

Электронное приложение к изданию

**А. В. СУВОРИН**

# **ЭЛЕКТРОМОНТЕР СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Ростов-на-Дону  
ООО «Феникс»  
2018

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН . . . .	3
1.1. Основные электрические величины . . . . .	3
1.2. Магнитные и электромагнитные явления . . .	25
1.3. Приборы для измерения электрических величин . . . . .	32
2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ . . . . .	50
2.1. Проводники . . . . .	50
2.2. Диэлектрики . . . . .	60
2.3. Электромонтажные материалы и изделия . . .	69
3. МАЛЕНЬКИЕ ХИТРОСТИ ДЛЯ НАЧИНАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОМОНТЕРА . . . . .	85
4. ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОНТЕРА . . . . .	101
4.1. Сигнализатор охраны строительной площадки . . . . .	101
4.2. Включение трехфазного двигателя в однофазную сеть . . . . .	102

## 1. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

### 1.1. Основные электрические величины

Нередко у руководителя электрохозяйством, а порой и у практикующего электромонтера возникает необходимость вспомнить определения электрических величин по международной системе СИ и их обозначения. С этой целью в справочнике и представлена *табл. 1.1*.

#### 1.1.1. Величина электрического тока

Величина электрического тока определяется количеством электричества, протекающего через поперечное сечение проводника за одну секунду. Единицу величины тока назвали ампером (А) в честь французского ученого Андре Ампера (1775–1836).

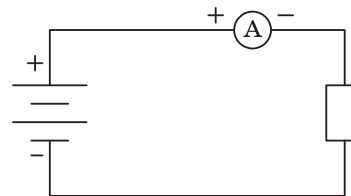


Рис. 1.1. Измерение величины электрического тока

Ток, равный 1 А, протекает в том случае, когда через поперечное сечение проводника за одну секунду протекает количество электричества, равное одному кулону. Математически данное положение можно записать так:

$$1 \text{ Ампер} = \frac{1 \text{ Кулон}}{1 \text{ секунда}}.$$

В электротехнике величину тока принято обозначать буквой  $I$ , количество электричества —  $Q$ , а время —  $t$ . Таким образом, приведенный выше закон можно выразить следующей формулой:

$$I = \frac{Q}{t}. \quad (1.1)$$

Таблица 1.1  
Единицы измерения некоторых физических величин по международной системе СИ и их обозначения

Величина		Единица измерения			Определение величины
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение русское	Обозначение международное	
Световой поток	—	Люмен	лм	lm	Произведение силы света источника на телесный угол, в который посылается световой поток: 1 лм = 1 св × 1 стер
Мощность	$P$	Ватт	Вт	W	Мощность, при которой за 1 с совершается работа, равная 1 Дж
Сила электрического тока	$I$	Ампер	А	A	Сила неизменяющегося тока, проходящего по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого поперечного сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, который вызвал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на метр их длины ( $I$ )
Температура	$T$	Кельвин	К	K	Единица измерения температуры, равная 1/273 части интервала от абсолютного нуля температур (–273 °C) до температуры таяния льда (0 °C)
Сила света	$t$	Градус	°C	°C	То же
	–	Кандела (свеча)	кд	cd	Сила света, испускаемого с площади 1/600 000 м <sup>2</sup> сечения полного излучателя в перпендикулярном этому сечению направлении, при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины при давлении 101 325 Па ( $\mathcal{I}$ )

Продолжение табл. 1.1

Величина		Единица измерения			Определение величины
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение русское	Обозначение международное	
Телесный угол	–	Стерadian	стер	sr	Телесный угол, вершина которого расположена в центре сферы и который вырезает на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы
Освещенность	$E$	Люкс	лк	lx	Световой поток, приходящийся на 1 м <sup>2</sup> освещаемой площади: 1 лм/1 м <sup>2</sup>
Сила	$G$	Ньютон	Н	N	Сила, которая телу массой 1 кг сообщает ускорение 1 м/с <sup>2</sup> в направлении ее действия
Вес	$P$				
Давление	$P$	Паскаль	Па	Pa	Давление, вызываемое силой в 1 Н, равномерно распределенной по поверхности площадью 1 м <sup>2</sup>
Работа	$A$	Джоуль	Дж	J	Работа силы 1 Н при перемещении ею тела на расстояние 1 м в направлении ее действия
Энергия	$W$				
Электрическое напряжение	$U$	Вольт	В	V	Напряжение на участке электрической цепи с постоянным током силой 1 А, в котором затрачивается мощность 1 Вт

Продолжение табл. 1.1

Величина		Единица измерения			Определение величины
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение русское	Обозначение международное	
Напряженность электрического поля	$E$	Вольт на метр	В/м	V/m	Напряженность однородного электрического поля, при которой между точками, находящимися на расстоянии 1 м вдоль линии напряженности поля, создается разность потенциалов 1 В
Электрическое сопротивление	$R$	Ом	Ом	$\Omega$	Сопротивление проводника, между концами которого при силе тока 1 А возникает напряжение 1 В
Удельное сопротивление	$\rho$	Омметр	Ом·м	$\Omega \cdot m$	Электрическое сопротивление, при котором цилиндрический прямой проводник площадью сечения 1 м <sup>2</sup> и длиной 1 м имеет сопротивление 1 Ом
Электрическая емкость	$C$	Фарада	Ф	F	Емкость конденсатора, между обкладками которого при заряде 1 Кл возникает напряжение 1 В
Электрический заряд	$q$	Кулон	Кл	C	Количество электричества, проходящее через поперечное сечение проводника в течение 1 с при токе силой 1 А

Продолжение табл. 1.1

Величина		Единица измерения			Определение величины
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение русское	Обозначение международное	
Магнитный поток	$\Phi$	Вебер	Вб	Wb	Магнитный поток, при убывании которого в контуре сопротивлением 1 Ом, сцепленным с этим потоком, проходит количество электричества 1 Кл
Индуктивность	$L$	Генри	Гн	H	Индуктивность контура при силе постоянного тока в нем 1 А, с которым сцепляется магнитный поток 1 Вб
Магнитная индукция	$B$	Тесла	Тл	T	Магнитная индукция, при которой магнитный поток сквозь поперечное сечение площадью 1 м <sup>2</sup> равен 1 Вб
Активная мощность электрической цепи	$P$	Ватт	Вт	W	Мощность электрической цепи, эквивалентная механической мощности 1 Вт
Реактивная мощность электрической цепи	$Q$	Вар	Вар	Var	Мощность электрической цепи с синусоидальным током при $\sin \varphi = 1$ и действующих значениях напряжения 1 В и силы тока 1 А

Величина		Единица измерения			Определение величины
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение русское	Обозначение международное	
Полная мощность электрической цепи	$S$	Вольт-Ампер	В·А	V·A	Мощность электрической цепи с действующими значениями напряжения 1 В и силы тока 1 А
Длина	$l$	Метр	м	m	(L)
Абсолютная магнитная проницаемость	$\mu$	Генри на метр	Гн/м	Н/м	Абсолютная магнитная проницаемость среды, в которой при напряженности магнитного поля 1 А/м создается магнитная индукция 1 Гн
Напряженность магнитного поля	$H$	Ампер на метр	А/м	А/м	Напряженность магнитного поля в центре длинного соленоида с $n$ витками на каждый метр длины, по которым проходит ток силой $(I/n)$ А
Частота	$f$	Герц	Гц	Hz	Частота периодического процесса, при котором за время 1 с происходит один цикл процесса
Масса	$m$	Килограмм	кг	kg	(M)
Время	$T$	Секунда	с	s	(T)

Чтобы легче понять и запомнить эту формулу, рассмотрим следующий пример.

*Пример.* Какова будет величина тока, если через поперечное сечение проводника за 0,2 с протекает количество электричества, равное 0,5 кулона? Подставим числовые значения в написанную выше формулу, получим результат:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{0,5}{0,2} = 2,5 \text{ А.}$$

В электронике, как правило, работают с малыми токами (ее называют *слаботочной электротехникой*). В электротехнике на практике часто пользуются меньшими единицами, чем ампер: миллиампер (одна тысячная ампера) и микроампер (одна миллионная доля ампера), которые записываются так:

$$1 \text{ мА (1 mA) } = 0,001 \text{ А; } 1 \text{ мкА (1 } \mu\text{A) } = 0,000001 \text{ А.}$$

На реальных примерах это будет выглядеть так: ток, потребляемый транзисторным приемником, равен 5–10 мА; ток, протекающий по лампочке карманного фонарика, равен 100–200 мА; ток, протекающий по спирали утюга, равен 1–2 А; в электроплитках — 3–5 А; ток же во вторичной обмотке сварочного трансформатора — 100–500 А.

Величина тока измеряется специальным прибором — амперметром. Его включают в цепь последовательно с нагрузкой (рис. 1.1). На практике для измерения тока применяют следующие приборы: амперметры, миллиамперметры и микроамперметры.

### 1.1.2. Электрическое напряжение

Электрический ток, протекая через любой потребитель, производит какую-то работу, например, нагревает нить накала в электрической лампочке, нагревает спираль электроплитки, притягивает якорь электромагнита, вращает ротор электродвигателя и др. Производимая электрическим током работа зависит не только от протекающего электричества, но и от приложенного напряжения. В этом нетрудно убедиться, проанализировав две электрические схемы (рис. 1.2).

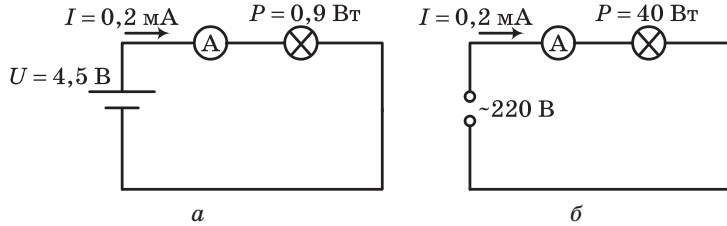


Рис. 1.2. Электрические схемы: *a* — источник напряжением 4,5 В; *б* — источник напряжением 220 В

Как видим, на электрических схемах через лампочки протекает одинаковое количество электричества, но при этом вторая лампа потребляет в 40 раз больше мощности, чем первая, потому что во втором случае приложенное напряжение больше. Но если количество электричества одно и то же, почему во втором случае электроны являются носителями большей энергии и отличаются ли они как входящие и выходящие из нее?

Рассмотрим рис. 1.3, где показаны два случая вытекания одного и того же количества воды с разной высоты. В этом случае возникает тот же вопрос: почему во втором случае энергия водяных частиц больше? Нетрудно догадаться, что энергия частиц воды обусловлена гравитационным полем Земли. Когда частицы падают в направлении поля с большей высоты, они отдают больше энергии.

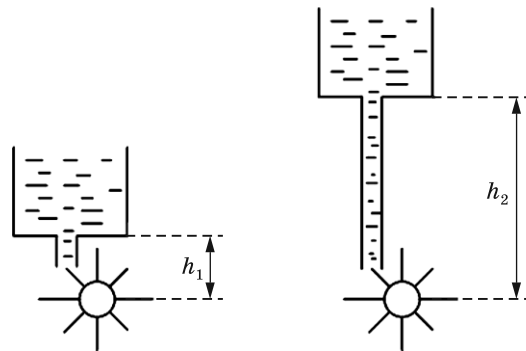


Рис. 1.3. Давление воды зависит от высоты ее падения

Таким образом, энергия электронов связана с электрическим полем, созданным источником тока. Это поле действует на каждый отдельный электрон так, что при своем движении они выделяют энергию. Для сравнения можно сказать так: в то время как частицы воды всегда падают по направлению к центру земли, электроны, в свою очередь, «падают» от одного полюса источника тока к другому.

Напряжение между двумя точками электрической цепи определяется произведенной работой по переносу количества электричества из одной точки в другую.

Единица измерения электрического напряжения называется вольт (В) в честь итальянского физика Алессандро Вольты.

Если между двумя точками существует напряжение в 1 Вольт и для переноса одного кулона электричества затрачена работа в 1 Джоуль, тогда можно сделать следующую запись:

$$1 \text{ Вольт} = 1 \text{ Джоуль} / 1 \text{ Кулон}.$$

В электротехнике напряжение обозначают буквой  $U$ , а работу или энергию буквой  $A$ . Таким образом, вышеприведенное соотношение можно записать в виде математической формулы:

$$U = \frac{A}{Q}. \quad (1.2)$$

А вот как можно использовать это выражение на практике.

*Пример.* Необходимо определить напряжение на клеммах приемника, если через него протекает количество электричества, равное 0,004 Кулона, а произведенная при этом работа равна 0,08 Джоуля.

Подставив эти данные в вышестоящую формулу, получим результат:

$$U = \frac{A}{Q} = \frac{0,08}{0,004} = \frac{80}{4} = 20 \text{ Вольт}.$$

Наряду с единицей напряжения Вольт, на практике часто используют и более мелкие единицы: милливольт

(одна тысячная Вольта), микровольт (одна миллионная доля Вольта), которые записывают так:  $1\text{ мВ} (1\text{ мВ}) = 0,001\text{ В}$ ;  $1\text{ мкВ} (1\text{ мкВ}) = 0,000001\text{ В}$ .

Вот несколько примеров уровней различных источников питания: напряжение на клеммах батареек для транзисторных приемников —  $1,5\text{ В}$ ; напряжение на контактах плоской батарейки —  $4,5\text{ В}$ ; напряжение на клеммах автомобильных аккумуляторов —  $12\text{ В}$ ; напряжение в бытовой сети —  $220\text{ В}$ ; напряжение в линиях электропередач достигает  $750000\text{ В}$ .

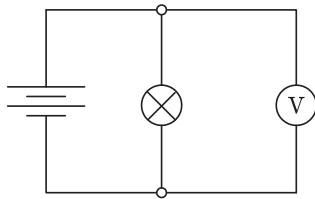


Рис. 1.4. Схема подключения вольтметра

Для измерения напряжения применяют специальный прибор, который называют *вольтметром*. При измерении напряжения между двумя точками этот прибор подключают непосредственно к точкам, т. е. параллельно, как показано на схеме (рис. 1.4).

### 1.1.3. Электрическое сопротивление

Нам известно, что электрический ток в проводниках первого рода, то есть в металлах, — это направленное движение электронов. Во время своего движения они сталкиваются с атомами, которые препятствуют их движению. Учитывая, что атомы данного вещества совершают и тепловые колебания, становится понятно, почему все проводники оказывают строго определенное сопротивление электрическому току.

Единица измерения электрического сопротивления называется ом (Ом) в честь немецкого физика Георга Ома. Установлено, что сопротивлением в  $1\text{ Ом}$  обладает такой проводник, через который протекает ток в  $1\text{ Ампер}$ , если к его концам приложено напряжение в  $1\text{ Вольт}$ .

На практике же часто используют и большие единицы: килоом (тысячная доля Ома) и мегаом (одна миллионная доля Ома), которые можно записать так:  $1\text{ кОм} = 1\,000\text{ Ом}$ ,  $1\text{ МОм} = 1\,000\,000\text{ Ом}$ .

Чтобы яснее понять эффект сопротивления проводника, рассмотрим один наглядный пример. Сопротивление медного шнура электрочайника составляет примерно  $0,01\text{ Ом}$ ; сопротивление медного проводника длиной  $57\text{ м}$  сечением в  $1\text{ мм}^2$  равен  $1\text{ Ом}$ ; сопротивление медного провода диаметром  $0,10\text{ мм}^2$  (размер человеческого волоса) и длиной  $10\text{ метров}$  — около  $20\text{ Ом}$ ; сопротивление спирали лампочки мощностью  $40\text{ Вт}$  равно  $1\,000\text{ Ом}$ . Как видно из примеров, сопротивление зависит, в первую очередь, от материала проводника, а также от его температуры и состояния.

Сопротивление в математических формулах обозначают буквой  $R$ . Сопротивление любого цилиндрического проводника можно найти из выражения:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad (1.3)$$

где  $l$  — длина проводника, м;  $S$  — сечение проводника,  $\text{мм}^2$ ;

$\rho$  ( $\rho_0$ ) — удельное сопротивление проводника  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ .

Различные металлы имеют различные значения удельного сопротивления. Так, например, для серебра  $\rho = 0,016$ , для меди —  $0,017$ , для алюминия —  $0,028$ , для железа —  $0,09$ . Формула для определения сопротивления проводника показывает, что чем длиннее и тоньше проводник, тем больше его сопротивление. Данное заключение нетрудно увидеть на примерах.

*Пример 1.* Необходимо определить сопротивление медного провода длиной  $100\text{ м}$  и сечением  $1,5\text{ мм}^2$ .

Подставим имеющиеся величины в общую формулу сопротивления и определим его значение:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,017 \cdot \frac{100}{1,5} = 1,13\text{ Ом}.$$



Для измерения сопротивления используют специальный прибор, который называется омметр. В нем имеется батарейка, а измеряемое сопротивление подключается прямо к его клеммам.

Сопротивление металлического проводника с увеличением температуры тоже увеличивается, так как тепловые колебания атомов становятся более интенсивными и поэтому движение электронов затрудняется, что и приводит к увеличению сопротивления. Так, например, при температуре 20 °С медный провод длиной 10 м и диаметром 0,20 мм имеет сопротивление 5,6 Ом, а при 50 °С уже 6,8 Ом. Аналогичную зависимость мы можем наблюдать и на другом примере. Сопротивление спирали электрической лампы фонарика в холодном состоянии 2 Ома, а при нагревом до 2000 °С оно увеличивается до 17 Ом.

Величину, показывающую изменение сопротивления проводника величиной в 1 Ом, при нагревании на 1 °С называют *температурным коэффициентом сопротивления* и обозначают  $\alpha$ .

При известном сопротивлении металлического проводника до его нагревания  $R_1$ , и зная его температурный коэффициент, сопротивление этого же проводника  $R_2$  после нагревания можно найти, воспользовавшись следующей формулой:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)], \quad (1.4)$$

где  $t_1$  — температура до нагревания проводника, °С;  $t_2$  — температура проводника после нагрева, °С.

*Пример 2.* Сопротивление алюминиевого провода длиной 1000 м, сечением 4 мм<sup>2</sup> при температуре 0 °С равно  $R_1 = 7$  Ом. Необходимо определить сопротивление при 20 °С, при  $\alpha = 0,004$ .

Подставив исходные данные в формулу выше, получим искомое значение сопротивления:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] = 7 [1 + 0,004(20 - 0)] = 7,6 \text{ Ом.}$$

Данный пример легко поможет определить на практике сопротивление любого металлического проводника при заданной температуре.

### 1.1.4. Емкость. Конденсаторы

Свойства некоторых тел накапливать в себе и удерживать определенное количество электричества называется *электрической емкостью*, или просто *емкостью*, и обозначается буквой  $C$ . Подобно тому, как вместимость сосудов определяется их емкостью, так и способность тел вмещать в себя электрические заряды разной величины характеризуются электрической емкостью. Тела, обладающие электрической емкостью, способны вмещать в себя электрический заряд только до определенной величины. За единицу емкости принята Фарада (Ф).

Фарада является очень большой единицей емкости, поэтому на практике пользуются более мелкой единицей — микрофарадой (мкФ), составляющей одну миллионную часть Фарады:  $1 \text{ мкФ} = 0,000001 \text{ Ф}$ .

Устройство, способное накапливать и удерживать электрические заряды, называют *конденсатором*.

Простейший конденсатор состоит из двух металлических пластин (электродов), разделенных диэлектриком (рис. 1.5). По виду диэлектрика конденсаторы бывают воздушные, бумажные, слюдяные и другие, по конструктивному исполнению — плоские (электроды его представляют собой параллельно расположенные пластины) и цилиндрические, когда электроды — концентрически расположенные цилиндры.

Для повышения коэффициента мощности электроустановок применяют бумажно-масляные конденсаторы серии КМ.

*Емкостью конденсатора* называют отношение заряда одного из его электродов к приложенному напряжению и выражают зависимостью:

$$C = Q/U. \quad (1.5)$$

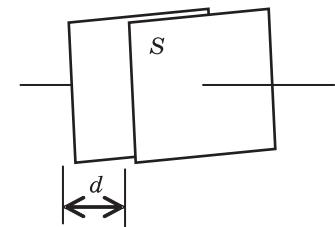


Рис. 1.5. Простейший конденсатор



Емкость конденсатора зависит от площади пластин, расстояния между пластинами и от свойств материала диэлектрика, т. е. от его диэлектрической проницаемости. Для вычисления емкости плоского конденсатора пользуются формулой:

$$C = \epsilon \frac{S}{d}, \quad (1.6)$$

где  $C$  — емкость конденсатора, Ф;  $S$  — площадь одной пластины, м<sup>2</sup>;  $d$  — расстояние между пластинами, мм;  $\epsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика.

Конденсаторы, как и сопротивления, можно соединять последовательно и параллельно.

**Последовательное соединение конденсаторов.** При последовательном соединении конденсаторов (рис. 1.6, а) контакт правой пластины первого конденсатора соединяют с контактом левой пластины второго, контакт правой пластины второго конденсатора соединяют с контактом третьего конденсатора и т. д. При прохождении электрического тока по цепи с последовательно соединенными конденсаторами на электродах всех конденсаторов будут одинаковые по величине заряды, независимо от величины его емкости.

При таком соединении конденсаторов в батарею обратная величина емкости батареи будет равна сумме обратных величин емкостей отдельных конденсаторов:

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}. \quad (1.7)$$

При включении в батарею последовательно нескольких конденсаторов одинаковой емкости общую емкость батареи определяют из выражения:

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{C}{n}, \quad (1.8)$$

где  $C$  — емкость одного конденсатора, мкФ;  $n$  — количество последовательно включенных конденсаторов.

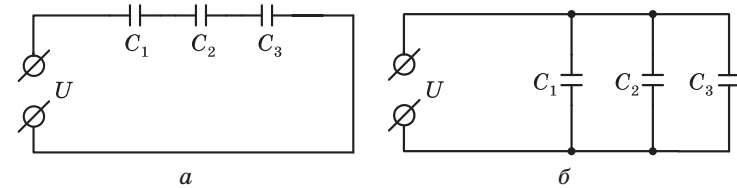


Рис. 1.6. Соединение конденсаторов в батарею:

а — последовательное соединение; б — параллельное соединение

**Параллельное соединение конденсаторов.** Для увеличения общей емкости конденсаторов их соединяют между собой параллельно.

При параллельном соединении конденсаторов в батарею клеммы левых пластин соединяют в одну общую точку, как показано на рис. 1.6, б, а клеммы правых пластин в другую общую точку. К общим узлам подводится электрическое питание. При параллельном соединении конденсаторов общая емкость батареи будет равна сумме емкостей отдельных конденсаторов:

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3. \quad (1.9)$$

Если параллельно включено несколько  $n$  одинаковых конденсаторов, то общую емкость батареи можно определить по формуле:

$$C_{\text{общ}} = nC. \quad (1.10)$$

**Пример 1.** Необходимо определить емкость батареи из 3 конденсаторов, соединенных последовательно, если  $C_1 = 2$  мкФ;  $C_2 = 5$  мкФ;  $C_3 = 10$  мкФ.

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{2} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10} = \frac{8}{10},$$

$$C_{\text{общ}} = \frac{10}{8} = 1,25 \text{ мкФ}.$$

**Пример 2.** Необходимо составить батарею емкостью 25 мкФ из конденсаторов емкостью 5 мкФ каждый.

По формуле (3.10) вычисляем необходимое количество конденсаторов:

$$n = \frac{C_{\text{общ}}}{C} = \frac{25}{5} = 5.$$

Таким образом, 5 конденсаторов по 5 мкФ надо соединить параллельно, чтобы иметь батарею емкостью 25 мкФ.

### 1.1.5. Работа и мощность электрического тока

Электрический ток, проходя по проводнику, совершает работу по перемещению электрических зарядов. Когда в цепи приложено постоянное напряжение  $U$  и по ней протекает количество электричества  $Q$ , то работа  $A$  электрического тока будет равна произведению количества электричества на величину напряжения:

$$A = QU. \quad (1.11)$$

Анализируя это выражение, количество электричества можно определить как произведение величины тока на время прохождения его в цепи:

$$Q = It. \quad (1.12)$$

Тогда работу электрического тока в цепи можно вычислить из выражения:

$$A = IUt, \quad (1.13)$$

где  $A$  — работа, Дж;  $I$  — величина тока, А;  $U$  — напряжение, В;  $t$  — время прохождения тока, сек.

Работу, выполненную электрическим током за 1 сек, называют *мощностью электрического тока*, а обозначают буквой  $P$  и определяют из выражения:

$$P = A/t. \quad (1.14)$$

Подставив в формулу значение работы, получим:

$$P = IU. \quad (1.15)$$

Единица мощности — Ватт (Вт) — соответствует работе электрического тока в 1 Дж за 1 сек: 1 Вт = 1 Дж / 1 сек.

На практике пользуются и более крупными единицами мощности: 1 гектоватт (гВт) = 100 Вт, 1 киловатт (кВт) = 1 000 Вт, 1 мегаватт (МВт) = 1 000 000 Вт.

*Пример 1.* Электрическую лампочку включают ежедневно на 10 ч в течении месяца (30 дней) в электрическую цепь напряжением 220 В, которая потребляет ток 0,5 А. Необходимо определить расход электрической энергии.

$$A = IUt = 220 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot 30 = 33000 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 33 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

*Пример 2.* Необходимо определить мощность источника тока, если на его зажимах напряжение 220 В, а ток в цепи 5 А.

$$P = IU = 5 \cdot 220 = 1100 \text{ Вт} = 1,1 \text{ кВт}.$$

**Активная, реактивная и полная мощности.** Теперь нам понятно, что электроэнергия, которую вырабатывают на электростанции и передают с помощью электрических сетей потребителям, представляет собой количество электрической энергии (т. е. мощности), переданной в течение определенного времени (час, месяц, год). Электрическая мощность подразделяется на *полную*, *активную* и *реактивную* (рис. 1.7).



Полную электрическую мощность, которую способна вырабатывать электростанция, обозначают латинской буквой  $S$ , измеряют в Вольт-Амперах (ВА), килоВольт-Амперах (кВА) и МегаВольт-Амперах (МВА). Полная электрическая мощность состоит из активной составляющей мощности, обозначаемой латинской буквой  $P$  и измеряемой в Ваттах (Вт), киловаттах (кВт) и Мегаваттах (МВт) и реактивной составляющей мощности, обозначаемой латинской буквой  $Q$  и измеряемой в Варах (вар), килоВарах (квар) и МегаВарах (Мвар).

Известно, что **активная мощность** — это мощность, которая расходуется на совершение определенной работы (или

Рис. 1.7. Треугольник мощностей

попросту производящая работу, затрачиваемую на выделение в виде тепла в нагревательных приборах, в виде света в лампах накаливания), вращает роторы электродвигателей, вызывает химическую реакцию при электролизе и т. д.

**Реактивная мощность** — это мощность, которая расходуется на намагничивание магнитопроводов, применяемых в аппаратах, где необходимо передавать электроэнергию через воздушный промежуток. Главные потребители реактивной мощности — трансформаторы и электродвигатели; в них имеются массивные магнитопроводы, при намагничивании которых, благодаря реактивной мощности, электроэнергия передается с одной обмотки на другую (так, например, в любых трансформаторах с первичной обмотки на вторичную, а в случаях с электродвигателями — из обмотки статора в обмотку ротора и т. д.).

Активную мощность вырабатывают турбины электростанций как постоянного, так и переменного токов, а также химические источники, конденсаторные батареи или аккумуляторы, и на ее выработку требуются огромные затраты (на строительство плотин для вращения гидротурбин с помощью напора воды и сжигание природного топлива для получения пара, при помощи которого вращают паровые турбины, на электролиз).

Что касается реактивной мощности, то ее на электростанциях вырабатывают путем подачи постоянного тока в обмотку ротора генератора, который приводится во вращение турбиной, затраты на ее производство незначительные, они определяются стоимостью электроэнергии, потребляемой ротором генератора.

Наряду с этим, реактивную мощность могут вырабатывать конденсаторы, к которым подведено напряжение, а также воздушные и кабельные линии электропередачи, их ведь тоже можно рассматривать, как конденсаторы, у которых одной обкладкой служит провод, а другой — земля или соседний провод. Таким образом, уменьшая величину передаваемой по линиям электропередачи реактивной мощности, мы тем самым уменьшаем величину электрического тока, протекающего по этим линиям, а значит, снижаем потери электроэнергии и загрузку этих линий.

Зная о том, что ток, протекающий по линии, равен отношению полной мощности к напряжению —  $I = S/U$ . А мы выяснили, что полная мощность ( $S$ ) состоит из активной ( $P$ ) и реактивной ( $Q$ ) составляющих. В таком случае, уменьшая переток реактивной мощности по линии, мы уменьшаем полную мощность и вследствие этого уменьшается величина электрического тока. А из формулы расчета потерь активной мощности

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2 R} \quad (1.16)$$

видно, что, уменьшая величину передаваемой по линиям электропередачи реактивной мощности, мы уменьшаем потери активной мощности, на производство которой тратятся немалые средства. В этом случае, используя свойство конденсаторов вырабатывать реактивную мощность, очевидна целесообразность не передавать реактивную мощность на большие расстояния, а производить ее на месте потребления, то есть в узлах нагрузок.

Электрическая промышленность выпускает батареи статических конденсаторов (БСК) для выработки реактивной мощности на напряжения от 0,4 до 110 кВ. Наряду с выработкой реактивной мощности конденсаторные батареи повышают и величину напряжения в точке их установки, поэтому их применяют как с целью уменьшения потерь электроэнергии, так и для регулирования напряжения, т. е. для поднятия его величины, у потребителей. При значительном удалении потребителя от узла питания часто падает напряжение в линии потребителя, из-за этого напряжение на токоприемниках (электрооборудовании) может снизиться ниже допустимого уровня нормальной работы этого оборудования (падение напряжения  $\Delta U = IR$ , то есть равно произведению величины тока этой линии на ее сопротивление). Если же поднять напряжение путем увеличения его в узле питания, то у потребителей, которые находятся рядом с узлом питания, напряжение может оказаться выше нормы. В таком случае выход один — необходима установка у потребителя с пониженным напряжением конденсаторной батареи для его повышения.

Известно, что потребители с повышенным расходом реактивной мощности из сети всегда платили за потребление не только активной мощности, но и реактивной. Как же определяют потребителей с повышенным расходом реактивной мощности?

Активную мощность измеряют прибором *ваттметром* (килоВаттметром, МегаВаттметром), который показывает величину активной мощности, проходящей в данный момент времени через него. А реактивную мощность измеряют прибором *варметром* (килоВарметром, МегаВарметром), который показывает величину реактивной мощности, проходящей в данный момент времени через него. Прибора же для измерения полной мощности не существует; ее рассчитывают по теореме Пифагора, потому что графическое изображение векторов полной ( $S$ ), активной ( $P$ ) и реактивной ( $Q$ ) мощностей представляет собой прямоугольный треугольник (треугольник мощностей) (рис. 1.7), где полная мощность ( $S$ ) — гипотенуза, активная мощность ( $P$ ) и реактивная мощность ( $Q$ ) — катеты. Отсюда:

$$S^2 = P^2 + Q^2. \quad (1.17)$$

В электроэнергетике для определения соотношения между активной и реактивной мощностями всегда применяли так называемый *коэффициент мощности*, или  $\cos \varphi$ , где  $\varphi$  — угол между вектором полной мощности ( $S$ ), являющийся гипотенузой в треугольнике мощностей, и вектором активной мощности, являющимся прилежащим катетом. Но определение соотношения через  $\cos \varphi$  требует трудоемкого расчета, так как прежде чем определить, какой  $\cos \varphi$  у того или иного потребителя, в первую очередь необходимо найти полную мощность  $S^2 = P^2 + Q^2$ . По этой причине в последнее время соотношение между активной и реактивной мощностями стали определять с помощью  $\operatorname{tg} \varphi$ , который представляет собой (теорема Пифагора в переводе на треугольник мощностей) частное от деления величины потребляемой реактивной мощности на величину активной мощности. А эти величины, как известно, измеряют приборами. Потребители, у которых  $\operatorname{tg} \varphi = 0,4$ , считаются организациями с повышенным потреблением

реактивной мощности. Для работы с такими потребителями РАО ЕЭС России готовит программы, направленные на снижение загрузки линий электропередачи ЕЭС и доведение напряжения в узлах со сниженным параметрами до нормы путем компенсации реактивной мощности (производства ее в узлах повышенного потребления).

**Коэффициент мощности и способы его повышения.** Величина потребляемой мощности при переменном токе зависит от величины сдвига фаз между напряжением и током. В отличие от постоянного тока, где мощность определяется произведением тока на напряжение, произведение  $UI$  в цепи переменного тока называется *полной*, или *кажущейся*, мощностью.

Полную мощность обозначают буквой  $S$  и измеряют в вольтамперах (ВА) и киловольтамперах (кВ·А). Она представляет собой геометрическую сумму активной и реактивной мощностей. Коэффициент, учитывающий величину фазового сдвига, называют *коэффициентом мощности*, обозначают  $\cos \varphi$  и выражают формулой:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (1.18)$$

Коэффициент мощности это отношение активной мощности к полной, он показывает, какая часть полной мощности расходуется полезно, то есть превращается в другие виды энергии. Величина коэффициента мощности в трансформаторах и двигателях зависит от степени их загрузки. Если двигатель нагружен в соответствии с его номинальной мощностью (номинальную мощность указывают на щитке двигателя), то коэффициент мощности обычно равен 0,8–0,9, а у крупных двигателей даже несколько выше. Если же двигатель загружен частично, то коэффициент мощности резко уменьшается, а следовательно, уменьшается КПД установки.

Величину  $\cos \varphi$  можно измерить специальным электроизмерительным прибором — фазометром, а также с помощью ваттметра, вольтметра и амперметра. При пользовании ваттметром, вольтметром и амперметром коэффициент мощности определяют из выражения:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} IU}, \quad (1.19)$$

где  $P$  — показание ваттметра, Вт или кВт;  $I$  — показание амперметра, А;  $U$  — показание вольтметра, В.

Увеличить  $\cos \varphi$  можно естественным и искусственным способами. Естественный способ заключается в правильном выборе и максимальной загрузке трансформаторов и электродвигателей; искусственный осуществляется за счет введения дополнительных статических устройств — батарей конденсаторов и вращающихся синхронных двигателей и др., которые вырабатывают реактивную мощность и снижают ее потребление из сети.

**Короткое замыкание.** Коротким замыканием (КЗ) называют аварийный режим работы электрической цепи, когда соединение контактов электроприемников или проводов, находящихся под напряжением, происходит через малое сопротивление. В результате этого в цепи возникает ток короткого замыкания, который по величине во много раз превосходит номинальный (наибольший допустимый) ток.

Рассмотрим электрическую цепь, в которой в качестве нагрузки включена электрическая лампочка сопротивлением  $R_{\text{л}} = 110$  Ом (рис. 1.8). При напряжении в цепи  $U = 220$  В ток в цепи лампы определим из выражения:

$$I_{\text{л}} = \frac{U}{R_{\text{л}}} = \frac{220}{110} = 2,2 \text{ А.}$$

Следовательно, сечение проводов в цепи лампочки должно быть рассчитано на ток 2,2 А.

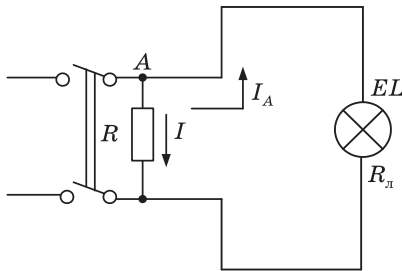


Рис. 1.8. Короткое замыкание в цепи электрической лампы

При другом случае, когда провода, идущие к электрической лампочке, оказались замкнутыми через малое сопротивление, например, через  $R = 0,1$  Ом, подходя к точке замыкания А согласно первому закону Кирхгофа, ток будет разветвляться по двум направлениям: больший ток в цепи пойдет через малое сопротивление  $R$ , а меньший — через лампочку.

Величина тока, проходящего через малое сопротивление, будет равна:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{0,1} = 2200 \text{ А.}$$

Хотя в режиме КЗ напряжение в цепи будет меньше 220 В, так как ток короткого замыкания будет меньше 2200 А и создаст в цепи большое падение напряжения, все равно величина напряжения будет во много раз превышать номинальную величину тока. Такой ток в цепи вызывает большое выделение тепла, что приводит к сгоранию изоляции проводов, расплавлению металла проводов, порче аппаратуры, оплавлению контактов и даже может вызвать пожар.

Для защиты электрической цепи от токов КЗ применяют плавкие предохранители, устройства защитного отключения (УЗО) или специальные устройства — максимальные токовые реле (токовая защита). В предохранителях имеется легкоплавкая вставка, которая включается последовательно в цепь или участок цепи. При возникновении КЗ она перегорает.

## 1.2. Магнитные и электромагнитные явления

Явление магнетизма широко применяют в электро- и радиоустановках, электроизмерительных приборах и приборах автоматики. В технике используют искусственные магниты, которые изготавливают из специальных сталей. Стержень из такой стали намагничивают определенным способом, и он становится постоянным магнитом.



Форма постоянных магнитов может быть разной в зависимости от назначения. Наибольшие по размеру постоянные магниты имеют формы прямоугольника, подковы и полукольца (рис. 1.9).

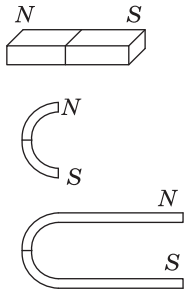


Рис. 1.9. Постоянные магниты

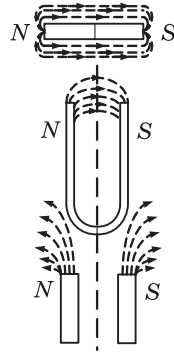


Рис. 1.10. Магнитные силовые линии

Постоянные магниты длительное время сохраняют магнитные свойства, однако если магниты нагреть, то их магнитные свойства исчезают. Магнитные свойства теряются также при ударах. Каждый магнит независимо от его формы имеет два полюса — северный ( $N$ ) и южный ( $S$ ). Наибольшая сила магнитного действия постоянного магнита наблюдается у концов. Магнитные свойства уменьшаются по мере приближения к поперечной оси симметрии, а на оси пропадают совсем. Эту линию называют *нейтральной*. Полюсы магнитов одинаковой полярности отталкиваются, а разной — притягиваются.

**Магнитное поле.** Если к полюсам магнита медленно подносить легкие стальные предметы, то они будут притягиваться к магниту на некотором расстоянии. Это происходит благодаря наличию магнитных сил, т. е. вокруг магнита существует так называемое *магнитное поле*.

**Магнитное поле** — это пространство, в котором обнаруживается действие магнитных сил.

В любой точке магнитного поля магнитные силы действуют в определенном направлении, а линии, в направлении которых они действуют, называют *магнитными*

*силовыми линиями*. Принято считать, что действие магнитных сил направлено от северного полюса к южному. Магнитные силовые линии замкнуты и никогда не пересекаются. Поэтому магнитное поле можно условно представить в виде магнитных силовых линий (рис. 1.10).

**Магнитная индукция. Магнитный поток.** Для характеристики магнитного поля в различных его точках принято понятие, называемое *магнитной индукцией*.

**Магнитная индукция** — это величина, численно равная количеству силовых линий, пронизывающих площадку в  $1 \text{ см}^2$ , расположенную перпендикулярно их направлению.

Общее количество магнитных силовых линий, пронизывающих какую-либо площадь, называется *магнитным потоком*, а магнитная индукция представляет собой магнитный поток, пронизывающий единицу поверхности перпендикулярно направлению магнитного потока. Магнитный поток и магнитная индукция связаны между собой соотношением:

$$\Phi = B \cdot S, \quad (1.20)$$

где  $\Phi$  — магнитный поток, Вб (вебер);  $B$  — магнитная индукция, Тл (тесла);  $S$  — площадь поверхности, пронизываемая магнитным потоком,  $\text{м}^2$ .

Величину магнитной индукции можно получить из этой формулы, если разделить величину магнитного потока на площадь поверхности, через которую он проходит:

$$B = \frac{\Phi}{S}.$$

Единица магнитного потока в 1 Вб равна  $10^8$  Мкс, а единица магнитной индукции в 1 Тл равна  $10^4$  Гс.

**Магнитная проницаемость.** Свойство тела пропускать через себя магнитный поток называется *магнитной проницаемостью*. Но не все тела хорошо пропускают магнитный поток. Этой способностью обладают только магнитные материалы (железо, сталь, чугун, никель, кобальт, и некоторые сплавы). Тела из немагнитных материалов не притягиваются к магниту (медь, алюминий, латунь, бронза и др.), плохо пропускают магнитный поток.

Если между полюсами постоянного магнита поместить стальной образец, расположение силовых линий изменится (рис. 1.11, а), так как магнитному потоку намного легче проходить через сталь, чем через воздух.

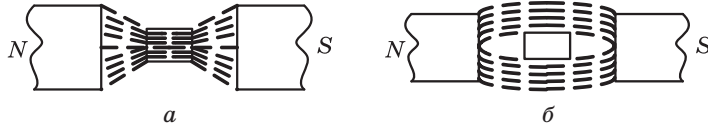


Рис. 1.11. Металлический предмет в магнитном поле:  
а — стальной; б — медный

Если же в магнитном поле вместо стального предмета поместить медный, то расположение магнитных силовых линий изменится, так как они будут обтекать медный образец (рис. 1.11, б).

Магнитную проницаемость любой среды можно определить из выражения:

$$\mu = \mu_{\gamma} \cdot \mu_0, \quad (1.21)$$

где  $\mu$  — магнитная проницаемость данной среды;  $\mu_{\gamma}$  — относительная магнитная проницаемость, т. е. величина, которая показывает, во сколько раз магнитная индукция в данном веществе больше, чем магнитная индукция в пустоте;  $\mu_0$  — магнитная проницаемость в пустоте.

По магнитной проницаемости все вещества делят на три группы.

В первую группу включают вещества, магнитная проницаемость которых меньше единицы (за единицу принята магнитная проницаемость воздуха). Такие вещества называют *диамагнитными* (медь, свинец, серебро и др.).

Ко второй группе относят металлы, магнитная проницаемость которых несколько больше единицы. Такие вещества называют *парамагнитными* (алюминий, платина, олово и др.).

В третью группу входят металлы, магнитная проницаемость которых значительно больше единицы. Их называют *ферромагнитными* (железо, сталь, никель, кобальт и некоторые сплавы).

### 1.2.1. Воздействие магнитного поля на проводник с током

При пропускании электрического тока через прямолинейный проводник, вокруг него образуется магнитное поле, магнитные силовые линии которого представляют концентрические окружности (рис. 1.12). Направление силовых линий магнитного поля зависит от направления тока в проводнике и определяется *правилом буравчика*.

Расположим буравчик так, чтобы можно было мысленно ввинчивать его в проводник по направлению тока, тогда направление вращения ручки буравчика будет совпадать с направлением магнитных силовых линий поля.

С прекращением подачи тока по проводнику магнитное поле исчезает.

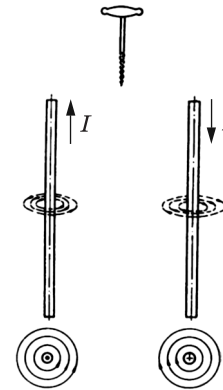


Рис. 1.12. Магнитное поле вокруг проводника с током

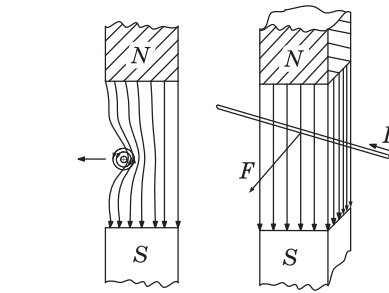


Рис. 1.13. Проводник с током в магнитном поле

Если поместить проводник в постоянное магнитное поле и пропустить по нему электрический ток, то он будет выталкиваться из него в определенном направлении. Это основано на воздействии двух полей — магнитного поля постоянного магнита и магнитного поля проводника с током (рис. 1.13). Справа от проводника магнитные силовые линии постоянного магнита и магнитные силовые линии проводника с током совпадают по направлению (здесь магнитное поле стало сильнее), а слева от проводника



магнитные силовые линии постоянного магнита и магнитные силовые линии проводника с током направлены навстречу друг другу (здесь магнитное поле ослабевает). Вследствие выпрямления магнитных силовых линий постоянного магнита проводник выталкивается из магнитного поля.

Направление движения проводника определяют *правилom левой руки: нужно расположить левую руку так, чтобы магнитные силовые линии входили в ладонь, четыре вытянутых пальца совпадали бы с направлением тока в проводнике, тогда большой отогнутый палец укажет направление движения проводника.*

Сила, действующая на проводник с током, прямо пропорциональна магнитной индукции и длине проводника:

$$F = B \cdot I \cdot l, \quad (1.22)$$

где  $F$  — сила, действующая на проводник, Н;  $B$  — магнитная индукция однородного поля, Тл;  $I$  — величина тока, А;  $l$  — длина проводника, м.

На явлении выталкивания проводников из магнитного поля основан принцип действия электродвигателей, и много других установок и устройств.

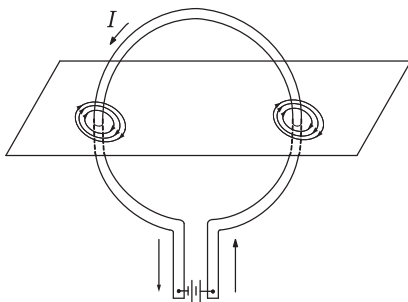


Рис. 1.14. Магнитное поле кругового проводника с током

**Круговой проводник с током. Соленоид.** Теперь рассмотрим, как будут располагаться магнитные силовые линии вокруг проводника, согнутого в кольцо. Представим кольцо (рис. 1.14), пронизывающее лист картона

и присоединенное к источнику электрической энергии. Когда по кольцу будет протекать ток, то вокруг каждой его части образуется магнитное поле, направление магнитных силовых линий которого определяют по правилу буравчика. В зависимости от направления тока в кольце магнитные силовые линии одной из сторон кольца будут входить в него, а другой — выходить из него.

Если проводник свернуть спиралью, то получим соленоид. При пропускании через него электрического тока последний образует суммарное магнитное поле, так как одинаково направленные магнитные поля отдельных витков соленоида складываются, магнитное поле внутри соленоида усиливается (рис. 1.15). Направление магнитных силовых линий магнитного поля внутри соленоида одинаково и совпадает с его осью. Конец соленоида, из которого выходят магнитные силовые линии, является северным полюсом, а противоположный конец, в который входят магнитные силовые линии — южным.

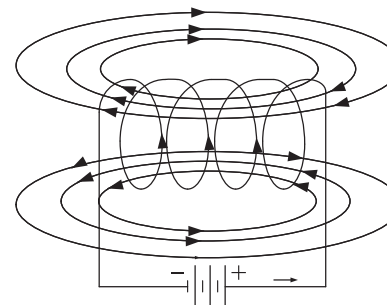


Рис. 1.15. Магнитное поле соленоида

Полюсы соленоида определяют, пользуясь правилом буравчика в измененном виде. Представим себе, что буравчик ввинчивают в соленоид так, что движение его ручки совпадает с направлением тока в витках соленоида. Тогда направление движения буравчика совпадает с направлением магнитных силовых линий поля соленоида.

Магнитное поле соленоида усиливается, если увеличить количество витков соленоида или величину тока,

проходящего по виткам. Соленоид, внутри которого имеется железный сердечник, называют *электромагнитом*.

Намагничивающая сила сердечника электромагнита равна произведению числа витков соленоида на величину тока в нем:

$$F = \omega \cdot I, \quad (1.23)$$

где  $F$  — намагничивающая сила, Ав (ампервитки);  $\omega$  — количество витков соленоида;  $I$  — величина тока, А.

Из формулы (3.23) видно, что чем больше витков у соленоида и чем больше величина протекающего по нему тока, тем больше намагничивающая сила. Обмотка электромагнита выполняется из медной изолированной проволоки, намотанной в несколько рядов на каркас катушки. Электромагниты применяют в разнообразных электротехнических аппаратах и приборах.

Работающему электромонтеру часто приходится встречать в электрических схемах элементы электроники, поэтому знание основ этой области никогда не помешает.

### 1.3. Приборы для измерения электрических величин

При эксплуатации электрических установок практически всегда возникает ситуация, связанная с измерением электрических величин, таких как напряжение, сила тока, сопротивление, мощность, энергия и частота. Измерения дают возможность определить качество и количество электроэнергии, узнать, соблюдаются ли установленные режимы и правильно ли ведется эксплуатация электроустановки, и, кроме этого, учесть расход электрической энергии. Для таких измерений и предназначены электроизмерительные приборы.

По своему назначению основные электроизмерительные приборы классифицируются следующим образом:

- приборы, предназначенные для измерения величины тока, — *амперметры*;
- приборы для измерения напряжения — *вольтметры*;

- приборы для измерения сопротивления — *омметры*;
- приборы для измерения мощности — *ваттметры*;
- приборы для измерения расхода электрической энергии — *электросчетчики*;
- приборы для измерения частоты тока — *частотометры*;
- приборы для измерения коэффициента мощности — *фазометры*.

Основные данные об электрических величинах, единицах измерений и их условных обозначениях представлены в *табл. 1.2*.

По назначению электроизмерительные приборы подразделяются на приборы *непосредственной оценки* и приборы *сравнения*.

Приборами непосредственной оценки определяют измеряемую величину в электрической цепи непосредственно по их показаниям. Это амперметры, вольтметры, омметры, ваттметры, электросчетчики, частотометры, фазометры. К приборам сравнения относят многочисленные компенсаторы и электроизмерительные мосты.

Электроизмерительные приборы могут быть *щитовые* и *переносные*. Щитовые приборы устанавливают на силовых щитах и щитках электроустановок. Они предназначены для контроля за эксплуатацией установок. По форме щитовые приборы бывают круглые и квадратные. Согласно характеру монтажа они могут быть выступающего или утопленного типа. Выступающие приборы монтируют на лицевой части щита, а цепь к ним подводят сзади. Утопленные приборы размещают в вырезанных в щите отверстиях.

Переносные приборы предназначены для технических (эксплуатационных) и лабораторных измерений. Лабораторные приборы более точные, чем технические. Они стоят дороже и требуют бережного обращения.

Одним из важных показателей электроизмерительных приборов является точность их показаний. Однако абсолютно точных приборов нет. Фактические показания отличаются от действительного значения измеряемых величин. Различают *абсолютную погрешность* измерений и *относительную*.

Таблица 1.2

Основные данные об электрических величинах

Электрическая величина	Условное обозначение величины	Единица измерения	Условное обозначение единиц		Примечание
			принятое в РФ	международное	
Напряжение	$U$	Вольт, киловольт и др.	В, кВ	V, kV	1 кВ = 1000 В
Сила тока	$I$	Ампер, миллиампер и др.	А, мА	A, mA	1 мА = 0,001 А
Сопротивление	$R$	Ом, мегаом	Ом, Мом	$\Omega$ , М $\Omega$	1 МОм = 1 000 000 Ом
Мощность активная	$P$	Ватт, киловатт	Вт, кВт	W, kW	1 кВт = 1000 Вт
Мощность полная	$S$	Вольт-ампер, киловольт-ампер	ВА, кВА	VA, kVA	1 кВА = 1000 ВА
Энергия активная	$W$	Джоуль, ватт-секунда, киловатт-час, гектоватт-час	Дж, Вт-сек, кВт·ч, гВт·ч	J, WS, kWh, kWh	1 гВт·ч = 0,1 кВт·ч
Частота	$f$	Герц	Гц	Hz	$f = 50$ Гц

**Абсолютная погрешность прибора**

$$\Delta A = A_{\text{изм}} - A_{\text{д}}, \quad (1.24)$$

где  $A_{\text{изм}}$  — показания прибора при измерении величины;  $A_{\text{д}}$  — действительное значение величины (может быть измерено эталонным прибором).

**Относительная погрешность прибора**

$$\Delta A\% = \frac{\Delta A}{A_{\text{н}}} \cdot 100 = \frac{A_{\text{изм}} - A_{\text{д}}}{A_{\text{н}}}. \quad (1.25)$$

Относительная погрешность прибора в процентах:

$$\beta\% = \frac{\Delta A}{A_{\text{н}}} \cdot 100 = \frac{A_{\text{изм}} - A_{\text{д}}}{A_{\text{н}}} \cdot 100, \quad (1.26)$$

где  $A_{\text{н}}$  — номинальное значение шкалы прибора, т. е. его верхний предел измерений.

В зависимости от допустимой погрешности электроизмерительные приборы, делятся на восемь классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4. Прибор, у которого класс точности определяется меньшим числом, позволяет выполнить измерение с большей точностью.





По принципу действия измерительного механизма приборы делят на следующие системы: электромагнитные, магнитоэлектрические, электродинамические, индукционные, электростатические, вибрационные. В табл. 1.3 приведены условные обозначения систем приборов и дана их краткая характеристика.

На циферблате приборов имеются шкала отсчета измеряемой величины, условные обозначения, указывающее назначение прибора, его систему, ГОСТ, число, показывающее класс точности, род тока, рабочее положение корпуса. На шкалах приборов условными знаками указывают сведения, которые необходимо знать о приборе для того, чтобы правильно его эксплуатировать (табл. 1.4).

Рассмотрим основные электроизмерительные приборы, применяемые в электротехнике.

Таблица 1.3

## Классификация приборов по принципу действия

Система прибора	Условное обозначение	Род тока	Применяются для измерения	Характеристика
Магнитоэлектрическая		Постоянный	Силы тока и напряжения	Наиболее точные и чувствительные из всех остальных. Шкала равномерная
Электромагнитная		Постоянный и переменный	Силы тока, напряжения, сдвига и чередования фаз	Самые дешевые и прочные. Шкала неравномерная, начинается от 20 % полной шкалы. Большая перегрузочная способность
Электродинамическая		Постоянный и переменный	Силы тока, напряжения, мощности, сдвига фаз, энергии постоянного тока	Наиболее точные приборы переменного тока. Шкала неравномерная, начинается от 10–15 %
Ферродинамическая		Переменный	Силы тока, напряжения, мощности, сдвига фаз	Менее точны. Низкая чувствительность. Большое собственное потребление. Сильный вращающий момент

Окончание табл. 1.3









Система прибора	Условное обозначение	Род тока	Применяются для измерения	Характеристика
Индукционная		Переменный	Электрической энергии	Сильный вращающий момент. Чувствительны к колебаниям частоты и температуры. Большая перегрузочная способность. Большое собственное потребление
Электрическая		Постоянный и переменный	Напряжения	Очень большое внутреннее сопротивление. Применяют для измерения напряжений в цепях с маломощными источниками тока
Вибрационная (резонансная)		Переменный	Частоты	—
Детекторная (выпрямительная)		Переменный	Силы тока, напряжения, мощности, частоты	Низкая точность. Пригодны к измерениям в широком диапазоне частот (до 10 кГц)
Ламповая (электронная)		Переменный	Напряжения	Большое входное (внутреннее) сопротивление. Нечувствительны к колебаниям частоты

Таблица 1.4

**Условные обозначения на шкалах  
электроизмерительных приборов**

Условный знак	Значение условного знака
1,5	Класс точности прибора
	Предназначен для работы в цепи постоянного тока
	Предназначен для работы в сети переменного тока
	Может быть использован в цепях переменного и постоянного тока
	Предназначен для работы в цепи трехфазного тока
50 Hz	Нормально работает при частоте 50 Гц
	Правильно показывает в вертикальном положении
	Правильно показывает в горизонтальном положении
	Правильно показывает в наклонном положении
	Изоляция прибора испытана на 2 кВ
	Предостерегающий знак высокого напряжения (знак красного цвета)
Б	Прибор для сухих неотапливаемых помещений
$B_1, B_2$	Для полевых и морских условий
T	Для условий тропического климата (сухого и влажного)
II	Категория защищенности от внешних магнитных полей

Окончание табл. 1.4

Условный знак	Значение условного знака
<i>Обозначения зажимов на приборах</i>	
—	Отрицательный зажим
+	Положительный зажим
	Зажим переменного тока
*	Общий зажим для многопредельных приборов, а также генераторный зажим для ваттметров и других приборов
	Зажим, соединяемый с корпусом
	Зажим (винт) для заземления

**Электромагнитные приборы** (рис. 1.16) применяют для измерения как постоянных, так и переменных величин тока и напряжения, не требующих высокой точности. Действие электромагнитного прибора основано на втягивании в электромагнитную катушку железного сердечника, который соединен через систему рычагов со стрелкой прибора. Когда по обмотке катушки будет протекать электрический ток, вокруг нее создается магнитное поле и железный сердечник втягивается в катушку. При этом, чем большей величины ток будет протекать через катушку прибора, тем сильнее будет втягиваться сердечник в катушку, а стрелка — поворачиваться на больший угол. После отключения тока магнитное поле катушки исчезает, и стрелка под действием пружины возвращается в исходное положение.

Электромагнитные приборы бывают двух видов — с плоской катушкой (щитовые) и с круглой катушкой — астатические (переносные).

Эти приборы просты по устройству, надежны в эксплуатации, пригодны для измерения как постоянного, так и переменного токов, устойчивы к перегрузкам по току.

**Магнитоэлектрические приборы** применяют для измерения величины тока и напряжения только в цепях постоянного тока. Принцип действия этих приборов основан на взаимодействии электрического тока с магнитным полем (рис. 1.17).

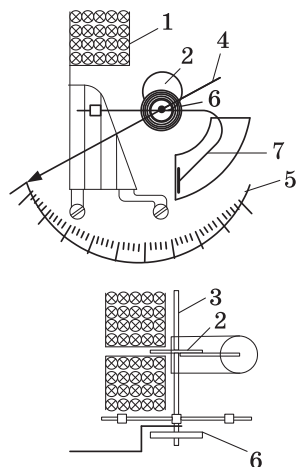


Рис. 1.16. Схема прибора электромагнитной системы:

1 — плоская катушка;  
2 — сердечник; 3 — ось; 4 — стрелка;  
5 — шкала; 6 — спиральная пружина; 7 — успокоитель

Он имеет постоянный подковообразный магнит 1, к концам которого прикреплены полюсные наконечники 2 с цилиндрическими выточками. Между полюсными наконечниками в магнитном поле находится стальной цилиндр 3 и легкая алюминиевая рамка 4 с несколькими витками 5 изолированной проволоки, которая сидит на оси 6. К оси рамки 4 крепится указательная стрелка 8 и две спиральные пружины 7, по которым подводится ток к виткам рамки. Кроме того, пружины возвращают стрелку в первоначальное состояние при прекращении тока в обмотке рамки.

Магнитоэлектрические приборы работают следующим образом. При прохождении тока по обмотке рамки, помещенной в магнитное поле постоянного магнита, последняя поворачивается на определенный угол в зависимости от направления тока, а стрелка жестко закреплена на ее оси, останавливается на определенном делении шкалы. При этом угол поворота стрелки пропорционален величине тока в обмотке, а шкала прибора равномерная.

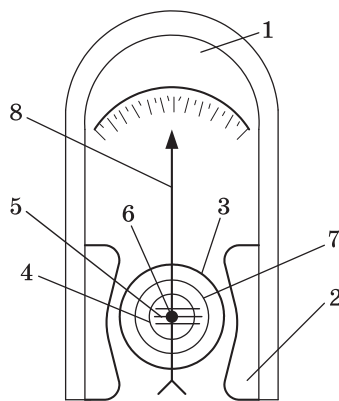


Рис. 1.17. Схема прибора магнитоэлектрической системы

Эти приборы имеют высокую чувствительность и точность показаний, малое потребление мощности. Недостатками являются непригодность для измерения переменного тока, чувствительность к перегрузкам, так как сечение спиральных пружин и проводов маленькое.

**Электродинамические приборы** работают на взаимодействии токов двух катушек. Эти приборы применяют для измерения величины тока, напряжения и мощности (рис. 1.18).

Основными его частями являются две катушки. Одна из них неподвижная 1, намотанная из толстого изолированного провода, состоит из двух секций, последовательно соединенных между собой. Другая катушка 2, намотанная из тонкого изолированного провода, подвижная, расположена на оси 3, к которой прикреплена указательная стрелка. Ось связана с алюминиевым крылом воздушного успокоителя. Ток подводится к подвижной катушке через спиральные пружины 4, которые изолированно крепятся своими концами к оси.

При протекании тока подвижная катушка вместе с указательной стрелкой поворачивается на определенный угол так, чтобы плоскость ее совпала с плоскостью неподвижной катушки, но этому противодействуют спиральные пружины. Угол поворота подвижной катушки и стрелки зависит от величины тока, протекающего по обмоткам катушек, и силы противодействия спиральных пружин. Поэтому подвижная катушка под действием пружины будет отклоняться тем больше, чем больше величина тока, протекающего по катушкам.

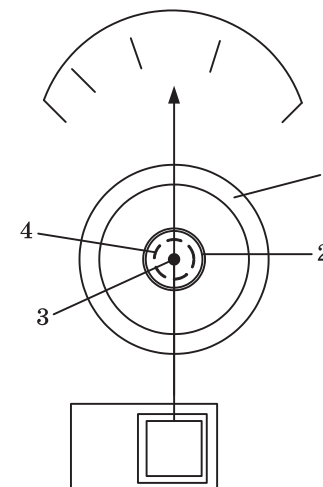


Рис. 1.18. Схема прибора электродинамической системы: 1 — катушка неподвижная; 2 — катушка подвижная; 3 — ось; 4 — спиральная пружина

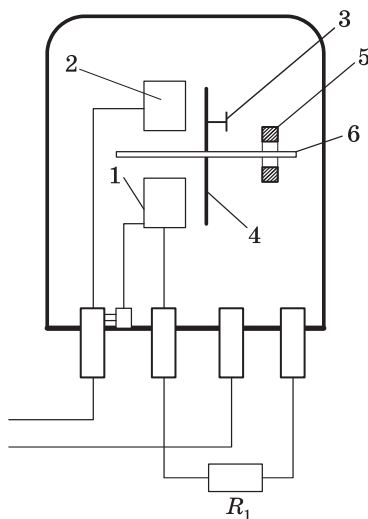


Угол поворота стрелки пропорционален произведению токов в неподвижной и подвижной катушках, поэтому шкала электродинамических приборов неравномерная.

Электродинамические приборы применяют в цепях постоянного и переменного тока. Это объясняется тем, что напряжение переменного тока изменяется одновременно в обеих катушках.

В электродинамических амперметрах обмотки обеих катушек соединяются параллельно, в вольтметрах — последовательно с включением к ним добавочного сопротивления, в ваттметрах неподвижная обмотка включается в сеть последовательно, подвижная — параллельно с включением добавочного сопротивления.

Электродинамические приборы способны вести измерения в цепях постоянного и переменного тока; сравнительно высокая точность измерений. Недостатками их являются неравномерность шкалы, недопустимость перегрузки, чувствительность к внешним магнитным полям, низкая чувствительность к малым значениям тока.



**Рис. 1.19.** Устройство однофазного индукционного электросчетчика: 1, 2 — электромагниты; 3 — винт; 4 — ось; 5 — постоянный магнит; 6 — диск

Принцип действия *индукционных приборов* основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля с индуцируемыми этим полем вихревыми токами.

Наибольшее применение из приборов индукционной системы получили электрические счетчики расхода электрической энергии. На *рис. 1.19* изображен однофазный электрический счетчик, который состоит из двух электромагнитов 1 и 2, между полюсами которого расположен алюминиевый диск 6, насаженный на вертикальную ось 4, и винт 3, служащий для устранения самопроизвольного вращения диска. В электромагните 1 имеются токовая катушка, намотанная толстым изолированным проводом, включенная последовательно в цепь нагрузки, в электромагните 2 — катушка напряжения, намотанная тонким изолированным проводом, которая включается в цепь параллельно нагрузке. Токовая обмотка расположена на полюсах электромагнита 1 и намотка ее противоположна по направлению току, что в сочетании с обмоткой напряжения создает вращающееся магнитное поле. Это магнитное поле возбуждает в диске 6 вихревые токи, которые, взаимодействуя с магнитным полем, приводят диск во вращение. Постоянный магнит 5 в приборе создает противодействующий тормозящий момент, который при выключении нагрузки сразу же останавливает диск.

Скорость вращения диска пропорциональна мощности, потребляемой нагрузкой. Потребляемая нагрузкой мощность  $P$ , умноженная на время включения нагрузки  $t$ , дает расход электрической энергии.

Ось диска связана со счетным механизмом прибора, который отсчитывает расход электроэнергии в киловатт-часах (кВт·ч), реже в гектоватт-часах (0,1 гВт·ч).

### 1.3.1. Приборы для измерения напряжения, тока и сопротивления

**Измерение напряжения** в цепи осуществляют вольтметрами различных систем. Их включают параллельно нагрузке в той части цепи, где необходимо определить напряжение.



Для расширения пределов измерения вольтметра к нему последовательно подключается добавочное сопротивление, которое служит для того, чтобы ток, проходящий через прибор, не превышал допустимой величины. Схема включения в цепь вольтметра с добавочным сопротивлением показана на *рис. 1.20*.

Величина добавочного сопротивления определяется по формуле:

$$R_d = R_v(n - 1), \quad (1.27)$$

где  $R_d$  — добавочное сопротивление, Ом;  $R_v$  — сопротивление вольтметра, Ом;  $n$  — число, показывающее, во сколько раз измеряемое напряжение больше того напряжения, на которое рассчитан прибор.

*Пример 1.* Вольтметр позволяет измерить напряжение  $U_v = 40$  В, а необходимо измерить напряжение этим прибором  $U_c = 120$  В. Необходимо определить, во сколько раз нужно расширить пределы измерения прибора:

$$n = \frac{U_c}{U_v} = \frac{120}{40} = 3.$$

Если сопротивление вольтметра  $R_v = 2000$  Ом, то для расширения предела измерения данного вольтметра в 3 раза необходимо добавочное сопротивление:

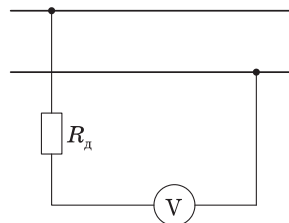
$$R_d = R_v(n - 1) = 2000(3 - 1) = 4000 \text{ Ом}.$$

После подключения добавочного сопротивления цена деления на шкале вольтметра будет в  $n$  раз больше, чем указано на шкале прибора. В нашем случае цена одного деления на шкале прибора будет равна 3. Если стрелка прибора остановилась у цифры 30, то напряжение, измеренное вольтметром, будет равно 90 В.

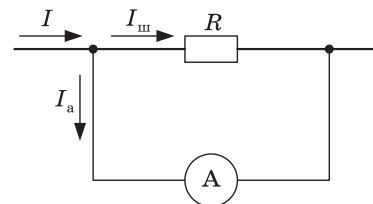
Для измерения **величины тока** в электрических цепях применяют амперметры, миллиамперметры и микроамперметры, которые включают в цепь последовательно. Если необходимо измерить амперметром ток в цепи, больший того, на который рассчитан прибор, то применяют шунты.

**Шунт** — это относительно малое сопротивление, которое включается в сеть параллельно амперметру.

Схема замещения амперметра с шунтом в сеть показана на *рис. 1.21*. Для того чтобы через прибор прошла меньшая часть измеряемого тока, сопротивление шунта должно быть в несколько раз меньше сопротивления прибора.



**Рис. 1.20.** Схема включения вольтметра с добавочным сопротивлением



**Рис. 1.21.** Схема включения амперметра с шунтом

*Пример 2.* Амперметр рассчитан для измерения тока  $I_a = 5$  А, а в цепи протекает ток 30 А. Чтобы измерить величину тока  $I_c$  этим прибором, необходимо увеличить предел измерения его. Для этого нужно подобрать шунт со вполне определенным сопротивлением.

Подсчитаем, во сколько раз необходимо увеличить предел измерения прибора:

$$n = \frac{I_c}{I_a} = \frac{30}{5} = 6.$$

Сопротивление шунта  $R_{ш}$ , которое надо присоединить параллельно амперметру, определяют по формуле:

$$R_{ш} = \frac{R_a}{n - 1},$$

где  $R_{ш}$  — сопротивление, Ом;  $R_a$  — сопротивление амперметра, Ом.

Если сопротивление прибора 1 Ом, то сопротивление шунта  $R_{ш}$  будет:

$$R_{ш} = \frac{R_a}{n - 1} = \frac{1}{6 - 1} = 0,2 \text{ Ом},$$

т. е. сопротивление шунта будет в 5 раз меньше сопротивления амперметра.

Для измерения сопротивления того или иного участка производят при помощи омметра. Это прибор электромагнитной системы, последовательно с которым включают источник постоянного тока (сухой гальванический элемент или небольшая динамомашинка, приводимая вручную). Известно, что при постоянном напряжении величина тока в цепи зависит от сопротивления.

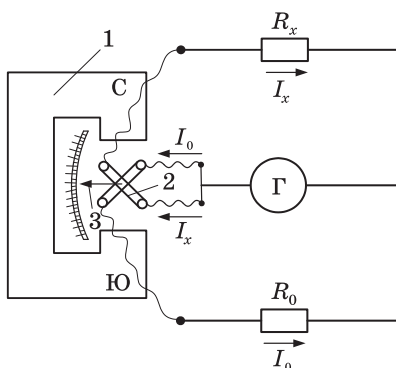


Рис. 1.22. Схема электромагнитного омметра

На рис. 1.22 показана схема электромагнитного омметра. Он состоит из постоянного магнита 1, между полюсами которого помещены две подвижные катушки 2 из тонкого изолированного провода, расположенные одна относительно другой под углом  $90^\circ$ . Катушки вращаются на оси, на которой закреплена указательная стрелка 3. Последовательно с первой катушкой включается известное сопротивление, по которому проходит ток  $I_0$ , а последовательно со второй — измеряемое сопротивление  $R_x$ , по которому пройдет ток  $I_x$ .

Питание к катушкам подводится по тонким проводам. Стрелку прибора первоначально устанавливают на ноль с помощью магнитного шунта. Шкала прибора проградуирована в Омах.

Если омметр включен последовательно с большим сопротивлением цепи, то через прибор пройдет малый ток. Если сопротивление цепи небольшое, то ток в цепи будет большим и стрелка отклонится сильнее.

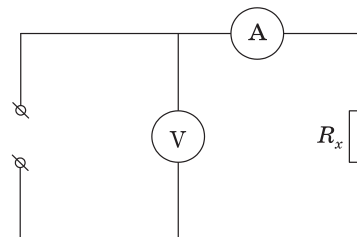


Рис. 1.23. Схема измерения сопротивления при помощи амперметра и вольтметра

В практике часто измеряют сопротивление участка цепи, пользуясь двумя приборами — амперметром и вольтметром, а затем по закону Ома подсчитывают искомого сопротивления  $R_x$ . При этом амперметр подключают последовательно с измеряемым сопротивлением, а вольтметр — параллельно, как показано на рис. 1.23.

### 1.3.2. Приборы измерения мощности и расхода электроэнергии

Чтобы измерить мощность в цепях постоянного и переменного тока, применяют ваттметры электродинамической системы. Ваттметр имеет (рис. 1.24) две катушки: неподвижная 2, которая является токовой и в цепь включается последовательно, и подвижная 1, которая находится внутри первой, является обмоткой напряжения и в цепь включается параллельно нагрузке. Принцип действия ваттметра электродинамической системы основан на взаимодействии магнитных полей катушек.

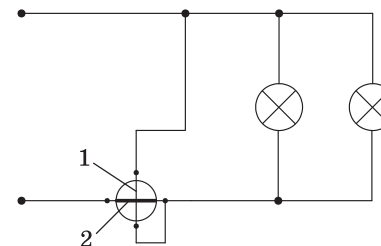
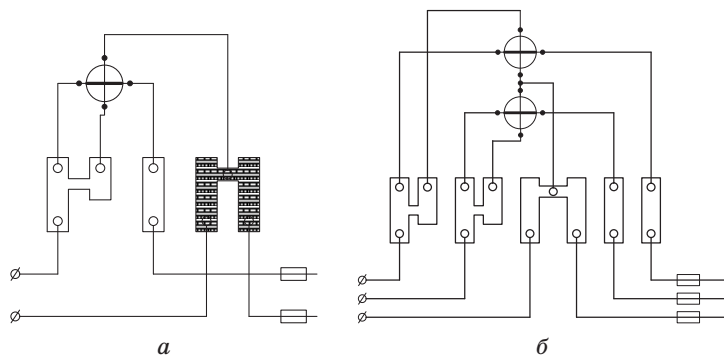


Рис. 1.24. Схема включения ваттметра

Магнитное поле неподвижной токовой катушки пропорционально току, протекающему в ней, а магнитное поле подвижной катушки пропорционально напряжению в цепи. Так как мощность цепи равна произведению величины тока на напряжение, то шкала прибора отградуирована в ватах. В цепи переменного тока такой прибор будет показывать ее активную мощность.

Для измерения расхода электрической энергии применяют однофазные и трехфазные электросчетчики индукционной системы.

Однофазный индукционный счетчик состоит из алюминиевого диска и двух электромагнитов. Токтовую катушку электромагнита включают в цепь последовательно, а катушку напряжения — параллельно. Магнитные потоки катушек пронизывают диск и индуцируют в нем вихревые токи, которые создают магнитное поле диска. В результате взаимодействия магнитного поля и магнитных потоков двух электромагнитов диск вращается. Вращающий момент диска пропорционален мощности потребляемой энергии. Вращение диска передается счетному механизму, который фиксирует расход электрической энергии.



**Рис. 1.25.** Схемы включения электросчетчиков:  
а — однофазного; б — трехфазного

Схема включения однофазного электросчетчика в цепь показана на рис. 1.25, а.

Для измерения расхода электрической энергии в трехфазной системе применяют трехфазные счетчики. Схема включения такого счетчика показана на рис. 1.25, б.

В трехфазной системе учет электрической энергии можно осуществить с помощью однофазного счетчика: если трехфазная система нагружена равномерно, то однофазный счетчик можно включить в любую фазу, а показания его умножить на три; если же трехфазная система несимметрична, то в каждую фазу нужно включить по однофазному счетчику, а показания их сложить.

## 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

**Электротехническими** называют материалы, которые применяют в электротехнике благодаря их особым свойствам по отношению к электрическому току и магнитному полю. Это *электроизоляционные, проводниковые и магнитные материалы*.

В электротехнических устройствах широко применяют также монтажные изделия и материалы.

Все существующие в природе вещества электрики делят на *проводники, полупроводники и диэлектрики*. Вещества и материалы, которые проводят электрический ток, называют *проводниками*, а вещества и материалы, не проводящие электрический ток, — *диэлектриками*.

### 2.1. Проводники

Проводниками могут быть твердые материалы (металлы, сплавы, электротехнический уголь, композиционные — медно-графитовые щетки) и жидкие (растворы кислот, щелочей и солей, а также расплавы солей минералов).

Материалы, применяемые для проводников, условно делят на две группы: *материалы высокой проводимости* электрического тока и *материалы высокого сопротивления*. К первой группе относят: серебро, медь, алюминий, бронзу, латунь, сталь. Ко второй, в основном, сплавы металлов высокого сопротивления, которые применяют большей частью для нагревательных элементов и приборов: константан, манганин, нейзильбер, нихром, фехраль и др.

Во время движения электроны наталкиваются на атомы проводника и теряют часть своей энергии. В различных металлах атомы размещены по-разному, и поэтому электроны, перемещаясь между ними, встречают разные препятствия. Так, электроны, передвигаясь по

проводнику, всегда встречают с его стороны сопротивление их движению. Существенна роль и таких материалов, как уголь и угольные изделия.

Основные характеристики металлических проводниковых материалов приведены в *табл. 2.1*, а сплавов с большим удельным сопротивлением — в *табл. 2.2*.

**Алюминий.** Как чистый алюминий, так и ряд сплавов на его основе находят широкое применение в электротехнике благодаря хорошей электропроводности, коррозионной стойкости, небольшому удельному весу и меньшей стоимости, по сравнению с медью и ее проводниковыми сплавами.

Исходя из величины удельного электросопротивления, алюминиевые сплавы подразделяют на *проводниковые и сплавы с повышенным электрическим сопротивлением*.

Удельная электрическая проводимость электротехнического алюминия марок А7Е и А5Е составляет порядка 60% от проводимости отожженной меди по международному стандарту. Технический алюминий АД0 и электротехнический А5Е используют для изготовления проводов, кабелей и шин. Применение в электротехнической промышленности получили низколегированные сплавы алюминия системы Al-Mg-Si АД31, АД31Е.

Так как у алюминия мала механическая прочность, алюминиевые провода армируют стальными сердечниками. При этом ток протекает по алюминию (у стали удельное сопротивление примерно в 5–10 раз выше, чем у алюминия), а механическую прочность берет на себя сталь.

Производство алюминия осуществляют электролизом глинозема  $Al_2O_3$  в расплаве криолита  $NaAlF_4$  при температуре 950 °С.

Алюминиевые сплавы с повышенной прочностью и улучшенными другими свойствами получают введением в него легирующих добавок, таких как медь, кремний, магний, цинк, марганец.

**Бронзы** — это сплавы меди с оловом, алюминием и другими металлами, специально вводимыми с целью получения определенных физико-механических свойств сплава. Раньше других сплавов начали применять оловянистые бронзы, в которых содержание олова составляет 8–20%.

Таблица 2.1

## Характеристика металлических проводниковых материалов

Наименование	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении при 20 °С, кг/мм <sup>2</sup>	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, Ом · мм <sup>2</sup> /м	Область применения
Алюминий	2,698–2,703	657–660	8–25	0,0263–0,0288	Провода, кабели, шины
Бронза	8,3–8,9	885–1050	31–135	0,021–0,052	Бронза (преимущественно кадмиевая) для контактов, фосфористая для пружин
Вольфрам	19,3–26,0	3370–3400	100–300	0,053–0,055	Нити ламп накаливания, нагревостойкие электроды в лампах, контакты
Золото	19,3	1063	—	0,0220–0,0235	Контакты в сплавах с серебром
Латунь	8,4–8,7	900–960	30–70	0,0310–0,0790	Контакты, зажимы
Медь	8,71–8,89	1083	27,0–44,9	0,01752–0,01820	Провода, кабели и шины
Молибден	10,2	2570–2630	80–250	0,048–0,054	Электровакuumная техника (аноды, крючки и сетки электроламп)
Никель	8,8–8,9	1452	10–70	0,0703–0,0790	Катоды электронных ламп, а также аноды и сетки

Окончание табл. 2.1

Наименование	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении при 20 °С, кг/мм <sup>2</sup>	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, Ом · мм <sup>2</sup> /м	Область применения
Олово	7,3	232	2–5	0,0014–0,120	Припой при лужении и пайке, фольга для электродов
Платина	21,4	1773	15–35	0,09–0,105	Термопары, нагревательные спирали печей, контакты электроприборов
Ртуть	13,54–13,55	38,9	—	0,958	Электроды в терморегуляторах, ртутных выпрямителях
Сталь	7,80	1400–1530	70–75	0,103–0,137	Провода, кабели и шины, конструктивный материал
Серебро	10,5	960,5	15–30	0,0160–0,0162	Контакты электроприборов и аппаратов
Свинец	11,34	327,4	0,95–2,0	0,217–0,222	Защитные оболочки кабелей, вставки предохранителей и пластины аккумуляторов
Цинк	7,1	430,0–449,4	14–29	0,0535–0,0625	Антикоррозийные покрытия (цинк, алюминиевые сплавы), контакты
Чугун	7,2–7,6	1200	12–32	0,40–0,501	Сопrotивление реостатов, конструктивный материал

Таблица 2.2

## Основная характеристика сплавов большого удельного сопротивления

Наименование	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Температура плавления, °С	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, Ом · мм <sup>2</sup> /м	Температурный коэффициент сопротивления при 20 °С, 1/°С	Наибольшая рабочая температура, град	Область применения
Константан	8,7–8,9	1260–1275	0,45–0,48 0,46–0,52	5–10 <sup>-6</sup>	450–500	Реостаты и добавочные сопротивления приборов низкого класса точности, нагревательные элементы с температурой 400–450 °С, термоэлектроды в паре с медью и железом
Манганин	8,14–8,4	920–960	0,42–0,48 0,43–0,50	(3–6) · 10 <sup>-5</sup>	250–300	Эталонные и образцовые сопротивления, магазины сопротивлений и сопротивления приборов высокого класса точности и проч.
Нихром (Х15Н60)	8,2–8,25	1380–1390	1,02–1,18	0,17 · 10 <sup>-3</sup>	1000	Лабораторные и промышленные печи с рабочей температурой до 900 °С
Фехраль (Х13Ю4)	7,2–7,4	1450–1480	1,1–1,25	0,05 · 10 <sup>-3</sup>	850	Бытовые электронагревательные приборы и промышленные печи с рабочей температурой до 650 °С

Оловянистые бронзы являются дорогостоящими сплавами, так как содержат дефицитное олово. Поэтому их стараются заменять другими бронзами, содержащими алюминий, кадмий, фосфор и другие вещества (легирующие элементы).

Марки бронз обозначают буквами Бр (бронза), за которыми следуют буквы и цифры, показывающие, какие легирующие элементы и в каком количестве содержатся в данной бронзе. Например, марка БрОЦС-5-5-5 обозначает, что в бронзе содержится 5% олова, 5% цинка, 5% свинца, остальное медь.

В электротехнике стараются применять бронзы, проводимость которых близка к проводимости меди. Такими бронзами являются кадмиевая и кадмиево-оловянистая. Остальные бронзы нашли применение в электротехнике благодаря следующим свойствам: упругости, сопротивлению истиранию и высокой механической прочности.

Из бронз изготавливают провода с повышенной механической прочностью, а также щеткодержатели, пружины и контактные детали для электрических аппаратов и приборов.

*Свинцовые бронзы*, содержащие 25–33% свинца, используют главным образом для изготовления подшипников, работающих при высоких давлениях и больших скоростях скольжения.

*Бериллиевые бронзы*, содержащие 1,8–2,3% бериллия, отличаются твердостью после закалки и высокой упругостью. Их применяют для изготовления пружин и пружинящих изделий.

*Кадмиевые бронзы* — сплавы меди с небольшим количеством кадмия (до 1%) — используют при производстве троллейных проводов, для изготовления арматуры водопроводных и газовых линий и в машиностроении.

**Латунь.** Изделия из латуни устойчивы к атмосферной коррозии, но деформированная (вытяжкой) латунь подвержена коррозии во влажной атмосфере в большей степени, чем медь.

Для повышения коррозионной стойкости латуней в них вводят легирующие элементы: алюминий, никель, олово



и др. Такие латуни называют *специальными*, например *морская латунь* стойка к коррозии даже в морской воде. Марки латуней начинаются с буквы Л (латунь), за которой следуют буквы, указывающие на другие элементы (кроме меди), которые входят в состав латуней. Стоящие в конце марки цифры означают содержание (в процентах) меди и других компонентов. Например, марка латуни Л62 обозначает, что в ней содержится около 62% меди. Латунь хорошо механически обрабатывается, сваривается и паяется.

**Медь.** Применение меди в энергетике очень широко — различные проводники, кабели, шнуры, шины, плавкие вставки, обмотки трансформаторов и катушек.

*Чистая медь* — ковкий и мягкий металл, отличный проводник электричества, легко подвергается обработке давлением. Именно эти качества позволяют применять изделия из меди в электротехнике — в настоящее время более 70% всей производимой меди идет на выпуск электротехнических изделий. Для изделий с максимальной электропроводностью используют так называемую *безкислородную медь*. В иных случаях годна и технически чистая медь, содержащая 0,02–0,04% кислорода.

Чистая медь обладает высокой электрической проводимостью (на втором месте после серебра). Именно это качество меди используют в промышленности для изготовления электротехнических шин из меди.

Сплавы, повышающие прочность и улучшающие другие свойства меди, получают введением в нее добавок, таких, как цинк, олово, кремний, свинец, алюминий, марганец, никель. На сплавы идет более 30% меди. Из сплавов на основе меди наибольшее применение в электротехнике получили бронзы и латуни.

**Электротехническая сталь.** Листовая электротехническая сталь, являющаяся сплавом железа с кремнием, содержание которого в ней составляет от 0,8 до 4,8%, получила широкое применение в электротехнике. Стали, в которые вводят в малом количестве другие вещества для улучшения их свойства, называют *легированными*.

Выплавляется электротехническая сталь в мартеновских печах. Листы изготавливают прокаткой стального слитка

в холодном или горячем состоянии. Поэтому различают *холодно-* и *горячекатаную* электротехническую сталь.

Магнитная проницаемость листов текстурованной стали холодной прокатки выше, а потери на гистерезис меньше, чем у горячекатаных листов.

Листовая электротехническая сталь обладает хорошими магнитными характеристиками — высокой индукцией насыщения, малой коэрцитивной силой и малыми потерями на гистерезис. Благодаря этим свойствам ее широко используют в электротехнике для изготовления сердечников статоров и роторов электрических машин, сердечников силовых трансформаторов, трансформаторов тока и магнитопроводов различных электрических аппаратов.

Несмотря на высокую механическую прочность стали при растяжении, ее применение ограничивается некоторым рядом недостатков:

- имеет низкую коррозионную стойкость, т. е. легко окисляется на воздухе — ржавеет;
- обладает повышенным удельным сопротивлением по сравнению с медью и алюминием;
- электрическое сопротивление на переменном токе сильно увеличивается, поскольку сталь является магнитным материалом. Поэтому протекающий ток в большей степени вытесняется из средней части провода к его поверхности, так называемый *поверхностный эффект*.

С целью снижения этого эффекта и величины электрического сопротивления переменному току применяют стали с минимальной величиной магнитной проницаемости.

Для изготовления стальной проволоки применяют сталь с содержанием углерода от 0,10 до 0,15%.

Для защиты от атмосферной коррозии стальные провода покрывают тонким слоем меди или цинка (0,016–0,020 мм).

В электротехнике стальную проволоку и шины применяют для сердечников в биметаллических проводниках, обеспечивающих значительную экономию проводниковой меди. Биметаллические проводники применяют в электрических аппаратах (рубильники, контакторы и др.).

Стальную оцинкованную проволоку с большой механической прочностью при растяжении (130–170 кг/мм<sup>2</sup>)



используют в качестве сердечников в сталеалюминиевых проводах для повышения их механической прочности на разрыв.

**Серебро.** Из всего многообразия проводниковых материалов с высокой электропроводностью самым востребованным материалом для проводов было бы серебро. К сожалению, этот материал слишком дорог, поэтому серебро используют только для ответственных контактов, так как оно не окисляется в процессе работы, и поэтому свойства контакта не ухудшаются с течением времени.

**Материалы для контактов.** Для слаботочных контактов, как правило, применяют благородные или тугоплавкие металлы: серебро, платину, палладий, золото, вольфрам и сплавы на основе этих металлов.

Для сильноточных контактов чистые металлы не применяют — для них используют псевдосплавы, получаемые методами порошковой металлургии.

**Псевдосплав** — это спеченная смесь двух порошков, один из которых является более тугоплавким. При этом более легкоплавкая составляющая может расплавиться в процессе работы, но благодаря наличию каркаса из тугоплавкой компоненты жидкость удерживается за счет капиллярных сил. Легкоплавкая компонента обычно является более тепло- и электропроводной. В электроэнергетике используют следующие псевдосплавы: серебро-окись кадмия, серебро-графит, серебро-никель, серебро-вольфрам, медь-графит, медь-вольфрам.

А для мощных цепей контакты делают накладными, на медь укрепляют пластины из  $\text{Ag}+\text{W}$ , либо  $\text{Cu}+\text{W}$  псевдосплава.

Для мощных размыкающих контактов с большими токами дуги (до 100 кА) используют медь-графит контакты. Они хуже свариваются и сильно изнашиваются под действием дуги. Псевдосплавы с большим количеством графита (более 5%) используют в качестве щеток в скользящих контактах.

**Нихромовые сплавы.** Нихром включает в свое название группы сплавов, состоящих, в зависимости от марки сплава, из 55–78% никеля, 15–23% хрома, марганца,

кремния, железа, алюминия. Первая группа объединяет сплавы, состоящие из никеля и хрома, содержание железа в них ограничено (0,5–3,0%), чем и объясняется их название. Вторая группа сплавов содержит кроме никеля и хрома еще и железо.

Этот сплав является основным материалом для изготовления нагревательных элементов для электрических печей. Нихром специально разработан для этой цели, и поэтому в максимальной степени удовлетворяет всем требованиям к таким материалам.

Нихром является весьма жаростойким материалом, так как обладает чрезвычайно прочной защитной пленкой из окиси хрома  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  с температурой плавления большей, чем у сплава, и хорошо выдерживающей периодические нагревы и остывания. Он также обладает хорошими механическими свойствами как при нормальной, так и при высокой температурах, легко обрабатывается и хорошо сваривается.

Электрические свойства нихрома вполне удовлетворительны; он обладает высоким удельным сопротивлением, малым температурным коэффициентом сопротивления; у него отсутствуют явления старения и роста.

При добавлении железа улучшается обрабатываемость сплава и увеличивается его удельное сопротивление, но ухудшается температурный коэффициент сопротивления и значительно снижается жаростойкость. Тем не менее, в случаях, когда рабочая температура не превосходит 1000 °С, допустимо пользоваться тройным сплавом, так как он дешевле и содержит меньше дефицитного никеля.

Нихром с повышенным содержанием железа (к нему относится сплав Х25Н20) еще дешевле, требует меньше никеля и обладает высокими механическими свойствами, хотя его жаростойкость еще ниже. Его используют в печах с температурой до 900 °С. Все нихромы являются немагнитными сплавами. Нихром выпускают в виде проволоки и ленты.

**Свинец.** Свинец — очень мягкий металл светло-серого цвета, обладающий высокой пластичностью и коррозионной стойкостью ко многим химическим реагентам (серной

и соляной разбавленным кислотам, аммиаку и некоторым другим). Благодаря отличной пластичности, гибкости и невысокой температуре плавления (327 °С) свинец широко используют для изготовления защитных оболочек электрических кабелей. Гибкая свинцовая оболочка предохраняет кабель от проникновения в него влаги и других агентов, снижающих качество изоляции.

Широко используют свинец при изготовлении мягких оловянистосвинцовых припоев (марки ПОС-30, ПОС-40, ПОС-61 и др.) а также в производстве легкоплавких вставок предохранителей и пластин для кислотных аккумуляторов.

Особенным свойством этого металла является поглощение рентгеновских лучей, благодаря этому свинец применяют в качестве защитных экранов в рентгеновских установках.

Свинец выпускают шести сортов, отличающихся между собой содержанием различных примесей (железо, медь, висмут, магний, мышьяк и др.).

Кабели со свинцовой оболочкой не рекомендуется прокладывать по эстакадам мостов, вблизи дорог и в других местах, где возможны сотрясения и вибрации, вызывающие разрушения свинца.

Чтобы повысить вибрационную стойкость и механическую прочность свинца, в него вводят различные присадки: сурьму, медь, кадмий и др. Свинец является дефицитным металлом и в производстве кабелей его часто заменяют алюминием или синтетическими материалами (поливинилхлоридом, полиэтиленом), из которых изготавливают защитные оболочки кабелей.

## 2.2. Диэлектрики

**Диэлектриками** называют материалы, используемые для изоляции элементов электрической цепи от окружающей среды. В диэлектриках отсутствуют свободные электроны, и под действием ЭДС они могут только отклоняться от своего обычного положения, не оставляя своего

атома, поэтому они не проводят электрический ток. В качестве изоляционных материалов применяют: слюду, асбест, асбоцемент, фарфор, мрамор, стекло, эбонит, полихлорвинил, трансформаторное масло, электроизоляционные лаки и др.

В установках высокого напряжения и конденсаторах для диэлектриков важны показатели диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и угол диэлектрических потерь  $\delta$ . Кроме электрических свойств большое значение имеет механическая прочность, нагревостойкость, гигроскопичность и др.

### 2.2.1. Жидкие диэлектрики

**Трансформаторное масло.** В большинстве трансформаторов, применяемых в системе электроснабжения, используют трансформаторное масло, получаемое из нефти. И лишь часть распределительных трансформаторов заполняют негорючей синтетической жидкостью, а остальные выполняют в сухом виде, то есть без заполнения жидким диэлектриком. Все трансформаторы номинального напряжения выше 35 кВ, как правило, заполняют трансформаторным маслом. Масло в трансформаторе выполняет две функции: электрической изоляции и передачи тепла от активной части трансформатора к устройствам охлаждения.

В качестве диэлектрика трансформаторное масло используют в трех основных типах изоляционных конструкций:

- чисто масляные промежутки, например, между контактами переключающих устройств;
- масляные промежутки в комбинации с пропитанной маслом твердой изоляцией, а также между обмотками, имеющими твердую витковую изоляцию и масляный промежуток, подразделенный барьерами из пропитанного маслом электротехнического картона;
- пропитанная маслом твердая изоляция, например между витками обмотки и в высоковольтных конденсаторных вводах с бумажно-масляной изоляцией.

Благодаря относительно малой вязкости и высокой теплоемкости трансформаторное масло является хорошим переносчиком тепла от наиболее нагретых частей трансформатора к его охлаждающим устройствам.

**Лаки электроизоляционные** — коллоидные растворы различных пленкообразующих веществ в специально подобранных органических растворителях. *Пленкообразующими* называют такие вещества, которые в результате испарения растворителей и процессов отвердевания (полимеризации) могут образовать твердую пленку. К ним относят смолы (природные и синтетические), растительные высыхающие масла, эфиры целлюлозы и др. Растворителями пленкообразующих веществ служат легкоиспаряющиеся (летучие) жидкости: бензол, толуол, ксилол, спирты, ацетон, скипидар и др.

Для создания электроизоляционного лака, удовлетворяющего электрическим требованиям, подбирают серию пленкообразующих веществ, составляющих основу лака.

Для полного растворения лаковой основы и равномерного высыхания лака иногда применяют несколько растворителей. Если лак загустел, в него вводят разбавитель, который отличается от растворителей меньшей испаряемостью. В качестве разбавителей применяют бензин, лаковый керосин, скипидар и некоторые другие жидкости.

В состав электроизоляционного лака иногда вводят пластификаторы и сиккативы.

**Пластификаторы** — это вещества, обеспечивающие лаковой пленке эластичность. Ими являются касторовое масло, жирные кислоты льняного масла и другие маслообразные жидкости.

**Сиккативы** — это жидкие или твердые вещества, вводимые в некоторые лаки (масляные и др.) для ускорения их высыхания.

По своему назначению электроизоляционные лаки делят на *пропиточные, покровные и клеящие*.

*Пропиточные лаки* используют для пропитки обмоток в электрических машинах и аппаратах с целью цементации (соединения) витков обмотки друг с другом, а также с целью устранения пористости в изоляции обмоток.

*Покровные лаки* применяют для создания на поверхности пропитанных обмоток влагостойких или маслостойких лаковых покрытий. К покровным лакам также относятся и эмальлаки, которые применяются для

эмалирования обмоточных проводов, а также лаки, применяемые для изоляции листов электротехнической стали в магнитопроводах.

*Клеящие лаки* используют для склеивания различных электроизоляционных материалов: листочков слюды, керамики, пластмасс и др.

На практике иногда бывает и так, что один и тот же лак применяется в качестве пропиточного и покровного или в качестве покровного и клеящего.

Все лаки по способу сушки делят на две группы: лаки *воздушной (холодной) сушки* и лаки *печной (горячей) сушки*.

У электроизоляционных лаков *воздушной сушки* отвердевание пленки происходит при комнатной температуре. К таким лакам относят *шеллачные, эфироцеллюлозные* и некоторые другие.

У электроизоляционных лаков *печной сушки* отвердевание пленки возможно лишь при температурах от 100 °С и выше. В лаках печной сушки применяют термореактивные пленкообразующие вещества (глифталевые, резольные и другие смолы), отвердевание которых обусловлено процессами полимеризации. Лаки горячей сушки обладают более высокими механическими и электрическими характеристиками.

По лаковой основе электроизоляционные лаки делят на *смоляные, масляные, масляно-битумные и эфироцеллюлозные*.

*Смоляные лаки* представляют собой растворы природных или синтетических смол в органических растворителях. К смоляным лакам относят *шеллачные, глифталевые, бакелитовые, кремнийорганические* и др. Смоляные лаки могут быть *термопластичными* (поливинилацетатные, полихлорвиниловые и др.) и термореактивными (глифталевые, бакелитовые и др.).

*Масляные лаки* представляют собой растворы растительных (высыхающих и полувсыхающих) масел в органических растворителях. К высыхающим маслам относят тунговое и льняное масла.

Как правило, в масляные лаки вводят сиккативы — вещества, ускоряющие их высыхание. Пленки масляных

лаков являются терморезистивными веществами, т. е. не размягчаются при нагревании.

Масляные лаки применяют для пропитки электроизоляционных лакокрасочных, эмалирования обмоточных проводов и как покровные, отличающиеся стойкостью к влаге.

*Масляно-битумные лаки* представляют собой растворы масляно-битумных смесей в органических растворителях (скипидар, толуол, ксилол и др.). Для этого применяют битумы нефтяные и природные (асфальты). Из растительных масел применяют главным образом льняное масло.

Пленки этих лаков имеют черный цвет. Они обладают хорошими электроизоляционными свойствами, эластичностью и водостойкостью. Масляно-битумные лаки широко применяют в качестве пропиточных лаков для обмоток электрических машин.

*Эфиоцеллюлозные лаки* представляют собой растворы эфиров целлюлозы (нитроцеллюлоза, ацетилцеллюлоза и др.) в смеси растворителей (амилацетат, ацетон, спирты и др.). Пленки этих лаков прозрачны, имеют характерный блеск и обладают стойкостью к минеральным маслам, бензину и озону.

Эфиоцеллюлозные лаки применяют в основном для лакирования хлопчатобумажных оплеток проводов с резиновой изоляцией — для защиты резины от действия бензина, минеральных масел и озона. Они являются лаками воздушной сушки, но применение их в электротехнике ограничено.

### 2.2.2. Твердые диэлектрики

**Твердые диэлектрики** — очень широкий класс веществ, которые радикально отличаются между собой электрическими, теплофизическими и механическими свойствами.

Все диэлектрические материалы делят на неорганические и органические материалы.

**Неорганические диэлектрики** — стекло, слюда, керамика, неорганические пленки (окислы, нитриды, фториды), металлофосфаты, электроизоляционный бетон.

Они негорючи, как правило, свето-, озono-, термостойки, имеют сложную технологию изготовления.

**Органическими диэлектриками** являются: полимеры, воски, лаки, резины, бумаги, лакокрасочные. Особенности органических диэлектриков — горючесть, малостойкость к внешним и эксплуатационным воздействиям, простая технология изготовления, дешевизна по сравнению с неорганическими диэлектриками.

Применение твердых диэлектриков в энергетике:

- 1) на воздушных и кабельных линиях — фарфор, стекло и кремнийорганическая резина в подвесных изоляторах ВЛ; фарфор в опорных и проходных изоляторах; стеклопластики в качестве несущих элементов; полиэтилен, бумага в высоковольтных вводах; бумага, полимеры в силовых кабелях;
- 2) изоляция электрических приборов — бумага, гетинакс, стеклотекстолит, полимеры, слюдяные материалы;
- 3) для машин, аппаратов — бумага, картон, лаки, компанды, полимеры;
- 4) для конденсаторов разных видов — полимерные пленки, бумага, оксиды, нитриды.

При выборе материала электрической изоляции необходимо проанализировать условия эксплуатации электрооборудования и сделать выбор материала изоляции в соответствии с комплексом электротехнических требований, таких как:

- нагревостойкость (до температуры 700 °C);
- влагостойкость;
- радиационная стойкость;
- тропикостойкость;
- морозостойкость (до -90 °C);
- изоляция для работы в вакууме.

**Полимерные диэлектрики.** Также представителем твердых диэлектриков являются полимеры. Они хорошо себя зарекомендовали и положительно отличаются следующими свойствами:

- а) низкими диэлектрическими потерями;
- б) высоким удельным сопротивлением;
- в) высокой электрической прочностью;

- г) высокой технологичностью;
- д) невысокой ценой.

Кроме этого, на основе полимеров с применением дисперсных добавок можно добиться:

- а) различной электропроводности;
- б) теплопроводности;
- в) магнитной проницаемости;
- г) диэлектрической проницаемости;
- д) твердости и др.

По технологическим признакам полимерные материалы делят на два класса — термопласты и реактопласты.

**Термопласты** — легко размягчаются при нагревании и имеют простую технологию термопрессования. Наиболее распространенным диэлектриком этого класса, применяемым в электроэнергетике, является полиэтилен —  $(C_2H_4)_n$ , за ним по использованию идут полипропилен, поливинилхлорид, лавсан, фторопласт.

**Реактопласты** — диэлектрики, которые при нагревании не размягчаются, а после достижения определенной температуры разрушаются. Реактопласты дешевы и технологичны, их готовят на основе фенолформальдегидных полимеров (бакелит) и аминокформальдегидных полимеров. Электрофизические характеристики данных материалов невысоки, и поэтому применение их ограничено.

**Эпоксидные полимеры.** Оригинальными диэлектриками являются эпоксидные полимеры, которые имеют высокую механическую прочность и хорошие электрофизические характеристики. Основное преимущество эпоксидных компаундов — простая технология приготовления. Компаунды холодного отверждения получают путем тщательного перемешивания эпоксидной смолы, отвердителя и пластификатора. До начала процесса твердения (от минут до часов) жидкую композицию можно заливать в требуемую форму. Нередко компаунд применяют для ремонта диэлектрических деталей в качестве клея.

Из других полимеров-реактопластов обладающих высокой механической прочностью являются — капролон, с диапазоном рабочих температур от  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , полиимиды и композиты на их основе.

**Бумага и картон.** Основным преимуществом этих диэлектриков является их производство из возобновляемого сырья, т. е. из древесины. Технология приготовления состоит из варки щепы и опилок в щелочном растворе с добавками. Полученная пульпа прокатывается между вальцами при повышенных давлении и температуре. С повышением плотности бумаги увеличивается ее механическая и электрическая прочность. Самые тонкие и прочные бумаги используют для изготовления конденсаторов.

Электротехнический картон в электроустановках применяют в качестве диэлектрических прокладок, шайб, распорок, а также в качестве изоляции магнитопроводов, пазовой изоляции вращающихся машин и т. п. Картон используют после пропитки трансформаторным маслом.

**Диэлектрические материалы для изоляторов.** В настоящее время активно развивается производство изоляторов для ВЛ на основе кремнийорганической резины. Этот материал относится к каучукам, основное свойство которых — эластичность. Это позволяет изготавливать из каучуков не только изоляторы, но и гибкие кабели. В энергетике используют разные типы каучуков: натуральные каучуки, бутадиеновые, бутадиен-стирольные, этиленпропиленовые и кремнийорганические.

Учитывая ограниченные свойства чистых кремнийорганических резин, низкую прочность и недостаточную свето-озоностойкости, в настоящее время изоляторы делают из композиционных материалов на основе кремнийорганических каучуков. В качестве усиливающих активных наполнителей используют нанопорошки двуокиси кремния (аэросил, белая сажа) и двуокиси титана.

**Электротехнический фарфор.** Одним из высокопрочных твердых диэлектриков является электротехнический фарфор. Его изготавливают из глинистых минералов, полевого шпата и кварца в результате термообработки по керамической технологии. Его высокая стойкость к атмосферным воздействиям, положительным и отрицательным температурам, к воздействию химических реагентов, высокая механическая и электрическая прочность, доступность



исходных компонентов, — все это определило широкое применение фарфора для производства изоляторов.

**Электротехническое стекло** в качестве материала для изготовления изоляторов имеет ряд преимуществ перед фарфором. У него более стабильная сырьевая база, проще технология, возможность визуального обнаружения неисправных изоляторов и др.

Так при пробое изолятора в гирлянде, его диэлектрическая «юбка» разрушается и падает на землю, если она выполнена из стекла, а при пробое фарфорового изолятора юбка остается целой. Поэтому неисправные стеклянные изоляторы видны невооруженным глазом, диагностика же вышедших из строя фарфоровых изоляторов возможна только с помощью специальных приборов.

К технологическим недостаткам стекла относится способ его производства и большая энергоемкость получения материала, т. к. стекло варят при высоких температурах длительное время.

**Слюдяные материалы.** Как диэлектрик слюда является основой большой группы электроизоляционных изделий. Основное достоинство слюды — высокая термостойкость наряду с достаточно высокими электроизоляционными характеристиками. Слюда является природным минералом. В электротехнике используют два вида этого материала: мусковит  $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$  и флогопит  $\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ . Слюда обладает следующими свойствами: удельным сопротивлением, более  $10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ; высокой электрической прочностью, более  $100 \text{ кВ/мм}$ ; термостойкостью, температурой плавления более  $1200^\circ\text{C}$ .

Слюда используют в качестве электрической изоляции, как в виде щипаных тонких пластинок (склеенные между собой — миканиты), так и в виде слюдяных бумаг (пропитанные различными связующими — слюдиниты или слюдопласты). Слюдяную бумагу производят по технологии обычной бумаги.

**Миканиты** используют как пазовую и витковую изоляцию в электрических машинах.

**Слюдиниты** — листовые материалы, изготовленные из слюдяной бумаги на основе мусковита. Нередко их

комбинируют с подложкой из стеклоткани (стеклослюдинит) или полимерной пленки (пленкослюдинит).

**Слюдопласты** — листовые материалы, изготовленные из слюдяной бумаги на основе флогопита и пропитанные связующими компонентами. Их также комбинируют с другими материалами, но слюдопласты имеют меньшую стоимость. Свое применение слюдиниты и слюдопласты нашли в изоляции электрических машин, также их используют в качестве нагревостойкой изоляции различных электрических приборов.

## 2.3. Электромонтажные материалы и изделия

При монтаже электроустановок используют различные электротехнические материалы и изделия, от которых в значительной степени зависит надежность работы установленного оборудования. Выбор материалов и изделий определяется условиями эксплуатации электроустановок и осуществляется проектными организациями (табл. 2.3).

К электротехническим материалам и изделиям относят провода и кабели для электропроводок и линий электропередачи, электроизоляционные материалы, применяемые при монтаже, установочные и крепежные изделия, заливочные массы, лаки, эмали, клеи, припой и т. д.

**Провода.** В качестве проводников электрического тока используют металлические провода, конструктивно представляющие одну или несколько токопроводящих жил. Каждая жила может состоять из одной или нескольких скрученных вместе проволок. Многопроволочный провод обладает значительно большей гибкостью при той же изоляции, чем однопроволочный.

При монтаже применяют как неизолированные, так и изолированные провода. В зависимости от изолирующей оболочки и металла проволоки провода имеют различную маркировку.

Марка провода шнура, кабеля — буквенное обозначение, характеризующее материал токопроводящих жил, изоляцию, степень гибкости и конструкцию защитных покровов.

Таблица 2.3

Характеристика некоторых электроизоляционных материалов

Материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Электрическая прочность при 20 °С, кВ/мм	Диэлектрическая проницаемость при 50 Гц и 20 °С	Удельное объемное сопротивление при 20 °С, Ом · см	tg φ при 50 Гц и 20 °С
Асбоцемент (пропитан парафином)	1,6–1,8	2–3	6–8	10 <sup>8</sup> –10 <sup>9</sup>	—
Битумы	1	15–20	2–4	10 <sup>13</sup> –10 <sup>15</sup>	0,03–0,05
Бумага	0,7–0,87	5–10	2,5–3,5	10 <sup>12</sup> –10 <sup>14</sup>	0,017–0,025
Винипласт	1,38	30–45	4,1	10 <sup>14</sup> –10 <sup>15</sup>	0,019
Воздух	0,00121	21,9–22,7	1,0	10 <sup>19</sup> –10 <sup>20</sup>	(2 ÷ 4)10 <sup>-7</sup>
Гетинакс	1,3–1,4	16–28	6–8	10 <sup>6</sup> –10 <sup>9</sup>	0,02–0,18
Древесина	0,6–0,78	2,2–5,6	Около 3,5	2 · 10 <sup>8</sup> ÷ 4 · 10 <sup>11</sup>	—
Лавсан	1,38	160	3,1	10 <sup>16</sup>	0,008
Лакоткань: хлопчатобумажная, шелковая, стеклянная	1–1,2 0,9–1 1,25–1,35	20–48 33–75 20–65	3–4 3–4 3–4	10 <sup>12</sup> –10 <sup>14</sup> 10 <sup>12</sup> –10 <sup>14</sup> 10 <sup>12</sup> –10 <sup>15</sup>	0,06–0,105 0,03–0,08 0,02–0,06
Масло трансформаторное	0,84–0,89	15–20	2,1–2,4	10 <sup>10</sup> –10 <sup>11</sup>	0,0006–0,001
Миканиты прокладочные	2–2,2	15–24	5–8	10 <sup>13</sup> –10 <sup>14</sup>	0,03–0,05
Мрамор	2,5–2,9	1–4	2–9	10 <sup>7</sup> –10 <sup>9</sup>	0,05–0,01
Оргстекло	1,18–1,2	27	3,8	10 <sup>15</sup>	0,02–0,03
Парафин	0,85–0,9	22–32	2–2,2	10 <sup>16</sup> –10 <sup>18</sup>	0,0003–0,0007

Окончание табл. 2.3

Материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Электрическая прочность при 20 °С, кВ/мм	Диэлектрическая проницаемость при 50 Гц и 20 °С	Удельное объемное сопротивление при 20 °С, Ом · см	tg φ при 50 Гц и 20 °С
Полистирол (ПСМД)	1,05–1,08	20–30	2,5–2,8	10 <sup>17</sup>	0,0002–0,0006
Поливинилхлорид	1,2–1,6	6–15	6–8	10 <sup>12</sup> –10 <sup>15</sup>	0,05–0,08
Поликапролактамы (капрон)	1,13–1,15	15–18	3,6–5	10 <sup>8</sup> –10 <sup>9</sup>	0,012–0,027
Полиэтилен (высокого давления)	0,90–0,94	40–45	2,2–2,4	10 <sup>17</sup> –10 <sup>18</sup>	0,0002–0,0006
Резина	1,7–2	20–45	2,5–5	10 <sup>14</sup> –10 <sup>15</sup>	0,01–0,03
Слюда	2,68–2,89	95–175	5,8–7,2	10 <sup>13</sup> –10 <sup>15</sup>	0,0004–0,015
Совол	1,54–1,56	17–18	4,8–5	10 <sup>10</sup> –10 <sup>11</sup>	0,015–0,03
Совтол	1,52–1,54	18–20	4,5–4,8	10 <sup>9</sup> –10 <sup>10</sup>	0,001–0,003
Стеатит	2,8–3,1	38–50	6,4–7	10 <sup>15</sup> –10 <sup>16</sup>	0,0005–0,0016
Стекло	2,5–2,7	30–45	3,8–16,2	10 <sup>8</sup> –10 <sup>17</sup>	0,0002–0,01
Текстолит (марки Г)	1,3–1,45	3–6	5–6	10 <sup>6</sup> –10 <sup>7</sup>	—
Фарфор	2,3–2,5	22–28	6–7	10 <sup>13</sup> –10 <sup>14</sup>	0,022–0,04
Фибра	1–1,2	3,5–7	—	10 <sup>8</sup> –10 <sup>10</sup>	—
Фторопласт	1,38–1,4	25	5,4	10 <sup>15</sup>	0,009
Шифер	2,7–2,9	0,5–1,5	6–8	10 <sup>8</sup> –10 <sup>9</sup>	0,08–0,12
Эбонит	1,15–1,25	15–20	3–3,5	10 <sup>14</sup> –10 <sup>16</sup>	0,005–0,015
Электрокартон	0,9–1,25	12–32	1,8–2,5	10 <sup>9</sup> –10 <sup>10</sup>	0,003–0,01



В маркировке отечественных проводов шнуров и кабелей российских производителей используют следующие обозначения:

1-я буква характеризует материал токопроводящей жилы: алюминий — А, медь — буква опускается.

2-я буква обозначает: П — провод.

3-я буква обозначает материал изоляции: В — оболочка из поливинилхлоридного пластика; П — оболочка полиэтиленовая; Р — оболочка резиновая; Н — оболочка наиритовая.

В марках проводов и шнуров могут также присутствовать буквы, характеризующие другие элементы конструкции: О — оплетка; Т — для прокладки в трубах; П — плоский; Ф — металлическая фальцованная оболочка; Г — повышенная гибкость; И — повышенные защитные свойства; Р — оплетка из хлопчатобумажной пряжи, пропитанная противогнилостным составом и т. д.

*Например:* АПВ — алюминиевый провод с поливинилхлоридной изоляцией.

*Голым* называют провод, у которого поверх токопроводящих жил отсутствует защитное или изолирующее покрытие. Голые провода марок ПСО, ПС, А, АС и другие применяют, обычно, для воздушных линий электропередач.

*Изолированными* называют провода, у которых токопроводящие жилы покрыты изоляцией, а поверх изоляции еще имеется оплетка. Изолированные провода бывают *защищенные* и *незащищенные*.

*Защищенными* называют изолированные провода, имеющие поверх электрической изоляции оболочку для герметизации и защиты от внешних климатических воздействий. К ним относят провода марок АПРН, ПРВД АПРФ и др.

*Незащищенными* называют изолированные провода, не имеющие поверх электрической изоляции защитной оболочки (провода марок АПРТО, ПРД, АППР, АППВ, ППВ и др.).

Провода различают по количеству и сечению жил, а также по номинальному напряжению. По количеству жил — от одной до четырех, по сечению — от 0,5 до 1000 мм<sup>2</sup>.

*Монтажные провода МГШВ, МГШВЭ, МГШВЭВ, МГШВ-1, МГШВЭВ-1 и МГШВЭ-1.* МГШВЭ-1 имеет 2 или 3 жилы, все остальные марки проводов — одножильные. Токопроводящую жилу изготавливают из медной проволоки, луженой оловянно-свинцовым сплавом. Сечения проводов МГШВ, МГШВЭ — 0,12 и 0,14 мм<sup>2</sup>, МГШВ-1 — 0,2–1,5 мм<sup>2</sup>, МГШВЭВ — 0,14 мм<sup>2</sup>, МГШВЭВ-1 — 0,35 мм<sup>2</sup>, МГШВЭ-1 — 0,2–0,75 мм<sup>2</sup>. Провода имеют комбинированную пленочную и ПВХ-изоляцию. МГШВЭ, МГШВЭВ, МГШВЭВ-1 и МГШВЭ-1 выпускают с экраном из луженых медных проволок. Провода сечением 0,12–0,14 мм<sup>2</sup> применяют в цепях переменного тока до 380 В и постоянного тока до 500 В. Провода сечением 0,2–1,5 мм<sup>2</sup> применяют в цепях переменного тока до 1000 и постоянного тока до 1500 В.

*Установочные провода ПВ-1, ПВ-3, ПВ-4* предназначены для подачи питания на электрические приборы и оборудование, а также для стационарной прокладки осветительных электросетей. ПВ-1 выпускают с однопроволочной токопроводящей медной жилой, ПВ-3, ПВ-4 — со скрученными жилами из медной проволоки. Сечение применяемых проводов от 0,5 до 10 мм<sup>2</sup>. Провода имеют окрашенную ПВХ-изоляцию; применяют в цепях переменного тока с напряжением не более 450 В с частотой 400 Гц и в цепях постоянного тока до 1000 В. Допустимая рабочая температура — от 50 до 70 °С.

*Установочный провод ПВС* предназначен для подключения электрических приборов и оборудования. Число жил может быть равным 2, 3, 4 или 5. Токопроводящая жила из мягкой медной проволоки сечением от 0,75 до 2,5 мм<sup>2</sup>. Такой провод выпускают со скрученными жилами в ПВХ-изоляции и такой же оболочке; применяют в электросетях с номинальным напряжением, не превышающим 380 В. Провод рассчитан на максимальное напряжение в 4000 В частотой 50 Гц, приложенное в течение 1 мин. Рабочая температура — в диапазоне –40 — +70 °С.

Установочный провод ПУНП предназначен для прокладки стационарных осветительных сетей. Число жил может быть равным 2, 3 или 4. Жилы имеют сечение 1,0–6,0 мм<sup>2</sup>. Токопроводящая жила из мягкой медной проволоки

имеет пластмассовую изоляцию в ПВХ-оболочке. Провод применяют в электросетях с номинальным напряжением не более 250 В с частотой 50 Гц. Провод рассчитан на максимальное напряжение 1500 В частотой 50 Гц в течение 1 мин. Стандартными являются следующие сечения жил ( $\text{мм}^2$ ): 0,5; 0,75; 1; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 400; 500; 625; 800; 1000. Изоляцию проводов изготавливают на стандарт напряжения: 380, 660 и 3000 В переменного тока.

**Шнур** — две или более изолированных особо гибких жил сечением до  $1,5 \text{ мм}^2$ , скрученных или уложенных параллельно, поверх которых в зависимости от условий эксплуатации могут быть наложены неметаллические оболочки и защитные покрытия. Шнур предназначен для подсоединения подвижных устройств (например, электрических бытовых приборов) к электрической сети.

**Шнур ШВВП** предназначен для подключения электрических приборов и оборудования к электросети. Число жил может быть равным 2 или 3. Шнур выпускается со скрученными жилами, в ПВХ-изоляции и такой же оболочке. Токопроводящая жила из мягкой медной проволоки имеет сечение 0,5 или  $0,75 \text{ мм}^2$ . Шнур ШВВП применяют с номинальным напряжением до 380 В. Он рассчитан на максимальное напряжение в 4000 В частотой 50 Гц, приложенное в течение 1 мин.

**Шнур ШВО** предназначен для подключения электросамоваров, электроплит, электроутюгов, электрокаминов и других электронагревательных приборов. Число жил может составлять 2 или 3. Провода этого шнура имеют скрученные медные жилы сечением  $0,5\text{--}1,5 \text{ мм}^2$ , полиэтиленовую изоляцию, ПВХ-оболочку и нитяную оплетку. Его применяют с номинальным напряжением до 250 В. Шнур рассчитан на максимальное напряжение в 2000 В с частотой 50 Гц, приложенное в течение 1 мин.

**Кабели.** Конструктивно кабель представляет собой изделие, состоящее из одного или нескольких проводников из алюминия или меди, изолированных друг от друга и заключенных в герметическую защитную оболочку из резины, пластмассы, алюминия или свинца. Для защиты

от механических повреждений кабель сверху обматывают стальной лентой, плоской или круглой проволокой. Такие кабели называют *бронированными*. Иногда, кроме этого, такие кабели снаружи покрывают джутовой пряжей, пропитанной противогнилостным составом. Их используют для прокладки в земле. Те кабели, у которых защитные или броневые оболочки не имеют джутового покрытия, называют *голыми*. Их применяют внутри помещений или протягивают в каналах.

В зависимости от материала жил и конструкции покрытия кабели в обозначении имеют следующие буквы: первая буква обозначает металл жилы кабеля (А — алюминевая), отсутствие буквы А указывает на то, что жилы кабеля сделаны из меди; если у кабелей каждая жила заключена в отдельную свинцовую защитную оболочку, то марка кабеля начинается с буквы О; следующая буква обозначает материал оболочки (С — свинец, А — алюминий, Н и НР — негорючая резина, В — поливинилхлорид, Р — резина); затем идет буква защитного покрытия (А — асфальтированный, Б — бронированный стальными лентами, Г — голый, К — бронированный круглыми проволоками, П — бронированный плоскими проволоками).

*Силовые* кабели служат для передачи и распределения электрической энергии в осветительных и силовых электроустановках.

*Контрольные* кабели предназначены для создания цепей контроля, управления, автоматизации и сигнализации.

Силовой электрический кабель, жилы которого имеют пропитанную бумажную изоляцию, состоит из токопроводящих медных или алюминиевых жил секторной, круглой или сегментной формы, жилой бумажной изоляции, заполнителей из жгутов сульфатной бумаги, проложенных между жилами, поясной изоляции из бумаги, пропитанной маслоканифольным составом, герметизирующей оболочки из свинца или алюминия, сульфатной бумаги, пропитанной битумным составом, кабельной пряжи, пропитанной противогнилостным составом, брони из стальных лент, кабельного покрова из пропитанного джута, покрытия сверху слоем мела.

Кабели различают по количеству жил и их сечению, а также по номинальному напряжению. Кабель с бумажной изоляцией может иметь от одной до четырех жил, сечение жил составляет от 2,5 до 800 мм<sup>2</sup>. Стандартные сечения жил кабелей такие же, как и у проводов.

Изоляцию кабелей изготавливают на следующие напряжения: 380, 660, 1000, 6000, 10000 и 35000 В. В отдельных случаях на более высокое напряжение применяют специальную изоляцию кабелей. В случае длительной работы кабеля температура его жил не должна превышать 80 °С при номинальном напряжении до 3000 В, 65° С — при номинальном напряжении в 6000 В и 60 °С — при номинальном напряжении в 10000 В.

Силовые кабели с резиновой изоляцией изготавливают со свинцовой оболочкой без брони или бронированные с наружным покровом, со стандартным сечением токопроводящих жил до 500 мм. Их применяют для неподвижной прокладки в установках напряжением до 6000 В переменного тока и до 1000 В постоянного тока.

Контрольные кабели изготавливают с количеством жил 4–37; сечение жил составляет 0,50–10 мм<sup>2</sup>. Как и силовые, контрольные кабели имеют изоляцию из пропитанной бумаги, пластмассы или резины; их герметическая оболочка изготовлена из свинца, алюминия или поливинилхлорида, а для защиты от механических повреждений применяют броню из стальных лент или стальных оцинкованных проволок круглого или прямоугольного сечения. Стальная броня контрольных кабелей марок КАБ, КСБ, КВРБ покрыта джутовой пряжей.

Контрольные кабели используют для прокладки в земле, туннелях, каналах, помещениях с различной агрессивной средой, шахтах и под водой.

**Контрольные кабели марок КВВБШв, КВВВБГ** предназначены для подключения электрических приборов и оборудования. Число жил может составлять от 10 до 37. Сечение токопроводящих жил из медной проволоки — 1,5–6,0 мм<sup>2</sup>. Выпускают в пластмассовой изоляции и оболочке из ПВХ-пластиката и имеют, кроме того, экран из алюминиевой фольги. Рассчитаны на максимальное

переменное напряжение в 660 В с частотой до 100 Гц, а также на постоянное напряжение до 1000 В.

**Контрольные кабели марок КВВГ, КВВГЭ, КВВГнг и КВВГЭнг** также предназначены для подключения электрических приборов и оборудования. Число жил может составлять 4–37. Сечение токопроводящих жил из медной проволоки — 1,0–6,0 мм<sup>2</sup>.

Выпускают контрольные кабели с изоляционной оболочкой из ПВХ-пластиката. Кабели КВВГЭ и КВВГЭнг под оболочкой имеют экран из алюминиевой фольги. Кабели КВВГнг и КВВГЭнг обладают пониженной горючестью; рассчитаны на максимальное переменное напряжение в 660 В с частотой до 100 Гц, а также на постоянное напряжение до 1000 В.

**Выбор сечения проводника: провода, шнура и кабеля.** Токопроводящие жилы проводов, используемых при монтаже электропроводок, имеют стандартные сечения (мм<sup>2</sup>): 0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0 и т. д.

Диаметр токоведущей жилы (без изоляции) измеряют штангенциркулем или микрометром. Сечение жил многопроволочных проводов определяют по сумме сечений всех входящих в жилу проволок.

Сечение провода рассчитывают по формуле:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (2.1)$$

где  $S$  — площадь сечения в мм<sup>2</sup>;  $\pi = 3,14$ ;  $D$  — диаметр голого провода в мм.

Изоляция установочных проводов рассчитана на определенное рабочее напряжение, большее, чем напряжение питающей электросети. Как правило, установочные провода выпускают на номинальное напряжение в 380 В и выше, значит, они пригодны для устройства электропроводок в жилых домах и квартирах.

Сечение проводов выбирают с учетом предельно допустимого нагрева жил, при котором не повреждается изоляция проводов. Длительно допустимые токовые нагрузки на провода, шнуры и кабели с различной изоляцией приведены в *табл. 2.4–2.8*.

Таблица 2.4

Длительно допустимые токовые нагрузки (токи) в А на провода и шнуры с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией, а также на неизолированные провода воздушных линий

Стандартная площадь сечения провода, мм <sup>2</sup>	Медные изолирован- ные провода		Алюминиевые изоли- рованные провода		Неизолированные провода вне помещения		
	открытая проводка	три провода в трубе	открытая проводка	три провода в трубе	медные марки	алюминиевые марки	стальные марки ПО
0,5	11	—	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—	—
1,0	17	15	—	—	—	—	—
1,5	23	17	—	—	—	—	—
2,5	30	24	24	19	—	—	—
4,0	41	35	32	28	50	—	—
6,0	50	42	39	32	70	—	—
10,0	80	60	55	47	95	—	—
16	100	80	80	60	130	105	—
25	140	100	105	80	180	135	60
35	170	125	130	95	220	170	75
50	215	170	165	130	270	215	90
70	270	210	210	165	340	265	125
90	330	225	225	200	415	320	135
120	385	290	295	220	485	375	—

В жилых зданиях и помещениях в соответствии с требованиями ПУЭ (Правила устройства электроустановок) необходимо применять провода и кабели только с медными жилами. Сечения проводников должны соответствовать расчетным значениям. Но быть для линии групповых сетей (розетки, освещение) они не могут меньше 1,5 мм<sup>2</sup>, для линии от этажных до квартирных щитков и счетчиков — меньше 2,5 мм<sup>2</sup>, для линии распределительной сети (стояки) для питания квартир — меньше 4,0 мм<sup>2</sup>.

При выборе сечения нулевого проводника следует руководствоваться тем, что его проводимость должна быть не меньше 50% проводимости фазных проводников. После выбора сечения проводников на основании вышеприведенных таблиц необходимо проверить соответствие выбранного размера сечения проводника экономически целесообразному значению. Расчет производят по формуле:

$$S = I/J, \quad (2.2)$$

где  $S$  — экономически целесообразное сечение проводника (мм<sup>2</sup>);  $I$  — расчетный ток в режиме максимальной нагрузки (А);  $J$  — нормированное значение экономической плотности тока (А/мм<sup>2</sup>) из табл. 2.9. Полученную в результате расчета величину округляют до ближайшего типового значения сечения проводника.

Кабель обычно состоит из 2–4 жил. Сечение (точнее, площадь поперечного сечения) жилы определяют ее диаметром. Исходя из практических соображений, при малых значениях силы тока сечение медной жилы берут не менее 1 мм<sup>2</sup>, а алюминиевой — 2 мм<sup>2</sup>. При достаточно больших токах сечение провода выбирают по подключаемой мощности. Обычно исходят из расчета, что нагрузка величиной 1 кВт требует 1,57 мм<sup>2</sup> сечения жилы. Отсюда следуют приближенные значения сечений провода, которых необходимо придерживаться при выборе его диаметра. Для алюминиевых проводов это 5 А на 1 мм<sup>2</sup>, для медных — 8 А на 1 мм<sup>2</sup>. Проще говоря, если у нас стоит проточный водонагреватель на 5 кВт, то подключать его надо проводом, рассчитанным не менее чем на 25 А, и для медного провода сечение должно быть не менее 3,2 мм<sup>2</sup>.

Таблица 2.5

Допустимые токовые нагрузки в А на медные провода и шнуры с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Провода, проложенные в одной трубе					
	провода, проложенные открыто	два одно- жильных	три одно- жильных	четыре одно- жильных	один двух- жильный	один трех- жильный
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2,0	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50

Таблица 2.6

Допустимые токовые нагрузки на алюминиевые провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией в А

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Провода, проложенные в одной трубе					
	проложенные открыто	два одно- жильных	три одно- жильных	четыре одно- жильных	один двух- жильный	один трех- жильный
2,0	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	26
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38

Таблица 2.7

Допустимые токовые нагрузки в А на медные провода с резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и кабели с медными жилами, с резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной, наиритовой или резиновой оболочках, бронированные и небронированные, с заземляющей жилой и без нее

Сечение токопро- водящей жилы, мм <sup>2</sup>	Провода, проложенные в одной трубе				
	одно- жильные	двухжильные		трехжильные	
При прокладке					
в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле	
1	2	3	4	5	6
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90



Кстати, из ряда предпочтительных величин сечений (0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6 мм<sup>2</sup> и т. д.) для алюминиевых проводов сечение выбирают на ступень выше, чем для медных, так как их проводимость составляет примерно 62% от проводимости медных. Например, если по расчетам для меди нужна величина сечения 2,5 мм<sup>2</sup>, то для алюминия следует брать 4 мм<sup>2</sup>; если же для меди нужно 4 мм<sup>2</sup>, то для алюминия — 6 мм<sup>2</sup> и т. д.

Таблица 2.8

Допустимые токовые нагрузки в А на кабели с алюминиевыми жилами, с резиновой или пластмассовой изоляцией в алюминиевой, свинцовой, поливинилхлоридной или резиновой оболочках, бронированные и небронированные

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Провода, проложенные в одной трубе				
	одно- жильные	двухжильные		трехжильные	
При прокладке					
в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле	
1	2	3	4	5	6
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70

Таблица 2.9

Нормированное значение экономической плотности тока (А/мм<sup>2</sup>) для медных и алюминиевых проводников

Тип изоляции	Материал жил проводника	Нормированное значение экономической плотности тока, А/мм <sup>2</sup>
Неизолированные провода	Медные	1,8
	Алюминиевые	1,0
Кабели и провода с резиновой и ПВХ-изоляцией	Медные	2,0
	Алюминиевые	1,2
Кабели и провода с резиновой и пластмассовой изоляцией	Медные	2,7
	Алюминиевые	1,8

**Как выбрать кабель.** Лучше выбирать кабель большего поперечного сечения, чем требуется, вдруг вы захотите подключить еще что-нибудь. Кроме того, необходимо проверить, согласуется ли сечение проводов с максимальной фактической нагрузкой, а также с током защитных предохранителей или автоматического выключателя, которые обычно находятся рядом со счетчиком.

Самое главное правило при покупке — покупать с запасом. Конечно, если кабеля не хватит, существуют способы его нарастить. Но имейте в виду, что место соединения — это место контакта, а оно чревато неприятностями. Если прокладывается постоянная проводка, лучше использовать кабель с токоведущими жилами из одиночных проволок. Он меньше, чем многопроволочный, подвержен коррозии (за счет меньшей площади поверхности), и его проще зачищать перед подключением.

Резина под действием озона, содержащегося в воздухе, стареет и покрывается микротрещинами. Поэтому желательно не использовать кабели с резиновым покрытием на солнечных местах. Предпочтительней бронированные варианты прокладки кабелей в земле.

Поливинилхлорид склонен к растрескиванию при сильном морозе, так что на улице лучше применять кабели с покрытием из полиэтилена. В помещениях предпочтителен стабилизированный самозатухающий полиэтилен (в марке провода обозначается как Пс).

Кабели в свинцовой оболочке лучше прокладывать в летнее время. На морозе при их изгибе из-за малой морозостойкости свинца возможно образование микротрещин. Если вы собираетесь проводить кабель в водной среде (например, для подключения насосов в колодцах или для питания летнего фонтана на участке), вам потребуются специальная марка ВПП для погружных двигателей. К недостаткам этой модели можно отнести то, что кабель выпускают одножильным. А значит, для подключения насоса или фонтана придется использовать два провода, свитых между собой (чтоб не спутывались). Как альтернативу можно рассмотреть применение кабеля Lyoniprompe французского производства. Он трехжильный, сечением от 1,5 до 4 мм<sup>2</sup>.



Для временного подключения желательно использовать многожильные кабели марок КГ (КГ — с медными многопроволочными жилами, снабженными резиновой изоляцией, в резиновой оболочке) и ПВС, для постоянного подсоединения: по улице — ВВГ, для прокладки в грунте — ВББШв с защитной броней.

Если требуется провести кабель через горючие материалы (а таковыми являются стены вашего деревянного дома или нефтесодержащие вещества в вашем гараже), в его обозначении должны присутствовать буквы «Н» (негорючий) или «нг» (не распространяющий горение). Это, например, кабели КГН и ВВГнг, которые, кстати, лучше использовать не только в деревянных домах.

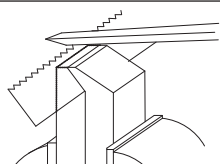
Если на участке нейтральная почва с глубоким залеганием грунтовых вод, то вам подойдут кабели марок АВВГз и ВВГз, рекомендуемые для прокладки в земле с низкой коррозионной активностью при отсутствии возможности механических повреждений и растягивающих усилий. Если же местность болотистая и земля на участке вспучивается (это выясняется, например, по тому, что неглубоко вкопанная осенью садовая скамейка весной оказалась перекошенной; подобным образом могут вести себя столбы ограждения и т. п.), то лучше использовать кабели марок АВББШв и ВББШв (поливинилхлорид по жиле, поливинилхлоридная оболочка, броня из оцинкованных стальных полос, поверх нее герметичный внешний шланг), предназначенные для любых условий эксплуатации и стойкие к механическим повреждениям.

Кроме того, следует знать, какое напряжение в сети и сколько фаз используется на вашем участке. Если 220 В и 1 фаза, то подойдет двух- или трехжильный кабель (третья жила — «земля» — обычно имеет меньшее сечение, чем другие). Если 380 В и трехфазный ток (что требуется для работы некоторых насосов и моторов), то необходим трехжильный (с одинаковыми жилами) или четырехжильный (четвертая жила — «земля»). Это отражается в маркировке изделия. Например, КГ-4×2,5 означает четырехжильный кабель с сечением основных жил 2,5 мм<sup>2</sup>.

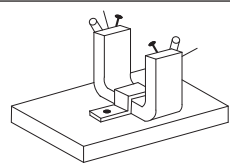
### 3. МАЛЕНЬКИЕ ХИТРОСТИ ДЛЯ НАЧИНАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Познакомившись с этими хитростями, любой электрик сможет попробовать сделать своими руками хотя бы несколько из предложенных приспособлений или изделий.

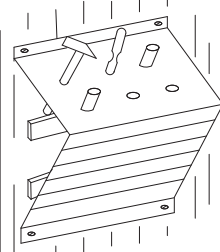
 <p>Укрепить инструменты на стенке позволит приспособление из алюминиевого уголка. Прорези в виде ласточкиного хвоста надежно удерживают инструмент</p>	 <p>Аналогичное приспособление может быть сделано из бельевых прищепок и металлического профиля (или деревянной планки), которые после сборки крепят к стене или к дверце шкафа</p>
 <p>Хранящиеся развешенными на стене инструменты легко убрать после работы, а недостающие — обнаружить, если место для плоскогубцев, ключей, ножниц обозначить тенью рисунком, краской</p>	 <p>Удобный резак делают из лезвия безопасной бритвы, старой деревянной линейки и винтиков от циркуля</p>



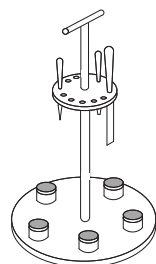
Запилка пилы происходит легче и быстрее, если воспользоваться приспособлением, состоящим из двух зажимов, изготовленных из твердого дерева. В нижней части между зажимами проложена картонная полоска, и там же внизу зажимы скреплены гвоздями. Пилу вставляют в зазор, и все вместе зажимают в тисках



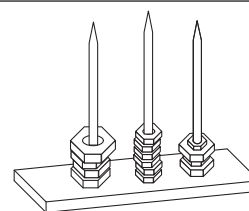
Магнитная подставка, изготовленная из отслужившего магнита, поможет искать различные мелкие предметы — от скрепок и булавок до небольших инструментов и деталей крепежа. Она же поможет отыскать их и на полу, покрытом ворсистым ковриком



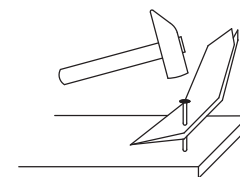
Для изготовления этой подставки для инструментов потребуются толстый металлический лист и две деревянные планки. Из листа следует вырезать полосу заданной ширины и просверлить в ней крепежные отверстия и отверстия под ручки различных инструментов (молотков, напильников, паяльника). Затем нужно согнуть полосу и прикрепить ее к стенке сарая или к стене вблизи вашего рабочего места. Под подставку следует прибить две планки — на них будут опираться инструменты



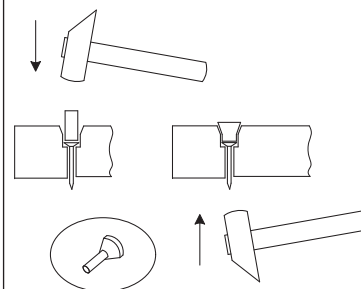
Если изготовить переносную подставку, на ней можно будет разместить самые разнообразные инструменты и крепежные детали. Основание подставки диаметром 350 мм вырезают из доски или фанеры толщиной 15–20 мм. В центре подставки укрепляют стойку с ручкой, а на стойке размещают диск с отверстиями под инструмент. К основанию подставки прикрепляют пластмассовые или металлические баночки



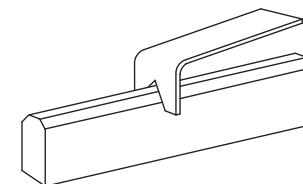
Такой способ хранения гаек и шайб прост, надежен и удобен



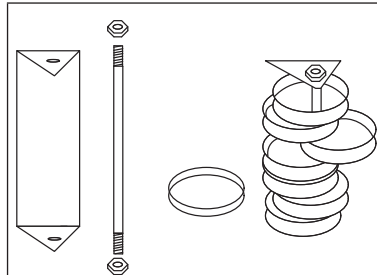
Держатель для мелких гвоздей может быть сделан из узкой полоски бумаги, сложенной вдвое



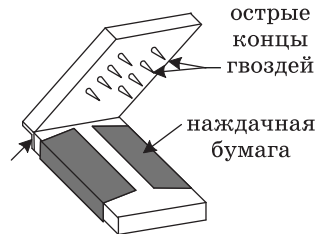
Для большого количества одинаковых заклепок можно сделать специальную оправку. Для этого в стальном бруске нужно высверлить отверстие, повторяющее форму требуемой заклепки. Теперь на ее изготовление вы потратите всего несколько секунд: два-три удара молотком по отрезку алюминиевой проволоки, вставленной в отверстие — и заклепка готова. Чтобы ее было удобно извлечь из формы, нужно просверлить снизу бруска еще одно отверстие и, прежде чем вставлять заготовку, пропустить через нее гвоздь



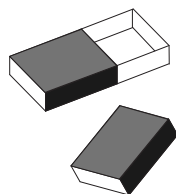
При обработке плоских заготовок, вырезанных из листовых материалов (мягкий металл, пластмасса, оргстекло) острые кромки желательно снимать или притуплять (делать фаски). Простейший инструмент для этого несложно сделать из стальной полоски толщиной 2–3 мм. Посередине ее короткой стороны нужно вырезать ножовкой, а затем заточить надфилем угловой паз; согнуть, как показано на рисунке. Проведя острым пазом по ребру пластины, получаем две аккуратные фаски сразу с обеих сторон



Из плоских консервных банок можно сделать шкафчик. Для этого у банки оставляют часть верхней крышки, через нее и нижнюю крышку пропускают ось, закрепленную в металлическом кронштейне. Чтобы банки легко вращались, между ними надо проложить шайбы. Кронштейн с банками можно привинтить к стене



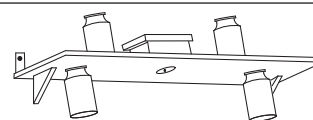
При работе наждачной бумагой ее обычно наворачивают на брусок и получают не самый лучший инструмент для ошкуривания. Умельцы придумали много более совершенных орудий. Два деревянных брусочка, соединенные кусками кожи, — отличное приспособление для шлифовки шкуркой ровных поверхностей



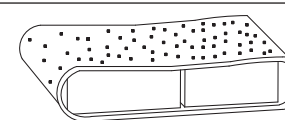
Наждачную бумагу очень легко закрепить на спичечном коробке. Кусок нужного размера накладывают сверху раскрытого короба, края загивают внутрь, а коробок задвигают



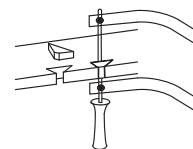
Показанный на рисунке резак из полотна слесарной ножовки отлично разрезает мягкий листовый металл, пластмассу, оргстекло



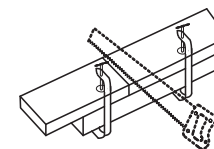
Мелкие гайки, болты и другой крепеж можно хранить в стеклянных банках с заворачивающейся крышкой. Для этого крышку крепят двумя гвоздями или шурупами к нижней стороне полки. Баночки легко ввертываются в крышки и не занимают много полезной площади



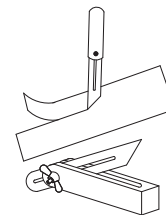
Из шкурки склеивают или сшивают петлю. Эту петлю надевают на приспособление из двух складываемых брусков. Длина петли должна быть такой, чтобы при раздвинутых брусках обеспечивалось нужное натяжение наждачной бумаги



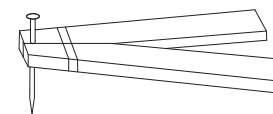
Лобзиком с изогнутыми примерно под углом  $45^\circ$  концами станка можно пилить по линии, проделанной вдоль доски, что обычному лобзику недоступно



Для того чтобы дерево не скользило во время пилки, нужно прикрепить его струбцинами. Пилить следует по месту распила, и лишние миллиметры будут сняты

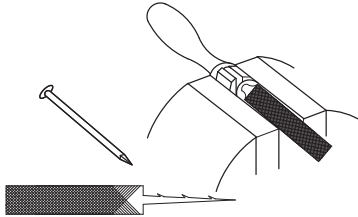
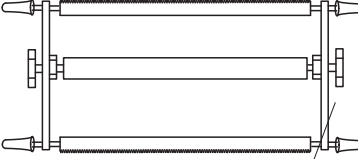
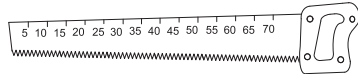
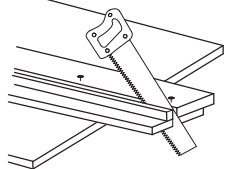


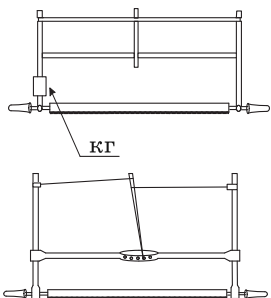
Универсальный резак, известный как сапожный нож-косячок, удобен в работе, но неудобен в хранении. Если же ему придать вот такую конструкцию, как показано на рисунке, в нерабочем положении он станет столь же безопасен, как перочинный нож



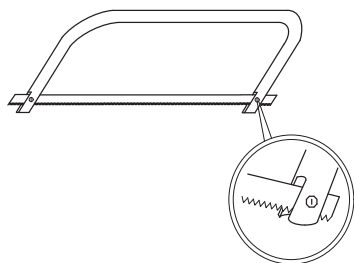
Если под руками не оказалось пинцета, его с успехом заменит простейший деревянный пинцет, сделанный из двух брусочков, концы которых срезаны под углом  $15-30^\circ$  и обхвачены в двух местах аптечными резинками

 <p>режущая кромка</p> <p>Наденьте канцелярскую скрепку на лезвие безопасной бритвы — и вы можете резать бумагу по деревянной линейке, не опасаясь, что лезвие врежется в ее кромку</p>	 <p>Если левая рука занята, то вы можете забить гвоздь и одной правой. Для этого следует зажать его между двумя пальцами и головкой прижать к молотку, как показано на рисунке. Затем нужно «наживить» гвоздь и забить его до конца</p>
 <p>При обработке больших поверхностей металла или дерева советуем воспользоваться весьма простым приспособлением — деревянным бруском, перепоясанным резиновым концом. Этот инструмент удобен тем, что позволяет быстро менять отработавшую полосу абразива на новую</p>	 <p>Можно обойтись и без дополнительного приспособления при работе в одиночку двуручной пилой. Для этого нужно переставить ручку: воткнуть ее в державку пилы не сверху, как обычно, а снизу. Это позволит работать инструментом как ножовкой</p>
 <p>Из мельницы также легко сделать удобный инструмент для ошкуживания</p>	 <p>Для выпиливания пазов, шипов, реек и т. д. советуем ставить на ножовку два полотна. Ширина выреза будет определяться толщиной вставки между полотнами</p>

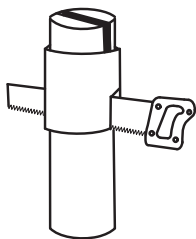
 <p>Если часто заменять вышедшие из строя ручки слесарного инструмента на новые, возникает естественное желание насадить их понадежнее. Советуем сначала сделать на хвостовике напильника зубилом несколько наклонных насечек, они крепко удержат ручку от соскакивания, а чтобы она прослужила подольше, наденьте на ее переднюю шейку обжимное кольцо и сдавите в тисках с помощью разрезанной по диаметру большой гайки</p>	 <p>Лучковую пилу можно усовершенствовать следующим образом: заменить закручивающуюся тетиву на рычажную. Ее изготовляют из двух отрезков металлического тросика. Рычаг — металлический, нижний конец его загнут и входит в отверстие средника. Натяжение зависит от того, в какое отверстие заходит рычаг. Чтобы прибить полотно, требуются считанные секунды. Удобна в работе изображенная на рисунке лучковая пила с двумя полотнами: для поперечного и продольного пиления. Натяжное устройство — регулируемая распорка — сделано в центре</p>
 <p>Пила с нанесенными на полотне сантиметровыми делениями удобна для работы. Насечки можно сделать зубилом или трехгранным напильником</p>	 <p>Если надо отпилить тонкую планку, то подложите снизу доску — пила не будет сходить с прямой</p>



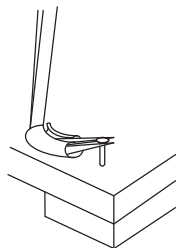
Если на переднюю часть станка лучковой пилы прикрепить груз массой примерно в килограмм, работать будет легче. Груз нужно делать съемным, чтобы пилой можно было выполнять и другие работы. Другое усовершенствование лучковой пилы позволит легко регулировать натяжение



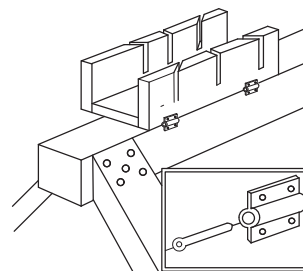
Из дугообразной ножки от раскладушки можно за несколько минут сделать станок для лучковой пилы. Полотно длиной 70 см вставляют в прорези на концах трубки и закрепляют штифтами из гвоздя. Получается легкая производительная пила, работать которой можно одному и вдвоем. С ее помощью легко распилить бревно толщиной до 40 см



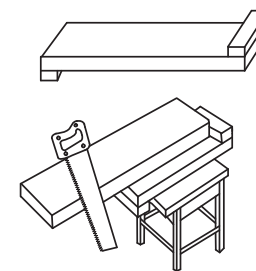
Шаблон, изображенный на рисунке, изготавливают из металлической трубки с пазом посередине. Диаметр трубы выбирают таким, чтобы шаблон легко скользил по заготовке



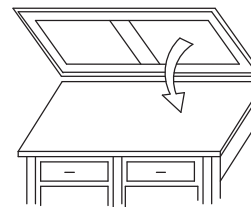
Если нужно вытащить из доски гвоздь, не повредив ее поверхности, в этом поможет кусок резиновой трубки, подложенный под гвоздодер



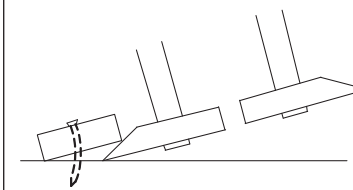
Для распиливания брусков или досок под строго определенным углом пользуются специальным приспособлением — стулом, в боковых стенках которого пропилены пазы для пилы. Если прикрепить к стулу и столярному верстаку или козлам половинки петель, для установки стула понадобятся считанные секунды



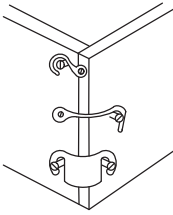
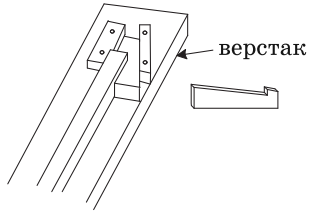
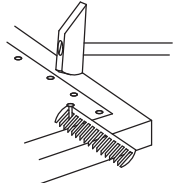
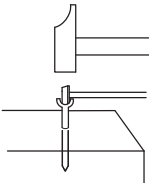
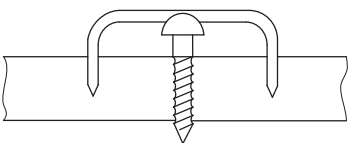
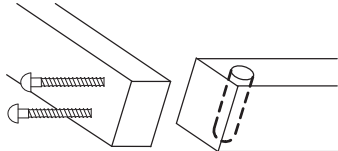
Если необходимо воспользоваться табуреткой, то сделайте простое приспособление — «деревянный крючок», который позволит надежно закрепить доску при отпиливании. Одним выступом приспособление нужно прижимать к табуретке или стулу, а в другой выступ упрется доска

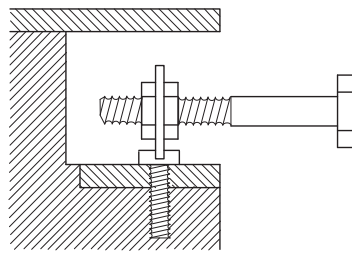
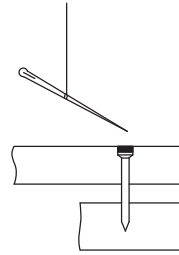
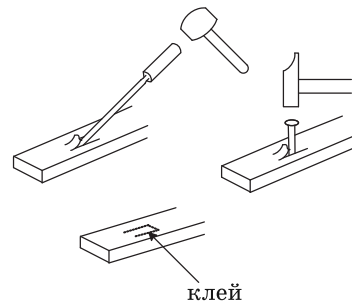
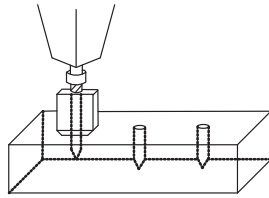


Любой стол в квартире можно использовать для домашнего мастерства, если закрыть его специально сделанной столешницей. Она представляет собой раму из брусков, к которой прибивают фанеру. Чтобы не поцарапать стол, к столешнице изнутри подклеивают полоски флanelи

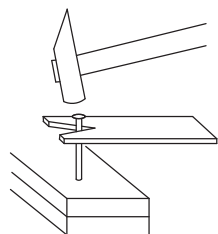


Разбирать крепко сбитые деревянные планки или доски поможет молоток-клин. Любому молотку можно придать на абразиве клиновидную форму. Хотя это и потребует некоторых усилий, но работать таким инструментом очень удобно: дерево меньше повреждается, а скорость разборки возрастает

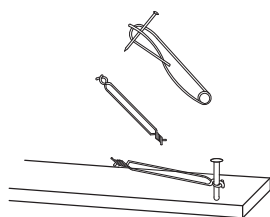
 <p>Иногда требуется получить легкоразборное угловое соединение. На рисунке приведены три варианта решения такого запора, полученного с помощью обыкновенного крючка</p>	 <p>Изображенный на рисунке упор для столярного верстака надежно закрепляет обрабатываемую деталь и избавляет руки от частых ушибов и ранений</p>
 <p>Обыкновенная расческа также поможет удержать гвоздь небольшой длины</p>	 <p>Чтобы при окончательной обработке изделия гвоздь не мешал, придайте его головке сплюснутую форму, а затем «утопите» по показанным на рисунке способом</p>
 <p>В тех случаях, когда требуется предотвратить проворачивание винта, ввернутого в доску или фанеру, нужно выгнуть из жесткой проволоки или гвоздя, диаметр которых соответствует ширине шлица у винта, П-образную скобу и вбить ее, как показано на рисунке. Войдя в шлиц, она надежно удержит винт</p>	 <p>Если нужно крепко привинтить шурупами одну доску к торцу другой, следует воспользоваться таким приемом: у торца доски нужно просверлить отверстие и вбить в него пробку из плотного дерева. В нее и нужно ввернуть шурупы, держаться они будут надежно</p>

 <p>Иногда винт в той или иной конструкции расположен так, что отвернуть его можно разве что «кривой» отверткой. В этом случае роль отвертки выполнит приспособление из длинного винта и шайбы, зажатой на нем гайками</p>	 <p>Отыскать глубоко вбитые и зашпаклеванные гвозди поможет намагниченная игла на нитке. Ее нужно двигать вдоль доски на высоте 1 мм, против гвоздя игла отклонится и точно укажет место. Совет пригодится, например, при ремонте расшатавшихся половиц</p>
 <p>Если шляпку гвоздя или головку шурупа, соединяющего две деревянные детали, необходимо скрыть, это можно сделать следующим образом: отщепить долотом тонкий слой — буквально стружку древесины (но не до конца) в том месте, куда нужно вбить гвоздь, и вбить его. Затем капнуть клеем и приклеить стружку на место. Шляпка гвоздя бесследно исчезнет</p>	 <p>Если в деревянных деталях требуется просверлить много отверстий строго под углом 90°, нужно сделать кубик из твердой древесины и с большой точностью просверлить в нем эталонное отверстие. С помощью такого кондуктора можно быстро и качественно выполнить всю последующую работу</p>

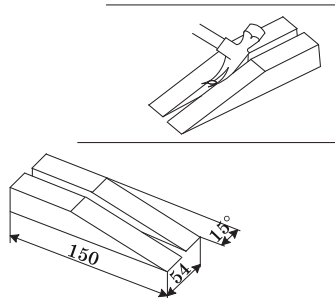




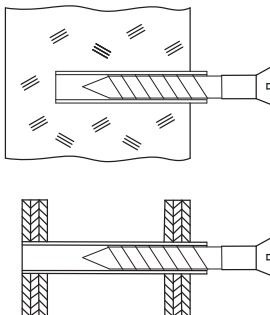
Чтобы удобнее было вбивать гвозди, в прямоугольной пластинке длиной примерно 100–150 мм необходимо пропилить клиновидный вырез, в который вставляют гвозди нужного размера



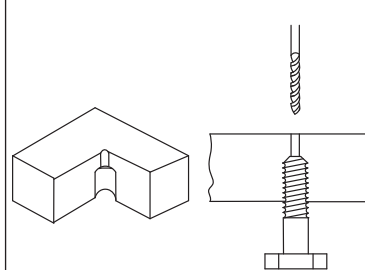
Изображенные на рисунке удобные зажимы не только предохранят пальцы от удара молотком, но и могут пригодиться при пайке, сварке, окраске и т. д. Зажимыгибаются из упругой проволоки толщиной 1,5–2 мм



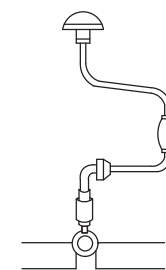
Значительно проще пользоваться гвоздодером или молотком с аналогичной прорезью, если изготовить вот такую клиновидную подставку с разрезом шириной примерно 8 мм. Пропустив в нее предназначенный для выдергивания гвоздь, нетрудно подобрать наиболее выгодное место на клине, чтобы требовались меньшие усилия



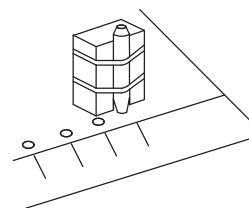
Древесностружечная плита — отличный материал для самоделок. Однако ввинтить в нее шуруп или винт не так-то просто. Нужно просверлить в плите отверстие, заполнить клеем и воткнуть в него кусок мягкой пластиковой трубки, а затем в эту трубку ввинтить шуруп. Клей, проникший внутрь трубки, облегчит ввинчивание, как хорошая смазка, а засохнув, будет прочно удерживать трубку и шуруп в гнезде



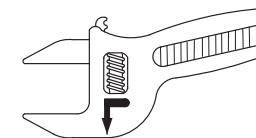
Чтобы просверлить продольное отверстие в болте, шпильке или прутке, следует поступить следующим образом. В бруске из дерева твердой породы, текстолита или гетинакса толщиной не менее 10 мм нужно просверлить сквозное отверстие сверлом, которым намерены сверлить болт. Затем на половину толщины бруска рассверлить это отверстие по диаметру болта. Ввернув в него болт, можно приступать к сверлению и получить, в результате, точное отверстие



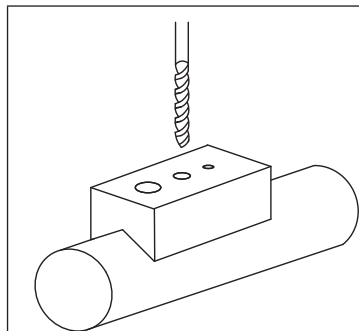
При просверливании в дереве отверстия большого диаметра (20–30 мм) может не оказаться нужного сверла или перки. В этом случае можно просверлить сначала отверстие меньшего диаметра, а затем вставить в патрон коловорота плоскую стальную шайбу (лучше новую) и пройти отверстие еще раз. Этот способ применим и для раззенковки отверстий



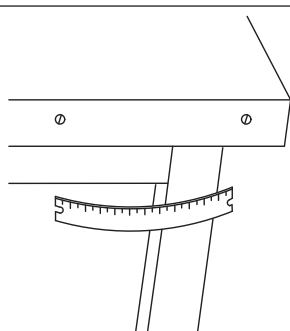
В деревянном бруске необходимо сделать желобок, и с помощью резиновых лент зажать в нем кернер. Такое приспособление намного ускорит работу в случае, когда понадобится наметить большое количество отверстий



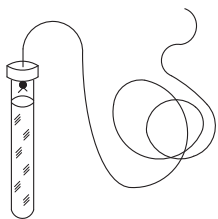
Если редко пользоваться разводным ключом, можно ошпильбиться и вращать винт не в ту сторону. Для решения этой проблемы следует нанести на ключ с обеих сторон указательные стрелки



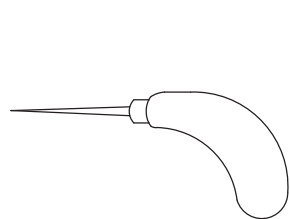
Сверлить отверстия в трубах или других деталях круглого сечения — задача не простая. Сверло нередко соскальзывает с нанесенной керном метки, и отверстия получаются не строго диаметральными. Облегчить эту работу поможет специальный кондуктор — металлический брусок М-образного сечения с серией отверстий под наиболее часто употребляемые сверла



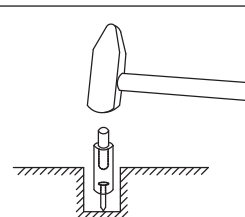
На верстаке или рабочем столе всегда должна быть линейка. Лучше всего ее прикрепить к торцу верстачной доски — там ею удобно мерить и там ее никто не повредит. Закрепить линейку нужно за углубления по концам. Тогда ее легко выгнуть, снять и взять в руки, если это требуется, а потом снова поставить на место



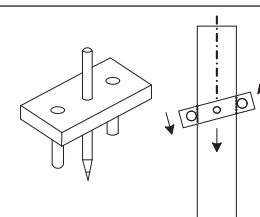
Если отвеса под рукой нет, то вместо него чаще всего используют гайку, подвешенную на нитке. Отвес будет намного точнее, если на нитке подвесить пробирку, заполненную водой. Нитку пропускают через центр пробирки, а снизу завязывают узелок



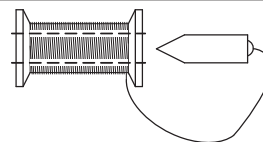
Некоторыми инструментами, такими как шило, зенковка, штихели и др., гораздо удобнее работать, если рукоятка у них изогнута. Заготовками для таких рукояток могут послужить сухие ветки деревьев



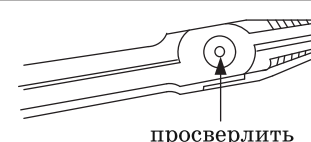
При забивании гвоздей в углублениях можно воспользоваться стальным сердечником и металлической трубкой, в которую вкладывают гвоздь



Провести осевую линию на заготовке поможет приспособление, показанное на рисунке

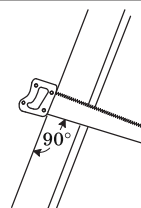


Для удобства пользования и хранения рекомендуется снабдить плотницкий отвес катушкой. Сверху на нее необходимо намотать шнур, а внутрь — вложить сам отвес

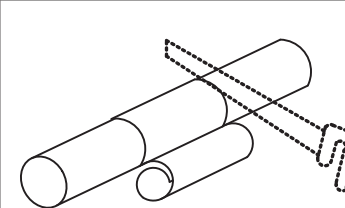


просверлить

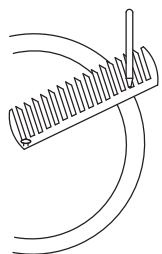
Если плоскогубцы открываются слишком туго, их ход можно облегчить, просверлив по центру оси инструмента отверстие диаметром 0,5–0,7 от диаметра оси



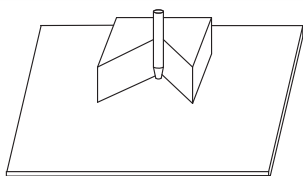
После небольшого дополнения ножовка по дереву может служить еще и угольником для разметки. К полотну у самой рукоятки приклепывают два брусочка так, чтобы рукоятка, дополненная брусками, составляла угол  $90^\circ$  с тыльной стороной полотна



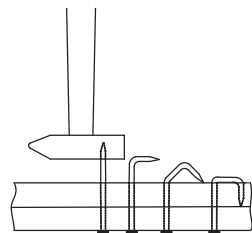
Чтобы отрезать трубу точно под прямым углом, например для последующей нарезки резьбы, возьмите ровную полосу бумаги, и наведите ее на трубу по линии отпиливания. Плоскость, проходящая через кромку бумаги, будет строго перпендикулярна к оси трубы



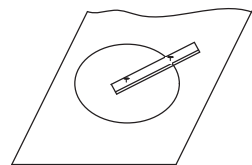
Чтобы быстро начертить окружность того или иного диаметра, воспользуйтесь обыкновенной расческой с отверстием на одном конце. Воткнув через отверстие кнопку (или булавку) и вставив между соответствующими зубьями расчески остро заточенный карандаш, можно поворачивать расческу и чертить окружность



Деревянный брусочек с вырезанным гнездом для гвоздя сэкономит немало сил и избавит от возможных травм, когда придется вбивать гвозди в деревянные изделия или начерчивать металлические детали



Скрепление двух досок гвоздями получится более надежным, если выступающие острые концы гвоздей загнуть и вбить в доску. Эту операцию легко выполнить молотком с просверленным в нем отверстием для гвоздя



Круг любого диаметра из фанеры можно вырезать точно, аккуратно и быстро при помощи деревянной планки и двух заостренных гвоздей

## 4. ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

### 4.1. Сигнализатор охраны строительной площадки

Предлагается простая электронная схема (рис. 4.1), собранная из доступных деталей, имеющихся в продаже и не требующих наладки. Состоит она из двух транзисторов, конденсатора, сопротивления, динамика, выключателя и батарейки карманного фонарика.

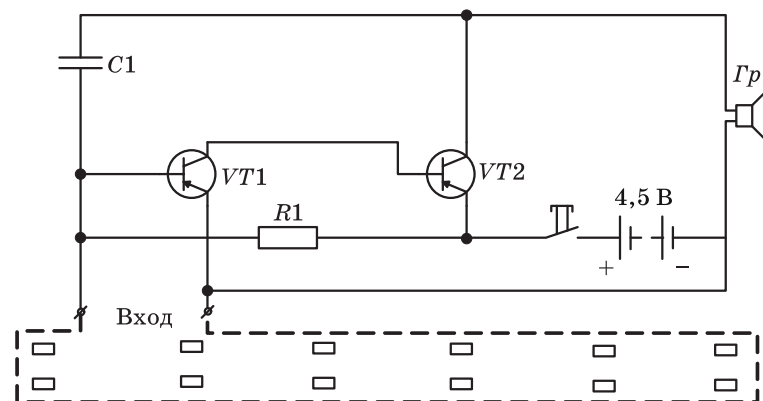


Рис. 4.1. Принципиальная схема сигнализатора

Чтобы собрать эту схему, нужно иметь: транзистор  $VT1$  типа  $n-p-n$  (желательно кремниевый: например, МП111, МП112 или МП113), транзистор  $VT2$   $p-n-p$  МП40 (МП41, МП42 или их современные аналоги),  $R1$  любого типа (ВС, МЛТ, УЛМ и т. д.);  $C1$  — бумажный 0,1; 0,2 мкФ.

Можно поставить динамик любого типа из приемника, телевизора, магнитофона и т. д. (без выходного трансформатора). В качестве источника питания — взять батарейку КБС или другого типа можно в виде набора на это напряжение. Если все детали исправны, то схема работает без всякой наладки.

К клеммам «вход» нужно присоединить тонкий медный провод, который протянут по периметру. При обрыве провода схема срабатывает и динамик издает сильный звук. Звук прекращается только после выключения схемы.

## 4.2. Включение трехфазного двигателя в однофазную сеть

Нередко в любительской практике и на пасеке возникает необходимость включения мощного трехфазного на 220 или 380 В электродвигателя в бытовую однофазную сеть. То, что это можно сделать — знают многие, а вот как — это не простой вопрос. Попробуем вместе разобраться.

Для включения трехфазного электродвигателя в однофазную бытовую сеть обмотки статора могут иметь два вида соединения — в «звезду» (рис. 4.2, а, в, г) или в «треугольник» (рис. 4.2, б). Как в одном, так и в другом случае напряжение сети подводят к началам двух фаз. К началу третьей фазы и одному из контактов сети присоединяют пусковой 2 и рабочий 1 конденсаторы.

Рабочий конденсатор часто называют *фазосдвигающим*. Он необходим для создания вращающегося электромагнитного поля статора за счет отставания напряжения от тока в этой фазе на  $90^\circ$ .

Пусковой же конденсатор необходим для увеличения пускового момента электродвигателя.

Пусковая емкость конденсаторов:

$$C_{\Pi} = C_p + C_o,$$

где  $C_p$  — рабочая емкость,  $C_o$  — пусковая емкость.

После запуска двигателя конденсатор 2 отключают.

Рабочую емкость конденсаторного двигателя на частоте 50 Гц определяют по следующим формулам:

для схемы на рис. 4.2, а	$C_p = 2800I_n/U$
для схемы на рис. 4.2, б	$C_p = 4800I_n/U$
для схемы на рис. 4.2, в	$C_p = 1600I_n/U$
для схемы на рис. 4.2, г	$C_p = 2740I_n/U$

где  $C_p$  — рабочая емкость при номинальной нагрузке, мкФ;  $I_n$  — номинальный ток фазы двигателя, А;  $U$  — напряжение сети, В.

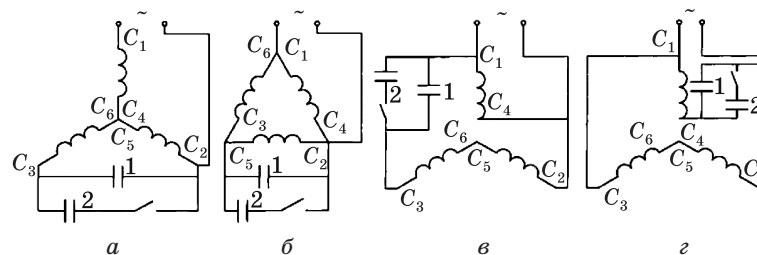


Рис. 4.2. Электрические схемы включения конденсаторов в цепь статора трехфазного асинхронного двигателя

Полезная мощность, развиваемая двигателем, в однофазном варианте не должна превышать 65–85% от номинальной мощности, указанной на щитке трехфазного двигателя.

При пуске двигателя без нагрузки пусковой емкости может не быть — рабочая емкость в этом случае будет и пусковой. Например, при изготовлении бытовой пилорамы пилу, как правило, запускают без нагрузки.

При пуске двигателя под нагрузкой, близкой к номинальной, необходимо иметь пусковую емкость:

$$C_{\Pi} = (2,5-3)C_p.$$

Выбор конденсаторов по номинальному напряжению производят, воспользовавшись следующими соотношениями:

для схемы на рис. 4.2, а, б	$U_K = 1,15U$
для схемы на рис. 4.2, в	$U_K = 2,2U$
для схемы на рис. 4.2, г	$U_K = 1,3/U$

где  $U_K$  и  $U$  — напряжение на конденсаторе и в сети.

Технические характеристики конденсаторов, пригодных для использования, приведены в табл. 4.1.

В случае, когда трехфазный электродвигатель, включенный в однофазную сеть, не развивает номинальной

скорости, а тормозится на малых оборотах, нужно увеличить сопротивление клетки ротора проточкой коротко замыкающих колец или увеличить шлифовкой ротора воздушный зазор на 15–20%.

При отсутствии нужных конденсаторов их можно заменить резисторами, которые включаются по тем же схемам, что при конденсаторном пуске (см. *рис. 4.2*). Резисторы включают взамен пусковых конденсаторов (рабочие конденсаторы в этом случае отсутствуют).

Таблица 4.1

Технические характеристики некоторых конденсаторов

Тип конденсатора	Емкость, мкФ	Номинальное напряжение, В
МБГО	1	400, 500
	2	160, 300, 400, 500
	4	160, 300, 400
	10	160, 300, 400, 500
	20	160, 300, 400, 500
	30	160, 300
МБГ 4	1; 2; 4; 10; 0,5; 1; 2; 4	250, 500
К73П-2	1; 2; 4; 6; 8; 10	400, 630
К75-12	1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10	400
К75-12	1; 2; 4; 6; 8	630
К75-40	4, 6, 8, 10, 40, 60, 80, 100	750

Какое следует применить сопротивление — можно определить по формуле:

$$R = 0,86U / (k_i I),$$

где  $R$  — сопротивление резистора, Ом;  $k_i$  — кратность пускового тока,  $I$  — линейный ток в трехфазном режиме.

Однако не все трехфазные двигатели хорошо работают при подключении к трехфазной сети. В связи с этим при выборе трехфазных двигателей для работы в бытовой сети следует отдать предпочтение электродвигателям серий А, АО, АО2, АОЛ, АПН и др.

Кроме рассмотренных, на практике применяют и другой вариант схемы (*рис. 4.3*). Эта схема работает

следующим образом. При нажатии на кнопку SB1.1 начинается запуск двигателя. После набора оборотов кнопку отпускают и контакты SB1.2 размыкаются, а контакты SB1.1 и SB1.3 остаются включенными. Контакты SB1.1 и SB1.3 размыкают только для остановки двигателя. Используя эту схему, появляется возможность реверса двигателя путем переключения фазы на его обмотке тумблером SA1. Емкость рабочего конденсатора  $C_p$ — $C1$  при соединении обмоток двигателя в «треугольник» можно определить из выражения:

$$C_p = 2800I / U,$$

где  $C_p$  — емкость рабочего конденсатора, мкФ;  $I$  — потребляемый электродвигателем ток, А;  $U$  — напряжение сети, В.

Потребляемый ток из сети, при известной мощности электродвигателя, можно определить из выражения:

$$C = P / (1,73 \cdot U \cdot \eta \cdot \cos \varphi),$$

где  $P$  — мощность двигателя, Вт,  $U$  — напряжение сети, В,  $\eta$  — КПД,  $\cos \varphi$  — коэффициент мощности.

Емкость пускового конденсатора  $C_2$  нужно взять в 2–2,5 раза больше рабочего. Рабочий и пусковой конденсаторы должны быть рассчитаны на напряжение в 1,5–2 раза больше напряжения сети. Так, например, для сети 220 В можно применить конденсаторы типа МБГО, МБПГ, МБГЧ на напряжение 500 В и выше (кроме перечисленных в *табл. 4.1*).

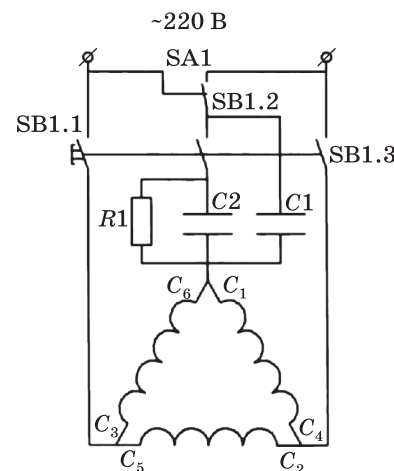


Рис. 4.3. Принципиальная схема включения трехфазного электродвигателя в сеть 220 В

На практике величину емкостей рабочих и пусковых конденсаторов выбирают в зависимости от мощности двигателя по *табл. 4.2*.

Таблица 4.2

**Значения емкостей рабочих и пусковых конденсаторов  
трехфазного электродвигателя в зависимости от его мощности  
при включении в сеть 220 В**

Мощность трехфазного двигателя, кВт	0,4	0,6	0,8	1,1	1,5	2,2
Минимальная емкость рабочего конденсатора $C_{p1}$ , мкФ	40	60	80	100	150	230
Минимальная емкость рабочего конденсатора $C_{p2}$ , мкФ	80	120	160	200	250	300

Для включения на холостом ходу электродвигателя марки АО2 мощностью 2,2 кВт на 1420 об/мин можно применить рабочий конденсатор емкостью на 230 мкФ, а пусковой — 150 мкФ. При данных приборах двигатель уверенно запускается.

А этот пример позволит помочь самостоятельно рассчитать необходимые конденсаторы применительно к имеющемуся двигателю.

Рассчитать рабочую емкость для двигателя АО 31/2, 0,6 кВт, 127/220 В, 4,2/2,4 А, если двигатель включен по схеме, изображенной на *рис. 4.2, а*, а напряжение сети равно 220 В.

#### **Пуск двигателя на холостом ходу**

1. Находим рабочую емкость

$$C_p = 2800 \cdot 2,4 / 220 = 30,5 \text{ мкФ.}$$

2. Напряжение на конденсаторе при выбранной схеме:

$$U_k = 1,15U = 1,15 \cdot 220 = 253 \text{ В.}$$

По *табл. 4.2* выбираем три конденсатора МБГО по 10 мкФ каждый с рабочим напряжением 300 В. Конденсаторы следует включать параллельно.