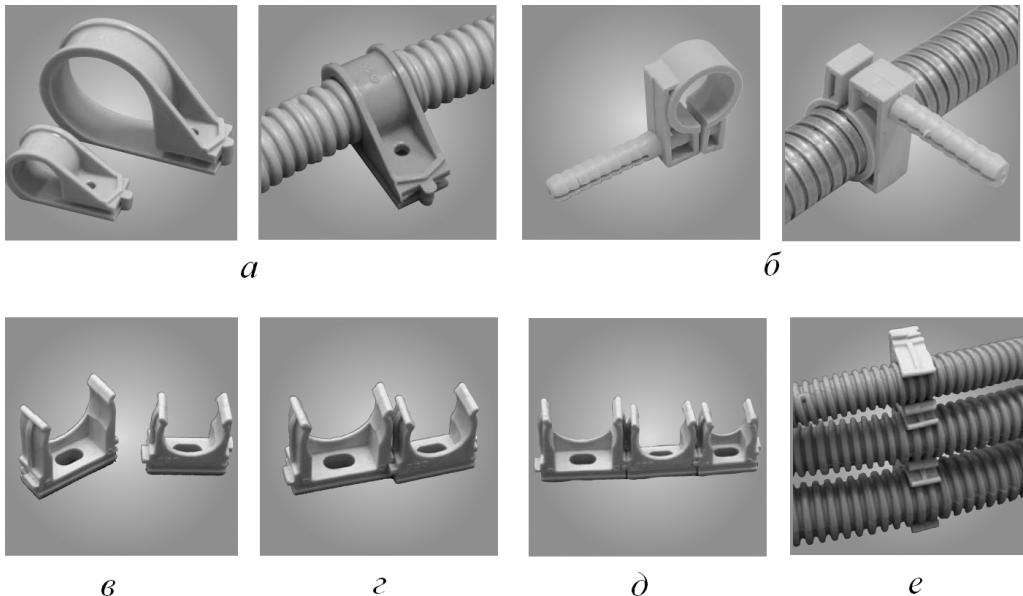


Рис. 17.119. Хомут крепежный для труб, клипса (а); крепеж универсальный с дюбелем (б); площадка крепежная для труб (в); сборка площадок для разного диаметра труб (г—д); внешний вид площадок с установленными трубами (е)

Толщина бетонного раствора над трубами (одиночными и блоками) при их замоноличивании в подготовках полов должна быть не менее 20 мм. В местах пересечения трубных трасс защитный слой бетонного раствора между трубами не требуется. При этом глубина заложения верхнего ряда должна соответствовать приведенным выше требованиям. Если при пересечении труб невозможно обеспечить необходимую глубину заложения труб, следует предусмотреть их защиту от механических повреждений путем установки металлических гильз, кожухов или иных средств в соответствии с указаниями в рабочих чертежах.

Выполнение защиты от механических повреждений в местах пересечения проложенных в полу электропроводок в пластмассовых трубах с трассами внутрицехового транспорта при слое бетона 100 мм и более не требуется. Выход пластмассовых труб из фундаментов, подливок полов и других строительных конструкций должен быть выполнен отрезками или коленами поливинилхлоридных труб, а при возможности механических повреждений — отрезками из тонкостенных стальных труб.

При выходе поливинилхлоридных труб на стены в местах возможного механического повреждения их следует защищать стальными конструкциями на высоту до 1,5 м или выполнять выход из стены отрезками тонкостенных стальных труб.

Подвод трубопроводов к аппаратам, ящикам и т. п. выполняют тщательно, обеспечивая горизонтальность и вертикальность линий, и хороший внешний вид. При вводе стальных труб в металлические шкафы, аппараты, устанавливают царапающие гайки или перемычки к сети заземления.

При трубопроводах, собранных из пластмассовых труб, необходимо присоединять корпуса оборудования к заземляющим проводникам, прокладываемым в трубопроводах вместе с рабочими проводниками, либо присоединять металлические корпуса оборудования к сети заземления. Металлические корпуса протяжных и ответвительных коробок присоединяют к заземляющим проводникам изолированным проводом соответствующего сечения в зависимости от сечения фазных рабочих проводников.

На рис. 17.120 показан пример трубной электропроводки в неметаллических трубах.

Выполнение электрической сети в стальных трубах применяется в цехах промышленных и сельскохозяйственных предприятий в ограниченных размерах и только в тех случаях, где по действующим правилам и нормам по условиям среды и технологического процесса сети нельзя проложить открыто.

Применяемые для электропроводок стальные трубы должны иметь внутреннюю поверхность, исключающую повреждение изоляции проводов при их затягивании в трубу и антикоррозионное покрытие наружной поверхности. Для труб, замоноличиваемых в строительные конструкции, наружное антикоррозионное покрытие не требуется. Трубы, прокладываемые в помещениях с химически активной средой, внутри и снаружи должны иметь антикоррозионное покрытие, стойкое в условиях данной среды. В местах выхода проводов из стальных труб следует устанавливать изоляционные втулки.

Расстояния между точками крепления открыто проложенных стальных труб не должны превышать величин, указанных в табл. 17.49. Крепление

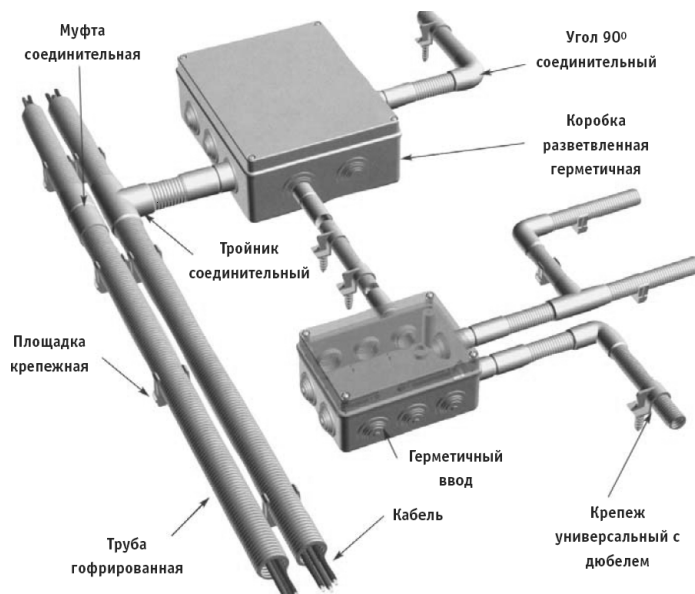


Рис. 17.120. Пример трубной электропроводки в неметаллических трубах

стальных труб электропроводки непосредственно к технологическим трубопроводам, а также их приварка непосредственно к различным конструкциям не допускаются.

Таблица 17.49. Расстояния между точками крепления металлических труб

Условный проход труб, мм	Наибольшие допустимые расстояния между точками крепления, м
15—20	2,5
25—32	3,0
40—80	3,5—4
100	6,0

При изгибании труб следует, как правило, применять нормализованные углы поворота 90, 120 и 135° и нормализованные радиусы изгиба 400, 800 и 1000 мм. Радиус изгиба 400 мм следует применять для труб, прокладываемых в перекрытиях, и для вертикальных выходов; 800 и 1000 мм — при прокладке труб в монолитных фундаментах и при прокладке в них кабелей с однопроволочными жилами.

Изгибание труб следует производить на специальных трубогибочных станках. При монтаже труб диаметром 15—25 мм и малом объеме работ, изгибание труб можно производить ручными трубогибами. Изогнутые колена труб не должны иметь сплюсненной формы и вмятин. На рис. 17.121 приведены ручные трубогибы, а на рис. 17.122 и 17.123 — приемы гибки труб.

Расстояния между протяжными коробками (ящиками) не должны превышать: на прямых участках 75 м, при одном изгибе трубы — 50 м, при двух — 40 м, при трех — 20 м. Провода и кабели в трубах должны лежать свободно, без натяжения.

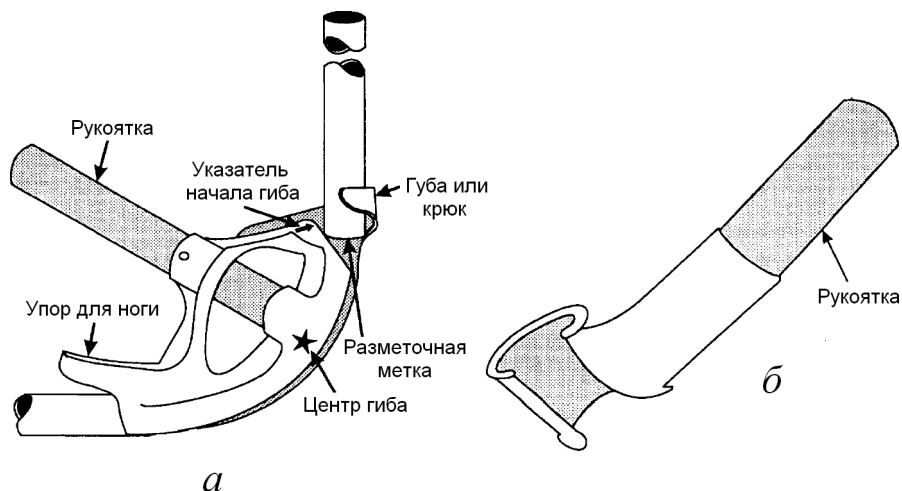


Рис. 17.121. Ручные трубогибы: а — универсальный; б — простой

При прокладке проводов в вертикально проложенных трубах (стояках)

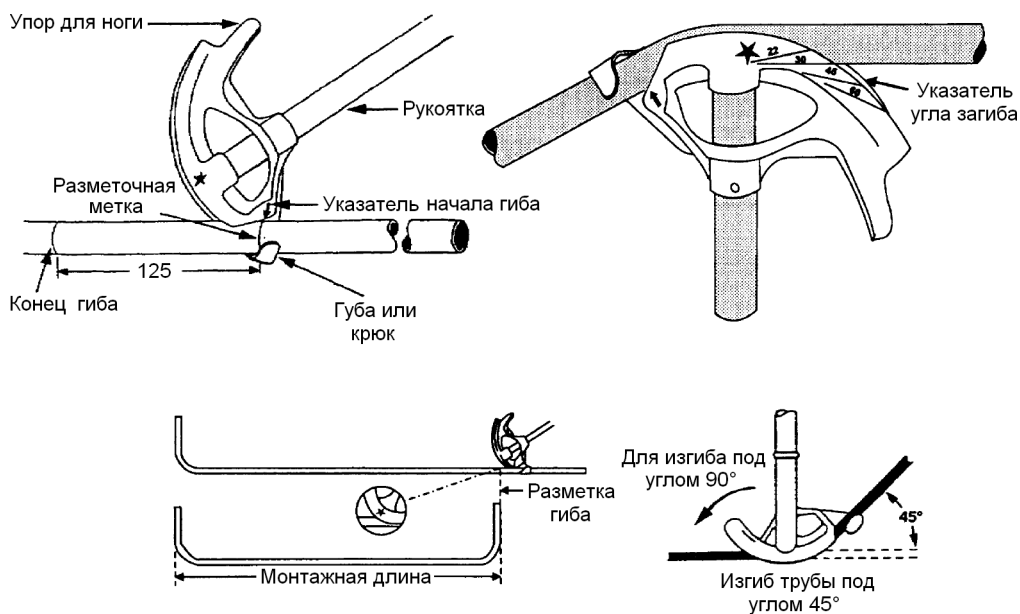


Рис. 17.122. Гибка труб универсальным трубогибом

должно быть предусмотрено их закрепление, причем точки закрепления должны отстоять друг от друга на расстоянии, не превышающем:

- для проводов до 50 мм^2 — 30 м;
- для проводов от 70 до 150 мм^2 — 20 м;
- для проводов от 185 до 240 мм^2 — 15 м.

Закрепление проводов следует выполнять с помощью клиц или зажимов в протяжных или ответвительных коробках либо на концах труб.

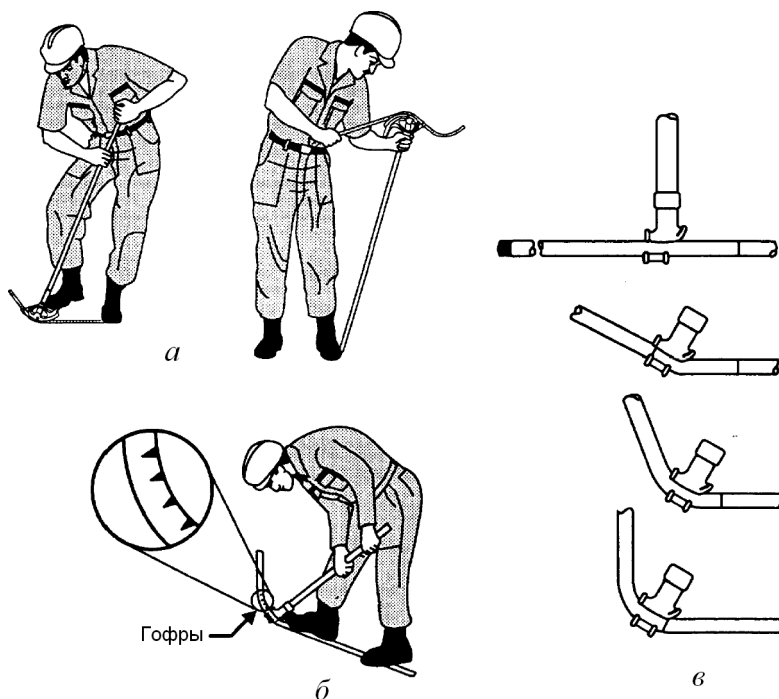


Рис. 17.123. Приемы гибки трубы универсальным (а) и простым (б) трубогибом; последовательность положения трубогиба при загибе трубы (в)

Трубы при скрытой прокладке в полу должны быть заглублены не менее чем на 20 мм и защищены слоем цементного раствора.

Стальные трубы, прокладываемые в сухих непыльных помещениях, допускается соединять манжетами, гильзами без уплотнения мест соединения.

Во взрывоопасных, пожароопасных помещениях, в помещениях, где возможно попадание в трубы масла, воды, эмульсии, содержащих агрессивные газы, в наружных электроустановках, во всех случаях скрытой прокладки труб и при прокладке в монолитных железобетонных конструкциях трубы соединяются при помощи муфт на резьбе с уплотнением мест соединений. Металлические коробки должны быть окрашены или покрыты антикоррозийным составом.

В помещениях влажных, сырых, особо сырых, жарких, пыльных и с агрессивной средой концы труб, не заведенные в коробки и кожухи аппаратов должны быть уплотнены около проводов изолирующим компаундом.

Электропроводки жилых, общественных, административных и бытовых зданий. Внутренние электропроводки должны выполняться с учетом следующего.

- Электроустановки разных организаций, обособленных в административно-хозяйственном отношении, расположенные в одном здании, могут быть присоединены ответвлениями к общей питающей линии или питаться отдельными линиями от водно-распределительного устройства (ВРУ) или главного распределительного щита (ГРЩ).
- К одной линии разрешается присоединять несколько стояков. На ответвлениях к каждому стояку, питающему квартиры жилых домов,

имеющих более 5 этажей, следует устанавливать аппарат управления, совмещенный с аппаратом защиты.

- В жилых зданиях светильники лестничных клеток, вестибюлей, холлов, поэтажных коридоров и другие внутридомовые помещения вне квартир должны питаться по самостоятельным линиям от ВРУ или отдельных групповых щитков, питаемых от ВРУ. Присоединение этих светильников к квартирным щиткам не допускается.
- Питание электроустановок нежилого фонда рекомендуется выполнять отдельными линиями.

В зданиях следует применять кабели и провода с медными жилами. Питающие и распределительные сети, как правило, должны выполняться кабелями и проводами с алюминиевыми жилами, если их расчетное сечение равно 16 мм² и более. Питание отдельных электроприемников, относящихся к инженерному оборудованию зданий (насосы, вентиляторы, калориферы, установки кондиционирования воздуха и т. п.), может выполняться проводами или кабелем с алюминиевыми жилами сечением не менее 2,5 мм².

В жилых зданиях сечения медных проводников должны соответствовать расчетным значениям, но быть не менее указанных в табл. 17.50.

Таблица 17.50. Наименьшие допустимые сечения кабелей и проводов электрических сетей в жилых зданиях

Наименование линий	Наименьшее сечение кабелей и проводов с медными жилами, мм ²
Линии групповых сетей	1,5
Линии от этажных до квартирных щитков и к расчетному счетчику	2,5
Линии распределительной сети (стояки) для питания квартир	4

В жилых зданиях прокладка вертикальных участков распределительной сети внутри квартир не допускается. Запрещается прокладка от этажного щитка в общей трубе, общем коробе или канале проводов и кабелей, питающих линии разных квартир. Допускается не распространяющая горение прокладка в общей трубе, общем коробе или канале строительных конструкций, выполненных из негорючих материалов, проводов и кабелей питающих линий квартир вместе с проводами и кабелями групповых линий рабочего освещения лестничных клеток, поэтажных коридоров и других внутридомовых помещений.

Во всех зданиях линии групповой сети, прокладываемые от групповых, этажных и квартирных щитков до светильников общего освещения, штепсельных розеток и стационарных электроприемников, должны выполняться трехпроводными (фазный — *L*, нулевой рабочий — *N* и нулевой защитный (желто-зеленый) — *PE* проводники). Не допускается объединение нулевых рабочих и нулевых защитных проводников различных групповых линий. Нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не допускается подключать на щитках под общий контактный зажим.

На рис. 17.124 — рис. 17.126 и в приложении приведены примеры групповых линий и элементов линий осветительной электропроводки.

Электропроводку в помещениях следует выполнять сменяемой: скрыто — в каналах строительных конструкций, замоноличенных трубах; открыто — в электротехнических плинтусах, коробах и т. п.

Провода, при скрытой проводке, прокладываются только по вертикальным и горизонтальным линиям, а их расположение должно быть точно известно во избежание повреждения при сверлении отверстий, забивании гвоз-

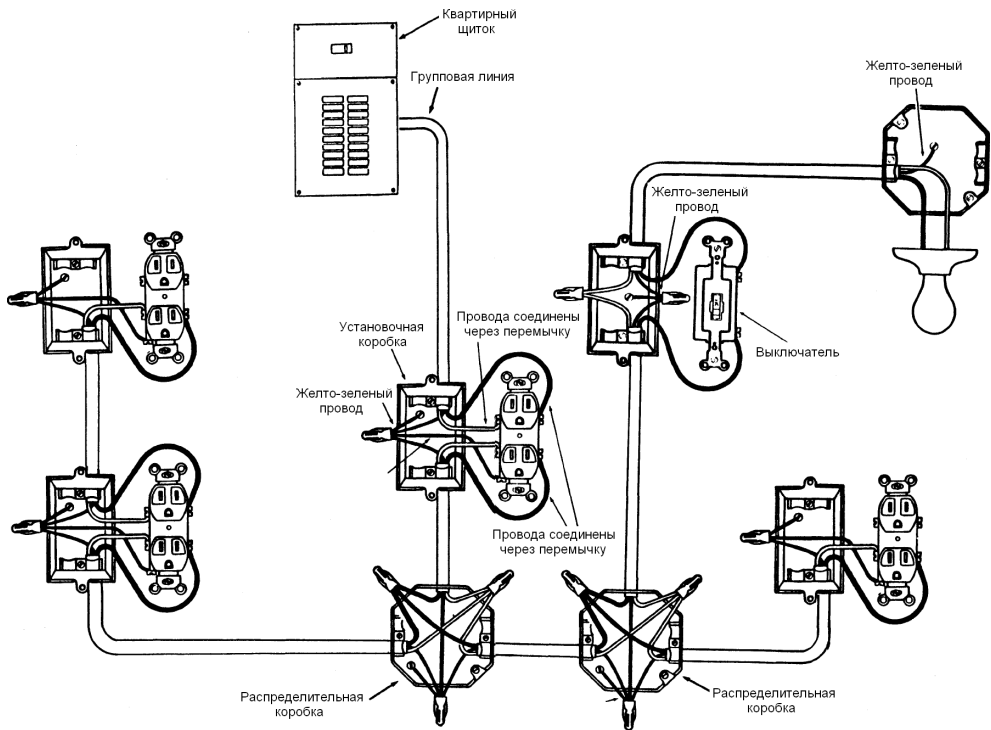


Рис. 17.124. Пример разводки групповой линии одной комнаты

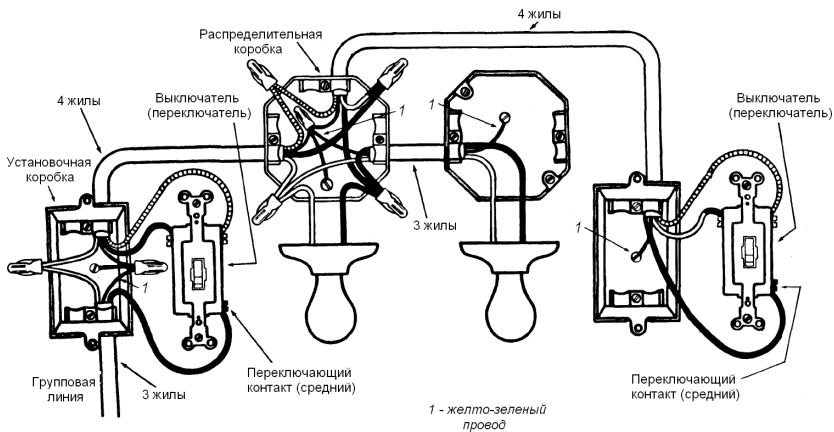


Рис. 17.125. Пример разводки линии освещения лестничной площадки

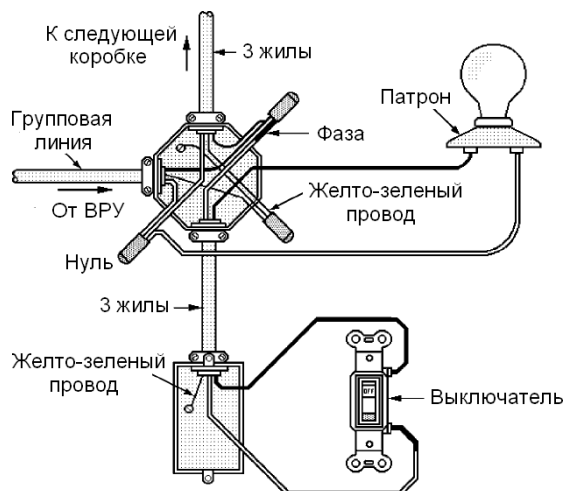


Рис. 17.126. Элемент разводки линии освещения

дей и т. п. Горизонтальная прокладка проводится на расстоянии 50—100 мм от карниза и балок, на 150 мм от потолка и на 150—200 мм от плинтуса. Вертикально проложенные участки проводов должны быть удалены от углов помещения, оконных и дверных проемов не менее чем на 100 мм.

В технических этажах, подпольях, неотапливаемых подвалах, чердаках, вентиляционных камерах, сырых и особо сырых помещениях электропроводку рекомендуется выполнять открыто.

В зданиях со строительными конструкциями, выполненными из негорючих материалов, допускается несменяемая замоноличенная прокладка групповых сетей в бороздах стен, перегородок, перекрытий, под штукатуркой, в слое подготовки пола или в пустотах строительных конструкций, выполняемая кабелем или изолированными проводами в защитной оболочке. Применение несменяемой замоноличенной прокладки проводов в панелях стен, перегородок и перекрытий, выполненной при их изготовлении на заводах стройиндустрии или выполняемой в монтажных стыках панелей при монтаже зданий, не допускается.

Электрические сети, прокладываемые за непроходными подвесными потолками и в перегородках, рассматриваются как скрытые электропроводки и их следует выполнять: за потолками и в пустотах перегородок из горючих материалов в металлических трубах, обладающих локализационной способностью, и в закрытых коробах; за потолками и в перегородках из негорючих материалов — трубах и коробах выполненных из негорючих материалов, а также кабелями, не распространяющими горение. При этом должна быть обеспечена возможность замены проводов и кабелей.

В помещениях для приготовления и приема пищи, за исключением кухонь квартир, допускается открытая прокладка кабелей. Открытая прокладка проводов в этих помещениях не допускается. В кухнях квартир могут применяться те же виды электропроводок, что и в жилых комнатах и коридорах.

Через подвалы и технические подполья секций здания допускается прокладка силовых кабелей напряжением до 1 кВ, питающих электроприемники

других секций здания. Указанные кабели не рассматриваются как транзитные, прокладка транзитных кабелей через подвалы и технические подполья зданий запрещается.

Открытая прокладка транзитных кабелей и проводов через кладовые и складские помещения не допускается. Линии, питающие холодильные установки предприятий торговли и общественного питания, должны быть проложены от ВРУ или ГРЩ этих предприятий.

В помещениях для приготовления пищи, кроме кухонь квартир, светильники с лампами накаливания, устанавливаемые над рабочими местами (плитами, столами и т. п.), должны иметь снизу защитное стекло. Светильники с люминесцентными лампами должны иметь решетки или сетки либо лампы-держатели, исключающие выпадение ламп.

В ванных комнатах, душевых и санузлах должно использоваться только то электрооборудование, которое специально предназначено для установки в соответствующих зонах указанных помещений по ГОСТ Р 50571.11—96 (рис. 17.127 и рис. 17.128), при этом электрооборудование должно иметь степень защиты по воде не ниже чем:

- в зоне 0 — IPX7;
- в зоне 1 — IPX5;
- в зоне 2 — IPX4 (IPX5 — в ваннах общего пользования);
- в зоне 3 — IPX1 (IPX5 — в ваннах общего пользования).

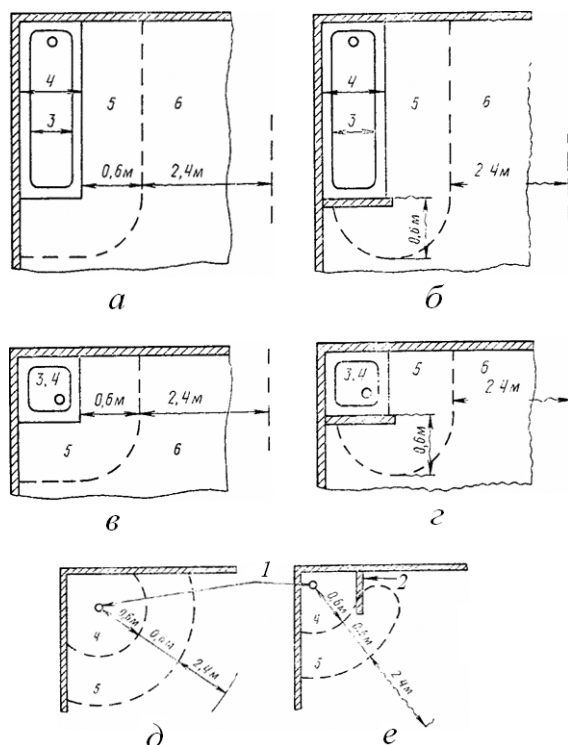


Рис. 17.127. Размеры зон (план): а — ванна; в — ванна со стационарной перегородкой; г — душ с поддоном; д — душ без поддона; е — душ без поддона, но со стационарной перегородкой; 1 — разбрызгиватель душа; 2 — стационарная перегородка; 3 — зона 0; 4 — зона 1; 5 — зона 2; 6 — зона 3

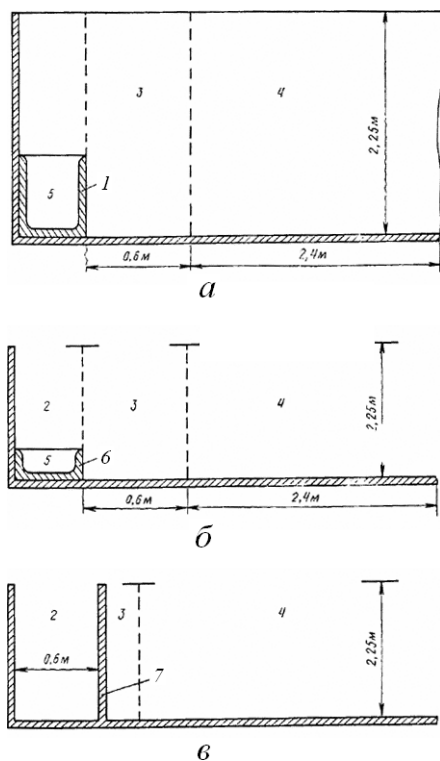


Рис. 17.128. Размеры зон (вертикальный разрез): *a* — ванна; *б* — душ с поддоном; *в* — душ без поддона, но со стационарной перегородкой; 1 — ванна; 2 — зона 1; 3 — зона 2; 4 — зона 3; 5 — зона 0; 6 — душевой поддон; 7 — стационарная перегородка

Зона 0 представляет собой внутренний объем ванны или душевого поддона.

Зона 1 ограничивается: внешней вертикальной плоскостью ванны или душевого поддона или вертикальной плоскостью на расстоянии 0,60 м от душевого разбрызгивателя — для душа без поддона; полом и горизонтальной плоскостью на расстоянии 2,25 м над полом.

Зона 2 ограничивается: внешней вертикальной плоскостью зоны 1 и параллельной ей вертикальной плоскостью на расстоянии 0,60 м; полом и горизонтальной плоскостью на расстоянии 2,25 м над полом.

Зона 3 ограничивается: внешней вертикальной плоскостью зоны 2 и параллельной ей вертикальной плоскостью на расстоянии 2,40 м; полом и горизонтальной плоскостью над полом на расстоянии 2,25 м. Размеры измеряются с учетом стен и стационарных перегородок.

В зонах 0, 1 и 2 должны находиться только те электропроводки, которые необходимы для подачи питания устройствам в этих зонах. Устанавливать распределительные устройства, устройства управления и соединительные коробки в этих зонах не допускается.

В зоне 0 могут использоваться электроприборы напряжением до 12 В, предназначенные для применения в ванне, причем источник питания должен размещаться за пределами этой зоны.

В зоне 1 могут устанавливаться только водонагреватели.

В зоне 2 могут устанавливаться водонагреватели и светильники класса защиты 2.

Установка штепсельных розеток в ванных комнатах, душевых, мыльных помещениях бань, помещениях, содержащих нагреватели для саун, а также в стиральных помещениях прачечных не допускается, за исключением ванных комнат квартир и номеров гостиниц.

В ванных комнатах квартир и номеров гостиниц допускается установка штепсельных розеток в зоне 3, присоединяемых к сети через разделительные трансформаторы или защищенных устройством защитного отключения, реагирующим на дифференциальный ток, не превышающий 30 мА.

Любые выключатели и штепсельные розетки должны находиться на расстоянии не менее 0,6 м от дверного проема душевой кабины, рис. 17.129.

Нагревательные элементы, закладываемые в пол и предназначенные для обогрева помещения, могут быть установлены во всех зонах при условии, что они покрыты металлической сеткой или заземленной металлической оболочкой, подсоединенной к системе уравнивания потенциалов.

В ванных комнатах и уборных должна применяться, как правило, скрытая электропроводка. При этом провода должны быть проложены в полихлорвиниловых или других изоляционных трубках или каналах строительных конструкций. Не допускается применение защищенных проводов в металлической оболочке, а также прокладка проводов в стальных трубах.

В зданиях при трехпроводной сети должны устанавливаться штепсельные розетки на ток не менее 10 А с защитным контактом. Штепсельные розетки, устанавливаемые в квартирах, жилых комнатах общежития, а также в помещениях для пребывания детей в детских учреждениях (садах, яслях, школах и т. п.), должны иметь защитное устройство, автоматически закрывающее гнезда штепсельной розетки при вынутой вилке.

Запрещено устанавливать розетки ближе чем в 50 см от заземленных металлических устройств (трубы, батареи, раковины, газовые и электроплиты). Розетки на стене, разделяющей две комнаты одной квартиры, удобно устанавливать с каждой стороны стены, включая их параллельно через отверстие в стене.

Не разрешается скрытая установка по одной оси розеток и выключателей в стенах между разными квартирами.

В жилых комнатах квартир и общежитий должно быть установлено не менее одной розетки на ток 6 А на каждые полные и неполные 6 м² площади комнаты, в коридорах квартир — не менее одной розетки на каждые полные и неполные 10 м² площади коридоров.

В общей комнате квартир жилых домов, строящихся на юге страны, следует устанавливать розетку с заземляющим контактом на ток 10 (16) А для включения одного бытового кондиционера воздуха мощностью до 1,3 кВт.

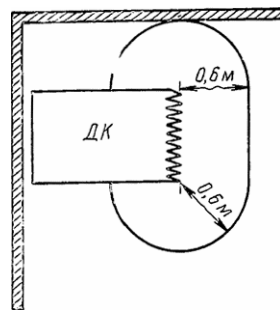


Рис. 17.129. Защитная зона душевой кабины, изготовленной заводским способом

В кухнях квартир следует предусматривать:

- три розетки на ток 6 А для подключения холодильника, надплитного фильтра и бытовых электроприемников мощностью до 1,3 кВт. В кухнях квартир площадью более 8 м² следует предусматривать четыре розетки на ток 6 А;
- одну розетку с заземляющим контактом на ток 10 (16) А для подключения бытового прибора мощностью до 2,2 (2,5) кВт, требующего заземления.

В кухнях квартир со стационарными электроплитами следует устанавливать розетку с заземляющим контактом на ток 25 А для подключения плит.

Примечание: двояная розетка, установленная в жилой комнате и коридоре, считается одной розеткой, а установленная в кухне — двумя.

В домиках на участках садоводческих товариществ следует устанавливать розетки на ток 6 А из расчета: в жилых комнатах — одна розетка на каждые полные и неполные 10 м² жилой площади; в кухнях — две розетки (независимо от площади).

Розетки в квартирах и общежитиях должны устанавливаться в местах, удобных для их использования и с учетом проектируемой расстановки бытовой и кухонной мебели.

Не нормируется расстояние от розеток с заземляющим контактом, предназначенных для присоединения стационарных кухонных электроплит и кондиционеров, до корпусов этих приборов. При этом не допускается размещать розетки под и над мойками и в других неудобных для эксплуатации местах (например, в кухонных шкафах). Расстояние от корпуса стационарной кухонной электроплиты до заземленных частей сантехнического оборудования, стальных труб отопления, горячего и холодного водоснабжения, моек и радиаторов не нормируется.

Выключатели общего освещения в помещениях общественных зданий рекомендуется устанавливать на высоте до 1,5 м от пола. В школах и детских дошкольных учреждениях в помещениях для пребывания детей выключатели и розетки должны устанавливаться на высоте 1,8 м от пола. В силовой сети предприятий общественного питания и торговли розетки следует, как правило, устанавливать на высоте 1,3 м, а пусковые аппараты — на высоте 1,2—1,6 м от пола.

Высота установки осветительных и силовых розеток в других общественных зданиях и помещениях выбирается удобной для присоединения к ним электрических приборов в зависимости от назначения помещений и оформления интерьеров, но, как правило, не выше чем 1 м от пола.

Розетки с защитным контактом для подключения уборочных механизмов должны устанавливаться в торговых залах магазинов, обеденных залах, актовых и спортивных залах, конференц-залах, вестибюлях, холлах, коридорах и других помещениях, в которых необходима механизированная уборка.

Розетки следует устанавливать на расстоянии, обеспечивающем возможность использования уборочных механизмов с питающим проводником длиной до 15 м. Рекомендуется устанавливать одну розетку на несколько поме-

щений при условии, что указанная длина проводника обеспечивает возможность уборки каждого помещения.

Розетки для подключения электроприборов в магазинах следует устанавливать в гладильных мастерских, расфасовочных, а также в торговых залах для проверки электро- и радиотоваров. Установка розеток в кладовых не допускается, за исключением кладовых и помещений для подготовки товаров к продаже (кроме помещений с токопроводящими полами), в которых допускается установка на несгораемых основаниях трехполюсных силовых розеток с защитными контактами для питания электроэнергией средств механизации.

Розетки в сети эвакуационного и аварийного освещения устанавливать не допускается.

Выключатели светильников рабочего, безопасного и эвакуационного освещения помещений, предназначенных для пребывания большого количества людей (например, торговых помещений магазинов, столовых, вестибюлей гостиниц и т. п.), должны быть доступны только для обслуживающего персонала.

Во всех помещениях необходимо присоединять открытые проводящие части светильников общего освещения и стационарных электроприемников (электрических плит, кипятильников, бытовых кондиционеров, электропалаток и т. п.) к нулевому защитному проводнику. Также к защитным проводникам должны подсоединяться металлические каркасы перегородок, дверей и рам, используемых для прокладки кабелей.

В помещениях без повышенной опасности допускается применение подвесных светильников, не оснащенных зажимами для подключения защитных проводников, при условии, что крюк для их подвески изолирован, но это не является основанием для выполнения электропроводок двухпроводными.

Для защиты групповых линий, питающих штепсельные розетки для переносных электрических приборов, рекомендуется предусматривать устройства защитного отключения (УЗО), рис. 17.130.

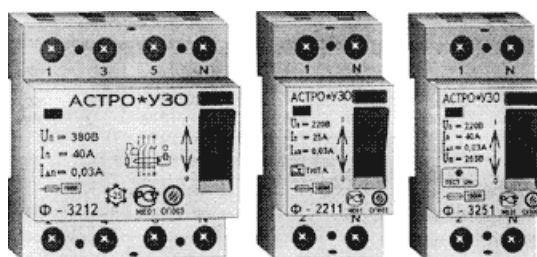


Рис. 17.130. Устройство защитного отключения

Если устройство защиты от сверхтока (автоматический выключатель, предохранитель) не обеспечивает время автоматического отключения 0,4 с при номинальном напряжении 220 В из-за низких значений токов короткого замыкания и установка (квартира) не охвачена системой уравнивания потенциалов, установка УЗО является обязательной.

В зоне действия УЗО нулевой рабочий проводник не должен иметь соединений с заземленными элементами и нулевым защитным проводником.

В жилых зданиях не допускается применять УЗО, автоматически отключающие потребителя от сети при исчезновении или недопустимом падении напряжения сети. При этом УЗО должно сохранять работоспособность на время не менее 5 с при снижении напряжения до 50 % номинального.

В зданиях могут применяться УЗО типа «А», реагирующие как на переменные, так и на пульсирующие токи повреждений, или «АС», реагирующие только на переменные токи утечки. Источником пульсирующего тока являются, например, стиральные машины с регуляторами скорости, регулируемые источники света, телевизоры, видеомэгагнитофоны, персональные компьютеры и др.

В групповых сетях, питающих штепсельные розетки, следует применять УЗО с номинальным током срабатывания не более 30 мА. Допускается присоединение к одному УЗО нескольких групповых линий через отдельные автоматические выключатели (предохранители). Установка УЗО в линиях, питающих стационарное оборудование и светильники, а также в общих осветительных сетях, как правило, не требуется.

Обязательной является установка УЗО с номинальным током срабатывания не более 30 мА для групповых линий, питающих розеточные сети, находящиеся вне помещений и в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью, например в зоне 3 ванных и душевых помещений квартир и номеров гостиниц.

Суммарный ток утечки сети с учетом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников в нормальном режиме работы не должен превосходить $\frac{1}{3}$ номинального тока УЗО. При отсутствии данных, ток утечки электроприемников следует принимать из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки сети — из расчета 10 мкА на 1 м длины фазного проводника.

Для повышения уровня защиты от возгорания при замыканиях на заземленные части, когда величина тока недостаточна для срабатывания максимальной токовой защиты, на вводе в квартиру, индивидуальный дом и т. п. рекомендуется установка УЗО с током срабатывания до 300 мА. Для жилых зданий можно выполнять одним аппаратом с током срабатывания не более 30 мА.

Если УЗО предназначено для защиты от поражения электрическим током и возгорания или только для защиты от возгорания, то оно должно отключать как фазный, так и нулевой рабочие проводники, при этом защита от сверхтока в нулевом рабочем проводнике не требуется.

На вводе в здание должна быть выполнена система уравнивания потенциалов путем объединения следующих проводящих частей:

- основной (магистральный) защитный проводник;
- основной (магистральный) заземляющий проводник или основной заземляющий зажим;
- стальные трубы коммуникаций зданий и между зданиями;
- металлические части строительных конструкций, молниезащиты, системы центрального отопления, вентиляции и кондиционирования.

Такие проводящие части должны быть соединены между собой на вводе в здание. Рекомендуется по ходу передачи электроэнергии повторно выполнять дополнительные системы уравнивания потенциалов.

К дополнительной системе уравнивания потенциалов должны быть подключены все доступные прикосновению открытые проводящие части стационарных электроустановок, сторонние проводящие части и нулевые защитные проводники всего электрооборудования (в том числе штепсельных розеток).

Для ванн и душевых помещений дополнительная система уравнивания потенциалов является обязательной и должна предусматривать, в том числе, подключение сторонних проводящих частей, выходящих за пределы помещений. Если отсутствует электрооборудование с подключенными к системе уравнивания потенциалов нулевыми защитными проводниками, то систему уравнивания потенциалов следует подключить к РЕ шине (зажиму) на вводе. Нагревательные элементы, замоноличенные в пол, должны быть покрыты заземленной металлической сеткой или заземленной металлической оболочкой, подсоединенной к системе уравнивания потенциалов. В качестве дополнительной защиты для нагревательных элементов рекомендуется использовать УЗО на ток до 30 мА.

Не допускается использовать для саун, ванн и душевых помещений системы местного уравнивания потенциалов.

Электропроводки в чердачных помещениях. В чердачных помещениях могут применяться следующие виды электропроводок:

- открытая — проводами и кабелями, проложенными в трубах, а также защищенными проводами и кабелями в оболочках из негорюемых или трудногорюемых материалов — на любой высоте; незащищенными изолированными одножильными проводами на роликах или изоляторах (в чердачных помещениях производственных зданий — только на изоляторах) — на высоте не менее 2,5 м; при высоте до проводов менее 2,5 м они должны быть защищены от прикосновения и механических повреждений;
- скрытая — в стенах и перекрытиях из негорюемых материалов — на любой высоте.

Открытые электропроводки в чердачных помещениях должны выполняться проводами и кабелями с медными жилами. Провода и кабели с алюминиевыми жилами допускаются в чердачных помещениях зданий с негорюемыми перекрытиями — при открытой прокладке их в стальных трубах или скрытой прокладке их в негорюемых стенах и перекрытиях. В производственных зданиях сельскохозяйственного назначения со сгораемыми перекрытиями — при открытой прокладке их в стальных трубах с исключением проникновения пыли внутрь труб и соединительных (ответвительных) коробок, при этом должны быть применены резьбовые соединения.

Соединение и ответвление медных или алюминиевых жил проводов и кабелей в чердачных помещениях должны осуществляться в металлических соединительных (ответвительных) коробках сваркой, опрессовкой или с применением сжимов, соответствующих материалу, сечению и количеству жил.

Ответвления от линий, проложенных в чердачных помещениях, к электроприемникам, установленным вне чердаков, допускаются при условии прокладки линий и ответвлений открыто в стальных трубах, или скрыто в негорюемых стенах (перекрытиях).

Коммутационные аппараты в цепях светильников и других электроприемников, установленных непосредственно в чердачных помещениях, должны быть установлены вне этих помещений.

Наружные электропроводки. Незащищенные изолированные провода наружной электропроводки должны быть расположены или ограждены таким образом, чтобы они были недоступны для прикосновения с мест, где возможно частое пребывание людей (например, балкон, крыльцо). От указанных мест эти провода, проложенные открыто по стенам, должны находиться на расстоянии не менее указанного в табл. 17.51. Незащищенные изолированные провода наружной электропроводки в отношении прикосновения следует рассматривать как неизолированные.

Таблица 17.51. Расстояние до незащищенных изолированных проводов наружной электропроводки

Расположение проводов	Расстояние, м
При горизонтальной прокладке	
над балконом, крыльцом, а также над крышей промышленного здания	2,5
над окном	0,5
под балконом	1,0
под окном (от подоконника)	1,0
При вертикальной прокладке	
до окна	0,75
до балкона	1,0
от земли	2,75

При подвеске проводов на опорах около зданий расстояние от проводов до балконов и окон должно быть не менее 1,5 м при максимальном отклонении проводов.

Наружная электропроводка по крышам жилых, общественных зданий и зрелищных предприятий не допускается, за исключением вводов в здания (предприятия) и ответвлений к этим вводам.

Расстояние от проводов, пересекающих пожарные проезды и пути для перевозки грузов, до поверхности земли (дороги) в проезжей части должно быть не менее 6 м, в непроезжей части — не менее 3,5 м.

Расстояние между проводами должно быть: при пролете до 6 м — не менее 0,1 м, при пролете более 6 м — не менее 0,15 м. Расстояние от проводов до стен и опорных конструкций должно быть не менее 50 мм.

Прокладка проводов и кабелей наружной электропроводки в трубах, коробах и гибких металлических рукавах должна выполняться с уплотнением. Прокладка проводов в стальных трубах и коробах в земле вне зданий не допускается.

Вводы в здания рекомендуется выполнять через стены в изоляционных трубах таким образом, чтобы вода не могла скапливаться в проходе и прони-

кату внутрь здания. Расстояние от проводов перед вводом и проводов ввода до поверхности земли должно быть не менее 2,75 м. Расстояние между проводами у изоляторов ввода, а также от проводов до выступающих частей здания (свесы крыши и т. п.) должно быть не менее 0,2 м.

Вводы допускается выполнять через крыши в стальных трубах. При этом расстояние по вертикали от проводов ответвления к вводу и от проводов ввода до крыши должно быть не менее 2,5 м. Для зданий небольшой высоты (торговые павильоны, киоски, здания контейнерного типа, передвижные будки, фургоны и т. п.), на крышах которых исключено пребывание людей, расстояние в свету от проводов ответвлений к вводу и проводов ввода до крыши допускается принимать не менее 0,5 м. При этом расстояние от проводов до поверхности земли должно быть не менее 2,75 м.

17.4. Монтаж вторичных цепей по панелям проводами

Монтаж вторичных цепей выполняется по монтажной схеме. Она соответствует натуре лишь в части расположения аппаратуры и клемных рядов. От правильной раскладки и исполнения потоков проводов в значительной степени зависит качество и внешний вид щита.

В практике монтажа сложились требования, определяющие должное качество вторичных цепей.

- Количество проводов в одном потоке не должно превышать 20—25. Сборка потоков с большим числом проводов осложняет раскладку и неудобна в эксплуатации при необходимости замены или добавления проводов.
- Провода прокладывать к месту подсоединения следует кратчайшим путем.
- Стремиться к наименьшему числу перекрещиваний между потоками проводов.
- Не закрывать потоками проводов доступ к наборным зажимам, к контактам приборов и аппаратов, а также не мешать замене их.
- Стремиться объединять в один поток провода, относящиеся к одному аппарату или группе однородных аппаратов.
- В один ряд укладывать не более 10—12 проводов.
- При многослойных потоках в нижний слой укладывать провода наиболее удаленных аппаратов и приборов.
- В одном ряду собирать провода, наиболее близкие друг к другу по местам присоединения к аппаратам.

Провода до укладки потока необходимо выправить путем вытяжки с протиркой ветошью. Потоки прокладывают прямыми участками без волнистости. Волнистость может появиться в результате сильной перетяжки бандажей, рис. 17.131. Проводники в потоке укладывают плотно и параллельно один относительно другого. Для выравнивания потоков после каждого крепления производят правку с помощью доски и молотка. Для этого с одной стороны потока накладывают деревянный брусок, а с другой доску или алюминиевую

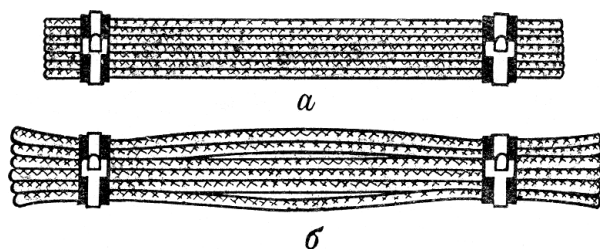


Рис. 17.131. Формирование и бандажирование потока проводов:
а — правильное; *б* — неправильное

пластину и отбивают поток по пластине. Сверху поток выправляют также с помощью доски.

Надо соблюдать горизонтальность и вертикальность потоков, а также отдельных проводов. Отклонения допускаются не более 5—6 мм на 1 м длины потока. Перекрещивания и ответвления от основного потока, а также повороты выполняют под прямым углом. Все ответвления и углы поворота потоков следует выполнять одинаково. Особое внимание надо уделять изгибу первого провода, так как по нему будет формироваться поворот всего потока. Углы могут выполняться двумя способами — крутой поворот или закругленный поворот, рис. 17.132.

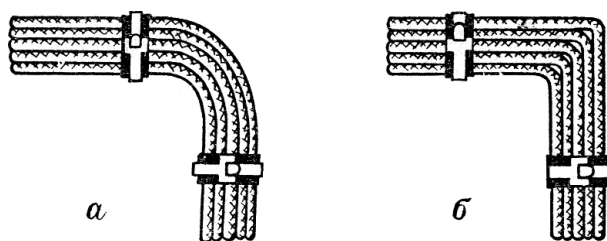


Рис. 17.132. Формирование поворотов потоков проводов:
а — закругленный поворот на 90°; *б* — крутой поворот на 90°

При первом способе каждый предыдущий провод плотно огибается последующим. В результате получается закругленный угол с возрастанием радиуса изгиба последующих проводов. Нужно иметь в виду, что если изогнутый провод плохо выправляется, а алюминиевый провод вообще нельзя выправить, поэтому надо точно определять место изгиба провода.

При втором способе все провода имеют один и тот же радиус изгиба (радиус изгиба для медных проводов не должен быть меньше двух наружных диаметров), при этом в углах между проводами образуются зазоры.

При формировании потока надо так располагать провода, чтобы ответвление части потоков происходило без перекрещиваний проводов в данном потоке. В тех случаях, когда перекрещиваний не избежать, нужно иметь в виду, что наиболее удобным местом для перекрещивания является выход из основного потока непосредственно у аппарата или прибора.

При обходе препятствий поток приподымается над ним, рис. 17.133. При этом изгибание делают под тупым углом, а не резкими изломами.

В монтажной практике применяются различные способы раскладки и крепления проводов по панелям. Выбор способа зависит от расположения

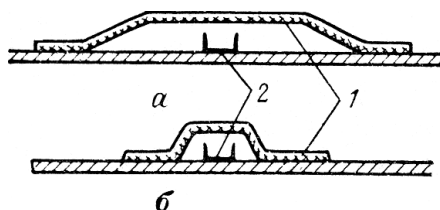


Рис. 17.133. Переход препятствий потоком проводов: *a* — правильно; *б* — неправильно

приборов, клемных рядов, типа наборных зажимов, а также от сложившейся практики монтажа. Наибольшее распространение получили следующие виды прокладок по панелям.

Прокладка проводов рядами непосредственно по основанию. При этом способе потоки проводов закрепляют скобами на винтах либо полосками, приваренными к панелям. При прокладке непосредственно по панели размечают трассы потоков, затем просверливают отверстия для винтов или шурупов-саморезов, либо приваривают полоски. Скобы применяют металлические двухлапчатые под два винта, однолапчатые или безлапчатые под один винт, рис. 17.134.

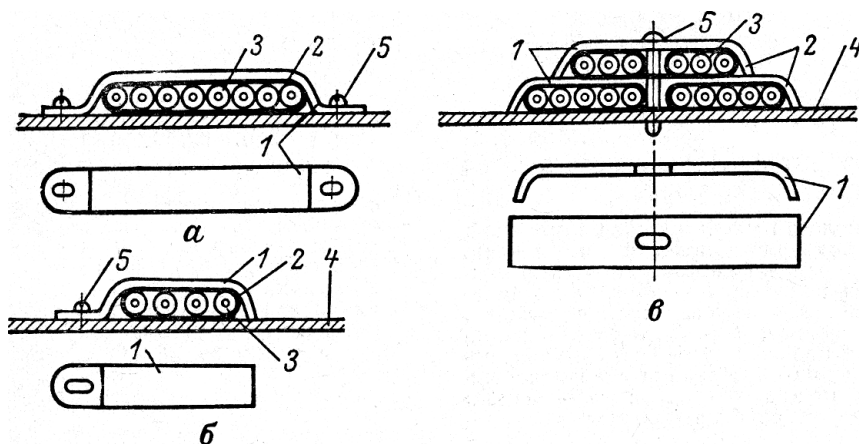


Рис. 17.134. Крепление потока проводов скобами: *a* — двухлапчатая скоба; *б* — однолапчатая скоба; *в* — безлапчатая скоба; 1 — скоба; 2 — прокладка из изоляционного материала (электрокартон, лакоткань); 3 — провод; 4 — металлическое основание (панель); 5 — винт крепления скобы

Размер скоб определяется диаметром проводов, количеством их в потоке, а также количеством слоев в потоке. Для крепления одного или двух проводов применяют однолапчатые скобы. Скобы для потоков в 6—8 проводов изготавливают из стали толщиной 0,8—1,0 мм. При потоке в 8—12 проводов толщина скоб 1,0—1,2 мм.

Под скобы устанавливают прокладки из электрокартона (прешпана) толщиной 0,8—1,0 мм. Полоска картона берется шире скобы на 4—5 мм. При креплении скоб (или приборов) к панели винтами на резьбе диаметр их не более двух толщин металла панели. Обычно применяются винты М3—М4. Крепежные винты, гайки, шайбы применяют с антикоррозионным покрытием. Способ крепления скобами кропотлив и трудоемок и применяется в слу-

чаях, требующих большой аккуратности раскладки, например при раскладке по лицевой стороне панели.

Крепление стальными полосками, приваренными к панели, с успехом заменяет собой крепление скобами. Полоски шириной 10 и толщиной 0,5 мм, снабженные пряжками, приваривают точечной сваркой к панели. Концы полосок после приварки отгибают по ширине потока под углом 90° к плоскости панели, затем на полоску устанавливается изолирующая прокладка с таким расчетом, чтобы она охватывала весь поток под скобой, рис. 17.135. По ширине изолирующая прокладка выходит за края скобы на 2—3 мм.

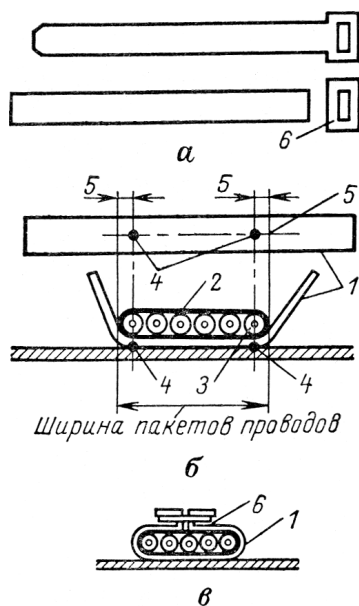


Рис. 17.135. Крепление потока проводов металлической полоской на приварке: *а* — полоска металлическая с пряжкой; *б* — приварка полоски к панели; *в* — закрепление потока с помощью приварки полоски; 1 — полоска металлическая; 2 — изоляционная прокладка; 3 — провода; 4 — места точечной приварки полоски; 5 — места изгиба полоски для образования скобы (по ширине пакета проводов); б — «замок» скобы в пряжке

По мере укладки потока полоски закрепляют в «замок», т. е. заводят концы полосок в пряжки и загибают их. Излишки концов обрезают и уплотняют «замок» легким пристукиванием деревянным молотком или оправкой.

Прокладку потоков рядами следует отнести к устарелому способу, он обладает высокой трудоемкостью и занимает большую площадь панели. При значительной насыщенности приборами такую раскладку бывает трудно разместить, поэтому приходится пользоваться другими способами прокладок.

Одной из разновидностей прокладки потока проводов рядами является прокладка жгута проводов с креплением скобами непосредственно к панели, при этом жгут утягивается биндажом, рис. 17.136.

Иногда в практике электромонтажных работ возникает необходимость крепления жгута жил кабелей в каком-то единично монтируемом щите, а биндажная лента или полоски с пряжками отсутствуют. В этом случае допускается заменять биндаж вязкой нитью, рис. 17.137.

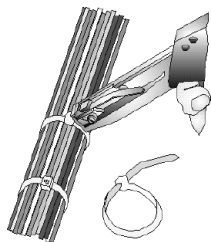


Рис. 17.136. Утягивание жгута бандажом

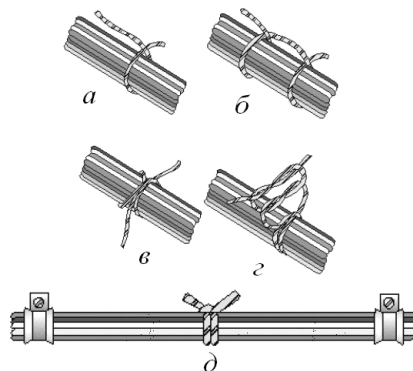


Рис. 17.137. Бандажирование жгута нитью: а—в — утягивание жгута; г — закрепление нити двумя прямыми узлами; д — прокладка жгута

Прокладка проводов по струне. Это более прогрессивный, компактный и индустриальный способ. Он позволяет заготавливать пучки вторичных цепей в мастерских по замерам. По размеченным трассам потоков приваривают к панели «струну» — стальную проволоку диаметром 5—6 мм или полосу 2 × 20 мм. На «струну» предварительно надевают поливинилхлоридную трубку для изоляции. В случае стальной полосы — наматывают полимерную ленту. На этой «струне», как на каркасе, закрепляют пучок проводов, он крепится с помощью бандажей, рис. 17.138. Пакет проводов скрепляется бандажами через каждые 150—200 мм.

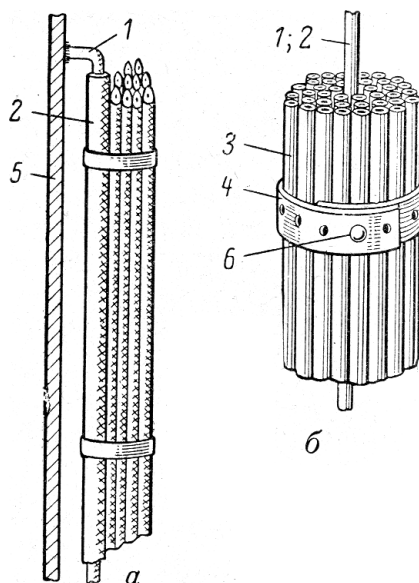


Рис. 17.138. Крепление потока проводов на «струне»: а — одностороннее размещение «струны»; б — центральное размещение «струны»; 1 — «струна» (проволока, прикрепленная к панели); 2 — изоляция «струны» поливинилхлоридной трубкой; 3 — провода потока; 4 — бандаж; 5 — панель; 6 — кнопка для бандажа

Способ «натянутой струны» применяется как разновидность «струнной» прокладки, рис. 17.139. На прямых участках потока приваривают закрепы из отрезков угловой стали. В отверстия закрепов пропускают концы «струны» 2 (один конец крючком, другой с резьбой) и затягивают гайкой 3, рис. 17.139. Крепление проводов к струне осуществляется бандажами.

Прокладка потоков по перфорированным дорожкам похожа на струнную прокладку, только здесь опорной поверхностью является перфорированная полоса, прикрепленная к панели на сварке или на винтах, рис. 17.140. Кроме того, возможна прокладка на перфорированных стойках, рис. 17.140б.

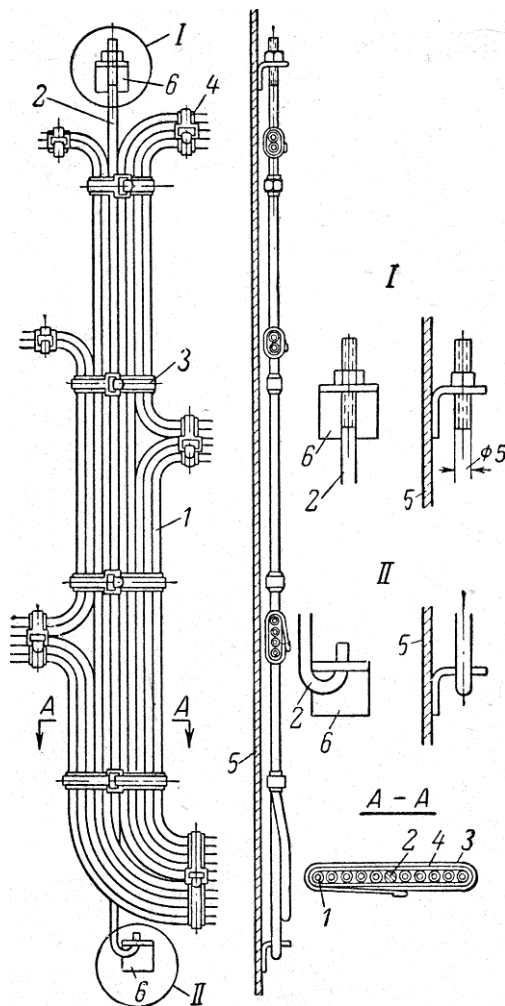


Рис. 17.139. Крепление потока проводов способом натяжной «струны»: 1 — провода; 2 — «струна»; 3 — бандаж; 4 — прокладка из латокнани или электрокартона; 5 — скоба для натяжки струны

На площадке, предназначенной для прокладки проводов, высечена перфорация 5, рассчитанная для крепления пучка проводов полосками. Закрепление проводов выполняется металлическими или полимерными полосками.

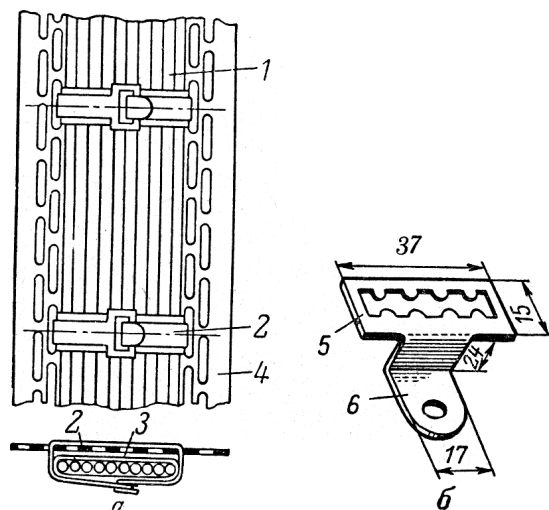


Рис. 17.140. Прокладка потока проводов по перфорированной дорожке: *a* — перфорированная дорожка; *б* — перфорированная стойка; 1 — перфорированная полоса; 2 — полоска крепления потока; 3 — изолирующая прокладка; 4 — провода; 5 — перфорация для бандажирования потока; 6 — отверстие для крепления стойки к основанию

При закреплении металлическими полосками под них подкладываются электрокартон или лакоткань.

Прокладка проводов в коробе (скрыто). При этом способе значительно упрощаются монтажные работы, и он особенно рекомендуется при большом числе проводов, рис. 17.141. Для выхода проводов из короба предусмотрены специальные щели или перфорация. В настоящее время применяются короба из полимерных материалов.

Провода внутри короба прокладываются без крепления и без дополнительной изоляции.

Прокладка проводов свободным пучком. Этот способ нашел широкое применение. Особенно рекомендуется он при большой насыщенности панели приборами и при малой длине потоков. Пакет проводов при этом способе не имеет крепления непосредственно к панели, а держится на ответвлениях концов проводов, подсоединенных к наборным зажимам и к аппаратуре, рис. 17.142. Бандажирование пучка производится расшивкой, либо зубчатыми полосками-пряжками. Пучки и пакеты прокладывают на расстоянии 5—10 мм от панели свободно и скрепляют бандажами через 150—200 мм.

Прокладка проводов «напрямую». За последнее время этот способ получает все большее распространение, как у нас, так и в зарубежной практике, рис. 17.143. Он наименее трудоемок по сравнению с другими, требует меньше затрат материалов и труда монтажников высокой квалификации. Прокладки проводов не пересекаются у зажимов аппаратов и наборных рядов, имеют наглядные пути и обозначения, легко заменимы при повреждениях или изменениях схем. Таким образом, здесь сочетаются монтажные и эксплуатационные преимущества.

При прокладке и подключении по задней стороне панели провода подключаются напрямую к зажимам аппаратуры или наборных рядов, а также от

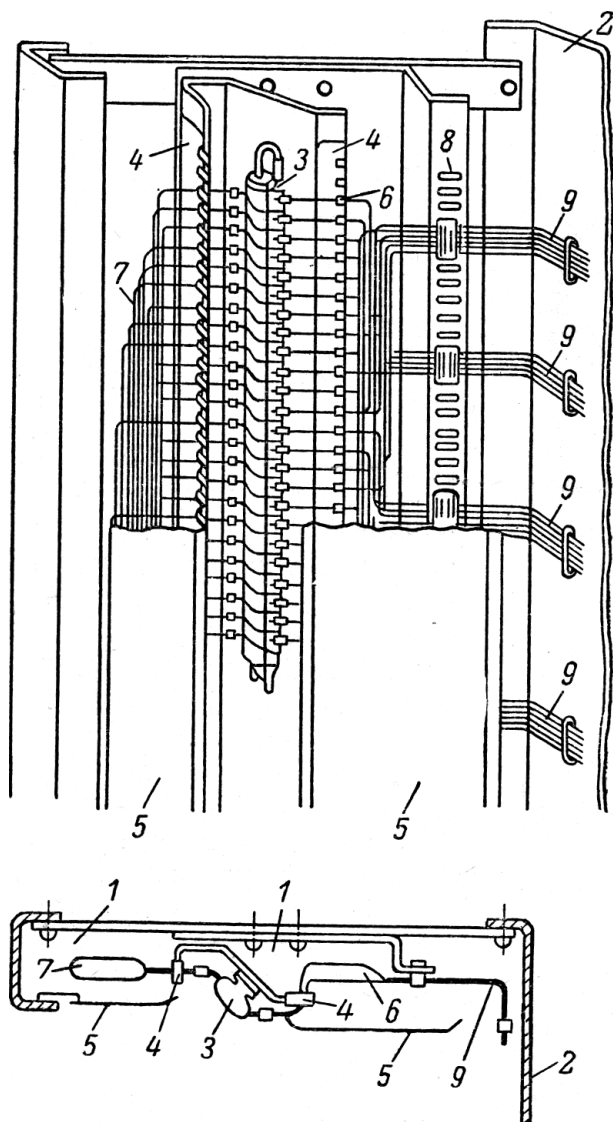


Рис. 17.141. Прокладка проводов вторичных цепей в коробе: 1 — короб; 2 — лицевая сторона панели; 3 — наборный ряд зажимов; 4 — пластмассовая гребенка; 5 — съемная крышка короба; 6 — пучок проводов (здесь выполняется перекрещивание проводов); 7 — пучок жил контрольных кабелей (здесь выполняется перекрещивание жил кабелей); 8 — перфорация для закрепления потоков проводов; 9 — свободный пакет подводов к приборам

аппарата к аппарату. Если провода выходят к зажимам аппаратов на другую сторону панели, то по осевой линии на расстоянии 40 мм от каждого зажима аппаратов или наборных зажимов просверливают отверстия диаметром 10,5 мм, в которые вставляют проходные втулки (например, У457).

Провод прокладывают по задней стороне панели прямо к соответствующей втулке, продевают через нее и подключают обычным способом к зажиму прибора. При этом провод не требуется крепить к панели. Для большей ус-

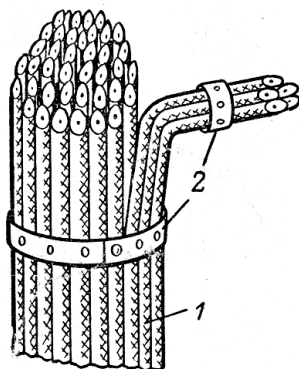


Рис. 17.142. Прокладка проводов свободным пучком: 1 — провода потока; 2 — бандаж

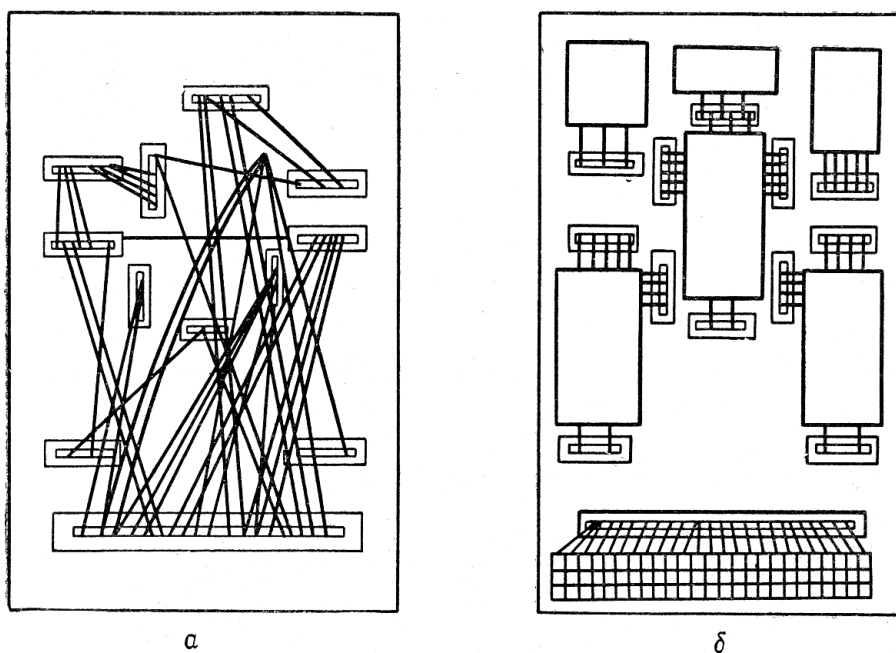


Рис. 17.143. Прокладка проводов «напрямую»: а — вид с задней стороны панели; б — вид по фасаду с выходом проводов к приборам переднего присоединения

тойчивости лишь рекомендуется скреплять их между собой в местах пересечения бандажом из липкой ленты либо зубчатой полоской. Потоки параллельно идущих проводов большой длины также следует скреплять бандажами в нескольких местах. Эти скрепления делают на задней стороне панели. На лицевую часть выводят лишь концы проводов для подключения их к зажимам приборов. Панели с задним подключением приборов при способе проводов «напрямую» выглядят еще проще.

Прокладка гибких соединений. Часто прокладки вторичных цепей переходят с неподвижных поверхностей панелей на открывающиеся двери, на которых располагаются аппараты и приборы (ключи управления, аппаратура измере-

ния, сигнализации и т. п.). Переход прокладок на двери выполняется в виде гибкого компенсатора. Для этого используются гибкие провода, допускающие многократные изгибания.

Существуют две разновидности гибких компенсаторов: в виде плоских потоков (рис. 17.144) и в виде жгутов (рис. 17.145). Компенсаторы для потока с небольшим числом проводов (до 6—7) обычно делают работающими на изгиб. При большем числе проводов целесообразно делать компенсатор, работающий на скручивание.

В свою очередь компенсатор может быть соединен через дополнительные ряды зажимов или без них. Промежуточные зажимы устанавливают в месте перехода потока, как на неподвижной части панели, так и на двери ее. Если проводка панели выполнена алюминиевыми проводами, то установка промежуточных зажимов обязательна для перехода с алюминиевых проводов на медные, так как алюминиевые провода не могут быть допущены в качестве

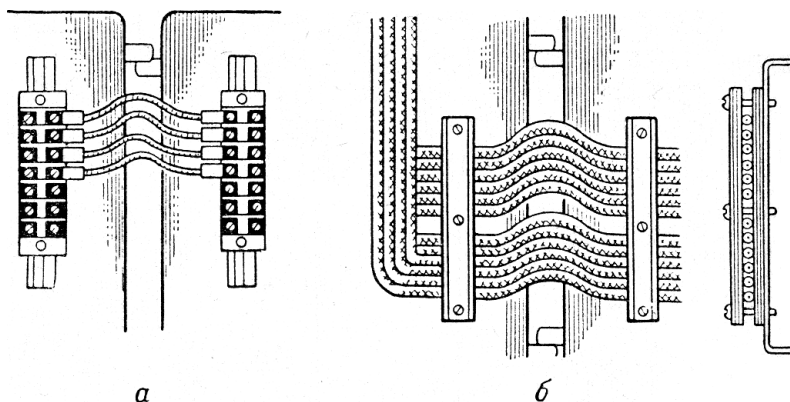


Рис. 17.144. Гибкие компенсаторы, плоские: *а* — перемычка с набором зажимов на переходе; *б* — двухслойный компенсатор

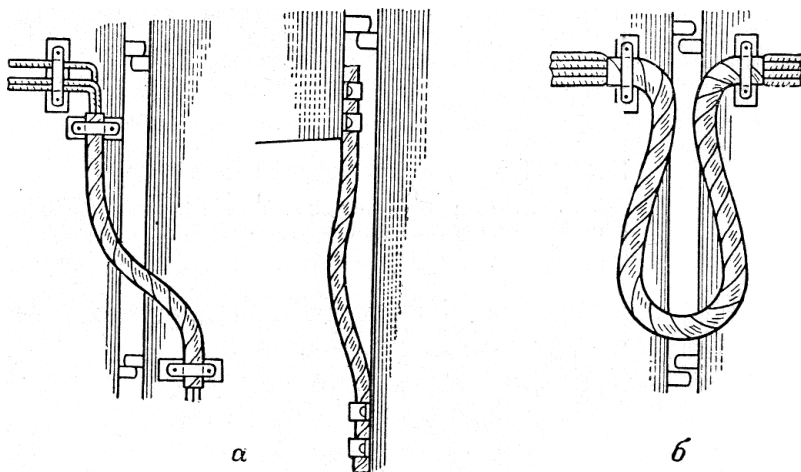


Рис. 17.145. Компенсаторы в виде жгута: *а* — вертикальный; *б* — петлевой (горизонтальный)

компенсатора. Можно ограничиться установкой одного ряда зажимов (только на неподвижной части панели) в том случае, если раскладку на подвижной выполнить гибкими проводами. Это часто так и делается (при небольшом количестве проводов на дверце).

Ряды зажимов располагают вблизи друг к другу с тем, чтобы длина гибких перемычек была 200—250 мм. Когда нет необходимости в установке промежуточных зажимов, компенсатор на изгибание устраивают в виде небольшой петли в створе двери. При большом количестве проводов в потоке (20—30 проводов) лучше его в компенсаторе расщепит на 2—3 потока. На переходе компенсаторы могут быть в виде двухслойных и даже трехслойных. При этом каждый последующий слой имеет слаbinу относительно предыдущего.

Крепление компенсатора делается на клище. Под скобу обязательна подкладка из толстого электрокартона, резины или пластика толщиной 3—5 мм и шириной на 5—6 мм больше ширины скобы крепления. В середине компенсатор рекомендуется скреплять биндажом из эластичного изоляционного материала. Компенсаторы, работающие на скручивание, делаются в виде жгута с перевитыми проводами по типу повива жил контрольных кабелей. Жгут делается круглой формы, неплотного повива, чтобы при движении двери он мог свободно скручиваться и раскручиваться. Для придания круглой формы рекомендуется добавлять холостые провода в качестве заполнителей.

Компенсатор может быть вертикальным, когда крепление его концов делается на разных высотах (рис. 17.145а), и горизонтальным, когда он выполняется в виде петли, а крепление его как на неподвижной, так и на подвижных частях панели осуществляется на одной и той же высоте, рис. 17.145б, при этом длина петли делается не менее 550 мм. Крепление компенсатора этого типа выполняется по аналогии с компенсатором, работающим на изгиб. Компенсатор на гибкой части обматывается поливинилхлоридной или другой пластиковой лентой, при отсутствии таковой — лакотканью или киперной лентой.

В некоторых случаях допускается устройство компенсаторов из однопроволочных проводов, например в шкафах, ящиках со съёмными крышками, которые снимаются редко. При этом соблюдаются следующие условия: допускаются компенсаторы, работающие только на скручивание, длина их допускается не менее 750—800 мм, угол закручивания не более 90°, а сечение проводов не выше 2,5 мм².

При необходимости механической защиты жгут компенсатора заключают в металлический рукав. Рукав закрепляют на неподвижной и подвижной частях панели полукруглыми скобами. При этом срез рукава зачищается от заусенцев, завальцовывается и закрепляется скобой с таким расчетом, чтобы срез не выступал за скобу. Ширина скобы не менее 25 мм. Жгут до затяжки в металлорукав обматывают слоем ленты, а при выходе — в несколько слоев. На рис. 17.146 показан прием резки ножовкой металлорукава.

Компенсаторы с небольшим числом проводов (до 7 проводов) рекомендуется делать в поливинилхлоридной трубке.

Заготовка и укладка потоков вторичных цепей непосредственно на месте монтажа не способствует повышению производительности труда и качества. Поэтому стараются сократить трудозатраты путем максимального переноса

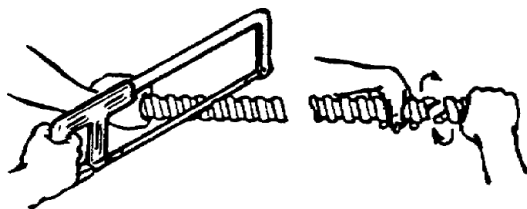


Рис. 17.146. Прием резки ножовкой металлорукава

заготовительных работ в мастерские монтажно-заготовительных участков. При этом шкафы, пульты, отдельные панели щитов для укладки проводов и подсоединения приборов доставляют в мастерские, с тем, чтобы потом в виде готового изделия направить к месту монтажа. Для установок, доставка которых в мастерские по тем или другим причинам невозможна, производится индустриальная заготовка потоков проводов. На месте монтажа остается подключить только кабели внешних соединений либо уложить готовые монтажные узлы — заготовки потоков проводов.

До начала работ по заготовке потоков составляется эскиз раскладки проводов. При осмотре объекта монтажа (пульта, шкафа и т. п.) выбирается способ раскладки, размечаются потоки, составляются схемы подключений.

Для того чтобы заготовить эскиз и затем по нему выполнить работу, приходится кропотливо и тщательно перебирать ряд вариантов и примерок. Выбор способа и трасс прокладок зависит от многих обстоятельств: от конструкции панели, шкафа, пульта; от расположения приборов и аппаратов; от типа зажимов этих приборов (переднее или заднее подсоединение, шпилька, винт и т. п.); от марки провода и пр.

Вторичные цепи приходится монтировать в основном по металлу панелей, реже по изоляционным плитам. После разметки заготавливают все отверстия, приваривают крепежные изделия. По окончании разметки потоков приступают к составлению эскиза. Эскиз потоков обычно составляется в однолинейном исполнении, т. е. потоки изображаются одной линией со всеми изгибами, ответвлениями. Длина прямолинейных участков указывается в миллиметрах, рис. 17.147а. Замеры потока ведутся по средней линии. На всех участках потока в кружочках указывается количество проводов. Значительно нагляднее и полнее выглядит изометрическое изображение монтажных узлов, хотя оно и более трудоемко в приготовлении, рис. 17.147б.

Заготовку проводов и расшивку их в жгуты рекомендуется выполнять на специальном столе. Жгуты расшивают нитками диаметром 0,5—0,6 мм, протертыми воском или парафином. Шаг вязки (рис. 17.148) зависит от диаметра жгута: при диаметре до 10 мм расстояние между стежками 15—20 мм; при диаметре 10—30 мм — 20—30 мм; выше 30 мм — 30—50 мм. Вязка жгута диаметром до 25 мм производится одной нитью, свыше 25 мм — двумя.

Перевязка потока проводов (или жил кабелей) показана на рис. 17.149. Вначале завязывают квадратный (тещин, или, как еще называют, бабий) узел. Затем, сделав сначала одну, потом вторую одностороннюю петлю, плотно прижимают их к узлу. Этим заканчивается начальное крепление нити. Перевязка потока проводов представляет собой равномерно повторяющиеся односторонние петли.

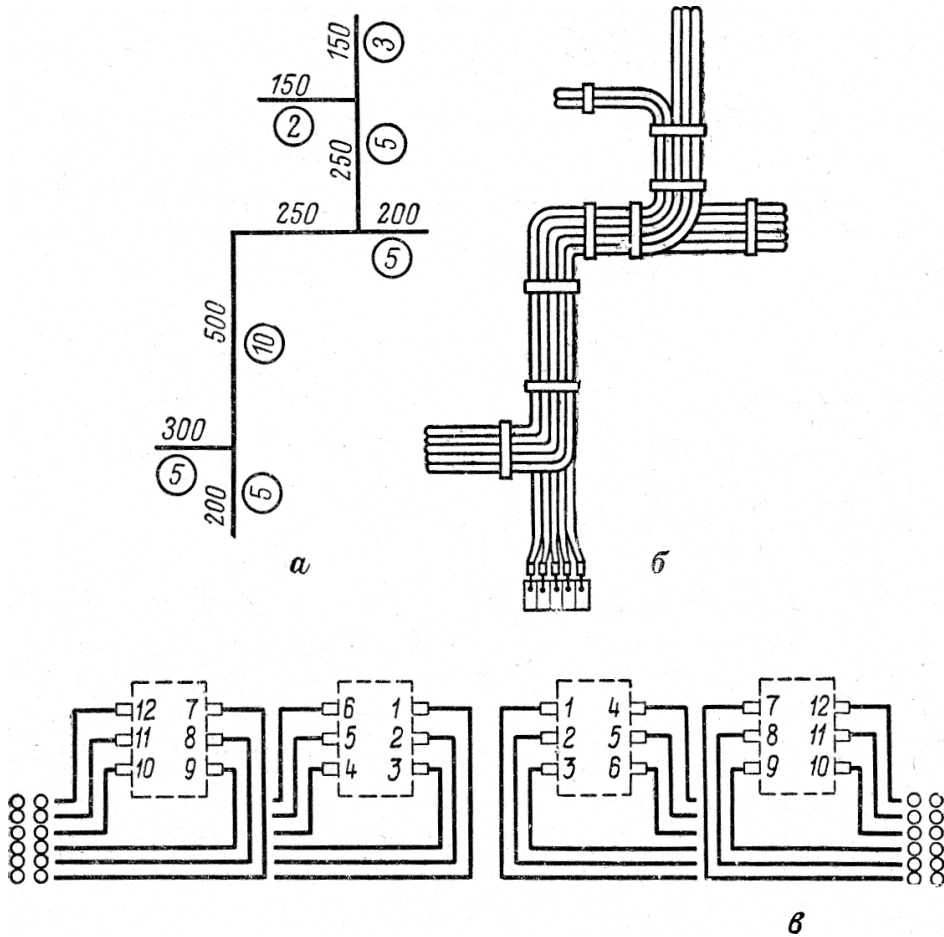


Рис. 17.147. Эскизы прокладок проводов: *а* — в однолинейном изображении; *б* — в изометрическом изображении; *в* — эскиз с технологическими указаниями (цифровое обозначение указывает очередность укладки проводов)

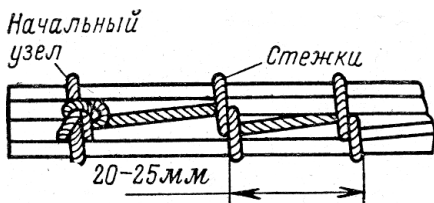


Рис. 17.148. Основные элементы жгута

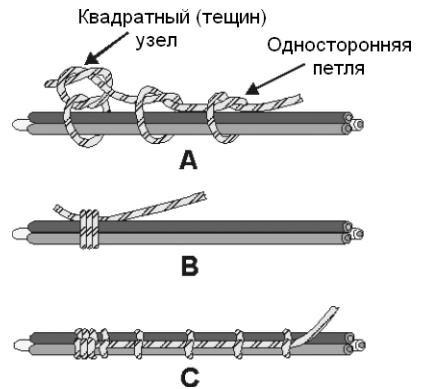


Рис. 17.149. Перевязка потока проводов

При делении потока проводов на два или больше ответвлений (рис. 17.150а), перед разветвлением необходимо наложить не менее шести односторонних петель, плотно прижатых друг к другу и продолжить вязку по одному из ответвлений. На других ответвлениях начать вязку заново. Заканчивают вязку на потоке проводов, когда в нем остается всего два провода, рис. 17.150б.

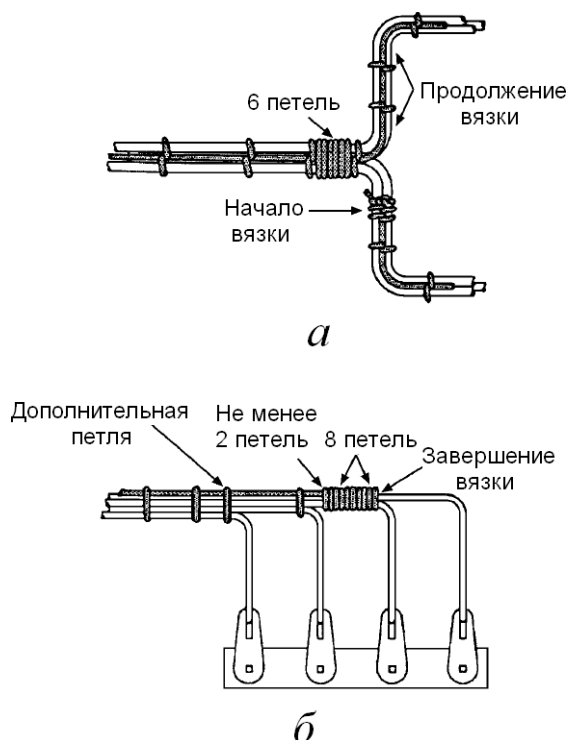


Рис. 17.150. Вязка при делении потока проводов на два и более ответвлений

Вязка потока проводов в две нити аналогична вязке в одну нить, за исключением того, что в начале вязки не нужно делать дополнительные петли, рис. 17.151. Заканчивают вязку следующим образом. Сделав одной нитью четыре плотно стянутых петли, вторая нить при этом проходит вместе с проводом внутри петель, второй нитью обматывают жгут вместе с первой нитью. Сделав восемь витков, протягивают нить под всеми витками предварительно заложенной петлей, рис. 17.152.

Альтернативный метод завершения вязки потока проводов показан на рис. 17.153а. Этот метод пригоден как для вязки в одну нить, так и для вязки в две нити. При вязке жгута в две нити можно использовать узел, приведенный на рис. 17.153б.

Сборку потоков по эскизам надо начинать от наборного ряда зажимов, т. е. от основания потоков, следуя к вершинам. По эскизу в соответствии с отметками монтажной схемы укладывают нужной длины провода. Отступив от начала потока, делают временные бандажи через каждые 500—600 мм пря-

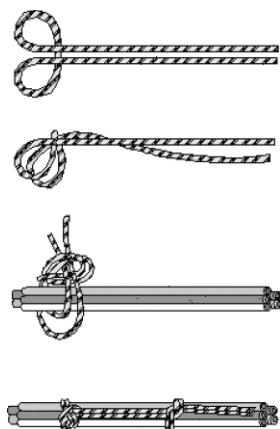


Рис. 17.151. Последовательность вязки потока проводов в две нити

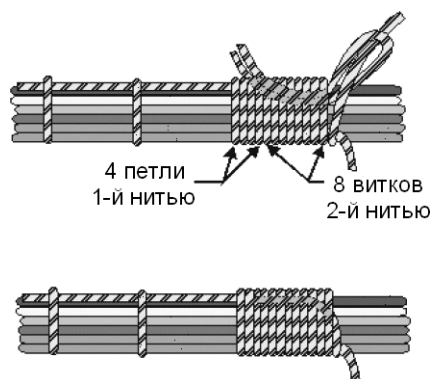


Рис. 17.152. Завершение вязки потока проводов в две нити



Рис. 17.153. Альтернативный метод завершения вязки потока проводов

мых участков. Здесь же на монтажной поверхности цветным маркером наносят пометки для постоянных креплений потока.

Поворот или ответвление потока на ребро делается на расстоянии, равном половине ширины ответвления. Затем наносится метка, по которой отгибается первый провод. Последующие провода отгибаются по первому. Аналогично выполняют следующие прямые участки и повороты до полной сборки потока. Все углы на плоскость целесообразно делать после того, как будет собран весь поток в плоском виде. Для многослойного потока на плоскость нижние слои утягиваются, поэтому они должны быть с припуском. Величина припуска берется равной внешнему диаметру монтируемого провода.

Наряду с заготовкой по эскизам применяется и заготовка по шаблонам. Шаблон может представлять собой макет части либо всей монтируемой панели. Шаблоны изготавливают из листовой стали, фанеры, картона, гетинакса и т. п. На них в соответствии с эскизом наносят все приборы, наборные зажимы, выводы и пр. Эти элементы наносят в виде эскизов, макетов или же устанавливают в натуре, а затем демонтируют вместе с потоками проводов.

Макеты или шаблоны приборов, представляющие собой проекции оснований наборных рядов и реле, изготавливают с нанесением всех зажимов, от-

верстий для крепления и т. п. Отверстия под приборы размечают по шаблонам. Крепежные отверстия берут на 2—3 мм больше диаметра болта. Отверстия под токоведущие шпильки для приборов заднего присоединения сверлят на 10 мм больше диаметра шпилек. На токоведущие шпильки надевают отрезки поливинилхлоридных трубок.

Часто из-за малых расстояний между шпильками вместо отверстий приходится прорезать в панели окно. Чтобы разметить каждую из таких панелей, берут по размеру панели (или части ее) лист картона толщиной 0,5 мм, на него наносят карандашом полную разметку по схеме панели, обозначая крестиком места креплений. Размеченный таким образом лист прикрепляют к панели так, чтобы он не мог сдвинуться. По нанесенной разметке через картон накернивают места крепления аппаратуры и потоков проводов. Этот же шаблон служит для разметки всех однотипных панелей. Панели могут быть направлены на дальнейшую обработку или же к месту монтажа.

Отдельные операции сборки потоков проводов могут быть механизированы. Часто встречается необходимость в изготовлении большого количества перемычек и коротких потоков одинаковой конфигурации. Их также изготавливают с помощью специальных шаблонов. Для этого сначала делается по месту одна примерочная перемычка. По ее развернутой длине заготавливают требуемое количество отрезков проводов. Затем зачищают концы проводов, надевают оконцеватели с маркировкой, загибают заготовки.

Простейший шаблон для коротких потоков делается следующим образом. Выпрямленная перемычка укрепляется на гладкой доске, рис. 17.154а. Одно из колец провода закрепляется с помощью шпильки. Затем забиваются шпильки по внутренним сторонам углов и по ним изгибают провод, придерживая его рукой. В другой плоскости перемычку изгибают путем разворачивания по углам в нужном направлении вручную, рис. 17.154б.

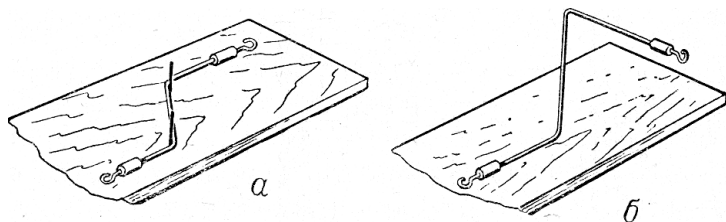


Рис. 17.154. Шаблон для заготовки перемычек: а — изгибание в одной плоскости; б — изгибание в разных плоскостях

Сборка и изгибание потоков значительно облегчаются применением приспособления по рис. 17.155а и рис. 17.155б. Наличие раздвижных винтовых прижимов дает возможность формировать одно- и многослойные потоки любой ширины. Помимо этого для лучшей укладки ряда полезно применять прокладки. Прокладки 4 (рис. 17.155а) делают металлические толщиной 0,8—1,0 мм или деревянные 2—3 мм при ширине 20—30 мм. Изгибание потоков на плоскость выполняют с помощью деревянной пластины (рис. 17.155в) либо специального приспособления — сжима из алюминиевых пластин (рис. 17.155г) с завальцованными гранями.

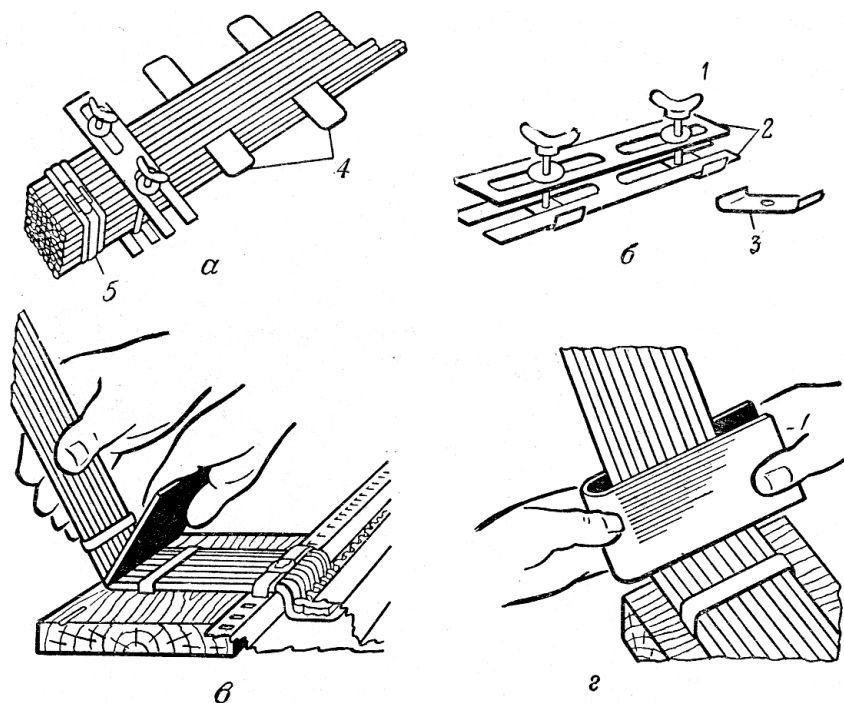


Рис. 17.155. Пакетирование потока проводов и изгибание их на плоскости: *а* — пакетирование с помощью сжима и прокладок; *б* — сжим; *в* — изгибание потока с помощью деревянной пластины; *г* — изгибание с помощью алюминиевой скобы сжима; 1 — винт с прижимной шайбой; 2 — прижимные пластины; 3 — нижняя планка с резьбой для прижимного винта; 4 — прокладки; 5 — бандаж

Разводка жил кабелей и других проводок внешних соединений (при подходе к ряду наборных зажимов и к аппаратам) обычно выполняется в виде пучков или в коробах. При разделке пучка жилы кабелей укладывают, выравнивают и уплотняют между собой. Пучки по всей длине и в местах вывода из них жил скрепляют шшивкой или бандажом. Ответвления жил от пучка выполняются с помощью линейки-шаблона или коммутационной гребенки.

К скрепленному пучку привязывают линейку-шаблон, имеющую закругления с радиусом, равным трехкратному наружному диаметру жилы. Через эту линейку изгибают жилы, отходящие к соответствующим зажимам. Таким образом, пучок по мере убывания проводов оказывается внутри петель, образуемых отходящими ответвлениями. Пучки в зависимости от устойчивости могут быть свободными или закрепленными на струнах, на металлических перфорированных конструкциях и тому подобных опорах.

Для раскладки жил с помощью коммутационной гребенки пучок прикладывают к ряду зажимов и привязывают к пучку линейку на расстоянии 20—30 мм от места первого отвода. Разводку жил начинают со стороны подхода жил кабелей (со стороны корня). Из пучка выводят жилу, которая по схеме присоединяется к самому ближайшему зажиму по ходу пучка.

На пучок накладывают гребенку так, чтобы отогнутая от пучка первая жила попала в прорезь гребенки с номером, соответствующим порядковому номеру зажима. Руководствуясь чертежом, маркировкой жил и нумерацией

зажимов, отводят жилу к соответствующему зажиму через прорези в линейке. Иначе говоря, отводят нужную жилу к нужному зажиму, отогнув ее на 90° .

Жилы в перфорированных лотках разводят без выкладки и крепления. Вывод их через изоляционные гребенки лотков к зажимам выполняется с запасом для пересоединения. Разводка жил значительно упрощается применением виниловых коробов, в них допускается совместная прокладка кабелей, жил кабелей и проводов.

Короба рекомендуется размещать на расстоянии 50—70 мм от реек с наборными зажимами по опорным перфорированным профилям, приваренным к раме панели. Короба с прорезями устанавливают так, чтобы прорези были расположены против центров наборных зажимов. Внутри коробов провода прокладываются также без выкладки и крепления.

Для удобства заделки кабелей и разводки жил расстояние от нижнего зажима наборного ряда принимается не менее 150 мм. При горизонтальном расположении зажимов это расстояние измеряется от среднего зажима наборного ряда. При нормальном расположении нескольких рядов расстояние между ними устанавливается не менее 150 мм. Ряды в цепях напряжением выше 250 В относительно земли, выделяются и закрываются крышками, снабженными предупредительными надписями с указанием напряжения.

Особенности монтажа вторичных цепей алюминиевыми жилами. Провода с алюминиевыми жилами раскладывают, избегая излишних перегибов их. При заготовке на стендах, макетах или непосредственно на панелях изгибы проводов выполняют рукой через большой палец или через закругленные шаблоны. Закругления делают не менее трехкратного диаметра провода. Изгибание проводов и жил кабелей плоскогубцами, а также изгибы в разные стороны недопустимы.

Алюминиевые провода и жилы кабелей закрепляют чаще, чем медные: от места присоединения до ближайшего крепления — не более 200 мм при сечении $2,5 \text{ мм}^2$ и не более 300 мм при сечении $4\text{--}6 \text{ мм}^2$. При этом переходы проводов на двери, открывающиеся части пультов, шкафов и т. п. не допускаются. Соединение медных жил с алюминиевыми выполняются только на наборных зажимах, причем соединение в одном зажиме (под общий винт) недопустимо.

Делать круговые надрезы изоляции ножом ни в коем случае нельзя во избежание надрезания алюминиевой жилы. Для сечений более 4 мм^2 зачистку изоляции ножом выполняют путем снятия узкой полосы вдоль жилы, затем оставшуюся часть изоляции отгибают и обрезают без кругового надреза на жиле.

Освобожденную от изоляции алюминиевую жилу зачищают не ножом, а шкуркой под слоем кварцевазелиновой или цинковазелиновой пасты (допустимо также под слоем технического вазелина). Изгибание жилы в кольцо выполняется также под слоем пасты.

При выполнении присоединений проводов и жил кабелей с алюминиевыми жилами во всех случаях оставляют запас, рассчитанный не менее чем на две перерезделки (с откусыванием кольца). Для создания необходимого давления контактные винты зажимов и аппаратов тщательно заворачивают.

В устройствах вторичных цепей существуют две самостоятельные системы маркировок: маркировка внешних соединений, которая выполняется по кабельному журналу, и маркировка внутренних цепей, выполняемая по элементным и рабочим схемам. Для маркировок контрольных кабелей применяются пластмассовые бирки, рис. 17.156. Бирки закрепляются на кабелях металлическими полосками или бандажной лентой. При подходе к панели на кабелях бирки подвешиваются около последнего крепления на высоте не менее 200 мм от пола.

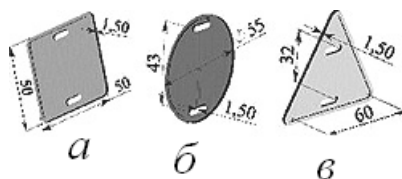


Рис. 17.156. Бирки для маркировки кабелей: *а* — У134У3,5 (для силовых кабелей до 1000 В);
б — У135У3,5 (для силовых кабелей напряжением свыше 1000 В);
в — У136У3,5 (для контрольных кабелей)

Внутренние цепи маркируют обычно по адресному принципу, т. е. на конце провода у наборного зажима ставится номер наборного зажима, условное обозначение аппарата (или наборного зажима) и номер его зажима, к которому присоединяется другой конец этого провода, рис. 17.157. На конце

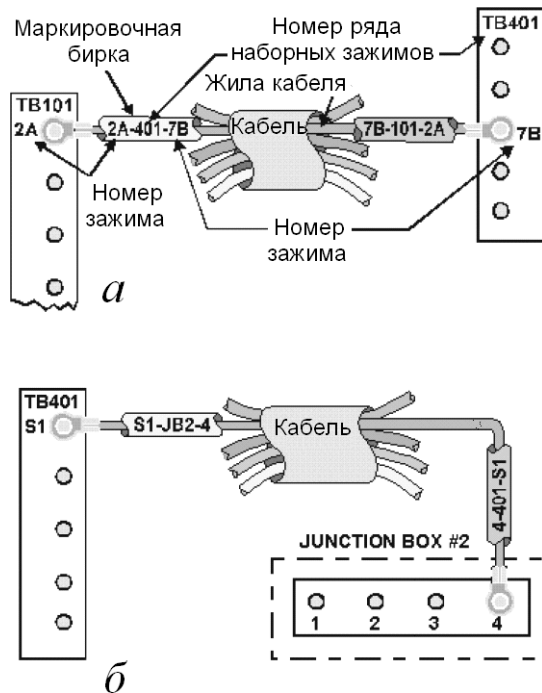


Рис. 17.157. Адресная маркировка жил кабеля между рядами наборных зажимов (*а*) и между аппаратом и рядом наборных зажимов (*б*)

провода у аппарата (или наборного зажима) ставится номер наборного зажима, к которому он подключен противоположным концом.

На перемычках между аппаратами (без захода на наборные зажимы), делается встречная маркировка, т. е. на каждом конце провода ставится условное обозначение аппарата и его зажима, к которому присоединяется другой конец этого провода.

17.5. Устройство и монтаж заземления и зануления

Электрическая изоляция токоведущих частей электроустановок от частей, находящихся под иным потенциалом, в том числе и от земли, не только необходима для нормальной работы электроустановки, но и является важным фактором безопасности людей. Изоляция проводов и кабелей предотвращает прикосновение к их токоведущим жилам. Кроме того, в электрической сети, питающейся от генератора или трансформатора с изолированной от земли обмоткой, через человека, прикоснувшегося к одной из токоведущих жил, пойдет тем меньший ток, чем лучше изоляции двух других фаз от земли.

Для уяснения этого рассмотрим рис. 17.158. Изоляция каждого провода относительно земли имеет электрическое сопротивление хотя и большой, но конечной величины, так что через изоляцию и землю всегда протекает некоторый весьма малый ток, называемый током утечки. Условно сопротивление изоляции трех фаз r_1 , r_2 , r_3 изображены присоединенными к проводам, каждый в одной точке. На самом деле в исправной сети токи утечки распределяются равномерно по всей длине провода.

Кроме активных сопротивлений изоляции, между токоведущей жилой каждой фазы и землей есть реактивные сопротивления, обусловленные некоторой емкостью между жилой каждого провода и землей. Провода и землю можно рассматривать как обкладки конденсатора. Через эти реактивные сопротивления при переменном напряжении в сети протекают емкостные токи, которые также равномерно распределены по длине провода. На рис. 17.158 эти сопротивления (x_1 , x_2 и x_3) условно показаны присоединенными каждое в одной точке провода.

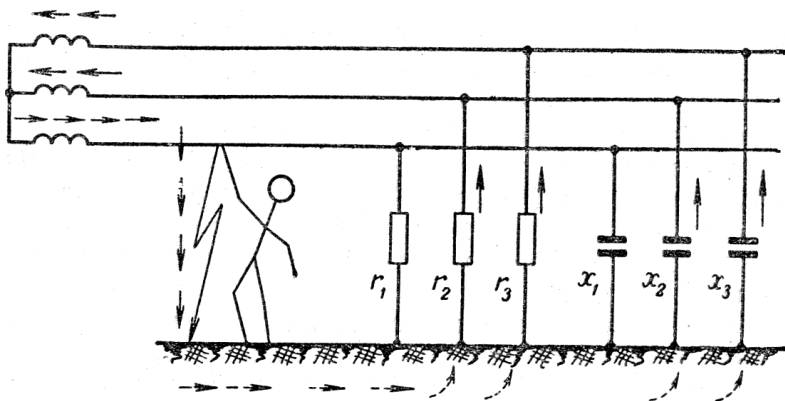


Рис. 17.158. Прикосновение к проводу с незаземленной нейтралью

Если в какой-либо точке любого провода произойдет повреждение изоляции, то возникшее случайное электрическое соединение с землей в сети с незаземленной нейтралью называется однофазным замыканием на землю. Такое соединение с землей не является коротким замыканием, потому что на пути тока от провода с поврежденной изоляцией к токоведущим жилам проводов других фаз будет сопротивление изоляции и емкостное сопротивление других проводов относительно земли.

Ток однофазного замыкания в сети с изолированной нейтралью обычно значительно меньше тока короткого замыкания между проводами и землей в сети с заземленной нейтралью. Ясно, что если замыкание на землю произойдет через тело человека, прикоснувшегося к одной жиле одного из проводов, то в сети с изолированной нейтралью ток через тело человека тоже будет значительно меньше, чем в сети с заземленной нейтралью, рис. 17.159. По этой

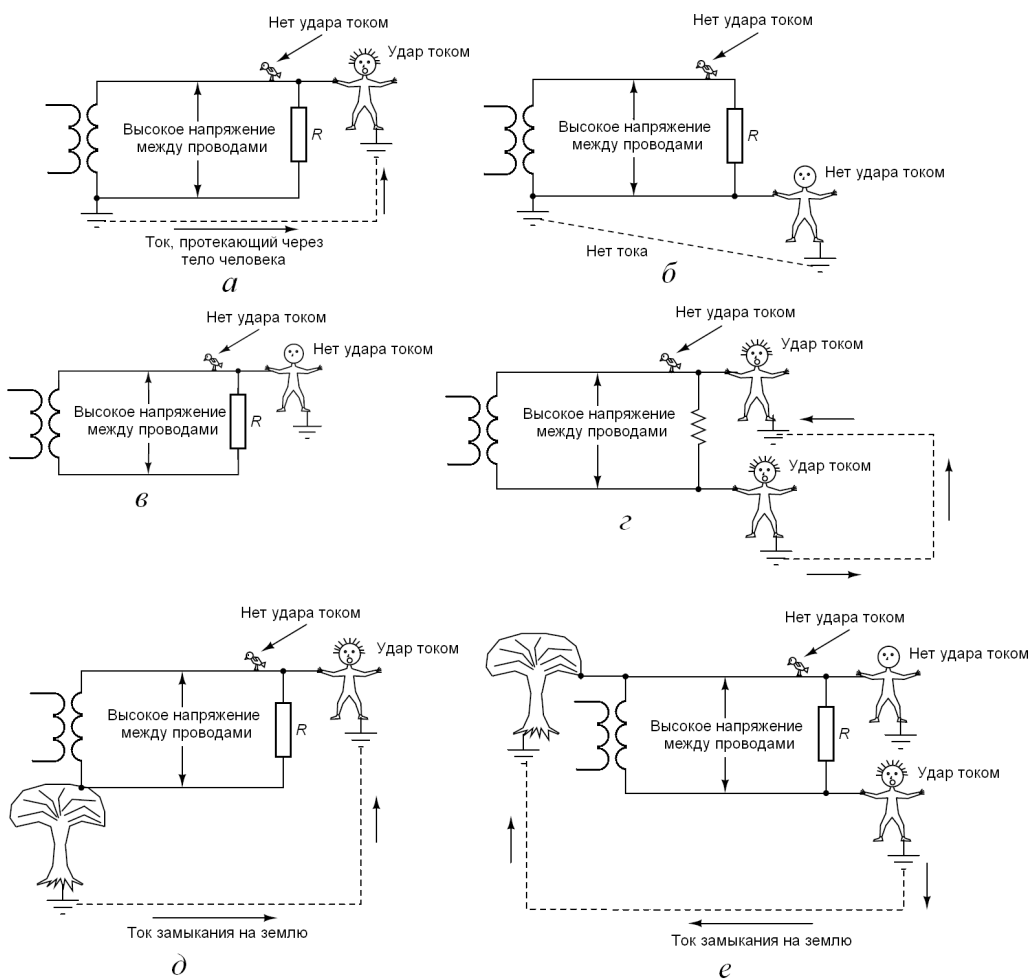


Рис. 17.159. Опасность поражения человека электрическим током при случайном прикосновении к одному из проводов: а—б — обмотка трансформатора соединена с землей; в—г — обмотка не соединена с землей; д—е — замыкание одного из проводов на землю в сети с изолированной от земли обмоткой

причине в шахтах, на торфоразработках и в некоторых других случаях электрические сети напряжением до 1000 В обычно работают с незаземленной нейтралью.

В установках напряжением до 1000 В сети с незаземленной нейтралью безопаснее сетей с заземленной нейтралью только при условии хорошей изоляции фаз относительно земли и сравнительно небольшой протяженности сети, так как чем длиннее провода, тем больше величина емкостных токов и токов утечки.

В сельском хозяйстве и на промышленных предприятиях сети разветвлены, имеют большую протяженность и даже при хорошем состоянии изоляции имеют большие токи утечки и емкостные токи. В этих условиях система с незаземленной нейтралью лишается преимуществ. Надежнее реагирует на ухудшение изоляции одной из фаз система с заземленной нейтралью, где всякое повреждение изоляции является коротким замыканием, и поврежденный участок сети отключается устройствами защиты от коротких замыканий.

Согласно ПУЭ для электроустановок зданий и сооружений напряжением до 1000 В приняты следующие обозначения питающих сетей, рис. 17.160.

1. Система TN — питающие сети системы TN имеют непосредственно присоединенную к земле точку. Открытые проводящие части электроустановки присоединяются к этой точке посредством нулевых защитных проводников. В зависимости от устройства нулевого рабочего и нулевого защитного проводников различают следующие три типа системы TN :

- система $TN-S$ — система TN , в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении;
- система $TN-C-S$ — система TN , в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания;
- система $TN-C$ — система TN , в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении.

2. Система TT — питающая сеть системы TT имеет точку, непосредственно связанную с землей, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к заземлителю, электрически независимому от заземлителя нейтрали источника питания.

3. Система IT — питающая сеть системы IT не имеет непосредственной связи токоведущих частей с землей, а открытые проводящие части электроустановки заземлены.

Первая буква в обозначении системы — состояние нейтрали источника питания относительно земли: T — заземленная нейтраль; I — изолированная нейтраль.

Вторая буква — состояние открытых проводящих частей относительно земли: T — открытые проводящие части заземлены, независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой-либо точки питающей сети; N — открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания.

Последующие (после N) буквы — совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

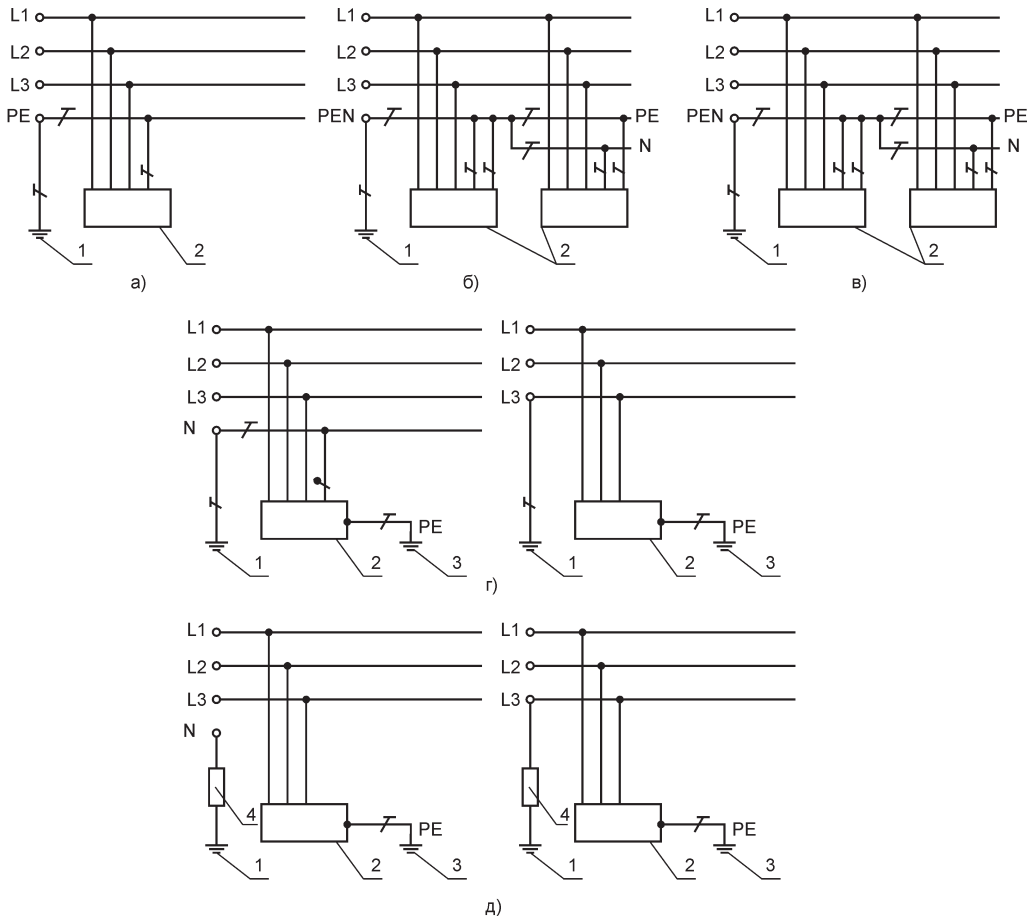


Рис. 17.160. Системы питающих сетей для электроустановок зданий и сооружений напряжением до 1000 В: *а* — система *TN-S* (нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно); *б* — система *TN-C-S* (в части сети нулевые рабочий и защитный проводники объединены); *в* — система *TN-C* (нулевые рабочий и защитный проводники объединены по всей сети); *г* — система *TT*; *д* — система *IT*; 1 — заземление источника питания; 2 — открытые проводящие части; 3 — заземление корпусов оборудования; 4 — сопротивление; *N* — нулевой рабочий (нейтральный) проводник; *PE* — защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов); *PEN* — совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники

S — нулевой рабочий (*N*) и нулевой защитный (*PE*) проводники разделены; *C* — функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (*PEN*-проводник).

Пока в России наибольшее распространение получили питающие сети по типу *TN* (*TN-S*, *TN-C*) и *IT*.

Для оценки опасности поражения необходимо принимать во внимание не только уровень напряжения и частоту питающей сети, но и конкретные условия работы или отдыха. По степени опасности поражения человека электри-

ческим током различают помещения без повышенной опасности, помещения с повышенной опасностью поражения электрическим током и особоопасные помещения.

Электротермическое оборудование, как правило, размещается в помещениях с повышенной опасностью поражения электрическим током, а часто и в особоопасных помещениях. В этих условиях для человека представляет опасность не только двухфазное (двухполюсное) прикосновение к токоведущим частям, но и однополюсное прикосновение к токоведущим частям или корпусам электрооборудования. Усугубляет ситуацию возможность попадания персонала под действие наведенного заряда, заряда статического электричества или под действие индуктированных токов. В случае замыкания токоведущих частей на землю или на корпус изделия при некорректном исполнении заземления человек может подвергнуться действию шагового напряжения.

Заземление — это намеренное соединение металлических токоведущих или нетоковедущих частей, могущих оказаться под напряжением, с землей или ее эквивалентом. Оно может преследовать различные цели — защита от поражения током (защитное заземление), защита радиоэлектронной аппаратуры от помех, заземление нейтрали источника, рабочее заземление (в однопроводных системах электропитания и электросварочных установках), снятие заряда статического электричества и пр.

Защитное заземление снижает до безопасной величины потенциал при случайном замыкании фазы на корпус электротехнического изделия из-за повреждения электрической изоляции или механического повреждения токоведущих частей. Прикосновение к корпусу такого неисправного электроприемника, по существу, является режимом однофазного прикосновения, хотя при этом человек не нарушает правил техники безопасности.

Заземление осуществляется с помощью заземляющего устройства, основным элементом которого является заземлитель — металлоконструкция, врытая в землю. В производственных условиях по контуру помещения располагается шина заземления (стальная или медная полоса, связанная с заземлителем).

Заземляемые конструкции соединяются с шиной заземления заземляющими проводниками, сечение которых выбирается из соображений механической прочности (например, чтобы при уборке помещения исключить возможность случайного обрыва проводника) или термической устойчивости к токам замыкания. Количественной нормируемой характеристикой заземляющего устройства является его сопротивление R_3 , то есть максимально допустимое значение сопротивления зоны растекания тока вблизи заземлителя, табл. 17.52.

Рассмотрим работу защитного заземления в сетях с глухим заземлением нейтрали. Пусть происходит замыкание фазы на заземленный корпус, рис. 17.161. В контуре «фаза — корпус электроприемника — сопротивление защитного заземления R_3 — сопротивление заземления нейтрали R_0 — нейтраль обмотки трансформатора» будет протекать ток замыкания $I_{\text{зам}}$.

В этом контуре фазное напряжение $U_{\text{ф}}$ распределяется на примерно равных сопротивлениях R_3 и R_0 , то есть напряжение между корпусом неисправного электроприемника и землей максимально может уменьшиться только в 2

Таблица 17.52. Максимальное сопротивление заземляющего устройства

Рабочее напряжение электроустановки ($U_{\text{раб}}$), В	Норма сопротивления (R_3), Ом
127/220	8
220/380	4
380/660	2
Выше 1000	0,5

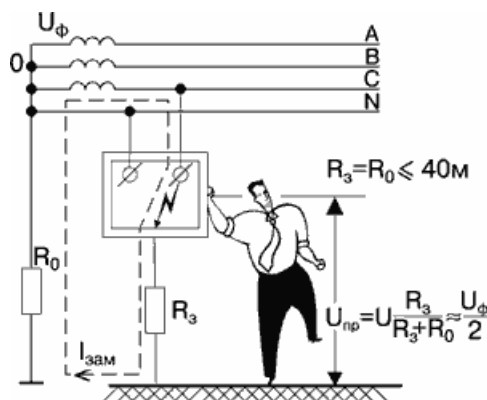


Рис. 17.161. Работа защитного заземления в сетях с глухим заземлением нейтрали

раза. При этом минимальное $U_{\text{пр}} = 110$ В, то есть ток через тело человека $I_{\text{h}} = 110$ мА — выше фибрилляционного и порогового неотпускающего тока. Отсюда можно сделать вывод — в сетях с глухозаземленной нейтралью, одно защитное заземление (без дополнительных мер) не может обеспечить безопасность персонала в случае пробоя напряжения на корпус электроприемника.

Тем не менее, довольно часто корпуса электроприемников в нарушение требований ПУЭ в производственных и бытовых помещениях, при отсутствии шины заземления, подключают к любым металлоконструкциям, имеющим связь с землей (водопроводные трубы, батареи отопления и т. п.). Учитывая опасность подобных операций, рассмотрим подробнее вопрос использования водопроводных труб в целях заземления.

На эквивалентной схеме (рис. 17.162) корпус прибора, получающего питание от двухпроводной сети с заземленным нулевым проводом, электрически соединен с трубой T_1 системы водопровода. В случае замыкания фазы на корпус прибора ток замыкания $I_{\text{зам}}$ протекает по контуру «фаза — корпус — труба T_1 — сопротивление зоны растекания тока с трубы на землю $R_{\text{тр-з}}$ — сопротивление заземления нейтрали R_0 — нейтраль обмотки трансформатора». В этом контуре фазное напряжение источника распределяется на сопротивлениях R_0 и $R_{\text{тр-з}}$. Первое сопротивление подлежит периодическому контролю. Сопротивление $R_{\text{тр-з}}$ — случайная величина, несоизмеримо больше первой. Поэтому основная часть фазного напряжения будет падать на этом сопротив-

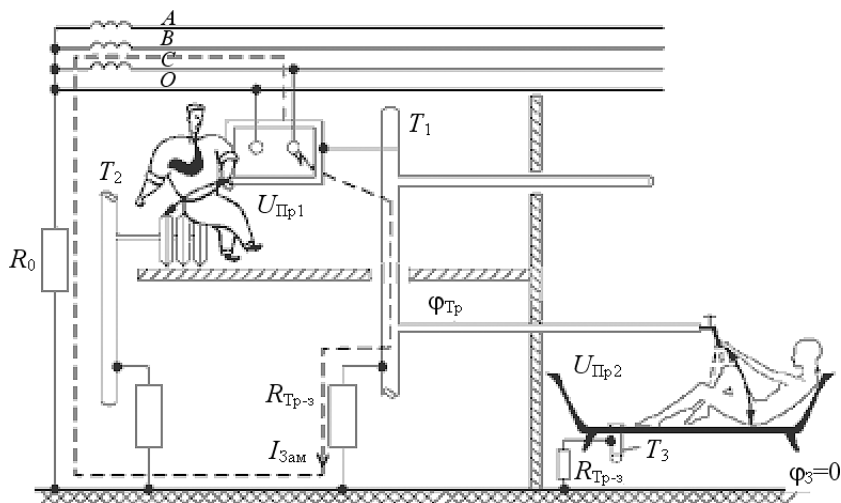


Рис. 17.162. Эквивалентная схема при заземлении корпуса электроприбора на водопроводную трубу

лении, то есть соответствующий потенциал будет на «заземленном» корпусе и на всех трубах.

Пусть человек касается батареи отопления T_2 (потенциал трубы равен нулю) и корпуса прибора. Тогда $U_{Пр1}$ незначительно отличается от U_Φ , возможен летальный исход. Пусть другой человек, находящийся в другом помещении, принимает душ (ванну) после работы и касается водопроводной трубы. Потенциал водосточной фановой (канализационной) системы равен нулю. Тогда напряжение прикосновения, как и в первом случае, незначительно отличается от U_Φ и в этом случае вероятна электротравма с летальным исходом.

Вынос опасного потенциала по водопроводной трубе угрожает жизни неограниченного числа людей. Поэтому использование металлоконструкций, связанных с землей, с целью заземления корпусов электроприемников ПУЭ запрещает. В целях гарантированного обеспечения условий безопасности в зданиях и сооружениях применяется система уравнивания потенциалов, предусматривающая электрическое соединение всех металлоконструкций и нулевого защитного проводника, рис. 17.163.

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1000 В должна соединять между собой следующие проводящие части, рис. 17.164:

- нулевой защитный *PE* или *PEN* проводник питающей линии в системе *TN*;
- заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах *IT* и *TT*;
- заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);
- металлические трубы коммуникаций, входящих в здание, горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т. п.; если трубопровод газоснабжения имеет изолирующую вставку на вводе в здание, к основной системе уравнивания потенциалов присое-

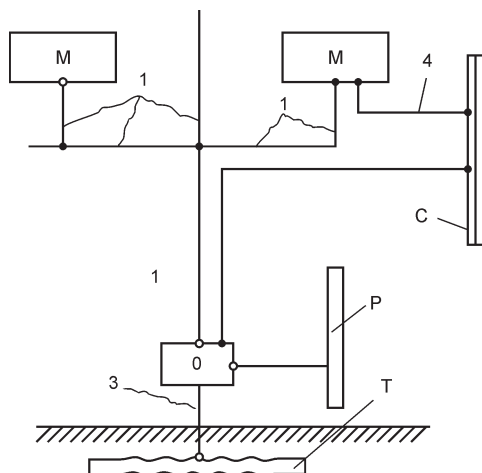


Рис. 17.163. Заземляющие и защитные проводники: 1 — защитный проводник; 2 — главный проводник системы уравнивания потенциалов; 3 — заземляющий проводник; 4 — дополнительный проводник системы уравнивания потенциалов; *B* — главный зажим (болт) заземления; *M* — заземляемая часть электрооборудования (открытая проводящая часть); *C* — металлоконструкция здания (сторонняя проводящая часть); *P* — металлический стояк (труба) водопровода; *T* — заземлитель

диняется только та часть трубопровода, которая находится относительно изолирующей вставки со стороны здания;

- металлические части каркаса здания;
- металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования; при наличии децентрализованных систем вентиляции и кондиционирования металлические воздуховоды следует присоединять к шине *PE* щитов питания вентиляторов и кондиционеров;
- заземляющее устройство системы молниезащиты 2-й и 3-й категорий;
- заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, если такое имеется и отсутствуют ограничения на присоединение сети рабочего заземления к заземляющему устройству защитного заземления;
- металлические оболочки телекоммуникационных кабелей.

В каждой электроустановке должен быть предусмотрен главный заземляющий зажим или шина и к нему (или к ней) должны быть присоединены:

- заземляющие проводники;
- защитные проводники;
- проводники главной системы уравнивания потенциалов;
- проводники рабочего заземления (если оно требуется).

В доступном месте следует предусматривать возможность разъема (отсоединения) заземляющих проводников для измерения сопротивления растеканию заземляющего устройства. Эта возможность может быть обеспечена при помощи главного заземляющего зажима или шины. Конструкция зажима должна позволять его отсоединение только при помощи инструмента, быть механически прочной и обеспечивать непрерывность электрической цепи.

Проводящие части, входящие в здание извне, должны быть соединены с шиной заземления как можно ближе к точке их ввода в здание. Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части

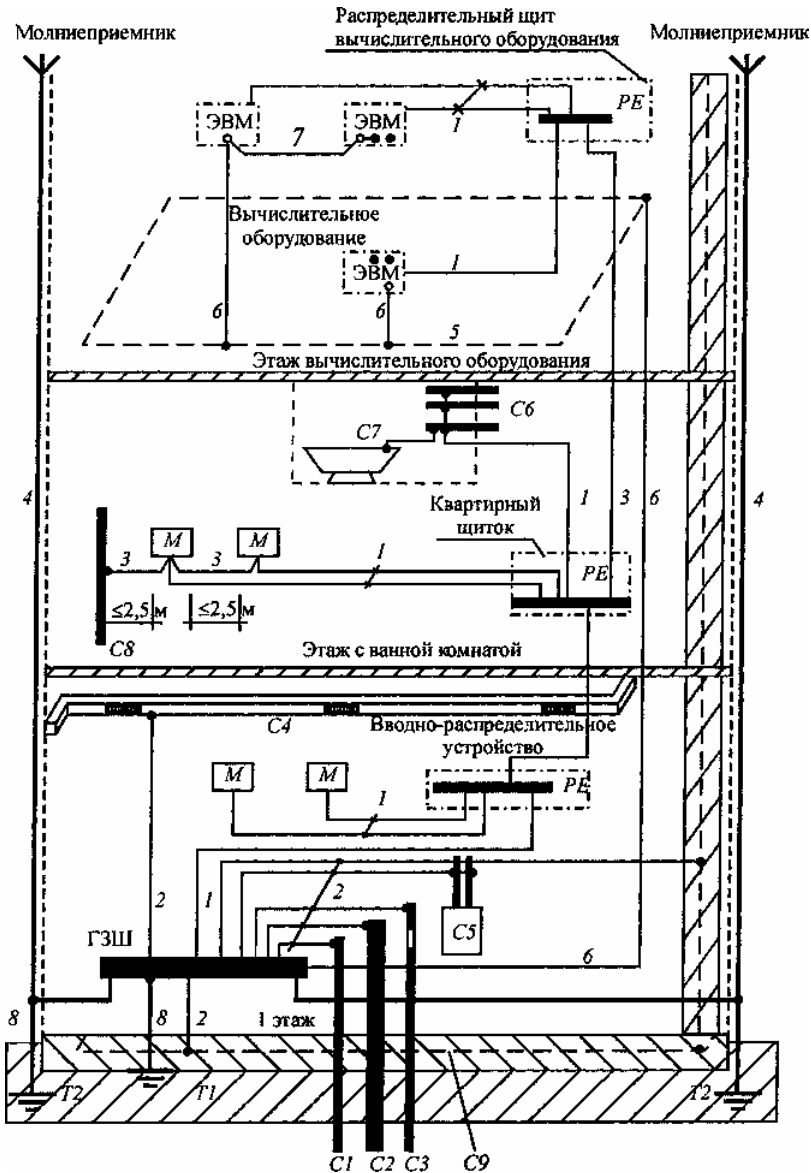


Рис. 17.164. Система уравнивания потенциалов в здании: *М* — открытая проводящая часть; *С1* — металлические трубы водопровода, входящие в здание; *С2* — металлические трубы канализации, входящие в здание; *С3* — металлические трубы газоснабжения с изолирующей вставкой на вводе, входящие в здание; *С4* — воздухопроводы вентиляции и кондиционирования; *С5* — система отопления; *С6* — металлические водопроводные трубы в ванной комнате; *С7* — металлическая ванна; *С8* — сторонняя проводящая часть в пределах досягаемости от открытых проводящих частей; *С9* — арматура железобетонных конструкций; *ГЗШ* — главная заземляющая шина; *Т1* — естественный заземлитель; *Т2* — заземлитель молниезащиты (если имеется); *1* — нулевой защитный проводник; *2* — проводник основной системы уравнивания потенциалов; *3* — проводник дополнительной системы уравнивания потенциалов; *4* — токоотвод системы молниезащиты; *5* — контур (магистраль) рабочего заземления в помещении информационного вычислительного оборудования; *6* — проводник рабочего (функционального) заземления; *7* — проводник уравнивания потенциалов в системе рабочего (функционального) заземления; *8* — заземляющий проводник

должны быть присоединены к главной заземляющей шине при помощи проводников системы уравнивания потенциалов.

Система дополнительного уравнивания потенциалов должна соединять между собой все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические части строительных конструкций здания, а также нулевые защитные проводники в системе *TN* и защитные заземляющие проводники в системах *IT* и *TT*, включая защитные проводники штепсельных розеток.

Для уравнивания потенциалов могут быть использованы специально предусмотренные проводники либо открытые и сторонние проводящие части, если они удовлетворяют требованиям к защитным проводникам в отношении проводимости и непрерывности электрической цепи.

Для уменьшения опасности поражения электрическим током в установках 220/380 В с заземленной нейтралью трансформаторов применяется система зануления, при которой корпуса электрооборудования соединены с нейтралью. Наличие такого соединения превращает замыкание токоведущих частей на заземленные части установки в короткое замыкание. Появляется ток короткого замыкания, значительно больший, чем ток однофазного замыкания на землю в сети с незаземленной нейтралью, где применяется простое защитное заземление. Поэтому быстро срабатывает плавкий предохранитель или автоматический выключатель, защищающий поврежденное оборудование или участок сети.

Именно быстрое и полное снятие напряжения с поврежденного оборудования является основой защитного действия зануления в отличие от защитного заземления, когда напряжение на заземленных частях при повреждении изоляции понижается, но может длительно сохраняться. Но в случае обрыва нулевого провода все оборудование за точкой обрыва окажется не только совершенно лишенным защиты, но и поставленным даже в более плохие условия, чем при полном ее отсутствии, потому что при повреждении изоляции любого аппарата или электродвигателя, присоединенного к нулевому проводу за точкой обрыва, появилось бы напряжение, часто равное фазному, и на его корпусе, и на всех других зануленных корпусах. Чтобы избежать этого недопускается применение зануления без заземления, равно как и заземления без зануления.

При применении системы *TN* рекомендуется выполнять повторное заземление *PE* и *PEN* проводников на вводе в электроустановки зданий, а также в других доступных местах. Для повторного заземления, в первую очередь, следует использовать естественные заземлители. Сопротивление заземлителя повторного заземления не нормируется. Внутри больших и многоэтажных зданий аналогичную функцию выполняет уравнивание потенциалов посредством присоединения нулевого защитного проводника к главной заземляющей шине.

В реальных производственных условиях в сетях *TN-C* непосредственно с нулевым проводом соединяют только корпуса распределительных щитов (зануляют корпус щита). Корпуса всех приемников электроэнергии и нетоковедущие металлоконструкции заземляют, то есть соединяют их заземляющими про-

водниками $ЗП$ с шиной заземления $ШЗ$, рис. 17.165. Так как шина заземления всегда имеет электрическую связь с нулевым проводом или с нейтралью обмотки трансформатора, то выполненное с ее помощью «заземление» фактически является занулением корпуса приемника электроэнергии. Например, при замыкании фазы на корпус $K1$ возникает ток короткого замыкания I_{K3} , и автоматический выключатель $A1$ отключает неисправный приемник, рис. 17.165.

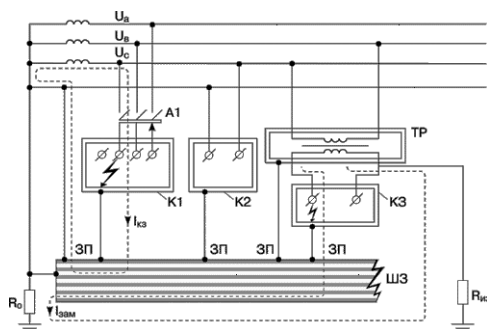


Рис. 17.165. Схема зануления и защитного заземления

Пусть приемник с корпусом $K3$ получает питание от индивидуального трансформатора TP (фактически от двухпроводной сети, изолированной от земли). Здесь при замыкании полюса сети на корпус будет протекать ток замыкания $I_{зам}$ по контуру «полюс сети — корпус $K3$ — заземляющий проводник $ЗП$ — шина заземления $ШЗ$ — сопротивление заземления нейтрали R_0 — сопротивление изоляции здорового полюса сети $R_{ИЗ}$ — второй полюс сети». Ток $I_{зам}$ не отключается аппаратами защиты, так как его значение невелико, будучи ограниченным сопротивлением изоляции $R_{ИЗ}$. В контуре этого тока рабочее напряжение сети падает на сопротивлениях $R_{ИЗ}$ и R_0 , при этом потенциал корпуса $K3$ равен падению напряжения на сопротивлении $R_0 \ll R_{ИЗ}$ (напряжение прикосновения к корпусу $K3$ безопасно). То есть корпус $K3$ оказывается заземленным.

Корпус трансформатора TP также соединен переключкой $ЗП$ с шиной заземления. Что это — зануление или заземление? Оказывается, и то, и другое. Если происходит замыкание полюса первичной обмотки на корпус TP , то переключка $ЗП$ работает в контуре зануления. Защита срабатывает и отключает трансформатор. Если повреждается вторичная обмотка, то та же переключка работает в режиме защитного заземления. Трансформатор и получающий от него питание электроприемник не отключаются, а значение напряжения прикосновения к корпусу трансформатора снижается до безопасного.

Таким образом, в реальных производственных условиях процессы зануления и защитного заземления одинаковы и заключаются в соединении металлических нетоковедущих частей с шиной заземления. Поэтому на практике используется обычно только один термин — заземление.

Заземлители. Главной электрической характеристикой заземляющего устройства является его сопротивление. Оно равно сумме сопротивлений заземлителя и заземляющих проводников.

Сопротивление заземлителя называют сопротивлением растеканию электрического тока. Электрический ток, стекая с заземлителя в землю, распределяется в объеме неравномерно, встречая на своем пути в земле определенное сопротивление. Поэтому и говорят о сопротивлении растеканию тока с заземлителя в землю. Для краткости его называют просто сопротивлением растеканию.

Все заземлители делятся на два основных типа — естественные и искусственные. К естественным заземлителям относятся проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы (за исключением трубопроводов горючих или взрывчатых жидкостей и газов); обсадные трубы; металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций зданий и сооружений; свинцовые оболочки проложенных в земле кабелей при условии, что их проложено не менее двух и если отсутствуют другие заземлители и т. п.

Нельзя использовать в качестве заземлителей трубопроводы, покрытые изоляцией для защиты их от коррозии, трубопроводы для перекачки горючих жидкостей и газов, алюминиевые оболочки кабелей и голые алюминиевые проводники.

К искусственным заземлителям относят конструкции, выполняемые специально для заземления. Искусственные заземлители состоят из погруженных в землю вертикальных электродов, соединенных стальными полосами или круглой сталью. Установка вертикальных заземлителей показана на рис. 17.166.

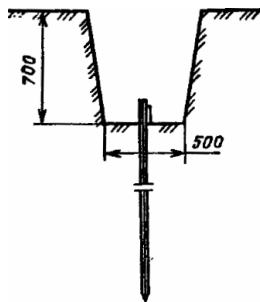


Рис. 17.166. Установка вертикальных заземлителей

Вертикальные заземлители — это стальные ввинчиваемые стержни диаметром 12—16 мм, угловая сталь с толщиной полки не менее 4 мм или стальные трубы с толщиной стенки не менее 3,5 мм. Длина завинчиваемых электродов, как правило, 4,5—5 м, забиваемых уголков и труб 2,5—3,0 м. Верхний конец вертикального электрода должен быть на расстоянии 0,6—0,7 м от поверхности земли. Расстояние от одного электрода до другого должно быть не менее его длины, в противном случае происходит взаимное экранирование заземляющих стержней, рис. 17.167.

В случае опасности коррозии заземлителей необходимо увеличивать сечение заземлителей, с учетом расчетного срока их службы или применять для заземлителей оцинкованную сталь.

Горизонтальные заземлители — это стальные полосы толщиной не менее 4 мм или круглая сталь диаметром не менее 10 мм. Эти заземлители применя-

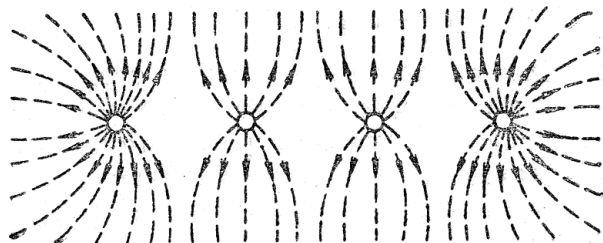


Рис. 17.167. Взаимное экранирование заземляющих стержней

ются для связи вертикальных заземлителей и как самостоятельные заземлители. Горизонтальные заземлители из полосовой стали прокладывают по дну траншеи на глубине не менее 700—800 мм на ребро. Глубина укладки определяется зоной промерзания грунта.

При наличии на строительной площадке значительного количества строительного мусора и камней засыпка горизонтального заземлителя сначала производится мягкой однородной землей с утрамбовкой на глубину 200 мм, а затем местным грунтом. Это требование обусловлено усилением локальных коррозионных разрушений, возникающих при обратной засыпке перемешанным грунтом.

При пересечении горизонтальными заземлителями трасс с подземными сооружениями, автомобильных и железных дорог, а также других мест, в которых возможны механические повреждения заземлителей, их защищают металлическими водогазопроводными трубами диаметром два дюйма, или асбоцементными трубами. Если верхние отметки подземных сооружений — теплофикационных и кабельных каналов, кабельных блоков расположены на глубине менее 500 мм от поверхности земли, то горизонтальный заземлитель должен быть расположен под каналом или блоком. Заземлители, прокладываемые параллельно кабелям или трубопроводам, следует укладывать на расстоянии в свету не менее 0,3—0,35 м, а при пересечениях — не менее 0,1 м.

Заземлители необходимо соединять с магистралями заземления не менее чем двумя проводниками в разных местах сваркой.

Заземлители и заземляющие проводники не должны иметь окраски, должны быть очищены от ржавчины, следов масел и т. п. Не следует располагать (использовать) заземлители в местах, где земля подсушивается под действием тепла трубопроводов и т. п. Соединение частей заземлителя между собой, а также соединение заземлителей с заземляющими проводниками следует выполнять сваркой. Сварные швы, расположенные в земле, необходимо покрыть битумным лаком для защиты от коррозии. После монтажа заземлителей перед засыпкой траншеи должен быть осмотрен монтаж сварных соединений и проверено его качества, а прочность — ударом молотка массой 1 кг.

Виды соединений заземляющего проводника с заземлителем показаны на рис. 17.168, заземляющих проводников между собой — на рис. 17.169.

Заземляющий проводник предназначен для соединения заземляемых частей электроустановок с заземлителем. В качестве заземляющих проводников можно использовать металлоконструкции зданий и сооружений, а также ме-

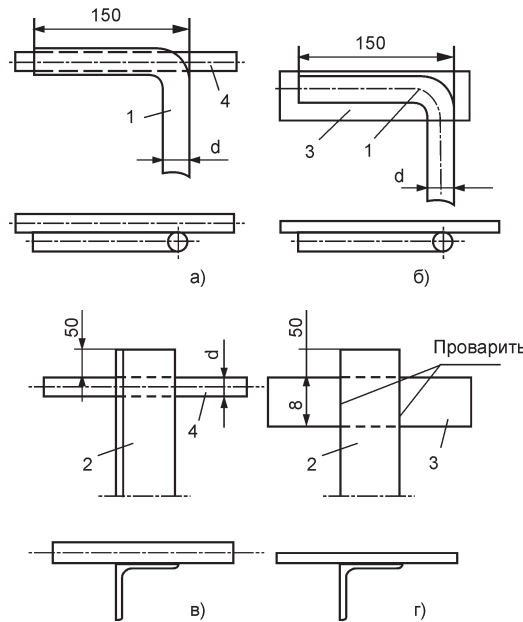


Рис. 17.168. Виды соединений заземляющих проводников с заземлителями: 1 — стержневой заземлитель; 2 — заземлитель из угловой стали; 3 — заземляющий проводник из полосовой стали; 4 — заземляющий проводник из круглой стали

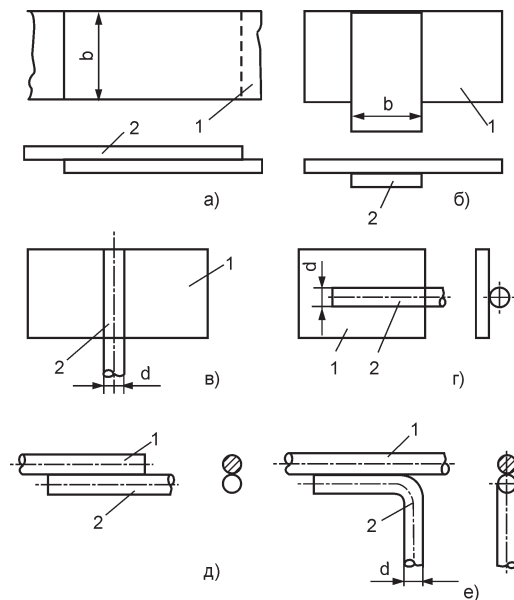



Рис. 17.169. Соединение заземляющих проводников и горизонтальных заземлителей: а — продольное соединение проводников из полосовой стали; б — ответвление проводника из полосовой стали; в — ответвление проводника из круглой стали; г — продольное соединение проводников из полосовой и круглой стали; д — продольное соединение проводников из круглой стали; е — ответвление проводника из круглой стали; 1 — стальная полоса; 2 — сталь круглая

таллические конструкции производственного назначения, например стальные трубы электропроводок, алюминиевые оболочки кабелей, металлические стационарные открыто проложенные трубопроводы любых назначений (кроме тех, которые предназначены для транспортирования горючих и взрывоопасных смесей), металлические фермы, подкрановые пути и т. п.

В жилых зданиях и сооружениях в качестве заземляющих проводников не разрешается использовать водопроводные трубы и трубы отопления. Наименьшие допустимые размеры заземляющих проводников приведены в табл. 17.53.

Таблица 17.53. Наименьшие допустимые размеры заземляющих проводников

Наименование заземляющего проводника	Допустимые размеры		
	В зданиях	В наружных установках	В земле
Круглая сталь диаметром, мм	5	6	6
Прямоугольная сталь сечением, мм ²	24	48	48
Угловая сталь с толщиной полок, мм	3	4	4
Стальная газовая труба с толщиной стенок, мм	2,5	2,5	2,5
Стальная тонкостенная труба с толщиной стенок, мм	1,5	Не допускается	Не допускается

У мест ввода заземляющих проводников в здания должен быть предусмотрен опознавательный знак .

Главная заземляющая шина. Главная заземляющая шина может быть выполнена внутри вводного устройства электроустановки напряжением до 1 кВ или отдельно от него. Внутри вводного устройства в качестве главной заземляющей шины следует использовать шину *РЕ*. При отдельной установке главная заземляющая шина должна быть расположена в доступном, удобном для обслуживания месте вблизи вводного устройства.

Сечение отдельно установленной главной заземляющей шины должно быть не менее сечения *РЕ* (*PEN*)-проводника питающей линии. Главная заземляющая шина должна быть, как правило, медной. Допускается применение главной заземляющей шины из стали. Применение алюминиевых шин не допускается.

В конструкции шины должна быть предусмотрена возможность индивидуального отсоединения присоединенных к ней проводников. Отсоединение должно быть возможно только с использованием инструмента.

В местах, доступных только квалифицированному персоналу (например, щитовых помещениях жилых домов), главную заземляющую шину следует устанавливать открыто. В местах, доступных посторонним лицам (например, подъездах или подвалах домов), она должна иметь защитную оболочку — шкаф или ящик с запирающейся на ключ дверцей. На дверце или на стене

над шиной должен быть нанесен знак .

Если здание имеет несколько обособленных вводов, главная заземляющая шина должна быть выполнена для каждого вводного устройства. При наличии встроенных трансформаторных подстанций главная заземляющая шина долж-

на устанавливаться возле каждой из них. Эти шины должны соединяться проводником уравнивания потенциалов, сечение которого должно быть не менее половины сечения *PE (PEN)*-проводника той линии среди отходящих от щитов низкого напряжения подстанций, которая имеет наибольшее сечение. Для соединения нескольких главных заземляющих шин могут использоваться сторонние проводящие части, если они соответствуют требованиям к непрерывности и проводимости электрической цепи.

Защитные проводники (*PE*-проводники). В качестве защитных проводников могут быть использованы:

- жилы многожильных кабелей;
- изолированные или неизолированные провода в общей оболочке с фазными проводами;
- стационарно проложенные неизолированные или изолированные проводники;
- металлические покровы кабелей, например алюминиевые оболочки кабелей, экраны, броня некоторых кабелей;
- металлические трубы или металлические оболочки для проводников;
- некоторые проводящие элементы, не являющиеся частью электроустановки (сторонние проводящие части), например металлические строительные конструкции зданий и конструкции производственного назначения (подкрановые пути, галереи, шахты лифтов и т. п.).

Сечение защитных проводников должно быть не менее значений, приведенных в табл. 17.54. Значения таблицы действительны только в случае, если защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. В противном случае сечения защитных проводников выбирают таким образом, чтобы их проводимость была равной проводимости, получаемой в результате применения таблицы. Во всех случаях сечение защитных проводников, не входящих в состав кабеля, должно быть не менее:

2,5 мм² — при наличии механической защиты;

4 мм² — при отсутствии механической защиты.

Таблица 17.54. Сечение защитных проводников

Сечение фазных проводников, мм ²	Наименьшее сечение защитных проводников, мм ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Оболочки или рамы комплектных устройств заводского изготовления или кожуха комплектных шинопроводов, имеющиеся в составе установки, могут использоваться в качестве защитных проводников при условии, что они одновременно удовлетворяют следующим требованиям:

- электрическая непрерывность цепи осуществлена таким образом, что обеспечивается ее защита от механических, химических и электрохимических повреждений;
- их проводимость не менее проводимости сечения приведенного в табл. 17.54;

- они должны обеспечивать возможность подключения других защитных проводников в любом предусмотренном для этого месте.

Металлические защитные покровы (неизолированные или изолированные), кроме свинцовых, некоторых систем электропроводок, в частности, оболочки кабелей с минеральной изоляцией, а также металлические трубы электропроводок и электротехнические короба могут быть использованы в качестве защитных проводников для соответствующих цепей, если они одновременно отвечают требованиям табл. 17.54. Использование других труб и оболочек в качестве защитных проводников не допускается.

Сторонние проводящие части могут использоваться в качестве защитных проводников, если они одновременно отвечают следующим требованиям:

- электрическая непрерывность цепи обеспечивается либо их конструкцией, либо соответствующими соединениями, защищающими ее от механических, химических и электрохимических повреждений;
- их проводимость не менее проводимости сечения приведенного в табл. 17.54;
- их демонтаж невозможен, если не предусмотрены меры по сохранению непрерывности цепи и ее проводимости;
- они сконструированы или при необходимости, приспособлены для этой цели.

Допускается использование металлических труб водопровода при наличии разрешения организации, ответственной за эксплуатацию водопровода.

Не допускается использовать в качестве *PE*-проводников:

- металлические оболочки изоляционных трубок и трубчатых проводов, несущие тросы при тросовой электропроводке, металлорукава, а также свинцовые оболочки проводов и кабелей;
- трубопроводы газоснабжения и другие трубопроводы горючих и взрывоопасных веществ и смесей, трубы канализации и центрального отопления;
- водопроводные трубы при наличии в них изолирующих вставок.

Нулевые защитные проводники цепей не допускается использовать в качестве нулевых защитных проводников электрооборудования, питающегося по другим цепям, а также использовать открытые проводящие части электрооборудования в качестве нулевых защитных проводников для другого электрооборудования, за исключением оболочек и опорных конструкций шинопроводов и комплектных устройств заводского изготовления, обеспечивающих возможность подключения к ним защитных проводников в нужном месте.

Соединения защитных проводников должны быть доступны для осмотра и испытания, за исключением соединений, заполненных компаундом или герметизированных.

Запрещается включать коммутационные аппараты в цепи защитных проводников, однако могут иметь место соединения, которые могут быть разобраны при помощи инструмента для целей испытания.

Прокладка защитных проводников по стенам выполняется на расстоянии 10 мм от поверхностей, рис. 17.170. В каналах защитные проводники должны прокладываться на расстоянии не менее 50 мм от съемного перекрытия. В помещениях они должны, как правило, прокладываться открыто, и быть предо-

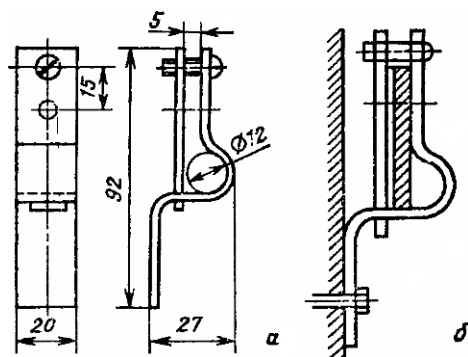


Рис. 17.170. Держатель защитных проводников: *a* — круглых; *б* — прямоугольных

хранены от химических воздействий. Проходы через стены и перекрытия должны выполняться в открытых проемах, несгораемых металлических трубах или иных жестких обрамлениях. В местах, где возможны механические повреждения (при вводах в здания и т. п.), проводники должны быть защищены.

Защитные проводники должны соединяться преимущественно сваркой, рис. 17.171. Места соединений стыков после сварки должны быть окрашены. В помещениях и наружных установках допускается выполнять болтовые соединения в местах, доступных для осмотра и ремонта. При этом должны предусматриваться меры против ослабления и коррозии контактных соединений.

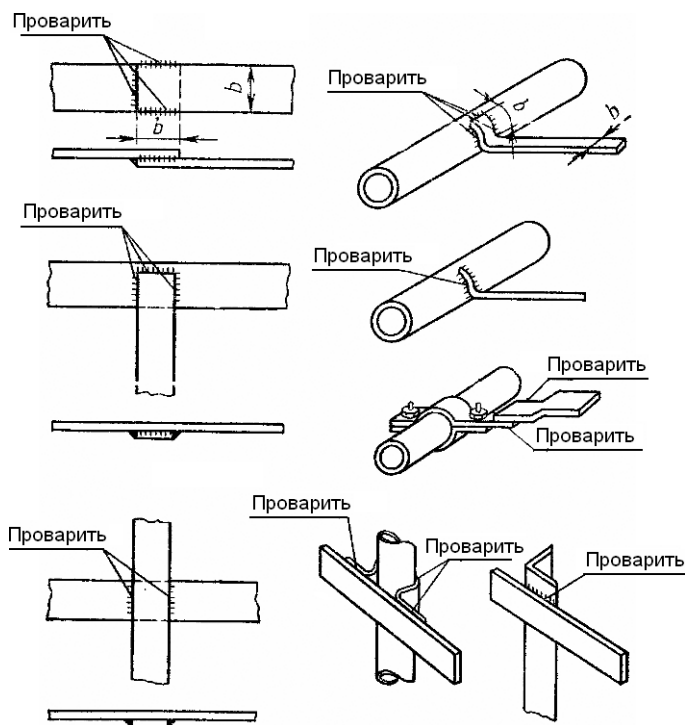


Рис. 17.171. Соединения и ответвления стальных защитных проводников

Каждая часть электроустановки, подлежащая заземлению, должна быть присоединена к защитному проводнику (*РЕ*-проводнику) отдельным ответвлением, рис. 17.172. Последовательное включение в защитный *РЕ*-проводник заземляемых частей электроустановки запрещается.

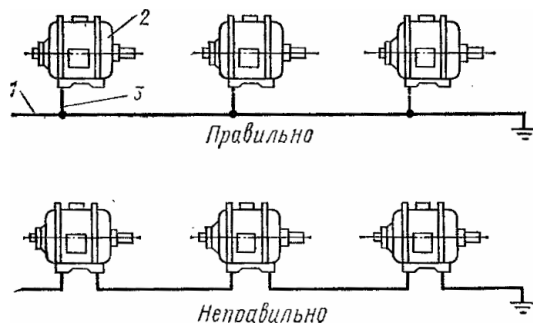


Рис. 17.172. Присоединение частей электроустановки к защитному проводнику: 1 — защитный *РЕ*-проводник; 2 — заземляемая часть электроустановки; 3 — ответвление от защитного проводника

Под один заземляющий болт на магистрали *РЕ*-проводника разрешается присоединять только один проводник. Допускается присоединять два проводника к одному штыревому контакту, при этом штырь закрепляется с обеих сторон гайками, а присоединяемые проводники присоединяются гайками на противоположных концах штыря. Допускается также под один болт на магистрали *РЕ*-проводника присоединять два проводника разных кабельных линий.

Защитные проводники должны присоединяться к корпусам машин, аппаратов и т. п. надежным болтовым соединением или, где возможно, сваркой. Места болтовых соединений должны быть хорошо зачищены и покрыты техническим вазелином.

Присоединять защитные проводники к оборудованию, подвергнутому частому демонтажу, или к движущимся частям следует гибкими проводниками. При наличии сотрясений необходимо принимать меры против ослабления контактов (установка контрогаек, разрезных пружинных шайб и т. п.).

Совмещенные нулевые защитные и нулевые рабочие проводники (*PEN*-проводники). В многофазных цепях в системе *TN* для стационарно проложенных кабелей, жилы которых имеют площадь поперечного сечения не менее 10 мм² по меди или 16 мм² по алюминию, функции нулевого защитного (*PE*) и нулевого рабочего (*N*) проводников могут быть совмещены в одном проводнике (*PEN*-проводник).

Не допускается совмещение функций нулевого защитного и нулевого рабочего проводников в цепях однофазного и постоянного тока. В качестве нулевого защитного проводника в таких цепях должен быть предусмотрен отдельный третий проводник. Это требование не распространяется на ответвления от ВЛ напряжением до 1 кВ к однофазным потребителям электроэнергии.

Не допускается использование сторонних проводящих частей в качестве единственного *PEN*-проводника. Это требование не исключает использования открытых и сторонних проводящих частей в качестве дополнительного *PEN*-проводника при присоединении их к системе уравнивания потенциалов.

Специально предусмотренные *PEN*-проводники должны соответствовать требованиям к сечению защитных проводников, а также требованиям к нулевому рабочему проводнику. Изоляция *PEN*-проводников должна быть равноценна изоляции фазных проводников.

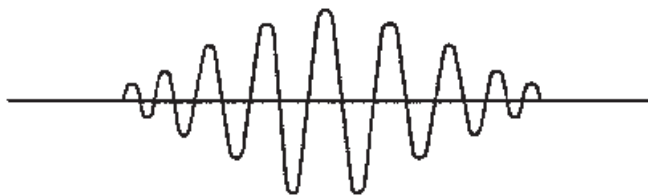
Когда нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены начиная с какой-либо точки электроустановки, не допускается объединять их за этой точкой по ходу распределения энергии. В месте разделения *PEN*-проводника на нулевой защитный и нулевой рабочий проводники необходимо предусмотреть отдельные зажимы или шины для проводников, соединенные между собой. *PEN*-проводник питающей линии должен быть подключен к зажиму или шине нулевого защитного *PE*-проводника.

Проводники системы уравнивания потенциалов. В качестве проводников системы уравнивания потенциалов могут быть использованы открытые и сторонние проводящие части, или специально проложенные проводники, или их сочетание.

Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника электроустановки, если сечение проводника уравнивания потенциалов при этом не превышает 25 мм^2 по меди или равноценное ему из других материалов. Применение проводников большего сечения, как правило, не требуется. Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов в любом случае должно быть не менее: медных — 6 мм^2 , алюминиевых — 16 мм^2 , стальных — 50 мм^2 .

Сечение проводников дополнительной системы уравнивания потенциалов, соединяющего заземляемые части электрооборудования и металлические конструкции строительного и производственного назначения, должно быть не менее:

- при соединении двух открытых проводящих частей — сечения меньшего из защитных проводников, подключенных к этим частям;
- при соединении открытой проводящей части и сторонней проводящей части — половины сечения защитного проводника, подключенного к открытой проводящей части.



Глава восемнадцатая

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ



18.1. Опасность поражения электрическим током для организма человека

Тело человека является хорошим проводником электрического тока, однако проходящий через человека ток вызывает целый ряд специфических процессов, свойственных только живой ткани, пагубно влияющих на здоровье.

Человек не может почувствовать наличие напряжения на данной части электроустановки. Электричество не воздействует на органы чувств до момента соприкосновения с частями, находящимися под напряжением, поэтому человек не может предвидеть грозящей ему опасности.

Электротравму можно получить не только при прикосновении или недопустимом приближении к металлическим частям электроустановки, но и при перемещении по земле вблизи повреждения изоляции или замыкания токоведущих частей на землю. То есть при пробое изоляции на землю в электрической установке или при падении на землю случайно оборванного провода земля может оказаться под электрическим напряжением, рис. 18.1. При этом образуется опасная зона — зона растекания электрического тока в радиусе 20 м от места пробоя или соприкосновения провода с землей. По мере растекания тока напряжение будет уменьшаться, и на расстоянии 20 м и более от места замыкания будет иметь нулевое значение.

Если человек окажется в такой зоне и сделает шаг при удалении от места замыкания или наоборот, то напряжение между двумя точками поверхности земли, отстоящими друг от друга на расстоянии этого шага (0,8 м), будет зависеть от разности потенциалов в этих точках. Это напряжение называется шаговым напряжением, и, следовательно, ток, проходящий через тело человека, в этом случае, будет зависеть от ширины шага и расстояния до места замыкания. Поэтому выходить из зоны растекания тока рекомендуется мелкими шагами (не более 10 см) или прыжками (на одной ноге или ноги вместе).

В зависимости от многих причин и условий воздействие электрического тока может быть от легкого, едва ощутимого судорожного сокращения мышц пальцев рук, до прекращения работы сердца или легких, т. е. смертельного поражения. Опасность воздействия электрического тока зависит от значения тока, проходящего через организм, длительности его воздействия, пути прохо-

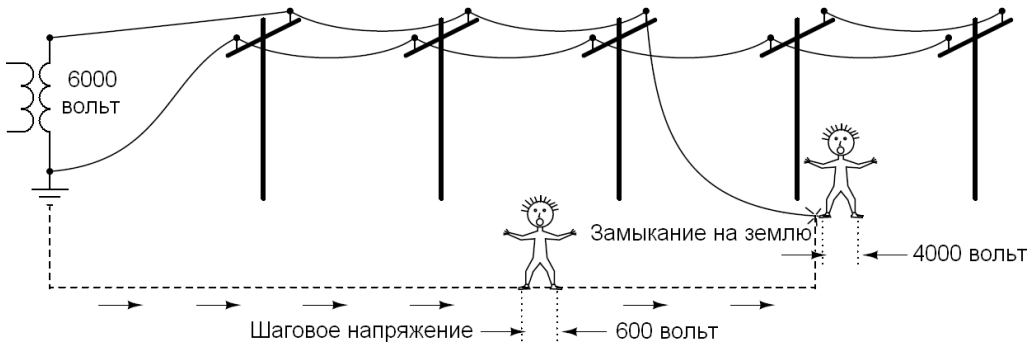
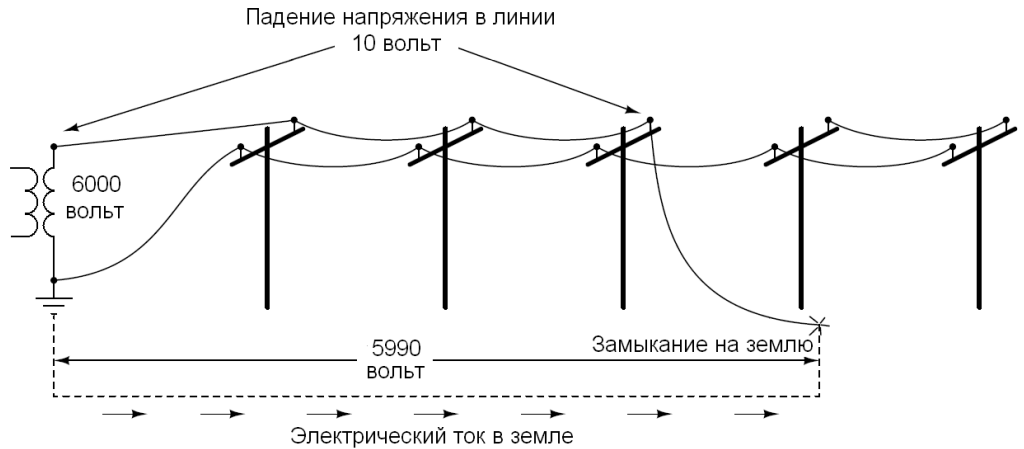


Рис. 18.1. Замыкание оборванного провода на землю

ждения (рис. 18.2), рода и частоты тока, а также от индивидуальных свойств и состояния человеческого организма.

На исход воздействия тока на организм человека влияют сопротивление тела человека и значение приложенного к нему напряжения. Наибольшую

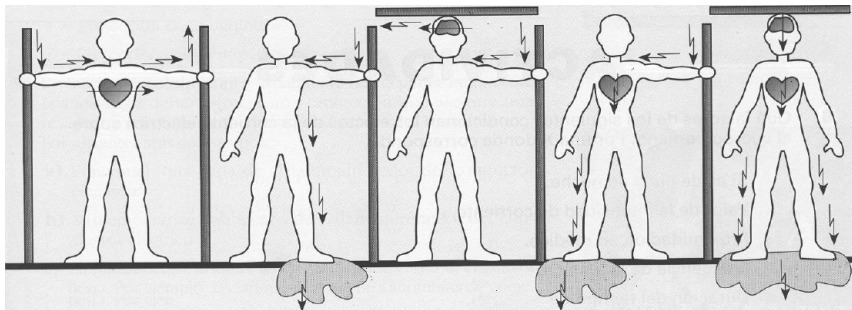


Рис. 18.2. Пути прохождения электрического тока через тело человека

опасность для человека представляет переменный ток частотой 50 Гц. Опасность его воздействия сохраняется до частоты 1 кГц.

В табл. 18.1 приведен характер воздействия электрического тока на организм человека при случайном прикосновении к токоведущим частям.

Таблица 18.1. Характер воздействия электрического тока частотой 50 Гц на организм человека

Ток, проходящий через тело человека, мА	Характер воздействия электрического тока на организм человека
Менее 1	Нет никаких ощущений
1	Порог восприятия
1—2	Начало ощущения — слабый зуд, пощипывание кожи под электродами
2—4	Ощущение тока распространяется и на запястье руки, слегка сводит руку
5—7	Болевые ощущения усиливаются во всей кисти руки, сопровождаясь судорогами; слабые боли ощущаются во всей руке, вплоть до предплечья
8—10	Сильные боли и судороги во всей руке, включая предплечье. Руки трудно, но еще можно оторвать от провода
10	Максимальное сжатие мускул руки
10—15	Едва переносимые боли во всей руке. Руки невозможно оторвать от провода. С увеличением продолжительности протекания тока боли усиливаются
20—25	Руки парализуются мгновенно, оторвать от провода не возможно. Сильные боли, дыхание затруднено
25—50	Очень сильная боль в руках и груди. Дыхание крайне затруднено. При длительном воздействии тока может наступить паралич дыхания или ослабление деятельности сердца с потерей сознания
50—80	Дыхание парализуется через несколько секунд, нарушается работа сердца. При длительном протекании тока может наступить фибрилляция сердца, рис. 18.3
100	Фибрилляция сердца через 2—3 с; еще через несколько секунд — паралич дыхания
300	То же действие за меньшее время
Более одного ампера	Непоправимое повреждение тканей тела
4000	Дыхание парализуется немедленно — через доли секунды. Фибрилляция сердца, как правило, не наступает; возможна временная остановка сердца в период протекания тока. При длительном протекании тока (несколько секунд) — тяжелые ожоги, разрушение тканей
Более 5000	Паралич сердца. Тяжелые ожоги, разрушение тканей

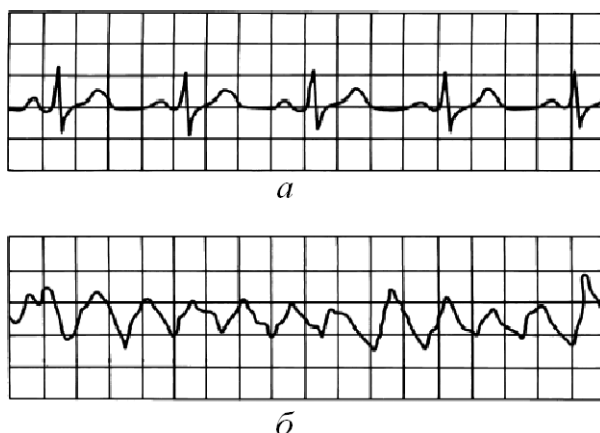


Рис. 18.3. Электрокардиограмма работы здорового сердца (а) и после электротравмы при наступлении фибрилляции сердца (б)

Переменный ток частотой 50 Гц, протекая через тело человека от руки к руке или от руки к ногам, при силе тока порядка 100 мА может парализовать сердце, если продолжительность воздействия тока на человека не менее 3 с. Сердце может просто остановиться или возникнет так называемая фибрилляция желудочков сердца, т. е. беспорядочное подергивание отдельных волокон сердечной мышцы вместо одновременного их сокращения и расслабления. При большем токе сердце может парализоваться быстрее, даже за доли секунды.

Продолжительность протекания тока имеет значение потому, что опасность паралича сердца зависит не только от силы тока, но и от того, совпадает ли момент прохождения с той фазой в работе сердца в каждом цикле сжатия и расширения, когда оно оказывается особенно чувствительно к току. При протекании тока дольше, чем продолжительность одного цикла сжатия и расширения сердца, ток обязательно совпадет с опасной фазой.

Ток в несколько ампер обычно не вызывает фибрилляции, так как в этом случае все волокна сердечной мышцы сжаты, пока он течет, но этот ток вызывает тепловое разрушение тканей тела и иногда паралич дыхания из-за повреждения нервной системы. Дыхание может парализоваться уже при токе 50—80 мА, если он протекает достаточно долго. При токе 20—25 мА, протекающем между руками или между рукой и ногами, пальцы судорожно сжимают взятый в руки предмет, оказавшийся под напряжением, теряется способность управлять рукой, и человек не может самостоятельно освободиться от действия тока.

У многих пострадавших бывают спазмы гортани: они не могут позвать на помощь. Чем дольше протекает ток, тем меньше становится электрическое сопротивление тела, и сила тока увеличивается. Если он не будет быстро прерван, может наступить смерть.

Отпускающим называется ток, при котором человек еще может самостоятельно оторвать руки от предмета, находящегося под напряжением. Для мужчин максимальные отпускающие токи находятся в пределах 10—23 мА, а для женщин — 6—18 мА. Ток в 10 мА обычно считается безопасным, однако не-

который процент смертельных поражений происходит при токах даже менее 6 мА.

По статическим данным наименьший ток, при котором наступила смерть, составил 0,8 мА, в то время как ток менее 1,2 мА вообще не ощущается человеком (порог чувствительности к току, протекающему от руки к ногам или к другой руке, у разных людей при различных обстоятельствах его протекания находится в пределах 0,2—1,3 мА).

Возможность гибели людей от малых токов объясняется тем, что исход электропоражения зависит не только от действия тока непосредственно на сердце или органы дыхания, но и от действия его на нервную систему, обладающую разнообразными индивидуальными особенностями (возможна смерть от нервного шока).

Имеет значение путь тока через тело человека и в особенности места входа и выхода тока. Например, при проходе тока от правой руки к ногам через сердце идет вдвое большая доля общего тока, чем при протекании тока от левой руки к ногам. Однако известны случаи смертельных поражений электрическим током, когда ток совсем не проходил через сердце, а шел, например, через пальцы на одной руке или через две точки на одной голени. Это объясняется воздействием тока на центральную нервную систему, когда ток проходит через особо уязвимые точки на теле человека. Не случайно многие из них совпадают с точками, которые используют при лечении иглоукалыванием.

Ток через тело человека зависит от его сопротивления. При низких напряжениях это сопротивление почти целиком зависит от состояния кожи, поверхностный слой которой может рассматриваться как тонкий и сравнительно несовершенный диэлектрик, а мышцы и кровь — как проводник. В зависимости от целостности и состояния кожи, а также пути тока через тело сопротивление может составлять приблизительно от 100 000 до 500 Ом и даже меньше (обычно принимают 1000 Ом).

Сопротивление кожи зависит не только от ее состояния (сухая, влажная, огрубевшая, неповрежденная, поврежденная), но и от площади поверхности и плотности контакта, а также от силы проходящего тока и продолжительности его воздействия. Чем они больше, тем меньше сопротивление кожи.

Увлажнение кожи водой или потом, загрязнение кожи (особенно металлической или угольной пылью) сильно снижают сопротивление. На сопротивление кожи сильно влияют площадь контактов и особенно места их прикосновения. Весьма малым сопротивлением обладают участки кожи лица, шеи, рук выше локтя, тыльной стороны кистей рук, подмышечные впадины человека. Сопротивление кожи ладоней и подошв из-за ее огрубелости и мозолистости значительно выше. Сопротивление кожи падает и при длительном прохождении через нее тока, так как ток вызывает нагревание кожи, а это в свою очередь приводит к расширению сосудов, усилению кровообращения и потоотделению.

Сопротивление кожи зависит и от приложенного напряжения, так как уже при напряжении 10—38 В начинается пробой верхнего, рогового слоя кожи. При напряжении 127—220 В и выше кожа уже почти не влияет на сопротивление тела. Что касается напряжения, которое может представлять опасность, будучи приложенным к телу человека, то известны случаи, когда

даже напряжение менее 12 В вызывало смерть, правда, исключительно редко и при особо неблагоприятных условиях.

До сих пор речь шла о переменном токе промышленной частоты (50 Гц). При повышении частоты (начиная с 1000—2000 Гц) опасность электрического тока заметно снижается и при частотах 450—500 кГц полностью исчезает (кроме ожогов). Это объясняется поверхностным эффектом: ток высокой частоты проходит по нечувствительной поверхности кожи.

Постоянный ток приблизительно в 4—5 раз безопаснее переменного при напряжениях до 250—300 В. При более высоких напряжениях постоянный ток становится опаснее переменного.

Из сказанного выше видно, что наилучшими мерами защиты человека от поражения электрическим током являются такие, которые вообще не допускают протекания ощутимого человеком электрического тока через его тело. Однако применение таких защитных средств и мероприятий не всегда возможно.

Наиболее распространенные защитные мероприятия, например защитное заземление или зануление, не исключают протекание тока через тело, а лишь снижают его силу или ограничивают продолжительность протекания тока, т. е. не гарантируют абсолютную безопасность, а только понижают вероятность серьезного поражения электричеством до достаточно малой степени.

Электрический ток может вызвать также ожоги, электрические знаки и электрометаллизацию кожи. Ожоги происходят под действием электрического тока, протекающего через тело, электрической дуги между телом и электродом или дуги между электродами без протекания тока через тело пострадавшего.

Электрические знаки представляют собой припухлости кожи, затвердевшей в виде мозоли желтовато-серого цвета с краями, очерченными белой или серой каймой. Покраснений, воспалений или нагноений при электрознаке не бывает. Электрознаки вызываются химическим и механическим воздействием тока, возникают при плотном контакте тела с электродом и совершенно безболезненны.

Электрометаллизация заключается в пропитывании кожи частицами металла электрода, расплавляющегося под действием тока. Исход электрознаков и металлизации зависит от площади пораженной поверхности тела. Обычно они благополучно проходят.

18.2. Основные правила техники безопасности

Работа на электрических установках совершенно безопасна, если обслуживающий персонал будет точно соблюдать правила технической эксплуатации и правила безопасности. Для этого к работе на электрических установках допускаются лица, изучившие правила безопасности и получившие удостоверение о проверке знаний с присвоением квалификационной группы.

Ежегодно работники, обслуживающие электрические установки, проходят проверку знаний правил безопасности. Все работы на высоковольтном оборудовании

довании производятся по нарядам установленной формы, не менее чем двумя лицами, с обязательным использованием необходимых защитных средств.

Основными защитными средствами называются приспособления, изоляция которых надежно выдерживает рабочее напряжение электроустановки и которыми допускается касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением.

К основным изолирующим средствам в установках любого напряжения относятся изолирующие штанги для оперативных переключений, для производства измерений, для наложения заземления и других целей и изолирующие клещи для предохранителей, а в установках до 1000 В, кроме того — диэлектрические перчатки и монтерский инструмент с изолирующими рукоятками.

Дополнительными защитными средствами называются такие приспособления, которые сами по себе не могут обеспечить безопасность от поражения током и служат для усиления действия основных защитных средств, а также служат для защиты от напряжения прикосновения и шагового напряжения. К дополнительным защитным изолирующим средствам в электроустановках при напряжении выше 1000 В относятся: диэлектрические перчатки, диэлектрические боты, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки. При всех операциях на высокоом напряжении основные защитные средства следует применять совместно с дополнительными. Защитные средства как находящиеся в употреблении, так и содержащиеся в запасе должны быть пронумерованы и, в определенные сроки, их состояние должно быть проверено.

В установках до 1000 В все токоведущие части должны быть защищены от случайного прикосновения к ним. Так, например, ножи рубильников, контакты реостатов должны иметь защитные приспособления.

При работе в сырых помещениях, а также на хорошо заземленных предметах (котлы, мосты) необходимо применять понижающие трансформаторы (12 и 24 В).

Все металлические предметы, расположенные вблизи токоведущих частей и могущие войти в соприкосновение с последними, должны быть заземлены.

Работы на вращающихся машинах и их аппаратуре не разрешается производить, за исключением шлифовки контактных колец и коллектора.

Ремонтные и монтажные работы должны производиться при отключенном оборудовании. Если же установку по тем или иным причинам отключить нельзя, то при работе под напряжением необходимо соблюдать правила техники безопасности, используя защитные приспособления (изолирующие подкладки, резиновые калоши, инструменты с изолирующими рукоятками, резиновые диэлектрические перчатки, приспособления для заземления и короткого замыкания, штанги и защитные очки). В необходимых местах должны быть укреплены предостерегающие плакаты.

Строго воспрещается приступать к работе в электроустановках при напряжении выше 1000 В (подстанции, трансформаторные помещения, части их, кабели и пр.) до получения устного или письменного указания производителя работ и извещения о том, что напряжение выключено, а токоведущие части заземлены и можно приступать к работе.

Перед началом работ в электроустановках необходимо при помощи соответствующих приборов убедиться в отсутствии напряжения в той части уста-

новки, в которой будет производиться работа. Затем нужно произвести разрядку собирательных шин, кабелей и трансформаторов, замкнуть их и надежно заземлить.

Прежде чем начинать работу, необходимо проверить надежность и прочность лестниц, стремянок, лесов, подмостей, люлек, канатов, тросов.

18.3. Первая помощь пострадавшему от электрического тока

Современная медицина располагает многими средствами оказания действенной помощи пораженному электрическим током, но исход поражения зависит от того, насколько быстро и умело оказана доврачебная помощь пострадавшему.

Если попавший под напряжение остается в соприкосновении с токоведущими частями, нужно как можно быстрее освободить его от действия тока. Для этого лучше всего отключить ту часть электроустановки, которой касается пострадавший. Если это невозможно сделать быстро, то при напряжении до 1000 В для отделения пострадавшего от предмета, находящегося под напряжением, можно воспользоваться любыми не проводящими ток предметами: встать на сверток сухой одежды или на доску, или, обмотав руку шарфом, оттащить пострадавшего, рис. 18.4. Даже голый рукой можно взять пострадавшего за сухую одежду, не касаясь голого тела или обуви, которая может быть влажной или иметь металлические детали.

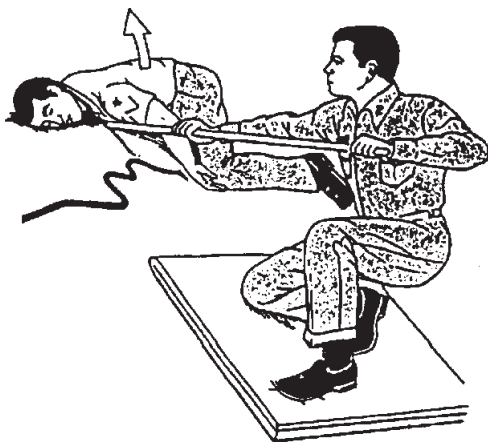


Рис. 18.4. Освобождение пострадавшего от действия электрического тока

Если пострадавший судорожно сжал один из проводов, то можно прервать ток через пострадавшего, отделив его не от провода, а от заземленных частей, например, подсунуть под него сухую доску или оттянуть его ноги от земли при помощи сухой веревки. После этого пострадавший легко отпустит провод. Иногда быстрее перерубить провода топором или другим инструментом с изолирующими рукоятками, но провода надо рубить по одному, чтобы не появилась электрическая дуга из-за короткого замыкания между ними.

Если напряжение установки более 1000 В и быстрое отключение невозможно, то нужно либо оттащить пострадавшего от частей установки, находящихся под напряжением, пользуясь защитными изолирующими средствами, рассчитанными на это напряжение (штанги, клещи для предохранителей плюс диэлектрические боты или перчатки), либо вызвать автоматическое отключение установки, устроив в ней короткое замыкание на безопасном расстоянии от пострадавшего.

Например, на воздушной линии набрасывают голый провод на 2 или 3 фазы (но не на один провод!). Предварительно присоединяют этот провод к какому-либо заземлителю. Этот провод после соприкосновения с проводами линии не должен касаться бросавшего или других людей, и никто не должен стоять ближе 5 м от заземлителя. На линии напряжением выше 1000 В после отключения может сохраниться опасный для жизни емкостной заряд. Лишь после надежного ее заземления к пострадавшему можно прикасаться без использования изолирующих штанг или клещей.

Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но дышит, его надо уложить, расстегнуть ему ворот и пояс, дать понюхать нашатырный спирт, срочно вызвать врача.

Если пострадавший не дышит совсем или, находясь в бессознательном состоянии, дышит редко и судорожно, как умирающий, нужно делать искусственное дыхание. Перед этим надо быстро расстегнуть одежду пострадавшего, стесняющую дыхание (галстук, пояс), но не следует раздевать его, так как это бесполезно и отнимает время, а вероятность успеха тем меньше, чем позднее начато искусственное дыхание (если оно начато через 4—5 мин после того, как пострадавший перестал дышать, то надежды на оживление очень мало). Необходимо раскрыть рот пострадавшего и удалить все, что может мешать дыханию (например, сместившиеся вставные зубы). Тогда же нужно послать за врачом.

Самый эффективный способ искусственного дыхания — это вдвигание воздуха изо рта спасающего в рот или в нос пострадавшего (в выдыхаемом воздухе еще достаточно кислорода). Пострадавшего кладут на спину, подложив под лопатки что-либо мягкое, и слегка нажимают на голову так, чтобы она запрокинулась назад как можно больше, рис. 18.5. При этом язык не закрывает проход воздуха в горло. Зажимают нос пострадавшего и, глубоко вздохнув, выдыхают воздух в рот пострадавшего. Можно делать это через сухой носовой платок. Пока спасатель вдыхает воздух, у пострадавшего происходит выдох: воздух выходит сам.

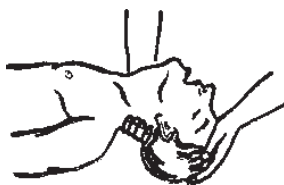


Рис. 18.5. Положение головы пострадавшего перед началом искусственного дыхания

Если у пострадавшего расширены зрачки и пульс не прощупывается даже на шее, значит у него парализовано не только дыхание, но и сердце. Тогда ис-

кусственное дыхание чередуют с массажем сердца, надавливая на нижнюю треть грудной клетки пострадавшего (но не под ложечку) быстрыми толчками положенных одна на другую ладоней спасателя, рис. 18.6.



Рис. 18.6. Массаж сердца

Делают 15 толчков со скоростью примерно раз в секунду так, чтобы грудина смещалась в направлении к позвоночнику на 4—5 см. При каждом нажатии сердце сжимается, кровь с силой прогоняется через кровеносную систему. Затем спасатель делает глубокий вдох и, зажав ноздри пострадавшего, 2 раза подряд вдвует воздух ему в рот. Чередую нажатия на грудину и вдвухания, успевают сделать в минуту до 50—60 нажатий на грудь и 8—10 вдвуханий в легкие.

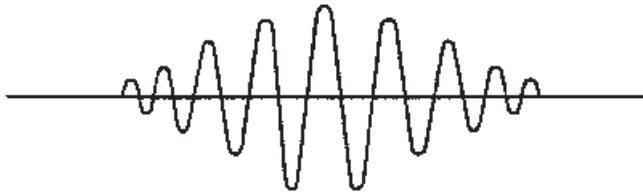
Если после нескольких циклов массажа сердца розовеет кожа, а зрачки сужаются при освещении, надо проверить, не появился ли пульс. После возобновления работы сердца можно делать искусственное дыхание без массажа.

Когда пострадавший пошевелит губами, веками или сделает глотательное движение, нужно проверить, не начнет ли он дышать сам. При появлении слабых поверхностных вдохов нужно приспособить к ним ритм искусственного дыхания, но прекращать его рано. Если же пострадавший начал глубоко и равномерно дышать искусственное дыхание следует прекратить. Но если после нескольких секунд (не более 15 с) окажется, что пострадавший не дышит, искусственное дыхание нужно немедленно возобновить.

Практика показывает, что пострадавшего можно считать умершим только в случае, если после часа искусственного дыхания в сочетании с массажем

собственное дыхание не появилось, а резко расширенные зрачки не сузились. Факт смерти устанавливает только врач.

Если искусственное дыхание и массаж сердца вызывают признаки оживления человека (розовеет кожа, зрачки реагируют на свет), но прекращение массажа и искусственного дыхания не приводит к началу самостоятельного дыхания, а пульс у пострадавшего не прощупывается даже на шее, это признак фибрилляции. Здесь нужен дефибриллятор, а при его отсутствии нужно делать массаж вручную. Использовать дефибриллятор вправе только врач. Поэтому дефибрилляторами оснащаются только больницы и специальные машины скорой помощи.



Приложения



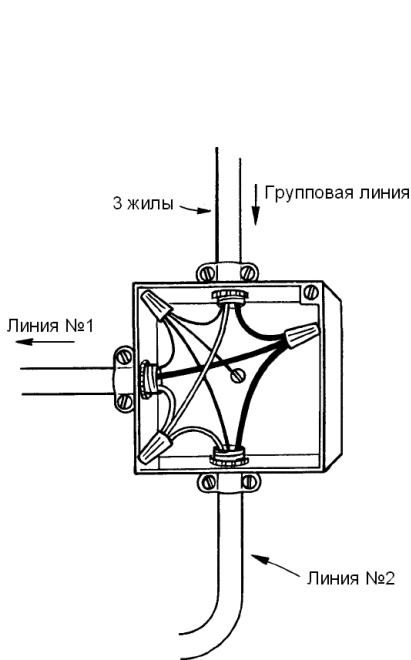


Рис. 1. Разводка ответвительной коробки

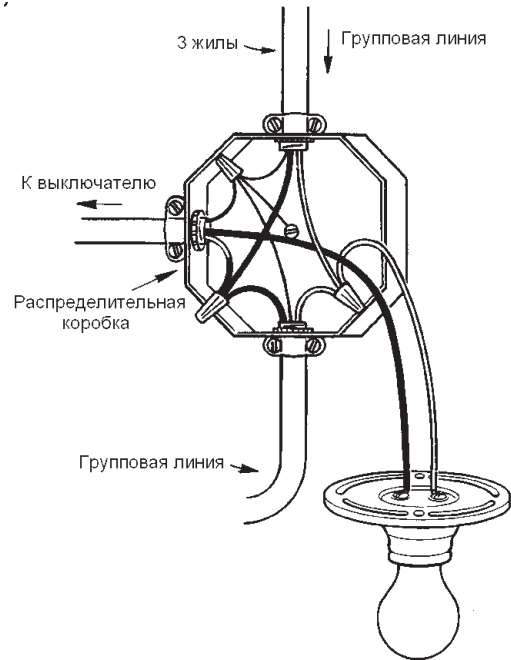


Рис. 2. Разводка ответвительной коробки со светильником

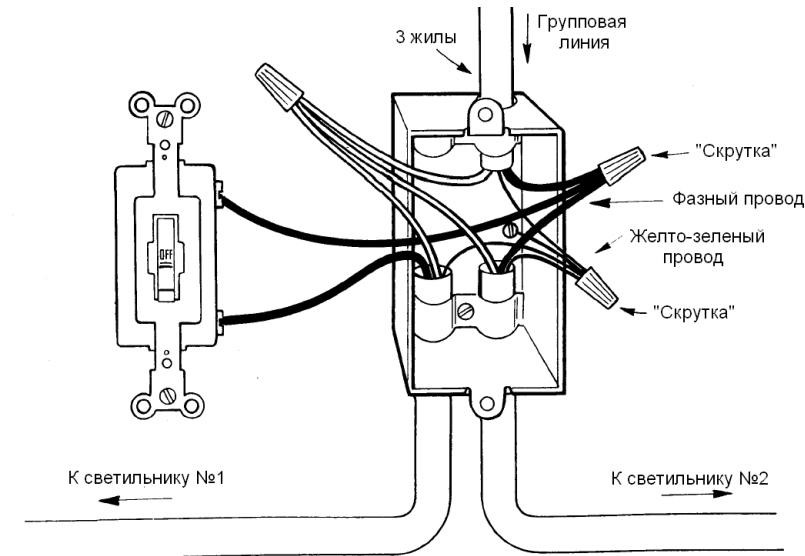


Рис. 3. Разводка установочной коробки с выключателем

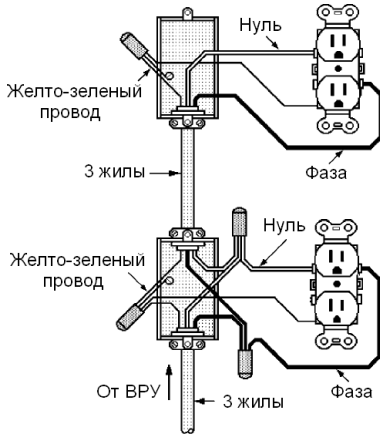


Рис. 4. Элемент разводки осветительной проводки (подключение двух розеток)

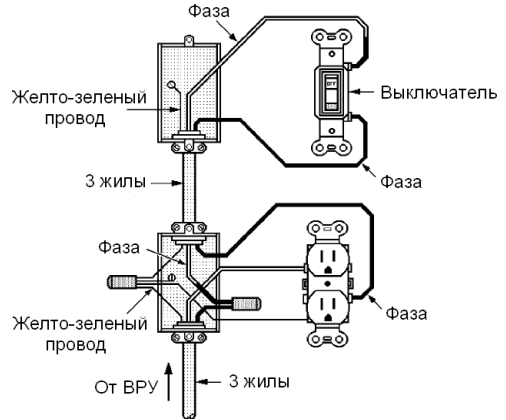


Рис. 5. Подключение розетки выключаемой внешним выключателем

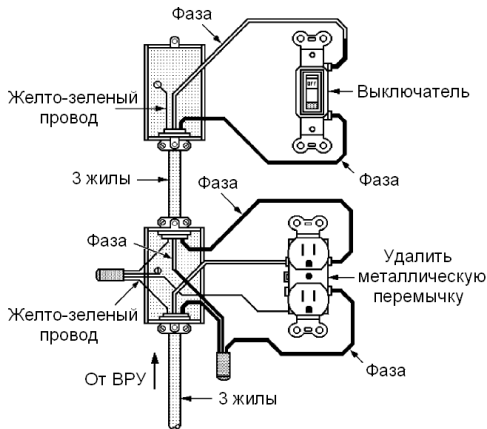


Рис. 6. Подключение двойной розетки, одна из которых выключается внешним выключателем

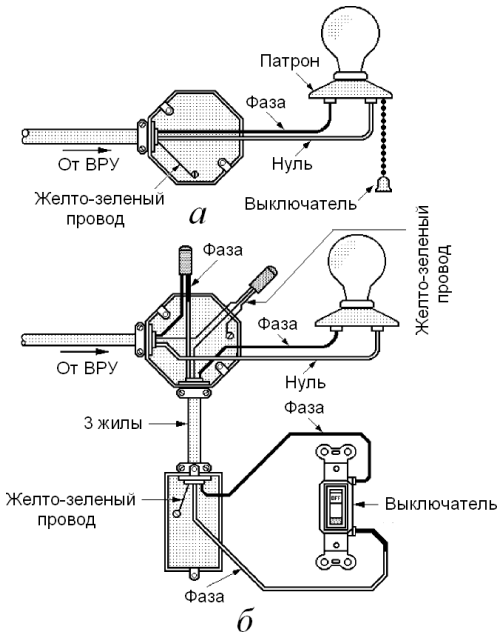


Рис. 7. Подключение светильника со встроенным (а) и внешним (б) выключателем

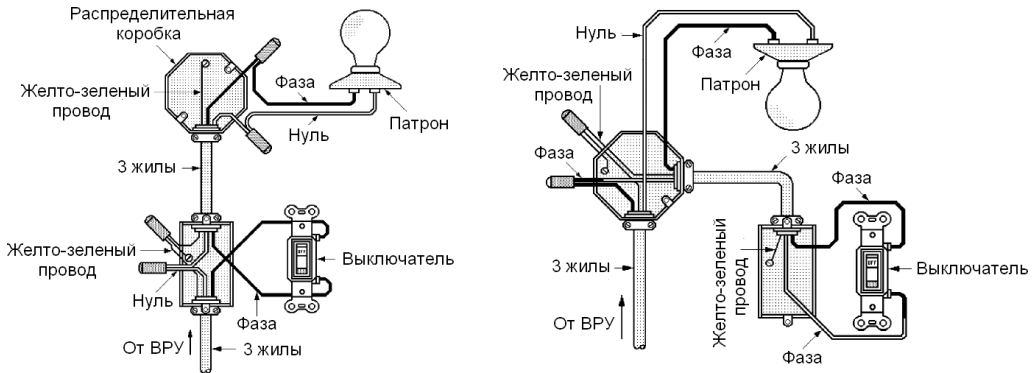


Рис. 8. Элемент осветительной сети (варианты)

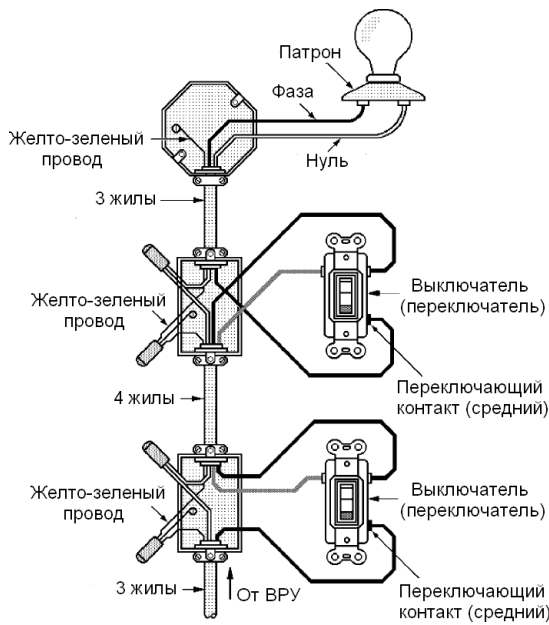


Рис. 9. Управление освещением из двух точек

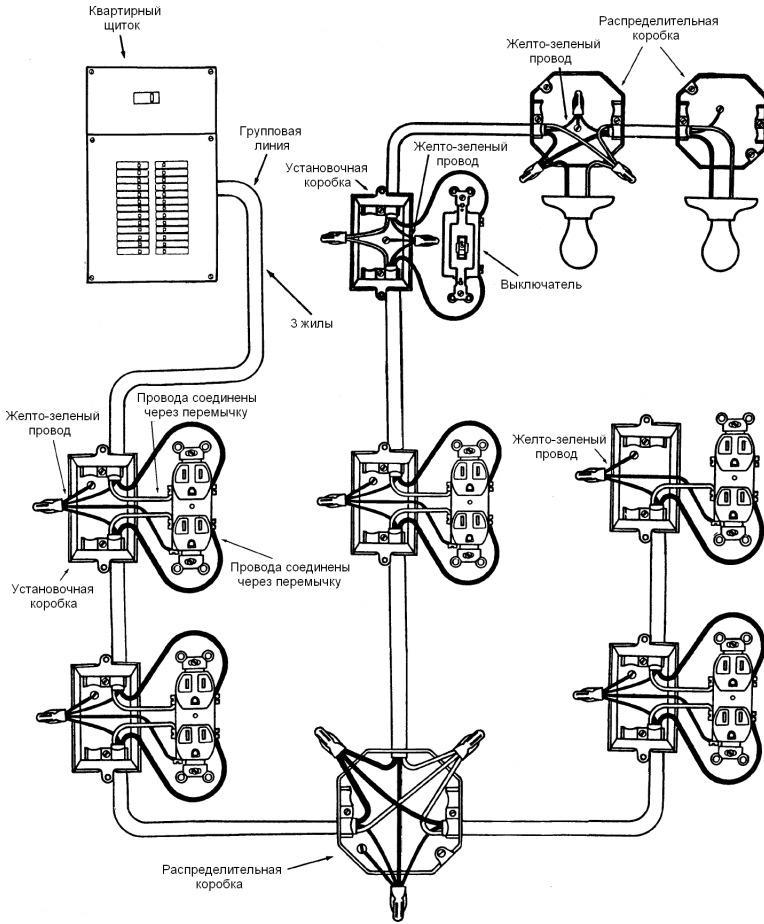


Рис. 10. Пример разводки групповой линии

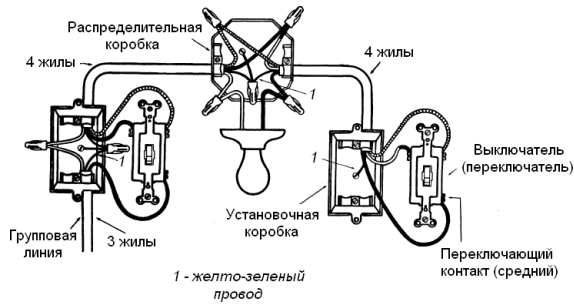


Рис. 11. Управление освещением из двух точек (светильник расположен между выключателями)

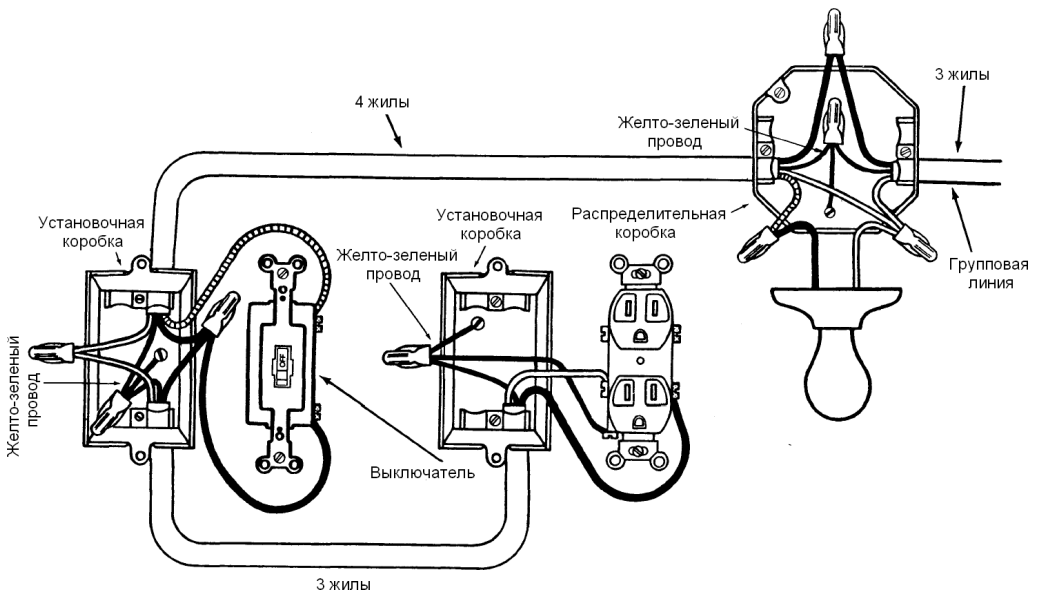


Рис. 12. Элемент групповой линии (вариант 1)

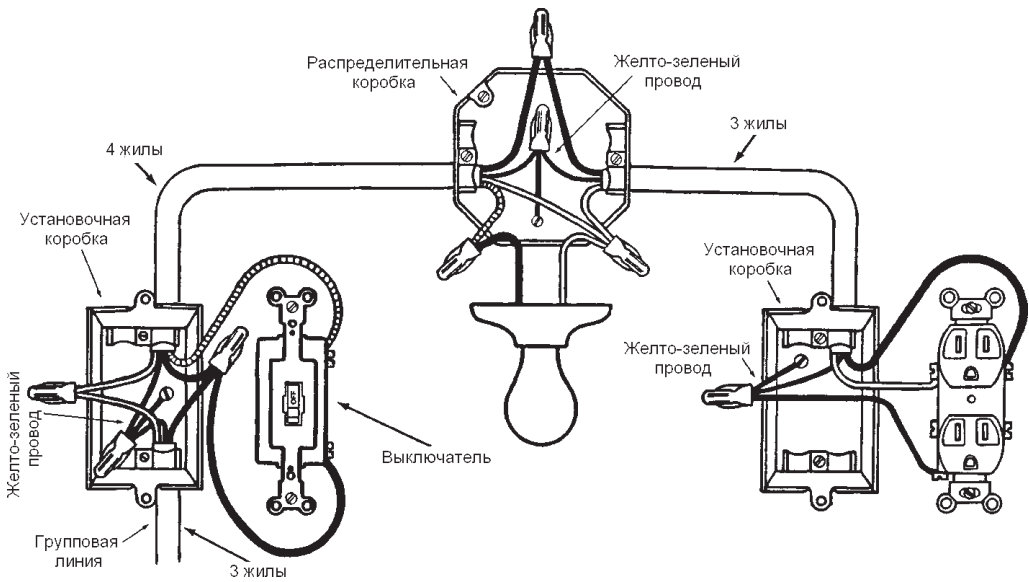


Рис. 13. Элемент групповой линии (вариант 2)

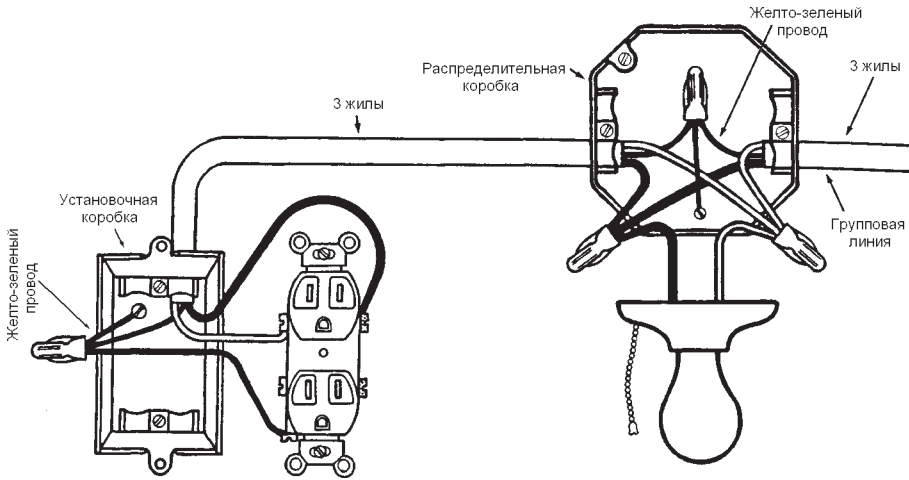


Рис. 14. Элемент осветительной сети (светильник со встроенным выключателем)

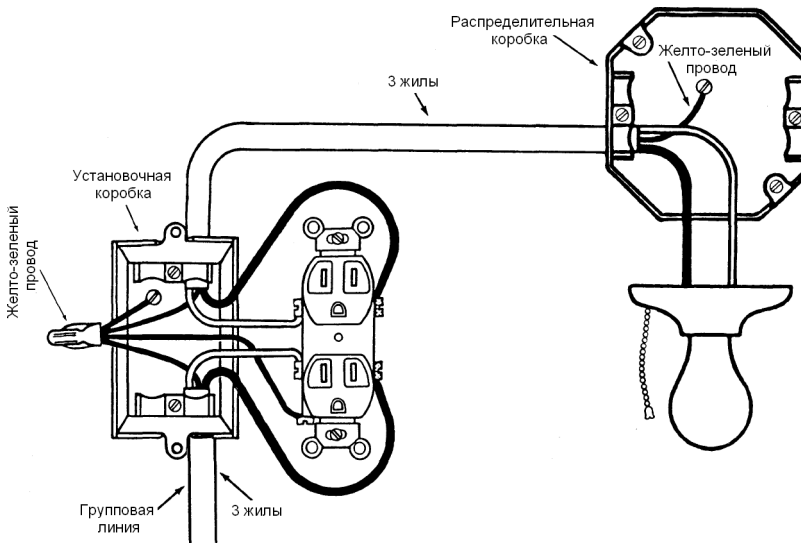


Рис. 15. Элемент осветительной сети (использование розетки для соединения проводов)

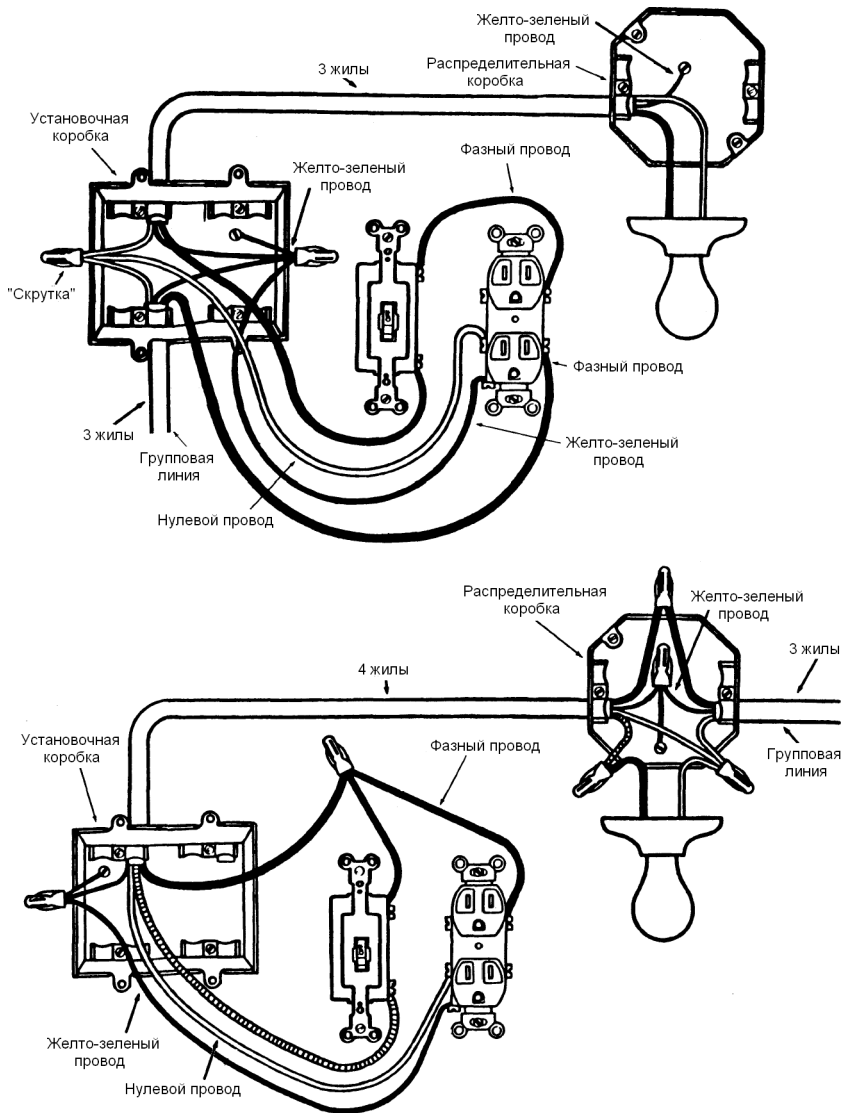


Рис. 16. Элемент осветительной сети с блоком выключатель-розетка (варианты)

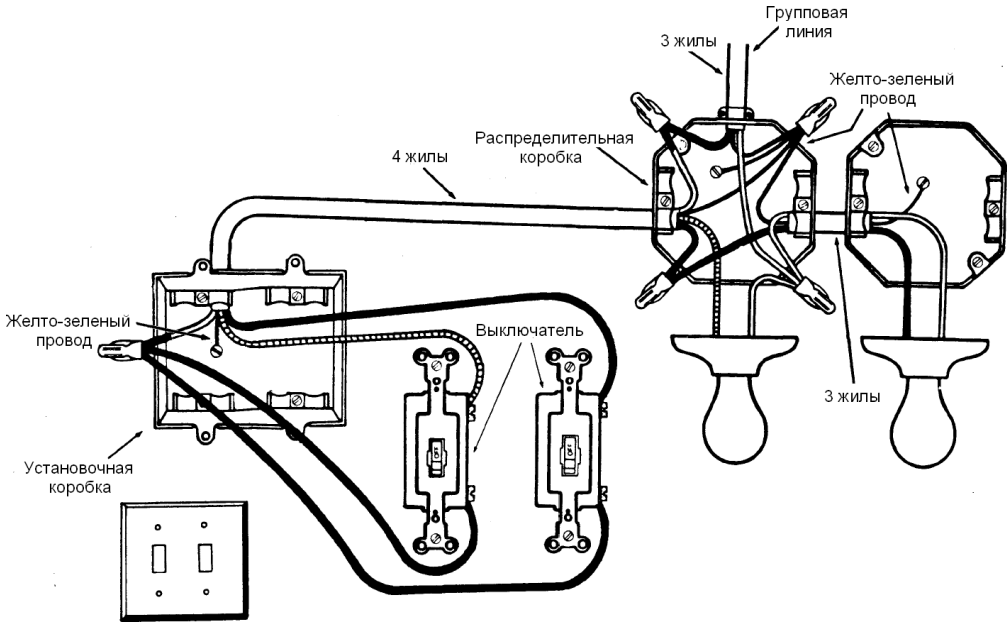


Рис. 17. Элемент осветительной сети с блоком из двух выключателей (вариант 1)

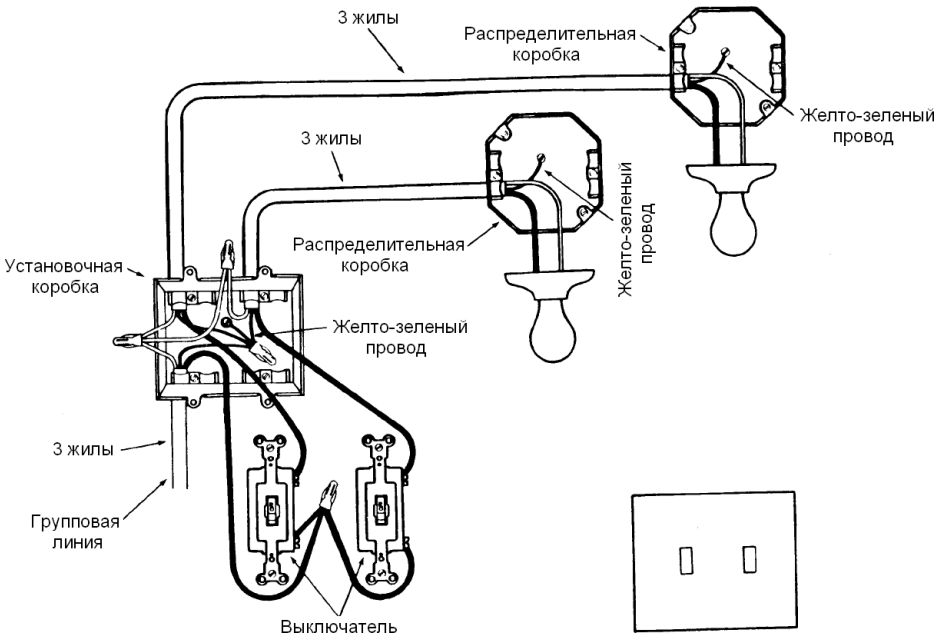


Рис. 18. Элемент осветительной сети с блоком из двух выключателей (вариант 2)

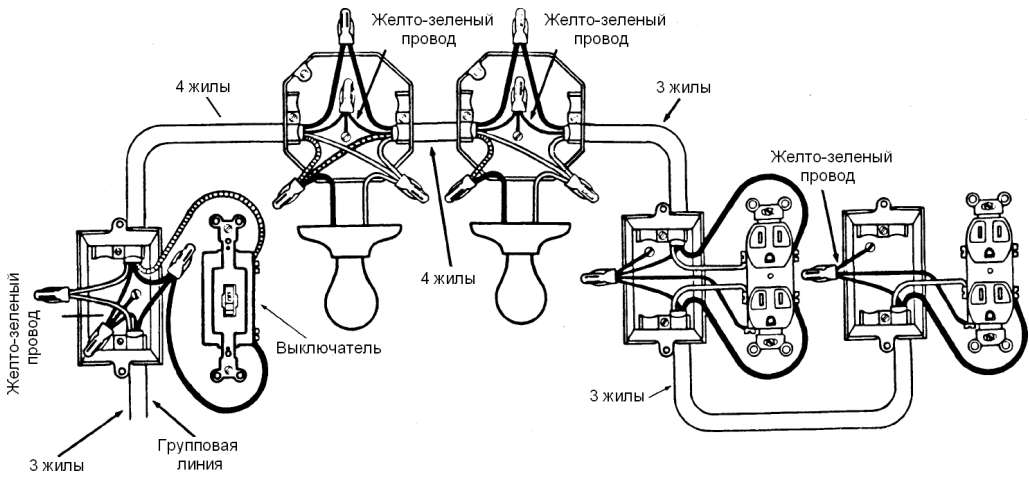


Рис. 19. Управление освещением из двух точек (вариант 1)

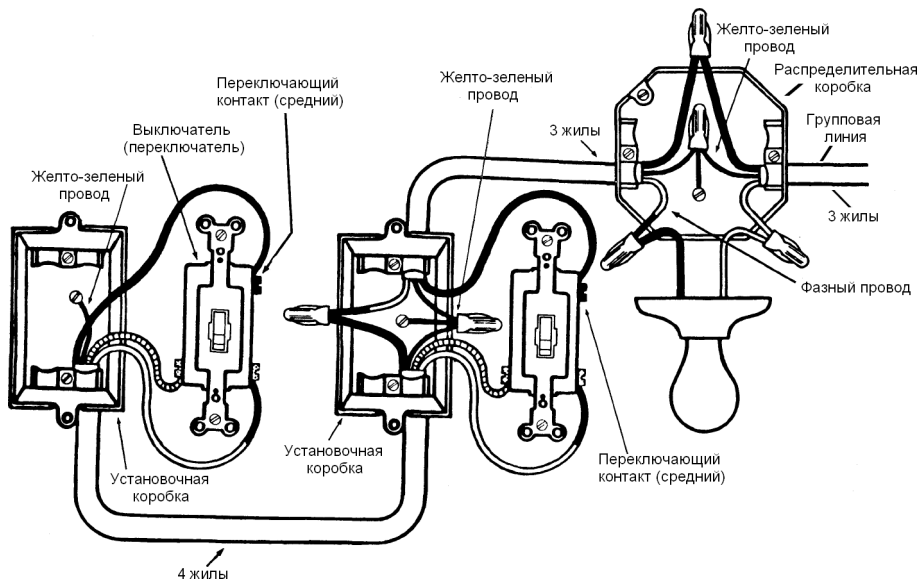


Рис. 20. Управление освещением из двух точек (вариант 2)

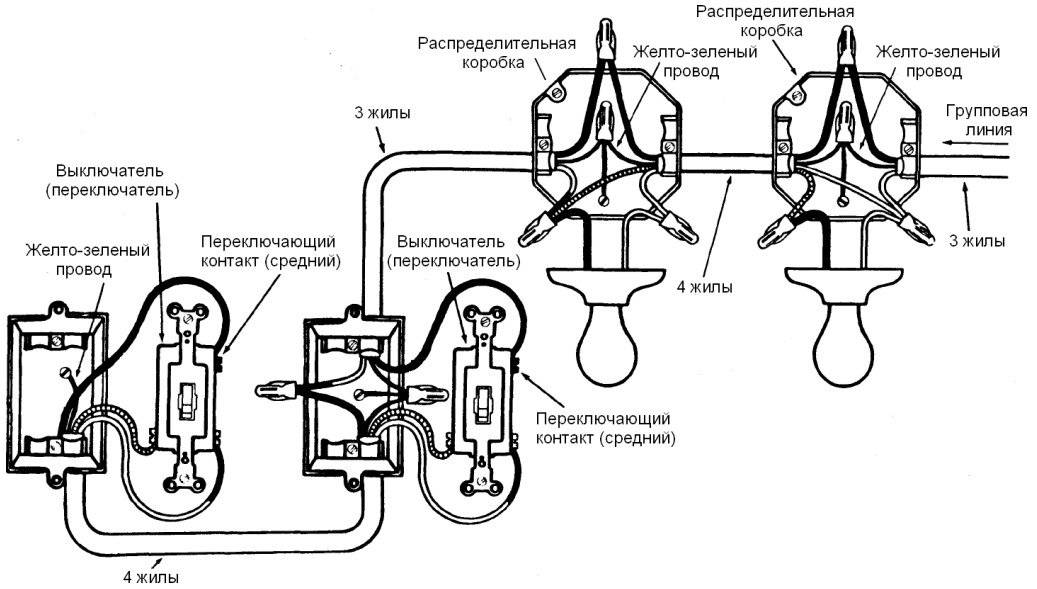


Рис. 21. Управление освещением из двух точек (вариант 3)

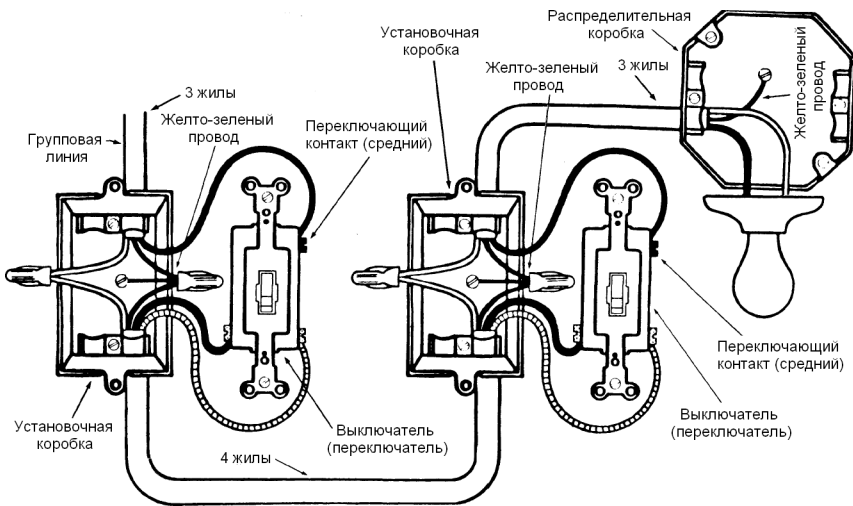


Рис. 22. Управление освещением из двух точек (вариант 4)

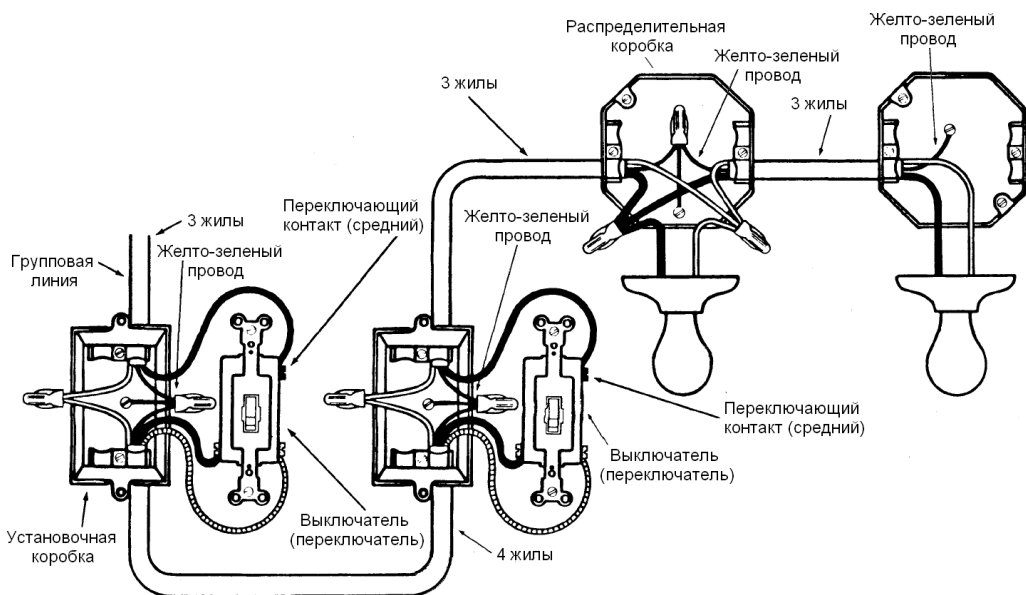


Рис. 23. Управление освещением из двух точек (вариант 5)

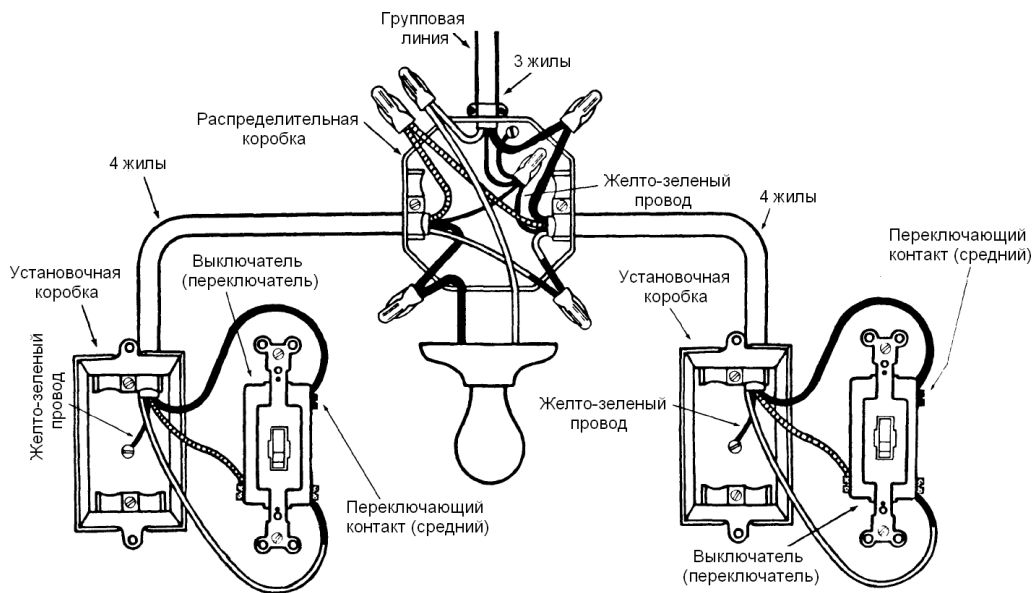


Рис. 24. Управление освещением из двух точек (вариант 6)

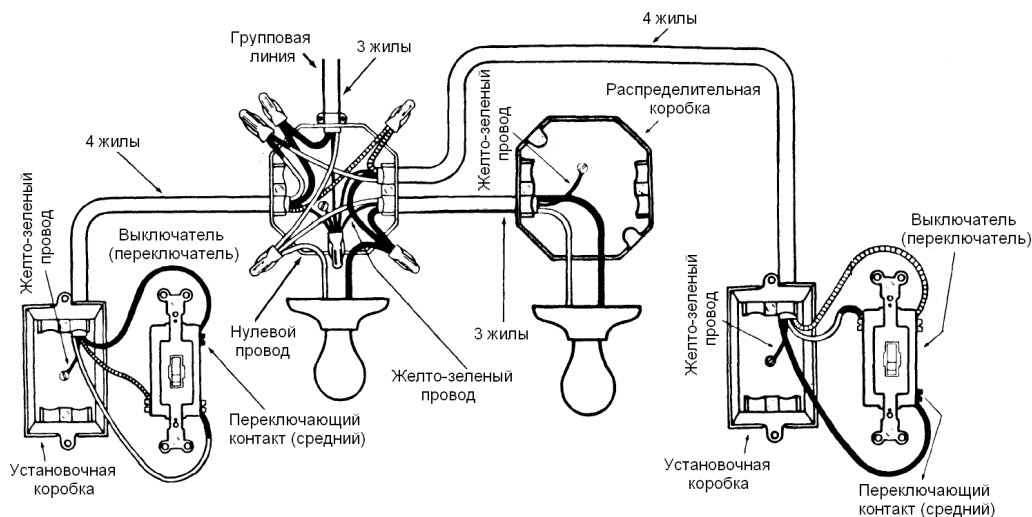


Рис. 25. Управление освещением из двух точек (вариант 7)

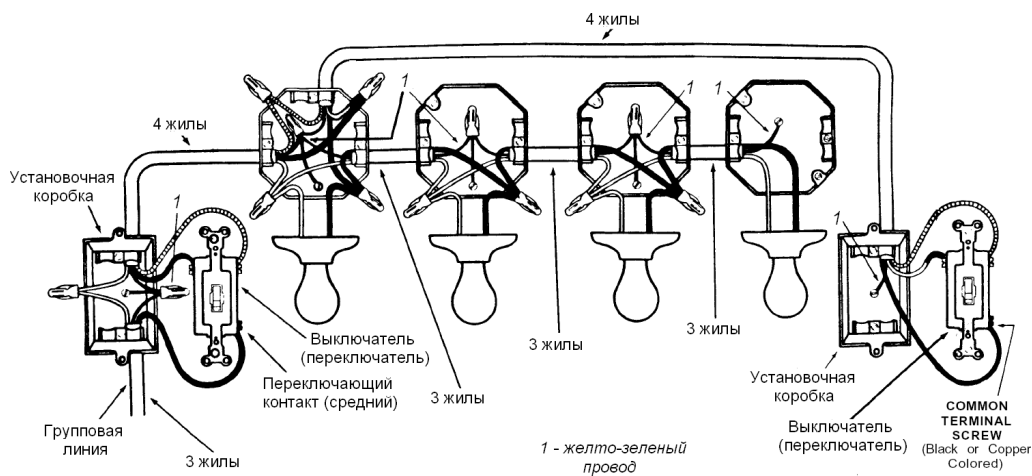


Рис. 26. Управление освещением из двух точек (вариант 8)

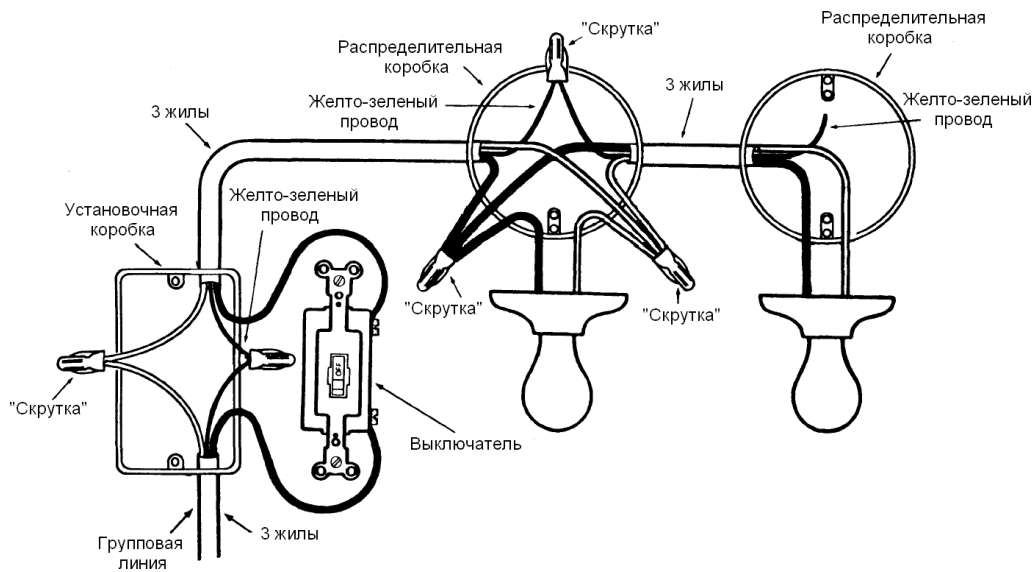
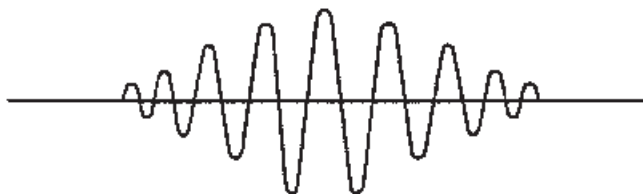


Рис. 27. Элемент осветительной сети с пластмассовыми коробками



Оглавление

Введение	3
Глава первая. НАЧАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ	6
1.1. Энергия и работа	6
1.2. Масса. Сила. Ускорение	9
1.3. Измерение работы	10
1.4. Мощность	12
1.5. Передача энергии на расстояние	13
Глава вторая. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ	15
2.1. Молекулы и атомы	15
2.2. Изоляторы и проводники	17
2.3. Простейшие опыты с неподвижными электрическими зарядами (электростатика)	20
2.4. Электрическое поле	22
2.5. Напряжение (разность потенциалов)	25
2.6. Электрическая емкость. Конденсаторы	27
2.7. Диэлектрики	31
2.8. Характеристики электроизоляционных материалов	33
2.9. Нагревостойкость электроизоляционных материалов	37
Глава третья. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА	39
3.1. Понятие об электрическом токе	39
3.2. Электродвижущая сила источника электрической энергии. Напряжение	41
3.3. Электрическая цепь и ее элементы	42
3.4. Мощность	48
3.5. Сопротивление	49
3.6. Закон Ома	55
3.7. Соединение проводников между собой. Первый закон Кирхгофа	57
3.8. Цепь с двумя источниками тока	62

3.9.	Второй закон Кирхгофа	64
3.10.	Конденсатор в электрической цепи	66
3.11.	Двухпроводная линия	70
3.12.	Металлические проводники	72
3.13.	Проводниковые материалы	73
3.14.	Сплавы высокого сопротивления	78
3.15.	Контактные материалы	79
3.16.	Полупроводники	81
3.17.	Основные формулы цепей постоянного тока	84
Глава четвертая. ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА И ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ Э.Д.С.		85
4.1.	Электролиз	85
4.2.	Гальванические элементы	88
4.3.	Аккумуляторы	91
4.4.	Соединение источников питания	94
Глава пятая. ТЕПЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА		97
5.1.	Закон Джоуля — Ленца	97
5.2.	Допустимый ток в проводе	98
5.3.	Источники света	102
5.4.	Электрические нагревательные приборы	108
5.5.	Электрическая дуга	113
5.6.	Термоэлектричество. Термопары	117
Глава шестая. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ		119
6.1.	Магниты и магнитное поле	119
6.2.	Магнитное поле вокруг проводника с током	121
6.4.	Проводник с током в магнитном поле	126
6.3.	Магнитная индукция или сила магнитного поля	127
6.5.	Взаимодействие проводников с током	128
Глава седьмая. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ		130
7.1.	Получение наведенной электродвижущей силы (э.д.с.)	130
7.2.	Взаимоиндукция	131
7.3.	Самоиндукция	132
7.4.	Индуктивность	133
7.5.	Направление и величина наведенной э.д.с.	133
7.6.	Закон Ленца	135
7.7.	Закон полного тока	137
7.8.	Намагничивание ферромагнетиков	137
7.9.	Гистерезис	139

Глава восьмая. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК	141
8.1. Получение переменного тока	141
8.2. Генератор переменного тока	145
8.3. Синусоида	146
8.4. Начальная фаза синусоиды	147
8.5. Закон Ома и Джоуля — Ленца в цепи переменного тока	149
Глава девятая. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	153
9.1. Индуктивность в цепи переменного тока	153
9.2. Фазовый сдвиг в индуктивной цепи	155
9.3. Работа генератора на индуктивную нагрузку	158
9.4. Коэффициент мощности	160
9.5. Конденсаторы в цепи переменного тока	161
9.6. Компенсация сдвига фаз	165
9.7. Расчет простейших цепей переменного тока	166
9.8. Последовательное соединение двух катушек	168
9.9. Поверхностный эффект	171
9.10. Принцип действия трансформатора	171
9.11. Передача электроэнергии на расстояние	172
Глава десятая. ТРЕХФАЗНЫЙ ТОК	175
10.1. Многофазные токи	175
10.1. Трехфазный переменный ток	175
10.2. Соединение звездой	177
10.3. Соединение треугольником	179
10.4. Мощность трехфазного тока	180
10.5. Создание вращающегося магнитного поля при помощи трехфазного тока	181
Глава одиннадцатая. ТРАНСФОРМАТОРЫ	184
11.1. Принцип действия трансформатора	184
11.2. Устройство трансформатора	188
11.3. Трехфазный трансформатор	191
11.4. Автотрансформаторы	192
11.5. Измерительные трансформаторы	193
11.6. Потери в трансформаторе	195
Глава двенадцатая. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	197
12.1. Назначение машин постоянного тока	197
12.2. Магнитная система машин постоянного тока	198
12.3. Коллектор	200

12.4. Якорные обмотки	203
12.5. Рабочий режим машин постоянного тока	205
12.6. Способы возбуждения машин постоянного тока	207
12.7. Обратимость машин постоянного тока. Работа двигателя	209
12.8. Особенности двигателей с параллельным и последовательным возбуждением	210
Глава тринадцатая. АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ	213
13.1. Общие положения	213
13.2. Устройство асинхронного двигателя	214
13.3. Принцип действия асинхронного двигателя	218
13.4. Основные характеристики электродвигателей	220
13.5. Классификация электрических машин	222
13.6. Основные технические характеристики асинхронных электродвигателей	228
13.7. Автоматическое управление электроприводом	235
13.7. Работа трехфазного электродвигателя в режиме однофазного	246
13.8. Передаточные устройства от двигателя к рабочей машине	248
13.9. Монтаж и демонтаж шкивов и полумуфт	252
13.10. Центровка валов электродвигателей и рабочих машин	253
13.11. Техническое обслуживание и ремонт электродвигателей	259
Глава четырнадцатая. АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ	274
14.1. Рубильники и переключатели	274
14.2. Предохранители	275
14.3. Реле	279
14.4. Автоматические выключатели (автоматы)	281
14.5. Магнитные пускатели	286
Глава пятнадцатая. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИЗМЕРЕНИЯ	294
15.1. Общие сведения	294
15.2. Основные части электроизмерительных приборов	298
15.3. Основные части измерительного механизма приборов	299
15.4. Магнитоэлектрический измерительный механизм	303
15.5. Электромагнитный измерительный механизм	304
15.6. Электродинамический измерительный механизм	306
15.7. Ферродинамический измерительный механизм	307
15.8. Индукционная система	308
15.9. Измерение основных электрических величин	310
15.10. Измерение неэлектрических величин электрическими методами	323

Глава шестнадцатая. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ	332
16.1. Назначение схем	332
16.2. Условные обозначения, применяемые в схемах	335
16.3. Буквенно-цифровые обозначения на электрических схемах	365
16.4. Правила выполнения электрических схем	372
16.5. Монтажные схемы щитов и пультов	397
16.6. Чтение схем	404
Глава семнадцатая. ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ	408
17.1. Общие сведения	408
17.2. Воздушные линии электропередачи	408
17.3. Электропроводки	425
17.4. Монтаж вторичных цепей по панелям проводами	539
17.5. Устройство и монтаж заземления и зануления	558
Глава восемнадцатая. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ	578
18.1. Опасность поражения электрическим током для организма человека	578
18.2. Основные правила техники безопасности	583
18.3. Первая помощь пострадавшему от электрического тока	585
Приложения	589

Серия «Библиотека инженера»

Владимир Леонидович Лихачев

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Практическое пособие

Ответственный за выпуск

В. Митин

Макет и верстка

С. Тарасов

Обложка

Е. Холмский

ООО «СОЛОН-ПРЕСС»

123242, г. Москва, а/я 20

Телефоны:

(495) 254-44-10, (499) 252-36-96, (499) 252-25-21

E-mail: solon-avtor@coba.ru

По вопросам приобретения обращаться:

ООО «Альянс-книга КТК»

Тел: (495) 258-91-94, 258-91-95

www.aliants-kniga.ru

ООО «СОЛОН-ПРЕСС»

103050, г. Москва, Дегтярный пер., д. 5, стр. 2

Формат 70×100/16. Объем 38 п. л. Тираж 1000

Отпечатано в ООО «Арт-диал»

143983, МО, г. Железнодорожный, ул. Керамическая, д. 3
Заказ №