

В. В. МОСКАЛЕНКО

СПРАВОЧНИК ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Допущено

*Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебного пособия для образовательных учреждений,
реализующих программы начального профессионального образования*

7-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2012

УДК 621.3
ББК 31.2
М82

Рецензенты:

ректор Института повышения квалификации энергетиков
«ВИПКЭНЕРГО» д-р техн. наук, проф. *О. А. Терешко*;
зам. директора по УМР ГОУ НПО ПЛ-1 г. Кемерово *С. О. Шевалье*;
преподаватель спецдисциплин ГОУ НПО ПЛ-18 г. Кингисепп *Е. В. Ерохова*

Москаленко В. В.

М82 Справочник электромонтера : учеб. пособие для учреждений нач. проф. образования / В. В. Москаленко. — 7-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 368 с.
ISBN 978-5-7695-9170-9

Содержатся сведения о назначении и технических характеристиках основных видов электрооборудования: кабельных и электроизоляционных изделий, электрических аппаратов низкого и высокого напряжений, трансформаторов, электрических машин, полупроводниковых приборов и преобразователей, резисторов, конденсаторов и реакторов, электроприводов и электротехнологических установок и осветительных приборов. Приводятся также сведения из электротехники, расчетные соотношения для выбора и проверки электрооборудования и содержатся примеры решения типовых задач.

Для учащихся учреждений начального профессионального образования.

УДК 621.3
ББК 31.2

Учебное издание

Москаленко Владимир Валентинович

Справочник электромонтера

Учебное пособие

7-е издание, стереотипное

Редактор *Е. В. Чинарина*. Технический редактор *О. Н. Крайнова*
Компьютерная верстка: *Н. В. Протасова*
Корректоры *Н. Л. Котелина*, *И. В. Могилевец*

Изд. № 107103032. Подписано в печать 03.05.2012. Формат 60×90/16. Гарнитура «Таймс».
Бумага офс. № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 23,0. Тираж 1 500 экз. Заказ №

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru
125252, Москва, ул. Зорге, д. 15, корп. 1, пом. 266.

Адрес для корреспонденции: 129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 16067 от 06.03.2012.

Отпечатано с электронных носителей издательства.

ОАО «Тверской полиграфический комбинат», 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.
Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.

Home page — www.tverpk.ru. Электронная почта (E-mail) — sales@tverpk.ru

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Москаленко В. В., 2008

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2008

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2008

ISBN 978-5-7695-9170-9

ВВЕДЕНИЕ

Выработка, передача, распределение, преобразование и использование электрической энергии осуществляется с помощью самого разнообразного электротехнического и электромеханического оборудования. Его совершенствование происходит непрерывно за счет применения новых конструктивных решений, материалов, элементов и технологии изготовления.

Одно из наиболее значимых направлений такого технического прогресса связано с широким применением полупроводниковых элементов и устройств и средств вычислительной техники. Это позволяет расширить функциональные возможности и области применения электрооборудования, повысить технико-экономические характеристики, надежность работы и удобство в эксплуатации как самого электрооборудования, так и обслуживаемых им технологических агрегатов, рабочих машин и механизмов. Одновременно с этим возрастает и уровень требований к квалификации электротехнического персонала, который занимается монтажом, наладкой, эксплуатацией, ремонтом и модернизацией электрооборудования.

Учебное пособие призвано помочь учащимся освоить непростые, но интересные и перспективные специальности электрика или электромеханика. В нем наряду с традиционным и давно применяемым представлено новое электрооборудование, в том числе полупроводниковые устройства автоматики, силовые преобразователи электроэнергии и микропроцессорные средства управления.

Краткие сведения из электротехники и приведенные в соответствующих разделах аналитические выражения помогут при выборе и проверке электрооборудования по его техническим параметрам. Изложение материала сопровождается примерами решения типовых задач, а для проверки степени усвоения материала в конце каждой главы приведены контрольные вопросы.

Особенностью учебного пособия является то положение, что в нем рассматривается отечественное электрооборудование как новых, так и находящихся в эксплуатации типов.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

1.1. Электротехнические величины, их обозначения и единицы измерения

В науке и технике используется Международная система единиц (СИ), в которой приняты следующие основные единицы и их обозначения:

метр (м, m) — единица длины, равная расстоянию, которое проходит свет в вакууме за $1/299\,792\,458$ -ю долю секунды;

килограмм (кг, kg) — единица массы, равная массе международного прототипа килограмма;

секунда (с, s) — единица времени, равная $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133;

ампер (А) — единица силы электрического тока, равная силе неизменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малому поперечного кругового сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н;

кельвин (К) — единица термодинамической температуры (T), равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды. Допускается применение также градусов Цельсия (t). Их связь определяется соотношением

$$t = T - T_0, \text{ где } T_0 = 273,15 \text{ К;}$$

моль (моль, mol) — единица количества вещества, равная количеству вещества системы, содержащей столько структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой $0,012$ кг;

кандела (кд, cd) — единица силы света, равная силе света источника, испускающего в заданном направлении монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Дополнительными единицами в системе СИ являются:

радиан (рад, rad) — единица плоского угла, равная углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу ($1 \text{ рад} = 57^\circ 17' 44,8''$);

стерадиан (ср, sr) — единица телесного угла, равная телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности

сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Основные электрические, магнитные и механические величины, их единицы и обозначения приведены в табл. 1.1—1.3.

Таблица 1.1

Единицы электрических величин

Наименование величины	Наименование единицы	Выражение через основные единицы СИ	Условное обозначение
Электрический ток	ампер	A	<i>I</i>
Количество электричества, электрический заряд	кулон	A · с	<i>q</i>
Электрический потенциал, напряжение, ЭДС	вольт	$V = \text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А} \cdot \text{с}^3)$	<i>U</i>
Напряженность электрического поля	вольт на метр	$V/\text{м} = \text{кг} \cdot \text{м} / (\text{А} \cdot \text{с}^3)$	<i>H</i>
Электрическая емкость	фарад	$\text{А}^2 \cdot \text{с}^4 / (\text{кг} \cdot \text{м}^2) = \text{с} / \text{Ом}$	<i>C</i>
Электрическое сопротивление	ом	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^3) = V/\text{А} = \text{Ом}$	<i>R</i>
Полная мощность	вольт-ампер	$V \cdot \text{А}$	<i>S</i>
Активная мощность	ватт	$V \cdot \text{А}$	<i>P</i>
Реактивная мощность	вар	вар	<i>Q</i>
Энергия (работа)	джоуль	$V \cdot \text{А} \cdot \text{с}$	<i>J</i>

Таблица 1.2

Единицы магнитных величин

Наименование величины	Наименование единицы	Выражение через основные единицы СИ	Условное обозначение
Магнитный поток	вебер	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А} \cdot \text{с}^2) = V \cdot \text{с}$	Φ
Магнитная индукция	тесла	$\text{кг} / (\text{А} \cdot \text{с}^2)$	<i>B</i>
Абсолютная магнитная проницаемость	генри на метр	$\text{кг} \cdot \text{м} / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^2) = \Gamma_{\text{H}}/\text{м}$	μ

Наименование величины	Наименование единицы	Выражение через основные единицы СИ	Условное обозначение
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	А/м	H_M
Индуктивность, взаимная индуктивность	генри	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^2) = \text{В} \cdot \text{с} / \text{А} = \text{Вб} / \text{А} = \text{Ом} \cdot \text{с} = \text{Гн}$	L
Магнитодвижущая сила, разность магнитных потенциалов	ампер	А	F_M
Магнитное сопротивление	ампер на вебер	$\text{с}^2 \cdot \text{А}^2 / (\text{м}^2 \cdot \text{кг}) = \text{А} / \text{Вб} = 1 / \text{Гн}$	R_M
Магнитная проводимость	вебер на ампер	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} / (\text{с}^2 \cdot \text{А}^2) = \text{Гн} = \text{Вб} / \text{А}$	g_M

Таблица 1.3

Единицы механических величин

Наименование величины	Наименование единицы	Выражение через основные единицы СИ	Условное обозначение
Длина	метр	м	L
Масса	килограмм	кг	m
Время	секунда	с	t
Площадь	квадратный метр	м^2	S
Объем	кубический метр	м^3	V
Сила	ньютон	$\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$	F
Плотность	килограмм на кубический метр	$\text{кг} / \text{м}^3$	g
Момент силы	ньютон-метр	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2 = \text{Н} \cdot \text{м}$	M
Работа, энергия	джоуль	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2 = \text{Дж}$	J
Мощность	ватт	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^3 = \text{Дж} / \text{с} = \text{Вт}$	P
Давление	паскаль	$\text{кг} / (\text{м} \cdot \text{с}^2) = \text{Н} / \text{м}^2 = \text{Па}$	p

Наименование величины	Наименование единицы	Выражение через основные единицы СИ	Условное обозначение
Момент инерции (динамический)	килограмм-квадратный метр	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	J
Скорость	метр в секунду	$\text{м}/\text{с}$	v
Ускорение	метр на секунду в квадрате	$\text{м}/\text{с}^2$	a
Угловая скорость	радиан в секунду	$\text{рад}/\text{с}$	ω
Угловое ускорение	радиан на секунду в квадрате	$\text{рад}/\text{с}^2$	ϵ
Период	секунда	с	T
Частота периодического процесса	герц	$\text{с}^{-1} = \text{Гц}$	f

Таблица 1.4

Соотношения единиц энергии

Единица	Дж	кВт·ч	кгс·м	ккал
1 Дж	1	$2,78 \cdot 10^{-7}$	0,102	$2,39 \cdot 10^{-4}$
1 кВт·ч	$3,6 \cdot 10^6$	1	$3,67 \cdot 10^5$	860
1 кгс·м	9,81	$2,72 \cdot 10^{-6}$	1	$2,34 \cdot 10^{-3}$
1 ккал	$4,19 \cdot 10^3$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	427	1

Таблица 1.5

Соотношения единиц мощности

Единица	Вт	кВт	кгс·м/с	л.с	ккал/с
1 Вт	1	$1 \cdot 10^{-3}$	0,102	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$2,39 \cdot 10^{-4}$
1 кгс·м/с	9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	1	$1,33 \cdot 10^{-2}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$
1 л.с	0,736	0,736	75	1	0,176
1 ккал/с	$4,19 \cdot 10^3$	4,19	427	5,69	1

В технике применяются и другие единицы величин. Их соотношения с единицами энергии и мощности системы СИ приводятся в табл. 1.4 и 1.5.

В некоторых областях науки и техники применяются другие частные системы единиц, например МКС, МКСА, СГС и др. Соотношение единиц этих систем и системы СИ приведены в [1, 22].

Важнейшие физические постоянные:

ускорение свободного падения	$g_0 = 9,80665 \text{ м/с}^2$
заряд электрона	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
масса покоя электрона	$m_e = 9,109 \cdot 10^{-28} \text{ г}$
магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2 = 8,86 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м,}$
где $c = 299\,792\,458 \text{ м/с}$ — скорость света в вакууме	
гравитационная постоянная	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
постоянная Планка	$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
универсальная газовая постоянная	$R = 8,314 \text{ Дж/(К} \cdot \text{моль)}$
температурный коэффициент объемного расширения идеальных газов	$\alpha = 0,00366 \text{ К}^{-1}$
число Авогадро	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ молекул/моль}$
число Фарадея	$F = 96\,485 \text{ Кл/моль.}$

1.2. Основные понятия электротехники и электрооборудования

Электротехника — отрасль науки и техники, связанная с применением электрических и магнитных явлений для преобразования энергии, получения веществ, обработки материалов, передачи информации и охватывающая вопросы получения, преобразования, передачи, распределения и использования электроэнергии. Значение электротехники определяется широким использованием электрической энергии во всех сферах практической деятельности человека как наиболее универсального и удобного вида энергии.

Электроснабжение — совокупность мероприятий по обеспечению электроэнергией различных потребителей.

Потребитель электроэнергии — электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории. Примеры потребителей электроэнергии: предприятие, организация, цех, строительная площадка, квартира, у которых приемники электроэнергии присоединены к электрической сети и используют электрическую энергию.

Приемник электрической энергии (электроприемник) — аппарат, или агрегат, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии. Примеры приемников: электропри-

вод рабочих машин и механизмов, электротехнологические установки, вычислительные машины, электроосветительные приборы.

Система электроснабжения — совокупность электроустановок, предназначенная для обеспечения потребителей электроэнергией.

Электроустановка — совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они находятся), предназначенных для производства, преобразования, передачи, накопления и распределения электроэнергии и преобразования ее в другие виды энергии. Примеры электроустановок: электрическая подстанция, линия электропередач, конденсаторная установка, электрический привод, сварочная установка.

Электростанция — предприятие, производящее электрическую, а в отдельных случаях и тепловую энергию, например тепловая (ТЭС), атомная (АЭС), гидравлическая (ГЭС) электростанции.

Энергетическая система — совокупность соединенных между собой электростанций, электрических и тепловых сетей, осуществляющих непрерывный процесс производства, преобразования и распределения электрической и тепловой энергий при общем управлении этим процессом.

Электрическая сеть — совокупность электроустановок для передачи и распределения электроэнергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Электрическая подстанция — электроустановка, предназначенная для преобразования и распределения электроэнергии и включающая в себя трансформаторы или другие преобразователи электроэнергии, распределительные устройства, устройства управления и защиты и вспомогательное оборудование. Виды подстанций: трансформаторная (ТП); преобразовательная (ПП); комплектная (КТП или КПП), которая полностью укомплектована, собрана и готова к установке.

Распределительное устройство (РУ) — электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства и устройства автоматики, защиты и измерений. Виды РУ: открытое (ОРУ) для использования на открытом воздухе; закрытое (ЗРУ) для размещения в зданиях; комплектное для внутренней (КРУ) и наружной (КРУН) установок.

Распределительный пункт (РП) — предназначен для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении без трансформации и преобразования.

Станция управления — комплектное устройство напряжением до 1 кВ, предназначенное для управления электроустановками или их частями с автоматизированным выполнением функций уп-

вления, регулирования, защиты и сигнализации. Конструктивно станции управления выполняются в виде блоков, панелей, шкафов или щитов.

Электрическое хозяйство предприятия — совокупность генерирующих, преобразующих и передающих электроустановок, посредством которых осуществляется снабжение предприятия электроэнергией и эффективное ее использование в технологических и производственных процессах. Электрическое хозяйство — это также людские, вещественные, энергетические ресурсы и информационное обеспечение, которые необходимы для его функционирования; автоматика технологических процессов; электроосвещение; эксплуатация и ремонт электрооборудования.

Электричество — совокупность явлений, в которых проявляется существование, движение и взаимодействие посредством электромагнитного поля заряженных частиц.

Электромагнитное поле — особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между заряженными частицами.

Электрическое поле — частная форма проявления электромагнитного поля, создаваемого электрическими зарядами и характеризующееся напряженностью электрического поля.

Магнитное поле — частная форма проявления электромагнитного поля, создаваемого движущимися электрическими зарядами и атомными носителями магнетизма (электронами, протонами и др.).

Электродвижущая сила (ЭДС) — величина, характеризующая источник электроэнергии в электрической цепи, необходимый для поддержания в ней электрического тока. ЭДС численно равна работе по перемещению единичного положительного заряда вдоль замкнутой цепи и измеряется в вольтах (В).

Электрическое напряжение (напряжение, разность потенциалов) между двумя точками электрической цепи также численно равно работе по перемещению единичного положительного заряда вдоль замкнутой цепи и измеряется в вольтах (В). Напряжение по характеру своего изменения во времени бывает постоянным или переменным.

Напряжением постоянного тока называется напряжение, которое не изменяется во времени по направлению, но может изменяться по своему значению (уровню). Напряжением переменного тока называется напряжение, изменяющееся во времени обычно по синусоидальному закону.

Кроме синусоидального напряжения в электрических цепях и устройствах могут действовать несинусоидальные напряжения переменного тока. Для удобства расчетов они обычно представлены определенной совокупностью синусоидальных напряжений различных амплитуд и частот изменения. Эти составляющие в электротехнике получили название *гармоник напряжения*.

Электрический ток — направленное движение заряженных частиц (электронов, ионов и др.) под воздействием электрического поля, характеризуется зарядом (количеством электричества), проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени. Количественно ток характеризуется силой, измеряемой в амперах (А), которая соответствует перемещению через поперечное сечение проводника в течение одной секунды (с) заряда электричества величиной в один кулон (Кл): $1 \text{ А} = 1 \text{ Кл/с}$. Условно за положительное направление тока принимают направление движения положительных зарядов.

Электрический ток по характеру своего изменения во времени по аналогии с напряжением бывает постоянным или переменным. *Постоянным током* называется электрический ток, который не изменяет своего направления во времени, хотя и может изменяться по своему значению (уровню).

Переменным током называется электрический ток, изменяющийся во времени и по своей величине. Чаще всего переменный ток выражается синусоидальной зависимостью своей величины от времени.

Кроме синусоидального тока по электрическим цепям и устройствам могут протекать несинусоидальные токи, которые для удобства расчетов обычно представлены определенной совокупностью синусоидальных токов различных амплитуд и частот изменения. Эти составляющие в электротехнике получили название *гармоник тока*.

Электрическая мощность — работа электрического тока в единицу времени, измеряемая в системе единиц СИ в ваттах ($1 \text{ Вт} = \text{В} \cdot \text{А}$). Электрическая мощность в цепи постоянного тока равна произведению напряжения и тока, а в цепях переменного тока полная мощность определяется произведением их действующих значений.

Электрическая энергия — работа электрического тока, определяемая произведением электрической мощности и времени и измеряемая в джоулях: $1 \text{ Дж} = \text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$.

1.3. Основные законы электротехники

Все явления, имеющие место в электротехнических устройствах, элементах и цепях, подчиняются основным законам электротехники как одного из разделов физики.

1. Закон электромагнитной индукции Фарадея. *Электродвижущая сила e , наводимая в контуре из проводников, пропорциональна скорости изменения во времени потокосцепления ψ контура, взятой со знаком минус:*

$$e = -d\psi/dt,$$

где ψ — потокосцепление, $\psi = \Phi w$ (Φ — магнитный поток; w — число проводников в контуре).

Этот закон позволяет определить величину ЭДС самоиндукции e_L , которую наводит изменяющийся во времени электрический ток i , проходящий по контуру с индуктивностью L :

$$e_L = -Ldi/dt,$$

и ЭДС взаимной индукции e_B , наводимую в одном из двух магнитно-связанных контуров, если в другом происходит изменение величины тока i :

$$e_B = (\pm)M_{12}di/dt,$$

где M_{12} — коэффициент взаимной индукции, Гн.

Знак «+» ставят при встречных направлениях магнитных потоков, знак «-» ставят при согласных направлениях.

При перемещении проводника в магнитном поле с неизменным магнитным потоком в нем наводится ЭДС:

$$e = BLvsin\alpha,$$

где B — магнитная индукция поля, Тл; L — длина проводника, м; v — скорость движения проводника, м/с; α — угол между векторами магнитной индукции и скорости, град.

2. Закон Ленца. *Если по контуру протекает изменяющийся ток, то он создает изменяющийся магнитный поток, наводящий в контуре ЭДС и направленный так, чтобы воспрепятствовать всякому изменению тока.* Эта ЭДС также называется ЭДС самоиндукции.

3. Закон Джоуля — Ленца. *Количество теплоты Q , выделяемой в проводнике при прохождении по нему электрического тока I , прямо пропорционально квадрату силы этого тока, сопротивлению R проводника и времени t прохождения тока:*

$$Q = I^2 Rt.$$

4. Закон электромагнитных сил Ампера. *Сила F , действующая на проводник с током I и длиной L , помещенный в магнитное поле с индукцией B , прямо пропорциональна произведению магнитной индукции, длины проводника, силы тока в проводнике и зависит от направления магнитной индукции и тока, H :*

$$F = BILsin\alpha,$$

где α — угол между векторами магнитной индукции и тока.

Сила взаимодействия, H , двух длинных проводов одинаковой длины L и расположенных параллельно друг другу на расстоянии a :

$$F = \mu_r \mu_0 I_1 I_2 L / (2\pi a),$$

где μ_r и μ_0 — соответственно относительная и абсолютная магнитные проницаемости; I_1 и I_2 — токи в проводах, А.

5. Закон электролиза Фарадея. При проходящем через электролит неизменном токе I за время t из раствора выделяется масса вещества M , пропорциональная току и времени, кг:

$$M = kIt,$$

где k — электрохимический эквивалент выделяемого вещества.

6. Закон электростатики Кулона. Сила F взаимодействия двух точечных неподвижных зарядов q_1 и q_2 , расположенных на расстоянии L друг от друга в однородной среде, прямо пропорциональна величине зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, Н:

$$F = q_1 q_2 / (4\pi\epsilon_r \epsilon_0 L^2).$$

7. Первый закон Ома для участка цепи (проводника), не содержащего источников ЭДС. Сила тока в проводнике прямо пропорциональна разности потенциалов (напряжению) на его концах и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

8. Второй закон Ома для замкнутой неразветвленной цепи с источником ЭДС. Сила тока прямо пропорциональна ЭДС и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи.

Математические формулы, отражающие эти законы для цепей постоянного и переменного тока, приведены в подразд. 1.4 и 1.5.

9. Первое правило Кирхгофа. Алгебраическая сумма сил токов в узле электрической цепи равна нулю.

10. Второе правило Кирхгофа. Алгебраическая сумма электродвижущих сил замкнутого контура электрической цепи равна алгебраической сумме падений напряжений в нем.

Падение напряжения представляет собой произведение силы тока на сопротивление. Формулы, выражающие второе правило Кирхгофа для цепей постоянного и переменного тока, приведены в подразд. 1.4 и 1.5.

11. Уравнения Максвелла. Они являются основными уравнениями электродинамики и описывают электромагнитные явления в произвольных средах и в вакууме. Для электромагнитного поля для линейной изотропной среды эти уравнения имеют следующий вид:

закон полного тока —

$$\operatorname{rot}\mathbf{H} = \mathbf{E} + \epsilon_r \epsilon_0 d\mathbf{E}/dt;$$

закон электромагнитной индукции —

$$\operatorname{rot}\mathbf{E} = \mu_r \mu_0 d\mathbf{H}/dt;$$

$$\mathbf{B} = \mu_r \mu_0 \mathbf{H}; \quad \mathbf{D} = \epsilon_r \epsilon_0 \mathbf{E},$$

где \mathbf{H} — вектор напряженности магнитного поля; \mathbf{E} — вектор напряженности электрического поля; \mathbf{B} — вектор магнитной индукции; \mathbf{D} — вектор тока смещения; $\mu_r \mu_0$ — относительная и абсолютная магнитная проницаемость; $\epsilon_r \epsilon_0$ — относительная и абсолютная электрические постоянные.

1.4. Цепи постоянного тока

Электрической цепью называется совокупность электротехнических элементов и устройств и соединяющих их проводников (или элементов токопроводящей среды), по которым может протекать электрический ток. Электрические цепи изображаются в виде электрических схем, на которых элементы и устройства представлены своими условными изображениями и соединены проводниками в соответствии со своей структурой и существующими связями. Электрические схемы применяются для расчетов токов, напряжений, мощности и других электрических переменных, характеризующих работу электротехнических элементов и устройств в установившихся и динамических (переходных) режимах.

Электрические цепи могут быть линейными и нелинейными. В линейных цепях параметры цепей не зависят от действующих в них токов и напряжений, в то время как для нелинейных цепей такие зависимости могут иметь место. В дальнейшем будут рассмотрены линейные цепи, а расчеты нелинейных цепей приводятся в [30].

Основными элементами линейных цепей постоянного тока являются линии, резисторы и источники ЭДС и тока, условные изображения и обозначения которых на электрических схемах приведены на рис. 1.1.

Для примера на рис. 1.2 приведена электрическая схема цепи постоянного тока, включающая в себя источник электроэнергии с ЭДС E_1 и резисторы R_1 , R_2 и R_3 . Участок схемы, по которому протекает один и тот же ток, называется *ветвью*, их на рисунке три. Ветви соединяются в узлы a и b . Если ветвь содержит источник электроэнергии, то она называется активной, если нет — то пассивной. На рисунке ветвь с источником ЭДС является активной, а остальные ветви — пассивными.

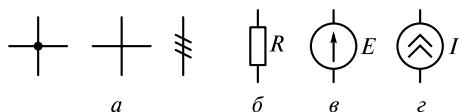


Рис. 1.1. Условные изображения на электрических схемах:

a — электрических линий; b — резистора; v — источника ЭДС; z — источника тока

Активное сопротивление проводника электрического тока определяется его материалом, геометрическими размерами, зависит от температуры и может быть рассчитано по следующей формуле:

$$R = \rho l / S,$$

где ρ — удельное сопротивление материала, $\text{Ом} \cdot \text{м}$, $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$; α — температурный коэффициент сопротивления материала, $1/^\circ\text{C}$; t — температура материала, $^\circ\text{C}$; l — длина проводника, м ; S — площадь поперечного сечения проводника, м^2 .

При последовательном соединении резисторов в одной ветви их эквивалентное сопротивление $R_{\text{экр}}$, Ом , находится как сумма сопротивлений R_i отдельных резисторов по формуле

$$R_{\text{экр}} = \sum R_i,$$

а при их параллельном соединении — в соответствии с формулой

$$1/R_{\text{экр}} = \sum (1/R_i).$$

Активная проводимость проводника есть величина, обратная сопротивлению, которая определяется формулой

$$g = 1/R.$$

Источники электроэнергии в электрических цепях бывают двух видов: источники напряжения (ЭДС) и источники тока. Источник напряжения имеет небольшое внутреннее сопротивление, поэтому величина его выходного напряжения мало зависит от тока нагрузки. Его внешняя характеристика, представляющая собой зависимость выходного напряжения от тока, является горизонтальной линией, что показано на рис. 1.3, *a*.

Идеальный источник тока имеет внешнюю характеристику в виде вертикальной линии (рис. 1.3, *б*), что определяет независимость отдаваемого им тока от выходного напряжения. Источники тока имеют большое внутреннее сопротивление.

Расчет электрических переменных в цепях постоянного тока ведется с использованием законов Ома, правил Кирхгофа и специальных методов расчета.

Закон Ома для участка цепи постоянного тока выражается формулой

$$I = U/R.$$

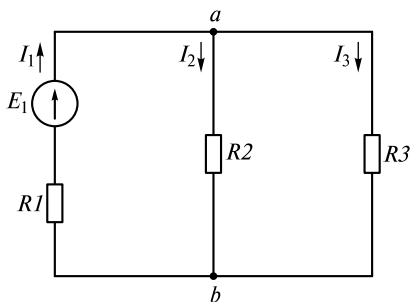


Рис. 1.2. Пример электрической схемы

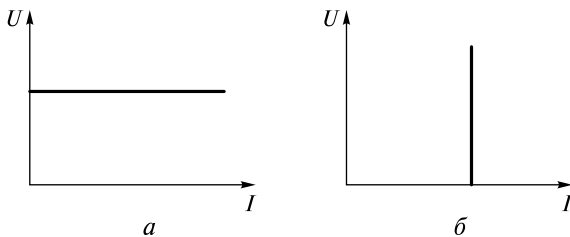


Рис. 1.3. Внешние характеристики:
a — источника напряжения; *б* — источника тока

Закон Ома для замкнутой неразветвленной цепи постоянного тока:

$$I = \sum E / \sum R.$$

Первое и второе правила Кирхгофа для цепей постоянного тока имеют следующий вид:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0; \quad \sum_{i=1}^m E_i = \sum_{k=1}^n I_k R_k.$$

Для расчетов токов в разветвленных цепях постоянного тока используются методы контурных токов, двух узлов, наложения и эквивалентного генератора. Применение этих методов расчета рассматривается в [22].

Пример 1.1. Определить активное сопротивление медного провода длиной $l = 40$ м, сечением $S = 2,5$ мм² при его температуре $t = 50^\circ$.

Решение. 1. Для меди при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ удельное активное сопротивление $\rho_0 = 0,017 \cdot 10^{-6}$ Ом·м и температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 43 \cdot 10^{-4}$ 1/°C.

2. Определяем искомое сопротивление при температуре $t = 50^\circ$:
 $R = \rho l / S = \rho_0(1 + \alpha t) l / S = (0,017 \cdot 10^{-6}(1 + 43 \cdot 10^{-4} \cdot 50)40) / 2,5 \cdot 10^{-6} = 0,33$ Ом

Пример 1.2. Для схемы на рис. 1.2 известны: $E_1 = 100$ В; $R_1 = 0,67$ Ом; $R_2 = 0,5$ Ом; $R_3 = 1$ Ом. Найти значения токов I_1 , I_2 , I_3 .

1. Находим эквивалентное сопротивление $R_{\text{ЭКВ}}$ ветвей схемы с сопротивлениями R_2 и R_3 :

$1/R_{\text{ЭКВ}} = 1/R_2 + 1/R_3 = 1/0,5 + 1/1 = 3$ Ом, откуда $R_{\text{ЭКВ}} = 1/3 = 0,33$ Ом.

2. Определяем суммарное сопротивление для тока I_1 :

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_{\text{ЭКВ}} = 0,67 + 0,33 = 1 \text{ Ом.}$$

3. Рассчитываем значение тока I_1 :

$$I_1 = E_1 / R_{\Sigma} = 100 / 1 = 100 \text{ А.}$$

4. Находим разность потенциалов между точками *a* и *b*:

$$\Phi_a - \Phi_b = U_{ab} = E_1 - I_1 R_1 = 100 - 100 \cdot 0,67 = 33 \text{ В.}$$

5. Находим токи в ветвях схемы I_2 и I_3 :

$$I_2 = U_{ab}/R_2 = 33/0,5 = 66 \text{ А}; I_3 = U_{ab}/R_3 = 33/1 = 33 \text{ А.}$$

1.5. Цепи переменного тока

В промышленных и других электроустановках основное применение находят однофазный и трехфазный синусоидальные напряжение и ток. Мгновенное значение синусоидального переменного напряжения изменяется во времени по следующему периодическому закону:

$$u = U_m \sin \omega t,$$

где U_m — амплитудное (наибольшее) значение напряжения; ω — угловая скорость изменения напряжения, рад/с, $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$; f — частота колебаний напряжения (число колебаний напряжения в единицу времени), Гц (в России и во многих других странах 50 Гц); T — период колебаний тока, $T = 1/f$.

Мгновенное значение синусоидального переменного тока изменяется по аналогии с напряжением по следующему периодическому закону:

$$i = I_m \sin \omega t,$$

где I_m — амплитудное (наибольшее) значение тока, А.

Кроме мгновенных и амплитудных значений при расчете цепей переменного тока используют действующее и среднее значения переменных напряжения и тока. Действующие значения тока и напряжения представляют собой среднеквадратичное за период T значение соответственно тока и напряжения, определяемое по формулам:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}; U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}.$$

Действующее значение тока производит тот же тепловой эффект, что и такой же по величине постоянный ток. Действующее значение синусоидальных напряжения и тока в $\sqrt{2}$ раз меньше их амплитудных значений.

Средние значения тока и напряжения определяются выражениями:

$$I_{cp} = (2/T) \int_0^{T/2} i dt; U_{cp} = (2/T) \int_0^{T/2} u dt.$$

Среднее значение синусоидальных напряжения и тока в $(2/\pi)$ раз меньше мгновенных их значений.

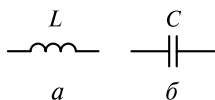


Рис. 1.4. Условные изображения:

а — индуктивного элемента; *б* — емкостного элемента

В цепях переменного тока кроме активных сопротивлений могут присутствовать реактивные сопротивления — индуктивное, емкостное и полное, определяемое активным и реактивными сопротивлениями.

Индуктивное сопротивление — это величина, характеризующая сопротивление, оказываемое переменному току индуктивностью цепи, элемента или устройства. Величина индуктивного сопротивления, Ом, определяется по формуле

$$x_L = 2\pi fL = \omega L,$$

где L — индуктивность.

Индуктивностью L и индуктивным сопротивлением обладают обмотки трансформаторов и электрических машин, катушки электрических аппаратов, реакторы, дроссели, кабели и т.д. В цепях постоянного тока индуктивное сопротивление проявляется лишь в переходных процессах, когда имеет место изменение тока и магнитного поля. Условное изображение индуктивного элемента (реактора, дросселя, катушки, обмотки) представлено на рис. 1.4, *а*.

Реактивная мощность, вар, запасенная в индуктивном сопротивлении в установившемся режиме, определяется по формуле

$$Q_L = I^2 x_L.$$

Емкостное сопротивление — это величина, характеризующая сопротивление, оказываемое переменному току электрической емкостью. Величина емкостного сопротивления, Ом, определяется по формуле

$$x_C = 1/(2\pi fC) = 1/(\omega C),$$

где C — емкость.

Основным элементом, создающим емкостное сопротивление, является конденсатор. Емкостным сопротивлением обладают также проводники воздушных и кабельных линий по отношению друг к другу и к земле и ряд других элементов и устройств. В цепях постоянного тока емкостное сопротивление проявляется лишь в переходных процессах. Условное изображение емкостного элемента (конденсатора) приведено на рис. 1.4, *б*.

Реактивная мощность, вар, запасенная в емкостном сопротивлении в установившемся режиме, определяется по формуле

$$Q_C = I^2 x_C.$$

Полное комплексное сопротивление элемента с активным R и реактивным x сопротивлением определяется по формуле

$$z = \sqrt{R^2 + x^2}.$$

Мощность однофазного переменного тока определяется по формулам:

активная, Вт, —

$$P = UI \cos \varphi;$$

реактивная, вар, —

$$Q = UI \sin \varphi;$$

полная (кажущаяся), В·А, —

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

где φ — угол между векторами напряжения и тока.

Коэффициент мощности $\cos \varphi$ определяется по следующим соотношениям:

$$\cos \varphi = P/S = U_a/U = I_a/I = R/Z,$$

где U_a, I_a — активные составляющие полного напряжения U и тока I .

Мощность трехфазного переменного тока определяется по формулам:

активная, Вт, —

$$P = 3 U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi;$$

реактивная, вар, —

$$Q = 3 U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi;$$

полная (кажущаяся), В·А, —

$$S = 3 U_{\phi} I_{\phi} = 3 \sqrt{P^2 + Q^2},$$

где U_{ϕ}, I_{ϕ} — соответственно фазные напряжение и ток.

При соединении элементов трехфазной системы в звезду (рис. 1.5, а) между токами и напряжениями имеет место следующее соотношение:

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\phi}; I_{\text{л}} = I_{\phi};$$

а при соединении в треугольник (рис. 1.5, б) —

$$U_{\phi} = U_{\text{л}}; I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\phi},$$

где $U_{\text{л}}, I_{\text{л}}$ — соответственно линейные напряжение и ток.

Пример 1.3. Определить индуктивное сопротивление реактора с индуктивностью $L = 0,015$ Гн при частоте $f = 50$ Гц.

Решение. Используя формулу для расчета индуктивного сопротивления x_L , находим его величину при заданных условиях:

$$x_L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,015 = 4,71 \text{ Ом.}$$

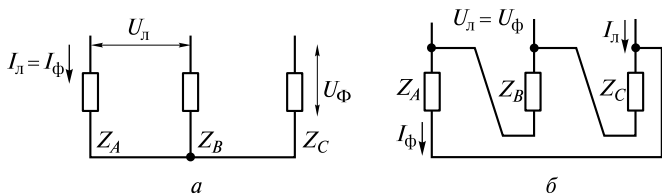


Рис. 1.5. Схемы соединения электроприемников:

а — в звезду; *б* — в треугольник

Пример 1.4. Определить емкостное сопротивление конденсатора с емкостью $C = 2 \text{ мФ}$ при частоте $f = 400 \text{ Гц}$.

Решение. Используя формулу для расчета емкостного сопротивления x_C , находим его величину при заданных условиях:

$$x_C = 1/(2\pi fC) = 1/(2 \cdot 3,14 \cdot 400 \cdot 2 \cdot 10^{-6}) = 200 \text{ Ом.}$$

Пример 1.5. Электрическая установка, подключенная к однофазной сети переменного тока, потребляет активную мощность $P = 3200 \text{ Вт}$ при напряжении $U = 380 \text{ В}$ и токе $I = 15 \text{ А}$. Определить коэффициент мощности $\cos\varphi$, реактивную Q и полную S мощности.

Решение. 1. Коэффициент мощности $\cos\varphi$:

$$\cos\varphi = P/(UI) = 3200/(380 \cdot 15) = 0,56.$$

2. Реактивная мощность установки:

$$Q = UI \sin\varphi = UI \sqrt{(1 - \cos^2\varphi)} = 380 \cdot 15 \sqrt{(1 - 0,56^2)} = 4720 \text{ вар.}$$

3. Полная (кажущаяся) мощность установки:

$$S = UI = 380 \cdot 15 = 5700 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

1.6. Магнитные цепи

Формулы для расчетов магнитных цепей по своему виду повторяют формулы для расчетов электрических цепей, при этом магнитный поток Φ имеет своим аналогом электрический ток, магнитодвижущая сила (МДС) магнитной цепи F_M — ЭДС, а магнитное напряжение U_M — электрическое напряжение.

МДС катушки, A , определяется формулой

$$F_M = wI,$$

где w — число витков катушки; I — ток катушки, A .

Магнитное напряжение, A , для участка цепи длиной L :

$$U_M = HL = \Phi R_M,$$

где H — напряженность магнитного поля, $H = B/\mu_r\mu_0$; R_M — магнитное сопротивление участка, $1/\text{Гн}$, $R_M = L/\mu_r\mu_0 S$; S — поперечное сечение участка, м^2 .

Магнитная индукция, Тл, для участка цепи:

$$B = \Phi/S,$$

где Φ — магнитный поток.

Энергия магнитного поля, Дж, сосредоточенная в объеме V магнитного поля:

$$W = HBV/2.$$

Для магнитных цепей по полной аналогии с электрическими цепями применимы законы Ома и правила Кирхгофа.

Первое правило Кирхгофа для магнитной цепи: сумма магнитных потоков, сходящихся в узле магнитной цепи, равна нулю:

$$\sum \Phi = 0.$$

Второе правило Кирхгофа для магнитной цепи: сумма МДС магнитного контура равна сумме падений магнитных напряжений:

$$\sum F_M = \sum HL = \sum \Phi R_M.$$

1.7. Категории электротехнических помещений и оборудования

Проектирование, монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт электрооборудования должны проводиться в соответствии с нормами и правилами, изложенными в следующих нормативных документах: «Правила устройства электроустановок» [13] и «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» [12]. Приведем некоторые основные общие положения этих документов, касающиеся исполнения электрооборудования и видов помещений, в которых оно располагается.

Электрооборудование (электроустановки). Электроустановки по условиям безопасности подразделяются на электроустановки напряжением до 1 000 В и свыше 1 000 В. *Открытыми*, или наружными, называются электроустановки, не защищенные зданием от воздействий окружающей среды. *Внутренними* называются электроустановки, расположенные внутри помещений (зданий).

Исполнение электроустановок должно обеспечивать их надежную работу в течение нормативного срока службы при данных условиях эксплуатации и окружающей среды и безопасность для обслуживающего персонала. Это обеспечивается выбором номинальных паспортных данных электроустановок — мощности, напряжения, тока и их исполнения, которые должны соответствовать условиям их эксплуатации.

Характеристика способов защиты электрооборудования

Класс изделия	Характеристика изделия
0	Имеет рабочую изоляцию и не имеет элементов для заземления
0I	Имеет рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания
I	Имеет рабочую изоляцию и элемент для заземления
II	Имеет двойную или усиленную изоляцию и не имеет элементов для заземления
III	Не имеет внутренних и внешних электрических цепей с напряжением свыше 42 В

Классы электротехнических изделий по способу защиты человека приведены в табл. 1.6.

Защитные характеристики оболочек электроустановок и изделий обозначаются кодом IP (от *англ.* International Protection — защита по международным нормам) и двумя цифрами, первая из которых обозначает код степени защиты от проникновения внутрь оболочки твердых тел, а вторая — от попадания воды и влаги. Характеристика степеней защиты оболочек электрооборудования напряжением до 1 000 В приведена в табл. 1.7.

Способ охлаждения электрических машин обозначается буквенным кодом IC (от *англ.* International Cooling — охлаждение по международным нормам) и цифрами. Первые две цифры определяют способ охлаждения внешней поверхности машины, а последующие две — внутренней. Например, обозначение IC0141 означает, что внешняя поверхность машины обдувается вентилятором, а воздух внутри нее перемещается ротором или дополнительным внутренним вентилятором.

Климатическое исполнение электрооборудования обозначается буквами: У — для умеренного климата; ХЛ — холодного; Т — тропического; УХЛ — умеренно-холодного.

Категория мест размещения электрооборудования обозначается следующими цифрами: 1 — на открытом воздухе; 2 — помещения, в которых отсутствует прямое воздействие атмосферных осадков и солнечных лучей; 3 — закрытые помещения с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий; 4 — помещения с искусственно регулируемыми климатическими условиями; 5 — помещения с повышенной влажностью.

**Характеристика степеней защиты оболочек электрооборудования
напряжением до 1 000 В**

Степень защиты	Характеристика степени защиты	
	персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями и оборудования от попадания внутрь оболочки посторонних твердых тел	оборудования от проникновения внутрь оболочки воды
0	Защита отсутствует	Защита отсутствует
1	Защита от случайного соприкосновения большого участка поверхности тела человека с токоведущими или движущимися внутри оболочки частями. Отсутствует защита от преднамеренного доступа к этим частям	Защита от капель сконденсировавшейся воды. Капли сконденсировавшейся воды, падающие вертикально на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на оборудование внутри оболочки
2	Защита от возможного соприкосновения больших пальцев с токоведущими или движущимися внутри оболочки частями. Защита от попадания посторонних твердых тел диаметром не менее 12,5 мм	Защита от дождя. Дождь, падающий на оболочку, наклоненную под углом не более 60° к вертикали, не должен оказывать вредного воздействия на оборудование внутри оболочки
3	Защита от соприкосновения инструмента, проволоки или других подобных предметов, толщина которых превышает 2,5 мм с токоведущими или движущимися внутри оболочки частями. Защита от попадания посторонних твердых тел диаметром не менее 2,5 мм	Защита от капель сконденсировавшейся воды. Капли сконденсировавшейся воды, падающие вертикально на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на оборудование внутри оболочки
4	Защита от соприкосновения инструмента, проволоки или других подобных предметов, толщина которых превышает 1 мм, с токоведущими или движущимися внутри оболочки частями. Защита от попадания посторонних твердых тел диаметром не менее 1 мм	Защита от брызг. Брызги воды любого направления, попадающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на оборудование внутри оболочки

Степень защиты	Характеристика степени защиты	
	персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями и оборудования от попадания внутрь оболочки посторонних твердых тел	оборудования от проникновения внутрь оболочки воды
5	Полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися внутри оболочки частями. Защита от вредных отложений пыли	Защита от водяных струй. Вода, выбрасываемая через наконечник на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного воздействия на оборудование внутри оболочки
6	Полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися внутри оболочки частями. Полная защита оборудования от попадания пыли	Защита от воздействий, характерных для палубы корабля (включая палубное водонепроницаемое оборудование)
7	—	Защита при погружении в воду. Вода не должна проникать в оболочку при давлении и в течение времени, указанных в стандартах или технических условиях на оборудование
8	—	Защита при неограниченно длительном погружении в воду. Вода не должна проникать в оболочку при давлении, указанном в стандартах или технических условиях на оборудование

Пример обозначения климатического исполнения и категории размещения: УХЛ3 — электрооборудование, предназначенное для работы в умеренно-холодном климате в помещениях с естественной вентиляцией.

Особую группу составляет взрывозащищенное электрооборудование. В этом электрооборудовании предусмотрены конструктивные меры по устранению или затруднению возможного воспламенения окружающей взрывоопасной среды. Группы взрывозащищенного электрооборудования по области его применения рассмотрены в [15].

Электротехнические помещения в зависимости от условий среды подразделяются на сухие (относительная влажность воздуха менее 60 %); влажные (относительная влажность лежит в пределах 60...75 %); сырые (влажность свыше 75 %); особо сырые (влажность близка к 100 %); жаркие (температура постоянно превышает 35 °С); пыльные (в помещении выделяется оседающая на оборудовании и проникающая внутрь него токопроводящая или нетокопроводящая пыль); помещения с химически активной средой, в которых содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части.

По опасности поражения человека электрическим током помещения подразделяются на несколько видов.

1. Помещения с повышенной опасностью, в которых существует одно из следующих условий повышенной опасности:

сырость или токопроводящая пыль;

токопроводящие полы;

высокая температура;

возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединения с землей конструкциям, технологическому оборудованию, с одной стороны, и к корпусам электрооборудования, с другой.

2. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия повышенной опасности.

3. Особо опасные помещения, в которых имеет место:

особая сырость;

химически активная или органическая среда;

одновременно наличествуют два условия для помещений с повышенной опасностью.

Кроме того, электрооборудование может располагаться и эксплуатироваться во взрывоопасных и пожароопасных помещениях. *Пожароопасной зоной* называется пространство внутри или вне помещения, в пределах которого постоянно или периодически образуются горючие вещества. *Взрывоопасной зоной* называется помещение или ограниченное пространство внутри него, в котором имеются или могут образовываться взрывчатые смеси газов, горючей пыли или волокон.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные и дополнительные единицы измерения физических величин в Международной системе единиц (СИ).

2. Назовите применяемые в электротехнике единицы электрических, магнитных и механических величин и получите их выражения через основные и дополнительные единицы системы СИ.

3. Дайте определения электрической установки и электрической сети и приведите их примеры.

4. Какие основные законы электротехники вам известны и для чего они применяются?
5. Что такое постоянный и переменный электрический ток?
6. Дайте определение разности потенциалов в электрической цепи.
7. Какие виды источников электроэнергии вы знаете? Назовите их характерные признаки.
8. Назовите типовые электротехнические элементы цепей постоянного и переменного тока.
9. Как рассчитывается мощность электрической цепи?
10. Изобразите схемы соединения трехфазной нагрузки в «треугольник» и «звезду» и укажите соотношения между линейными и фазными значениями напряжения и тока в этих схемах.
11. Назовите аналогичные по своему характеру величины магнитных и электрических цепей.
12. Какие степени защиты имеют оболочки электрооборудования напряжением до 1 000 В и как они обозначаются?
13. Какими могут быть климатическое исполнение и категории размещения электрооборудования и как они обозначаются?
14. Какие виды помещений по степени опасности поражения человека электрическим током вы знаете?
15. Что называется взрывоопасными и пожароопасными помещениями?