

В. В. МОСКАЛЕНКО

СПРАВОЧНИК ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Рекомендовано

*Федеральным государственным автономным учреждением
«Федеральный институт развития образования» (ФГАУ «ФИРО»)*

*в качестве учебного пособия для использования
в учебном процессе образовательных учреждений,
реализующих программы начального профессионального образования*

Регистрационный номер рецензии 786 от 26 декабря 2012 г. ФГАУ «ФИРО»

8-е издание, стереотипное



Москва

Издательский центр «Академия»

2014

УДК 621.3(075.32)

ББК 31.2я722

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 студ. учреждений сред. проф. образования / В. В. Москаленко. — 8-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2014. — 368 с.

ISBN 978-5-4468-8806-1

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.

Справочник может быть использован при освоении профессии «Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям)». Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.3(075.32)

ББК 31.2я722

Учебное издание

Москаленко Владимир Валентинович

Справочник электромонтера

Учебное пособие

8-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. № 708203032. Подписано в печать 04.04.2014. Формат 60×90/16. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 23,0.

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru

129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1. Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 16474 от 05.04.2014.

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

© Москаленко В. В., 2012

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

ISBN 978-5-4468-8806-1

Алматинский электромеханический колледж — Алматинский электромеханический колледж

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	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^3) = \text{В} / \text{А} = \text{Ом}$	<i>R</i>
Полная мощность	вольт-ампер	$V \cdot A$	<i>S</i>
Активная мощность	ватт	$V \cdot A$	<i>P</i>
Реактивная мощность	вар	вар	<i>Q</i>
Энергия (работа)	джоуль	$V \cdot A \cdot \text{с}$	<i>J</i>

Таблица 1.2

Единицы магнитных величин

Наименование величины	Наименование единицы	Выражение через основные единицы СИ	Условное обозначение
Магнитный поток	вебер	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А} \cdot \text{с}^2) = \text{В} \cdot \text{с}$	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	м/с	v
Ускорение	метр на секунду в квадрате	м/с^2	a
Угловая скорость	радиан в секунду	рад/с	ω
Угловое ускорение	радиан на секунду в квадрате	рад/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-

равления, 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:

$$e = BLv\sin\alpha,$$

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 :*

$$F = BIL\sin\alpha,$$

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; $\varepsilon_r \varepsilon_0$ — 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.

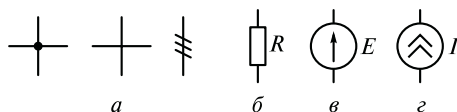


Рис. 1.1. Условные изображения на электрических схемах:

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, а.

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

$$I = U/R.$$

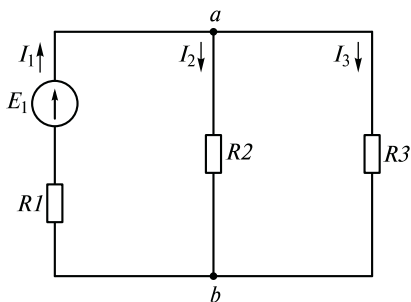


Рис. 1.2. Пример электрической схемы

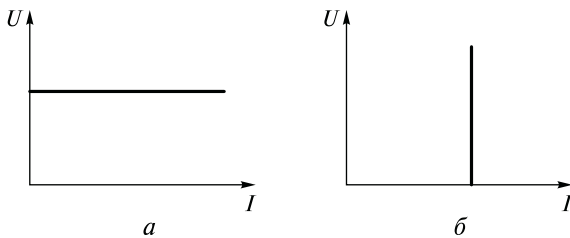


Рис. 1.3. Внешние характеристики:
a — источника напряжения; *б* — источника тока

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.

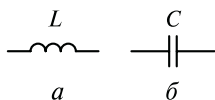


Рис. 1.4. Условные изображения:

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:

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

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

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

где $U_{л}, I_{л}$ — 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:

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

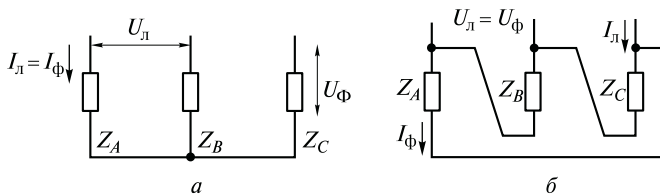


Рис. 1.5. Схемы соединения электроприемников:

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, $1/\text{Гн}$, $R_M = L/\mu_r\mu_0S$; 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 следующим 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: УХЛЗ — 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?

2.1. Диэлектрические материалы (диэлектрики)

Применяемые в электротехнических элементах и устройствах материалы подразделяются на диэлектрические, полупроводниковые, проводниковые и магнитные.

Диэлектрическими называются электротехнические материалы с большим сопротивлением прохождению тока. *Электроизоляционными* называются диэлектрические материалы (диэлектрики), предназначенные для изоляции электрических цепей, элементов и устройств.

Характерным свойством диэлектриков является возможность создания в них сильных электрических полей и накопления электрической энергии. Это свойство используется для создания на основе диэлектриков электрических конденсаторов.

По агрегатному состоянию диэлектрики бывают твердые, жидкие и газообразные. По химическому составу различают органические диэлектрики, в состав которых входит углерод, и неорганические, не содержащие в своем составе углерода. По природному происхождению диэлектрики встречаются естественные (природные) и синтетические (искусственные), которые получают путем химической переработки природного сырья. К наиболее распространенным диэлектрическим материалам относятся:

- волокнистые (картон, бумага, ткани, лакоткани);
- слоистые и слюдяные (текстолит, гетинакс, миканит, слюдинит, стеклотекстолит);
- керамические (электрофарфор, термоконды, тиконды, стеалит);
- жидкие диэлектрики (минеральные и растительные масла, синтетические жидкости);
- электроизоляционные лаки и эмали (лаки и краски масляные, кремнийорганические, глифталево-масляные).

По своей стойкости к нагреву (уровню допустимых рабочих температур) диэлектрические материалы подразделяются на шесть групп (табл. 2.1).

В табл. 2.2—2.8 приведены технические данные и свойства некоторых широко используемых диэлектрических материалов.

Группы электроизоляционных материалов

Класс нагревостойкости	Температура, °С	Характеристика основных групп электроизоляционных материалов, соответствующих данному классу нагревостойкости
У	90	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и натурального шелка, не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал
А	105	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка или натурального, искусственного и синтетического шелка, пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал
Е	120	Синтетические органические материалы или простые их сочетания
В	130	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами
F	155	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами, которые соответствуют данному классу нагревостойкости
Н	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры
С	Более 180	Слюда, керамические материалы, стекло, кварц или их комбинации, применяемые без связующих или с неорганическими и элементоорганическими составами. Температура применения этих материалов определяется их физическими, химическими, механическими и электрическими свойствами

Таблица 2.2

Свойства диэлектрических материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Электрическая прочность при 20 °С, кВ/мм	Влагопоглощаемость за 24 ч, %	Нормируемая температура, °С
Асбест	2 100 ... 2 800	2,4 ... 4,6	2 ... 4	500 ... 600 (допустимая)

Материал	Плотность, кг/м ³	Электрическая прочность при 20°С, кВ/мм	Влагопоглощаемость за 24 ч, %	Нормируемая температура, °С
Асбестоцемент	1 600 ... 1 800	2 ... 3	15 ... 20	250 (нагревостойкость)
Битумы	1 000	15 ... 20	—	30 ... 130 (размягчение)
Вазелин	820 ... 840	20 ... 25	—	—
Бумага	700 ... 870	5 ... 10	7 ... 10	110 (нагревостойкость)
Гетинакс	1 300 ... 1 400	20 ... 22	2	150 ... 180 (нагревостойкость)
Лакоткань	900 ... 1 200	20 ... 70	3,6 ... 8,0	105 (нагревостойкость)
Миканит	1 500 ... 2 600	—	—	130 ... 200 (нагревостойкость)
Масло трансформаторное	840 ... 920	15 ... 20	—	135 ... 145 (вспышка)

Таблица 2.3

Технические данные листового асбеста

Толщина, мм	Средняя плотность, кг/м ³	Габаритные размеры листов, мм
2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 8; 10	1 000 ... 1 300	900×900; 900×1 000; 1 000×1 000

Таблица 2.4

Стеклоткань электроизоляционная

Марка	Толщина, мм	Область применения
ЛСМ-105/120	0,15; 0,17; 0,2; 0,24	Для работы на воздухе при нормальных климатических условиях
ЛСММ-105/120	0,17; 0,2; 0,24	Для работы в горячем трансформаторном масле с температурой до 105 °С

Марка	Толщина, мм	Область применения
ЛСЭ-105/120	0,12; 0,15; 0,17; 0,2; 0,24	Для работы на воздухе при повышенной влажности (относительная влажность 95 % при $t = 20^{\circ}\text{C}$)

Таблица 2.5

Картон электроизоляционный

Марка	Толщина, мм	Плотность, кг/м ³	Электрическая прочность при 50 Гц, МВ/м
ЭВ	0,1 ... 3,0	950... 1 150	8 ... 12
ЭВС	0,2 ... 0,4	1 250	10 ... 12
ЭВП	0,1 ... 0,2	1 250	9 ... 12
ЭВТ	0,1 ... 0,5	1 150	9 ... 13

Таблица 2.6

Лента из поливинилового пластика

Марка	Ширина, мм	Толщина, мм	Марка	Ширина, мм	Толщина, мм
ЛВ-40, ЛВ-50, ЛВ-40Т	10	0,65	ЛВ-40, ЛВ-50, ЛВ-40Т	20	0,55; 0,9; 1,5
	13	0,55		40	0,55; 0,9; 1,35
	15	0,65; 1,5		50	0,9
	18	0,55		105	1,5

Таблица 2.7

Ленты хлопчатобумажные

Наименование	Ширина, мм	Толщина, мм
Киперная	10; 12; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 50	0,45
Тафтяная	10; 12; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 50	0,25
Миткалевая	12; 16; 20; 25; 30; 35	0,22
Батистовая	10; 12; 16,20	0,12; 0,16; 0,18

Электроизоляционные лаки и эмали

Марка	Режим высыхания		Разбавитель	Область применения
	температура сушки, °С	время сушки, ч		
<i>Битумно-масляный лак</i>				
БТ-987	105	6	Бензин, толуол, скипидар, бензин-растворитель	Пропитка обмоток
БТ-988	105	3	То же	То же
<i>Глифталевое-масляный лак</i>				
ГФ-95	105	1 ... 2	Ксилол, скипидар, сольвент-нафта и их смеси	Пропитка и покрытие обмоток масляных трансформаторов
<i>Алкидно-меламиновый лак</i>				
МЛ-92	105	1	Смесь толуола с бензином-растворителем	Пропитка обмоток статоров и роторов асинхронных электродвигателей мощностью до 100 кВт
<i>Эпоксидная эмаль</i>				
ЭП-91	190	1,5	Толуол, ксилол, этиловый спирт и их смеси	Покрытие лобовых частей, узлов и деталей электрических машин и аппаратов, работающих при температуре до 180 °С
<i>Кремнийорганические эмали</i>				
КО-935	120	1 ... 2	Толуол	Покрытие лобовых частей, секций, катушек и других деталей электрических машин и аппаратов, длительно работающих при температуре 180 °С

Марка	Режим высухания		Разбавитель	Область применения
	температура сушки, °С	время сушки, ч		
КО-911	20	20... 24	То же	Ремонтная, для лобовых частей секций, катушек и других углов электрических машин и аппаратов. Отделка различных изоляционных деталей
КО-936	200	2... 3	»	Покрытие обмоток секций, катушек и других частей электрических машин
<i>Эмаль на основе глифталевых и карбамидных смол</i>				
У-416	105	1,0... 10,5	Смесь ксилола и бутанола	Окрашивание баков трансформаторов и других видов оборудования

2.2. Полупроводниковые материалы

Полупроводник — вещество, основным свойством которого является зависимость его электропроводности от воздействия внешних факторов: электрического поля, температуры, излучения и т.д. В большинстве этих приборов используется свойство выпрямляющего $p-n$ -перехода, за счет чего может происходить выпрямление и усиление электрических сигналов.

Основными полупроводниковыми материалами являются кремний и германий, с использованием которых изготавливается большинство электронных полупроводниковых приборов — диодов, стабилитронов, транзисторов, тиристоров, фотоприемников, солнечных батарей, а также интегральных микросхем, составляющих основу микроэлектронных и микропроцессорных устройств.

Кроме этих веществ в полупроводниковой технике используются углерод, фосфор, мышьяк, сурьма, висмут, сера, селен, теллур и их соединения, позволяющие получать полупроводниковые приборы и устройства самого различного назначения. Подробно характеристики и технические данные полупроводниковых материалов рассмотрены в [22].

2.3. Проводниковые материалы

Проводниковыми материалами (проводниками) называются вещества, в которых при появлении электрического поля возникает электрический ток. В их качестве могут выступать твердые тела, жидкости и газы.

В электротехнике из твердых проводников чаще всего используются металлы и их сплавы, а также модификации проводящего углерода и соединения на их основе. Металлические проводниковые материалы подразделяются на материалы высокой проводимости и высокого сопротивления. Первые из них характеризуются небольшими потерями электроэнергии при прохождении по ним электрического тока и используются для изготовления проводов, кабелей и шин. В табл. 2.9 приведены основные свойства металлов, применяемых в электротехнике.

Таблица 2.9

Свойства металлов

Металл	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Плотность, т/м ³	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Температурный коэффициент линейного расширения, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	Удельное сопротивление, мкОм·м	Температурный коэффициент удельного сопротивления, 10 ⁻⁴ К
Ртуть	38,9	357	13,60	138	10	61,0	0,958	9
Цезий	28,5	700	1,87	234	—	95,0	0,210	48
Галлий	29,7	2 070	5,91	381	—	18,0	0,560	—
Калий	63,7	775	0,87	753	92	80,0	0,069	58
Натрий	97,8	883	0,97	1 260	125	70,0	0,046	50
Индий	156,0	2 075	7,28	243	25	25,0	0,090	47
Литий	186,0	1 220	0,53	3 620	71	—	—	—
Олово	232,0	2 260	7,31	226	65	23,0	0,120	44
Кадмий	321,0	767	8,65	230	93	30,0	0,076	42
Свинец	327,0	1 620	11,40	130	35	29,0	0,210	37
Цинк	420,0	907	7,14	390	111	31,0	0,059	—
Магний	651,0	1 103	1,74	1 040	167	26,0	0,045	42

Металл	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Плотность, т/м ³	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Температурный коэффициент линейного расширения, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	Удельное сопротивление, мкОм·м	Температурный коэффициент удельного сопротивления, 10 ⁻⁴ К
Алюминий	657,0	1 800	2,70	922	209	24,0	0,028	42
Барий	710,0	1 637	3,50	268	—	17,0	0,500	25
Серебро	961,0	1 950	10,50	234	415	19,0	0,016	40
Золото	1 063,0	2 600	19,30	126	293	14,0	0,024	38
Медь	1 083,0	2 300	8,94	385	390	16,0	0,017	43
Бериллий	1 284,0	2 500	1,85	200	167	13,0	0,040	60
Никель	1 455,0	2 900	8,90	444	95	13,0	0,073	65
Кобальт	1 492,0	2 900	8,71	435	79	12,0	0,062	60
Железо	1 535,0	3 000	7,87	452	73	11,0	0,098	60
Палладий	1 554,0	2 200	12,10	243	72	12,0	0,110	—
Титан	1 725,0	2 800	4,50	577	15	8,1	0,480	33
Хром	1 850,0	2 430	7,10	—	—	6,5	0,210	—
Платина	1 770,0	4 240	21,40	134	71	9,0	0,105	—
Торий	1 850,0	3 500	11,50	113	—	11,2	0,186	23
Цирконий	1 860,0	4 900	6,50	276	17	5,4	0,410	45
Иридий	2 350,0	4 800	22,50	—	—	—	—	—
Ниобий	2 410,0	3 300	8,57	272	50	7,2	0,140	30
Молибден	2 620,0	3 700	10,20	264	151	5,1	0,057	46
Тантал	2 850,0	4 200	16,70	142	54	6,5	0,135	38
Рений	3 180,0	—	20,50	138	71	4,7	0,210	32
Вольфрам	3 380,0	5 500	19,30	218	168	4,4	0,055	46

Материалы с высоким сопротивлением используются при изготовлении резисторов, а также в различных тепловых установках для получения тепловой энергии. В табл. 2.10 приведены усредненные свойства сплавов с высоким сопротивлением.

Свойства сплавов с высоким сопротивлением

Сплав	Плотность, кг/м ³	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, МПа	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, мкОм · м	Температурный коэффициент, 10 ⁻³ °С ⁻¹		Наибольшая рабочая температура, °С	Термо-ЭДС в паре с медью, мкВ/°С	Область применения
					удельного сопротивления	линейного расширения			
Алюмель	8400	1450	595	0,27	4000	2,6	950	—	Для термопар (в паре с хромелевой проволокой)
Хромель	8720	1455	850	0,67	55	1,55	950	22	Для изготовления термопар (в паре с алюмелевой или копелевой проволокой)
Копель	8990	1255	675	0,51	15	1,56	550	46	Для термопар (в паре с хромелевой или медной проволокой)
Нейзильбер	8700	1085	475	0,36	33	1,9	225	15	Для изготовления реостатов
Манганин	8400	980	575	0,47	0,75	1,9	275	0,95	Для изготовления резисторов и приборов высокого класса точности
Константан	8900	1265	550	0,45	3,5	1,3	490	40	Для изготовления приборов низкого класса точности
Чугун серый (немагнитный)	7400	1205	220	1,45	95	1,15	650	—	Для изготовления резисторов, нагрузочных реостатов, станин электрических машин, фланцев проходных изоляторов и др.

В табл. 2.11 приведены данные по припоям и областям их применения.

Таблица 2.11

Свойства и области применения припоев

Марка	Химический состав, % по массе	Температура плавления, °С	Температура пайки, °С	Область применения
<i>Для пайки алюминия</i>				
П250А	Олово — 80, цинк — 20	250	300	Лужение и пайка алюминиевых проводов
П300А	Цинк — 60, кадмий — 40	310	360	Пайка соединений, сращивание алюминиевых проводов круглого и прямоугольного сечения при намотке обмоток трансформаторов
П300Б	Цинк — 80, алюминий — 12, медь — 8	410	750	Пайка заливкой алюминиевых проводов с алюминиевыми и медными деталями
34А	Алюминий — 66, медь — 28, кремний — 6	525	650	Пайка изделий из алюминия и его сплавов
<i>Оловянно-свинцовые</i>				
ПОС-61	Олово — 61, свинец — остальное	190	240	Лужение, пайка меди и ее сплавов, токопроводящих частей машин и аппаратов
ПОС-61М	Олово — 61, медь — 2, свинец — остальное	192	240	То же для мелких (менее 0,2 мм) деталей
ПОССу95-5	Олово — 95, сурьма — 5	240	290	Пайка коллекторов, якорных секций, бандажей, токопроводящих соединений электрических машин и деталей электрооборудования

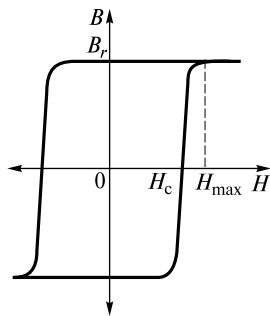
Марка	Химический состав, % по массе	Температура плавления, °С	Температура пайки, °С	Область применения
ПОССу40-2	Олово — 40, сурьма — 0,5, свинец — остальное	235	285	Пайка бандажей коллекторов и секций электрических машин, приборов, жестяных деталей
ПОССу30-2	Олово — 30, сурьма — 0,5, свинец — остальное	255	305	Пайка меди и ее сплавов, проводов, кабелей, бандажей и деталей аппаратуры
ПОС-40	Олово — 40, свинец — остальное	238	290	Пайка и лужение токопроводящих частей из меди, латуни, бронзы, оцинкованного железа
ПОСК50-18	Олово — 51, кадмий — 19, свинец — остальное	145	185	Пайка деталей из меди и ее сплавов

2.4. Магнитные материалы

Магнитными называются материалы, способные выполнять роль концентраторов, проводников и источников магнитного поля. Магнитные материалы широко применяются при производстве электрических машин и аппаратов, трансформаторов, электромагнитов и постоянных магнитов, дросселей, элементов автоматики и вычислительной техники. Магнитные материалы подразделяются на магнитомягкие, используемые в основном как проводники магнитного потока, и магнитотвердые, используемые как источники магнитного поля.

Важнейшей характеристикой магнитных материалов является зависимость магнитной индукции B от напряженности H магнитного поля, показанная на рис. 2.1. Ее особенностью является наличие петли гистерезиса, что отражает неоднозначность зависимости $B(H)$. По петле магнитного гистерезиса определяются основные параметры магнитных материалов: индукция насыщения

Рис. 2.1. Зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля



B_s , максимальная напряженность поля H_{max} , остаточная индукция B_r , коэрцитивная сила H_c . Для многих материалов в качестве справочных приводятся значения удельных потерь мощности на частотах 50 и 400 Гц при различных значениях индукции. Например, обозначение $p_{1,0/50} = 3,5$ Вт/кг соответствует потерям мощности в 3,5 Вт в одном килограмме материала при частоте 50 Гц и индукции, равной 1 Тл. При этом обязательным является также указание толщины ленты или пластины из магнитного материала.

Большинство магнитных материалов представляют собой соединения железа с другими веществами, наличие которых позволяет получить их желаемые свойства и характеристики. Наиболее распространенная электротехническая сталь, обладающая большими удельными электрическим сопротивлением и магнитной проницаемостью, получена добавлением к железу кремния.

Расшифровываются марки электротехнической стали следующим образом: первая цифра обозначает вид обработки и структурное состояние материала (1 — горячекатаная изотропная; 2 — холоднокатаная изотропная); вторая цифра — содержание кремния (0 — до 0,4 %; 1 — от 0,4 до 0,8 %; 2 — от 0,8 до 1,8 %; 3 — от 1,8 до 2,8 %; 4 — от 2,8 до 3,8 %; 5 — от 3,8 до 4,8 %); третья цифра — основной нормируемый параметр: удельные потери (0 — при $B = 1,7$ Тл, 50 Гц; 1 — $B = 1,5$ Тл, 50 Гц; 2 — $B = 1$ Тл, 400 Гц) или магнитная индукция (6 — при $H = 0,4$ А/м; 7 — при $H = 10$ А/м); четвертая цифра — порядковый номер типа стали.

Марки нелегированной электротехнической стали расшифровываются следующим образом: первая цифра обозначает вид обработки (1 — горячекатаная, 2 — холоднокатаная); вторая цифра — тип по содержанию кремния (0 — сталь нелегированная без нормирования коэффициента старения, 1 — с заданным коэффициентом старения); третья цифра — нормируемый параметр (8 — коэрцитивная сила); четвертая и пятая цифры — значения нормируемого параметра в целых единицах (H_c , А/м).

Наиболее распространенные марки электротехнической стали с толщинами 0,3...1,0 мм характеризуются H_c в пределах 30...90 А/м,

потерями удельной мощности p от 0,5 до 10 Вт/кг, индукцией насыщения B_s в пределах 1,5...1,8.

Сплав железа с никелем — *пермаллой*, легированный молибденом, ванадием, вольфрамом, хромом, кремнием и медью, — позволяет реализовывать магнитные материалы с узкой петлей гистерезиса с небольшими значениями H_c в пределах нескольких единиц, А/м, и $B_s = 0,63...0,5$ Тл. Такие материалы используются в малогабаритных трансформаторах и дросселях, средствах вычислительной техники, высокочувствительной аппаратуре и других устройствах, работающих в переменных магнитных полях высокой частоты.

Наиболее распространенные сплавы этой группы имеют обозначения 79НМ, 80НХС, 76НХД, 72НМДХ, в которых первые две цифры показывают содержание никеля, %, Н — наличие никеля, остальные буквы указывают на наличие соответствующих легирующих присадок.

Отдельную группу составляют сплавы типа пермаллой с узкой прямоугольной петлей гистерезиса, используемые в магнитных усилителях, бесконтактных реле, элементах вычислительной техники. Наиболее распространенный сплав этой группы 50НП в зависимости от толщины ленты или пластины имеет B_s в пределах 1,2...1,6 Тл и H_c в пределах 1,6...80 А/м.

В электротехнических устройствах применяются также и немагнитные магнитные материалы — *ферриты*, имеющие минимальные потери на вихревые токи в широком диапазоне изменения частоты магнитного поля, и *магнитодиэлектрики*, в которых используются порошки карбонильного железа и сплава альсифер. Никель-цинковые ферриты имеют в своем обозначении буквы НН, а марганцево-цинковые — НМ. Для ферритов значение H_c составляет 0,1...1,0 А/м, а B_r — 0,05...0,3 Тл.

Магнитотвердые материалы для создания постоянных магнитов создаются на основе сплавов железа: с углеродом (с содержанием последнего до 1 %); с никелем и алюминием (сплав ЮНД) или никелем, алюминием и кобальтом (сплав ЮНДК); с драгоценными металлами (сплавы ПЛК); с редкоземельными элементами (сплавы КС).

Подробные сведения по этим и другим магнитным материалам содержатся в [22].

Контрольные вопросы

1. Что называется диэлектриком?
2. Какие виды диэлектриков вы знаете?
3. Какие основные параметры характеризуют диэлектрики?
4. Назовите классы нагревостойкости электроизоляционных материалов.

5. Какое основное свойство отличает полупроводниковые материалы?
6. Назовите наиболее применяемые полупроводниковые материалы.
7. Какие вещества называются проводниками?
8. Что такое удельное сопротивление проводника?
9. Какие материалы обладают малым и большим удельным сопротивлением и где они применяются?
10. Назовите вещества, которые чаще всего применяются в качестве проводников.
 11. Какие материалы называются магнитными?
 12. Какие виды магнитных материалов вы знаете?
 13. Что представляет собой характеристика намагничивания магнитного материала и какими параметрами она характеризуется?
 14. Что такое электротехническая сталь?

Глава 3

ПРОВОДНИКОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ

3.1. Проволока и провода

В электротехнических системах и устройствах для передачи электрической энергии (электрического тока) применяются проводниковые изделия в виде проводов, кабелей и шин. Они классифицируются по материалу, из которого изготовлены, сечению, виду изоляции, способам защиты от механических повреждений и воздействий окружающей среды.

Проволока. Основой для изготовления проводов и кабелей служат медная и алюминиевая проволоки и проволока из их сплавов. Медная проволока выпускается круглого и прямоугольного сечений. Круглая проволока изготавливается мягкой (марка ММ), твердой (марка МТ) и для связи (марка МС) диаметром 0,02... 11 мм. Удельное электрическое сопротивление проволоки постоянному току не должно превышать 0,017... 0,018 мкОм·м.

Медная проволока прямоугольного сечения марок ПММ (мягкая) и ПМТ (твердая) изготавливается по ГОСТ 434—78 с толщиной (меньшей стороной) в пределах 0,08... 5,00 мм и шириной 2... 30 мм.

Круглая алюминиевая проволока изготавливается твердой (марка АТ), полутвердой (марка АПТ) и мягкой (марка АМ) диаметром 0,1... 18 мм. Значение удельного электрического сопротивления проволоки постоянному току при температуре 20 °С должно составлять не более 0,028 мкОм·м.

Прямоугольная алюминиевая проволока, предназначенная для производства обмоточных проводов и других электротехнических изделий, изготавливается в виде твердой (обозначение ПАТ) и мягкой (обозначение ПАМ) марок с размерами по большей стороне от 2 до 18 мм и по меньшей стороне — от 0,8 до 5,6 мм.

Провода. Провода бывают неизолированные, монтажные, силовые и обмоточные.

Неизолированные провода применяются в основном в воздушных линиях электропередач и изготавливаются из меди, алюминия, бронзы, а также комбинированными, у которых вокруг стального сердечника накладываются один или несколько повивов алюминиевой проволоки. Марки и области применения неизолированных проводов приведены в табл. 3.1.

Марки и области применения неизолированных проводов

Марка	Конструкция проводов	Область применения
М	Провод, состоящий из одной или нескольких медных проволок	В атмосфере воздуха типов II и III на суше и море всех микроклиматических районов по ГОСТ 15150—69
А	Провод, состоящий из скрученных алюминиевых проволок	В атмосфере воздуха типов II и III, но при условии содержания в атмосфере сернистого газа, дающего осадок не более 150 мг/(м ² ·сут), на суше всех микроклиматических районов по ГОСТ 15150—69, кроме районов ТВ и ТС
АКП	Провод марки А, но межпроволочное пространство всего провода, за исключением наружной поверхности, заполнено нейтральной смазкой повышенной термостойкости	На побережьях морей, соленых озер, в промышленных районах и в районах засоленных песков, а также в прилегающих к ним районах с атмосферой воздуха типов II и III на суше и море всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150—69
АС	Провод, состоящий из стального сердечника и алюминиевых проволок	См. марку А
АСКС	Провод марки АС, но межпроволочное пространство стального сердечника, включая его наружную поверхность, заполнено нейтральной смазкой повышенной термостойкости	На побережьях морей, соленых озер, в промышленных районах и в районах песков, а также в прилегающих к ним районах с атмосферой воздуха типов II и III, но при условии содержания в атмосфере сернистого газа, дающего осадок не более 200 мг/(м ² ·сут), на суше всех макроклиматических районов по ГОСТ 15150—69, кроме районов с тропическим влажным климатом

Марка	Конструкция проводов	Область применения
АН	Провод, скрученный из проволок из нетермообработанного алюминиевого сплава	См. марку А
АНКП	Провод марки АН, но межпроволочное расстояние всего провода, за исключением наружной поверхности, заполнено нейтральной смазкой повышенной термостойкости	См. марку АКП
АЖ	Провод, состоящий из скрученных проволок из термообработанного алюминиевого сплава	См. марку А
АЖКП	Провод марки АЖ, но межпроволочное расстояние всего провода, за исключением наружной поверхности, заполнено нейтральной смазкой повышенной термостойкости	См. марку АКП

Основные расчетные характеристики медных и алюминиевых проводов приведены соответственно в табл. 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2

Расчетные характеристики медных проводов марки М

Номинальное сечение, мм ²	Сечение, мм ²	Диаметр, мм	Сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом/км, не более	Разрывное усилие провода, Н, не менее		Масса, кг/км
				медной проволоки МТ 1-й категории качества	медной проволоки МТ высшего качества	
4	3,94	2,2	4,60092	1 520	1 630	35
6	5,85	2,7	3,07019	2 290	2 430	52
10	9,89	3,6	1,81978	3 630	3 820	88
16	15,90	5,1	1,15730	5 600	6 020	142
25	24,90	6,4	0,73367	8 830	3 490	224
35	34,61	7,5	0,52386	12 300	13 220	311

Номинальное сечение, мм ²	Сечение, мм ²	Диаметр, мм	Сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом/км, не более	Разрывное усилие провода, Н, не менее		Масса, кг/км
				медной проволоки МТ 1-й категории качества	медной проволоки МТ высшего качества	
50	49,40	9,0	0,36822	16 620	17 490	444
70	67,70	10,7	0,27238	24 750	26 600	612
95	94,00	12,6	0,19449	34 460	37 000	850
120	117,0	14,0	0,15603	42 960	46 180	1 058
150	148,0	15,8	0,12388	50 500	54 100	1 338
185	183,0	17,6	0,10015	67 110	72 140	1 659
240	234,0	19,9	0,07809	86 070	92 530	2 124
300	288,0	22,1	0,06379	100 090	105 360	2 614
350	346,0	24,2	0,05309	120 270	126 600	3 135
400	389,0	25,5	0,04713	135 490	142 620	3 528

Таблица 3.3

Расчетные характеристики алюминиевых проводов марок А, АКП

Номинальное сечение, мм ²	Сечение, мм ²	Диаметр, мм	Сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом/км, не более	Разрывное усилие провода, Н, не менее		Масса, кг/км (без смазки)	Масса смазки для марки АКП, кг
				из алюминиевой проволоки марки АТ	из алюминиевой проволоки марки АПТ		
16	15,9	5,1	1,83763	—	2 670	43	—
25	24,9	6,4	1,16496	—	4 040	68	—
35	34,3	7,5	0,85013	—	—	94	—
50	49,5	9,0	0,58798	7 060	7 620	135	—
70	69,2	10,7	0,42098	9 110	10 460	189	—
95	92,4	12,3	0,31465	10 140	13 500	252	—

Номинальное сечение, мм ²	Сечение, мм ²	Диаметр, мм	Сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом/км, не более	Разрывное усилие провода, Н, не менее		Масса, кг/км (без смазки)	Масса смазки для марки АКП, кг
				из алюминиевой проволоки марки АТ	из алюминиевой проволоки марки АПТ		
120	117,0	14,0	0,25095	—	19 190	321	16
150	148,0	15,8	0,19780	22 320	23 670	406	20
185	183,0	17,5	0,16085	27 450	29 110	502	25
240	239,0	20,0	0,12279	35 950	37 040	655	33
300	288,0	22,1	0,10186	43 460	46 100	794	54
350	346,0	24,2	0,08478	52 220	55 390	952	65
400	389,0	25,6	0,07567	58 510	62 050	1 072	73
450	442,0	27,3	0,06655	66 980	69 000	1 217	83
500	500,0	29,1	0,05870	73 130	77 700	1 378	94
550	544,0	30,3	0,05400	77 790	82 490	1 500	117
600	587,0	31,5	0,05032	83 480	88 540	1 618	126
650	641,0	32,9	0,04597	91 380	96 920	1 769	138
700	691,0	34,2	0,04261	98 590	104 560	1 907	149
750	747,0	35,6	0,03935	106 610	109 840	2 061	161
800	805,0	36,9	0,03654	111 460	118 430	2 220	173

Сталеалюминиевые провода находят наиболее широкое применение для сооружения высоковольтных линий электропередач с большими пролетами, сложными климатическими условиями (гололед, снеговые нагрузки, ветер) и т.д. Провода АС (сталеалюминиевые), АСКС (сталеалюминиевые с заполнением промежутков между стальными и медными жилами специальной термостойкой смазкой), АСК и другие состоят из стальных жил или тросов, оплетенных алюминиевыми жилами.

Длительные допустимые токовые нагрузки на неизолированные провода приведены в табл. 3.4, при этом для сталеалюминиевых проводов в числителе указано сечение алюминия, а в знаменателе — сечение стали.

Допустимые токовые нагрузки неизолированных проводов

Сечение, мм ²	Марка провода	Вне помещений	Внутри помещений	Сечение, мм ²	Марка провода	Вне помещений	Внутри помещений
10/1,8	АС	84	53	150	А	440	440
10	М	95	60	185/24	АС	520	520
16/2,7	АС	111	79	185/29	АС	510	510
16	М	133	102	185/43	АС	515	515
16	А	105	75	185	М	650	650
25/4,2	АС	142	109	185	А	500	500
25	М	183	137	240/32	АС	605	605
25	А	136	106	240/39	АС	610	610
25/6,2	АС	175	135	240/56	АС	610	610
35	М	223	173	240	М	760	760
35	А	170	130	240	А	590	590
50/8	АС	210	165	300/39	АС	710	710
50	М	275	219	300/48	АС	690	690
50	А	215	165	300/66	АС	680	680
70/11	АС	265	210	300	М	880	740
70	М	337	268	300	А	680	570
70	А	265	210	330/27	АС	730	—
95/16	АС	330	260	400/22	АС	830	713
95	М	422	341	400/51	АС	825	705
95	А	320	255	400/64	АС	860	—
120/19	АС	390	313	400	М	1 050	895
120	М	485	395	400	А	815	690
120	А	375	300	500/27	АС	960	830
120/27	АС	375	—	500	А	980	820
150/19	АС	450	365	600/72	АС	1 050	920
150/24	АС	450	365	600	А	1 100	955
150/34	АС	450	—	700/86	АС	1 180	1 040
150	М	570	465				

В табл. 3.5 приведены свойства неизолированных алюминиевых проводов.

Расчетные характеристики неизолированных алюминиевых проводов марок АС, АСКС, АСКП, АСК

Номинальное сечение, мм ² , алюминий/сталь	Сечение, мм		Диаметр, мм		Сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом/км	Разрывное усилие провода, Н, не менее		Масса, кг/км, без смазки
	алюминий	сталь	провода	стального сердечника		из алюминиевой проволоки марки АТ	из алюминиевой проволоки марки АПТ	
10/1,8	10,6	1,77	4,5	1,5	2,76630	—	3 790	43
16/2,7	16,1	2,69	5,6	1,9	1,80934	—	5 810	65
25/4,2	24,9	6,15	6,9	2,3	1,17590	—	8 730	100
35/6,2	36,9	6,15	8,4	2,8	0,78970	—	12 720	148
50/8,0	48,2	8,04	9,5	3,2	0,60298	15 710	16 140	195
70/11	68,0	11,3	11,4	3,8	0,42859	22 170	22 770	276
70/72	68,4	72,2	15,4	11,0	0,42760	—	90 180	755
95/16	95,4	15,9	13,5	4,5	0,30599	30 690	31 530	385
120/19	118,0	18,8	15,2	5,5	0,24917	—	40 520	471
95/141	91,2	141,0	19,8	15,4	0,32108	—	168 050	1 357
120/27	114,0	26,6	15,4	6,6	0,25293	—	48 680	528
150/19	148,0	18,6	16,8	5,5	0,19919	—	45 060	554

Номинальное сечение, мм ² , алюминий/сталь	Сечение, мм		Диаметр, мм		Сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом/км	Разрывное усилие провода, Н, не менее		Масса, кг/км, без смазки
	алюминий	сталь	провода	стального сердечника		из алюминиевой проволоки марки АТ	из алюминиевой проволоки марки АПТ	
150/24	149,0	24,2	17,1	6,3	0,19798	—	50 960	559
185/24	187,0	24,2	18,9	6,3	0,15701	54 950	56 750	705
185/29	181,0	29,0	18,8	6,9	0,16218	58 370	60 640	728
185/43	185,0	43,1	19,6	8,4	0,15954	—	76 020	846
185/128	187,0	128,0	23,1	14,7	0,15762	—	171 610	1 525
205/27	205,0	26,6	19,8	6,6	0,14294	60 380	62 350	774
240/32	244,0	31,7	21,6	7,2	0,12060	70 940	73 280	921
240/39	236,0	38,6	21,6	8,0	0,12428	76 880	79 260	952
240/56	241,0	56,3	22,4	9,6	0,12182	94 090	96 410	1 106
300/39	301,0	38,6	24,0	8,0	0,09747	87 280	88 730	1 132
300/48	295,0	47,8	24,1	8,9	0,09983	95 720	98 550	1 186
300/66	288,0	65,8	24,5	10,5	0,10226	116 460	119 240	1 313
300/67	288,0	67,3	24,5	10,5	0,10226	112 460	115 230	1 317
300/204	298,0	204,0	29,2	18,6	0,09934	—	266 830	2 428

300/27	319,0	26,6	24,2	6,6	0,09387	—	86 310	1 106
330/43	332,0	43,1	25,2	8,4	0,08888	—	101 540	1 255
400/22	394,0	22,0	26,6	6,0	0,07501	—	92 740	1 261
400/51	394,0	51,1	27,5	9,2	0,07477	113 200	118 130	1 490
400/64	390,0	63,5	27,7	10,2	0,07528	123 100	126 850	1 572
400/93	406,0	93,2	29,1	12,5	0,07247	160 760	164 660	1 851
400/56	434,0	56,3	28,8	9,6	0,06786	124 720	128 900	1 640
500/27	481,0	26,6	29,4	6,67	0,06129	104 000	110 010	1 537
500/64	490,0	63,5	30,6	10,2	0,06005	140 960	145 680	1 852
500/204	496,0	204,0	34,5	18,6	0,06025	293 960	301 100	2 979
500/336	490,0	336,0	37,5	23,9	0,06040	433 120	437 845	4 005
550/71	549,0	71,2	32,4	10,8	0,05381	157 700	162 965	2 076
600/72	580,0	72,2	33,2	11,0	0,05091	169 750	175 314	2 170
650/79	634,0	78,9	34,7	11,5	0,04655	183 500	191 411	2 372
700/86	687,0	85,9	36,2	12,0	0,04289	199 550	208 140	2 575
750/93	748,0	93,2	37,7	12,5	0,03839	217 030	224 230	2 800
800/105	821,0	105,0	39,7	13,3	0,03586	241 030	248 940	3 092
1 000/56	1 002,9	56,3	42,4	9,6	0,02936	210 100	219 740	3 062

Монтажные провода используются для внутриблочного и межблочного монтажа аппаратов и устройств. В них токопроводящие жилы выполняются из меди, в том числе с покрытием из олова, никеля и серебра. Токопроводящие жилы могут иметь изоляцию из полиэтилена, поливинилхлорида, пластика и фторопласта. Некоторые монтажные провода выпускаются с изоляцией на основе стекловолокна, волокон лавсана и капрона, наложенной методом обмотки, с поверхностным лаковым покрытием. Монтажные провода выполняются также и прямоугольного сечения.

Допустимые длительные токовые нагрузки изолированных медных (М), алюминиевых (А) и сталеалюминиевых (АС) проводов приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Допустимые длительные токи изолированных проводов

Сечение, мм ²	Марка провода	Вне помеще- ний	Внутри помеще- ний	Марка провода			
				М	А	М	А
				вне помещений		внутри помещений	
10	АС-10/1,8	84	53	95	—	60	—
16	АС-16/2,7	111	79	133	105	102	75
25	АС-25/4,2	142	109	183	136	137	106
35	АС-35/6,2	175	135	223	170	173	130
50	АС-50/8	210	165	275	215	219	165
70	АС-70/11	265	210	337	265	268	210
95	АС-95/16	330	260	422	320	341	255
120	АС-120/19	390	313	485	375	395	300
120	АС-120/27	375	—	485	375	395	300
150	АС-150/19	450	365	570	440	465	355
150	АС-150/24	450	365	570	440	465	355
150	АС-150/34	450	—	570	440	465	355
185	АС-185/24	520	430	650	500	540	410
185	АС-185/29	510	425	650	500	540	410
185	АС-185/43	515	—	650	500	540	410

Сечение, мм ²	Марка провода	Вне помеще- ний	Внутри помеще- ний	Марка провода			
				М	А	М	А
				вне помещений		внутри помещений	
240	АС-240/32	605	505	760	590	685	490
240	АС-240/39	610	505	760	590	685	490
240	АС-240/56	610	—	760	590	685	490
300	АС-300/39	710	600	880	680	740	570
300	АС-300/48	690	585	880	680	740	570
300	АС-300/66	680	—	880	680	740	570
330	АС-330/27	730	—	—	—	—	—
400	АС-400/22	830	713	1 050	815	895	690
400	АС-400/51	825	705	1 050	815	895	690
400	АС-400/64	860	—	1 050	815	895	690
500	АС-500/27	960	830	—	980	—	820
600	АС-600/72	1 050	920	—	1 100	—	955
700	АС-700/86	1 180	1 040	—	—	—	—

Силовые провода предназначены для использования в силовых и осветительных сетях на открытом воздухе и внутри помещений, в том числе для скрытой прокладки под штукатуркой, и имеют токопроводящие жилы сечением от 0,5 до 120 мм² из меди, алюминия и биметалла алюминий—медь. Изоляция выполняется из пластика, полиэтилена, резины, асбеста, стекловолокна и резиностеклоткани. В соответствии с ГОСТ 22483—77 установлен следующий ряд сечений жил кабелей и проводов, мм²: 0,03; 0,05; 0,08; 0,12; 0,20; 0,35; 0,50; 0,60; 0,80; 1,0; 1,2; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10; 16; 25; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 625; 800; 1 000; 1 200; 1 600; 2 000.

Обмоточные провода используются при изготовлении обмоток электрических машин, аппаратов, приборов и других электротехнических устройств. Токопроводящие жилы в зависимости от назначения провода изготавливаются из меди или алюминия или сплавов с высоким сопротивлением — нихрома, манганина и констан-

тана. В качестве изоляции применяются эмалевые покрытия на основе эмалевых лаков, пропитанное лаками волокно, натуральный шелк, синтетическая и хлопчатобумажная пряжа, пленки, бумага и пластмассы. Сечения проводников до 80 мм² круглого или прямоугольного профиля. В табл. 3.7 и 3.8 приведены данные обмоточных соответственно эмалированных и эмалево-волоконистых проводов.

Таблица 3.7

Технические характеристики эмалированных проводов

Марка провода	Номинальный диаметр токопроводящей жилы, мм	Минимальная толщина изоляции, мм	Температура, °С
ПЭЛ	0,02 ... 2,50	0,004 ... 0,006	105
ПЭВ-1	0,02 ... 2,50	0,006 ... 0,055	105
ПЭВ-2	0,05 ... 2,50	0,012 ... 0,070	105
ПЭМ-1	0,05 ... 2,50	0,020 ... 0,100	105
ПЭМ-2	0,05 ... 2,50	0,030 ... 0,130	105
ПЭМФ	0,25 ... 0,95	0,030 ... 0,050	105
ПЭВБЖ	0,02 ... 0,050	0,004 ... 0,008	105
ПЭВД ПЭВДБ	0,10 ... 0,51	0,015 ... 0,035	105
ПЭВТЛ-1	0,02 ... 1,60	0,002 ... 0,04	120
ПЭВТЛ-2	0,02 ... 1,60	0,004 ... 0,06	120
0,025ПЭВТЛН-1	0,02 ... 1,60	0,002 ... 0,04	120
ПЭВТЛН-2	0,02 ... 1,60	0,004 ... 0,06	120
ПЭВТЛК	0,06 ... 0,355	0,025 ... 0,050	120
ПЭТВ	0,06 ... 2,50	0,010 ... 0,07	130
ПЭТВ-939	0,06 ... 2,50	0,010 ... 0,07	130
ПЭТВ-ТС	0,06 ... 2,50	0,010 ... 0,07	130
ПЭТВМ	0,25 ... 1,40	0,035 ... 0,065	130
ПЭТВ-Р	0,02 ... 0,20	0,006 ... 0,015	130
ПЭТ-155	0,06 ... 2,50	0,010 ... 0,070	155
ПЭТМ	0,53 ... 1,32	0,033 ... 0,060	155
ПЭФ-155	0,063 ... 1,60	0,008 ... 0,070	155
ПЭТ-200	0,50 ... 2,50	0,035 ... 0,070	200

Эмалево-волоконистые провода

Марка провода	Номинальные размеры проволоки, мм (круглая — диаметр, прямоугольная — размеры сторон)	Удвоенная толщина изоляции, мм	Температура, °С
ПБД	0,38 ... 5,2	0,22 ... 0,33	105
АПБД	1,35 ... 8,0; $a = 1,81 ... 7,0$; $b = 4,1 ... 18,0$	0,27 ... 0,35 0,27 ... 0,44	105
ПШД	$a = 0,8 ... 1,32$; $b = 2,8 ... 4,5$	0,15 ... 0,20	105
ПЭЛБО	0,38 ... 2,12	0,17 ... 0,22	105
ПЭЛБД	0,93 ... 2,12	0,28 ... 0,33	105
ПЭЛШО	0,05 ... 1,56	0,08 ... 0,16	105
ПЭЛШКО	0,10 ... 1,56	0,08 ... 0,16	105
ПЭЛШКД	0,75 ... 1,45	0,19	105
ПЭЛЛО, ПЭВЛО	0,05 ... 1,32	0,08 ... 0,14	105
ПЭТВЛО	0,20 ... 1,32	0,12 ... 0,18	130
ПЭВТЛЛО	0,20 ... 1,32	0,12 ... 0,18	120

Для воздушных линий электропередач и ответвлений к вводам в здания и постройки применение находят самонесущие изолированные провода (СИП). В табл. 3.9 приведены данные по СИП на номинальное напряжение 0,6/1 кВ производства ЗАО «Завод Москабель».

Таблица 3.9

Технические данные самонесущих изолированных проводов

Марка провода	Число жил × сечение, мм ²	Примечание
СИП-1	1 × 16 + 1 × 25; 3 × 16 + 1 × 25; 3 × 25 + 1 × 35; 3 × 25 + 1 × 50; 3 × 50 + 1 × 50; 3 × 50 + 1 × 70; 3 × 70 + 1 × 70; 3 × 70 + 1 × 95; 3 × 95 + 1 × 70; 3 × 95 + 1 × 95; 3 × 120 + 1 × 95; 4 × 16 + 1 × 25; 4 × 25 + 1 × 35	Несущая неизолированная шина из алюминиевого сплава

Марка провода	Число жил × сечение, мм ²	Примечание
СИП-1А	1×16 + 1×25; 3×16 + 1×25; 3×25 + 1×35; 3×25 + 1×50; 3×50 + 1×50; 3×50 + 1×70; 3×70 + 1×70; 3×70 + 1×95; 3×95 + 1×70; 3×95 + 1×95; 3×120 + 1×95; 4×16 + 1×25; 4×25 + 1×35	Несущая нулевая жила, изолированная светостабилизированным термопластичным полиэтиленом
СИП-2	1×16 + 1×25; 3×16 + 1×25; 3×25 + 1×35; 3×25 + 1×50; 3×50 + 1×50; 3×50 + 1×70; 3×70 + 1×70; 3×70 + 1×95; 3×95 + 1×70; 3×95 + 1×95; 3×120 + 1×95; 4×16 + 1×25; 4×25 + 1×35	Несущая неизолированная шина из алюминиевого сплава
СИП-2А	1×16 + 1×25; 3×16 + 1×25; 3×25 + 1×35; 3×25 + 1×50; 3×50 + 1×50; 3×50 + 1×70; 3×70 + 1×70; 3×70 + 1×95; 3×95 + 1×70; 3×95 + 1×95; 3×120 + 1×95; 4×16 + 1×25; 4×25 + 1×35; 3×25 + 1×54,6; 3×35 + 1×54,6; 3×50 + 1×54,6; 3×70 + 1×54,6	Несущая нулевая жила, изолированная светостабилизированным сшитым полиэтиленом
СИП-3	35; 50; 70; 95; 120; 150	Провод одножильный с жилой из алюминиевого сплава с защитной оболочкой из шитого полиэтилена напряжением до 20 кВ
ЗАЛП-В	35; 50; 70; 95; 120; 150	То же, с водоблокирующими элементами напряжением до 35 кВ

3.2. Шины

Шины используются главным образом для изготовления шинных сборок и шинопроводов на электрических станциях, подстанциях и распределительных устройствах. Шины электротехнического назначения выпускаются медными и алюминиевыми.

Медные шины по ГОСТ 434—78 имеют следующее исполнение: ШММ — шины мягкие медные; ШМТ — шины медные твердые; ШМТВ — шины медные твердые из бескислородной меди.

Номинальный размер шин по наименьшей стороне (толщине) составляет 4...30 мм, а по наибольшей стороне (ширине) — 16...120 мм.

Неизолированные алюминиевые шины прямоугольного сечения марки ШАТ выпускаются по ТУ 16-705.002—77 с размерами 10...120 мм по широкой стороне и 3...12 мм по узкой стороне. Расчетные сечения этих шин от 30 до 1440 мм². Удельное электрическое сопротивление шин постоянному току при температуре 20 °С должно быть не более 0,029...0,031 мкОм·м.

3.3. Кабели

Кабельные изделия классифицируются по многим признакам. По областям применения кабели подразделяются на следующие виды.

Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии и выпускаются с медными и алюминиевыми токопроводящими жилами с изоляцией из бумаги, пластика, полиэтилена, резины и других изоляционных материалов. Кабели имеют свинцовые, алюминиевые, резиновые или пластмассовые защитные оболочки и выпускаются на напряжения до 500 кВ.

Контрольные кабели используются для питания приборов, аппаратов и других устройств. Они могут иметь число медных или алюминиевых жил от 4 до 37 сечением 0,75...10 мм².

Кабели управления применяются для питания различных средств автоматики и имеют, как правило, медные жилы и пластмассовую оболочку, поверх которой накладывается броня из стальных проволок. Такая оболочка экранирует кабель от внешних электромагнитных помех и обеспечивает защиту от механических повреждений. Число жил кабелей управления — от 3 до 108.

Кабели связи предназначены для передачи электрических сигналов информации. Кабели связи подразделяются на высокочастотные и низкочастотные, при этом первые из них предназначены для дальней связи, а вторые — для местной связи.

Радиочастотные кабели используются для обеспечения электрической связи между различными устройствами радиотехнических установок и систем. Они имеют коаксиальную конструкцию с медной центральной жилой, имеющей изоляцию из полиэтилена или фторопласта. Поверх изоляции накладываются внешний проводник и защитная оболочка из полиэтилена или пластика.

Приведенные виды кабельной продукции составляют лишь часть выпускаемой электротехнической промышленностью кабельных изделий, число которых составляет несколько тысяч наименований [15, 22]. В дальнейшем рассмотрим кабели, применяемые в

электроэнергетике, системах электроснабжения и электротехнических устройствах. Буквенное обозначение кабелей приведено в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Обозначение кабелей

Буквенное обозначение	Значение
А	Алюминиевая жила
АС	Алюминиевая жила и свинцовая оболочка
АА	Алюминиевая жила и алюминиевая оболочка
Б	Броня из двух стальных лент с антикоррозионным защитным покровом
Бн	То же, но с негорючим защитным покровом (не поддерживающим горение)
Г	Отсутствие защитных покровов поверх брони или оболочки
Л(2Л)	В подушке под броней имеется слой (два слоя) из пластмассовых лент
В(Н)	В подушке под броней имеется выпрессованный шланг из поливинилхлорида (полиэтилена)
Шв (Шн)	Защитный покров в виде выпрессованного шланга (оболочки) из поливинилхлорида (полиэтилена)
К	Броня из круглых оцинкованных стальных проволок, поверх которых наложен защитный покров
Н	Не поддерживающий горение защитный покров
М	Маслонаполненный
П	Броня из оцинкованных плоских проволок, поверх которых наложен защитный покров
С	Свинцовая оболочка
О	Отдельные оболочки поверх каждой фазы
В (в конце обозначения через дефис)	Обедненно-пропитанная бумажная изоляция
Ц	Бумажная изоляция, пропитанная нестекающим составом, содержащим церезин

Буквенное обозначение	Значение
НР	Резиновая изоляция и оболочка из резины, не поддерживающей горение
В	Изоляция или оболочка из поливинилхлорида
П	Изоляция или оболочка из термопластичного полиэтилена
Нс	Изоляция или оболочка из самозатухающего полиэтилена (не поддерживающего горение)
Бб	Броня из профилированной стальной ленты

Наличие медных жил в маркировке не выделяется. Примеры обозначения кабелей: ААБВ — кабель с алюминиевыми жилами, в алюминиевой оболочке, под броней из стальных лент с выпресованной из поливинилхлорида защитной оболочкой; СБ — кабель с бумажной пропитанной изоляцией с медными жилами, в свинцовой оболочке (С), с броней из стальных лент (Б), с защитными покровами из кабельной пряжи, пропитанной битумом; АСБ — то же, что СБ, но с алюминиевыми жилами; ААБ — то же, что АСБ, но с алюминиевой оболочкой.

В табл. 3.11 приведены сведения о трехжильных кабелях на напряжение 1...10 кВ.

Таблица 3.11

Технические характеристики трехжильных кабелей

Обозначение марок	Число жил	Номинальное сечение жил, мм ² , при номинальном напряжении, кВ			
		1	3	6	10
ААГ, ААШв, ААШп, ААБл, ААБ2лШн, ААБ2лШп, ААБлГ, ААБ2л, АСГ, СГ, АСШв, АСБ, СБ, АСБл, СБл, АСБн, СБн, АСБлн, СБлн, АСБГ, СБГ, АСБ2л, СБ2л, АСБ2лШв, СБ2лШв, АСБ2лГ, СБ2лГ	3	6 ... 240	6 ... 240	10 ... 240	16 ... 240
СШв, СБШв	3	16 ... 240	—	10 ... 240	16 ... 240

Обозначение марок	Число жил	Номинальное сечение жил, мм ² , при номинальном напряжении, кВ			
		1	3	6	10
ААПл, ААП2л, ААПлГ, ААП3лГ, ААП2лШв, АСП, СП, АСПл, СПл, АСП2л, СП2л, АСПлн, СПлн, АСПГ, СПГ, АСКл, СКл, АСП2лГ, СП2лГ	3	25 ... 240	25 ... 240	16 ... 240	16 ... 240
СПШв	3	25 ... 240	—	16 ... 240	16 ... 240
АОАБ, ОАБ, АОАБ2л, ОАБ2л, АОАБ2лГ, ОАБ2лГ, АОСБ, ОСБ, АОСБл, ОСБл, АОСБн, ОСБи, АОСБГ, ОСБГ, АОАШвБ, ОАШвБ	3	—	—	—	—
АОСК, ОСК	3	—	—	—	—
ААШв-В, ААП2лШв-В, ААБл-В, ААБ2л-В, АСБ-В, СБ-В, АСБл-В, СБл-В, АСБн-В, СБн-В, ААГ-В, АСБлн-В, СБлн-В, АСБГ-В, СБГ-В, АСБ2л-В, СБ2л-В, ААШп-В	3	6 ... 120	6 ... 120	16 ... 120	—
ААБв, ААБвГ	3	—	—	10 ... 240	16 ... 240
ААШв-В, ААБГл-В, АСБГ-В, СБГ-В	3	185 ... 240	—	—	—
ААПл-В, ААПлГ-В, АСП-В, СП-В, АСПл-В, АСПлн-В, СПлпн-В, АСП2л-В, СП2п-В	3	25 ... 150	25 ... 150	16 ... 120	—
АСПГ-В, СПГ-В, АСП2л-В, СП2лГ-В	3	185 ... 240	—	—	—

В табл. 3.12 приведены данные о четырехжильных силовых кабелях на напряжение 1 кВ. Четвертая (нулевая) жила может иметь одинаковое с фазными жилами сечение для кабелей сечениями 120 мм².

Четырехжильные силовые кабели на напряжение 1 кВ

Обозначение марок	Сечение жил, мм ²
ААГ, ААШп, ААШв, ААБлГ, ААП2лШв, ААБл, ААБ2л, АСГ, СГ, АСБ, СБ, АСБл, СБл, АСБн, СБи, АСБлн, СБлн, АСБГ, СБГ, АСБ2л, СБ2л, АСШв, СШв, СБШв	10 ... 185
ААПл, ААП2л, ААПлГ, АСП, СП, АСПл, СПл, АСПлн, СПлн, АСПГ, СПГ, АСП2л, СПШв, АСКл, СКл	16 ... 185
АСКл, СКл	25 ... 185
ААШв-В, ААП2лШв-В, ААБл-В, ААБ2л-В, АСБ-В, СБ-В, АСБл-В, СБл-В, АСБн-В, СБн-В, АСБлн-В, АСБ2л-В, СБ2л-В	10 ... 120
ААБлГ-В	16 ... 120
АСБГ-В, СБГ-В	10 ... 185
ААПл-В, ААПлГ-В, СП-В, АСП-В, АСПл-В, СПн-В, АСПлн-В, СПлн-В, АСПГ-В, СПГ-В, АСП2л-В, СП2л-В	16 ... 120

В табл. 3.13 приведены марки кабелей, рекомендуемых для прокладки в земле и траншеях.

Таблица 3.13

Кабели для прокладки в земле и траншеях

Тип и марки кабелей		с пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой	Условия прокладки на трассе	Область применения
с бумажной пропитанной изоляцией				
в процессе эксплуатации не подвергается растягивающим усилиям	в процессе эксплуатации подвергается значительным растягивающим усилиям	в процессе эксплуатации не подвергается растягивающим усилиям		
ААШв, ААШп, АЛБл, АСБ	ААПл, АСПл	АВВ, АПсВГ, АПаВГ	Без блуждающих токов	В земле (траншеях) с низкой коррозионной активностью

Тип и марки кабелей			Условия прокладывания на трассе	Область применения
с бумажной пропитанной изоляцией		с пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой		
в процессе эксплуатации не подвергается растягивающим усилиям	в процессе эксплуатации подвергается значительным растягивающим усилиям	в процессе эксплуатации не подвергается растягивающим усилиям		
ААШв, ААШп, ААБ2л, АСБ	ААП2л, АСПл	АПВГ, АБВБ, АПВБ, АПсВБ,	С наличием блуждающих токов	В земле (траншеях) с низкой коррозионной активностью
ААШв, ААШп, ААБл, ААБ2л, АСБ, АСБл	ААПл, АСПл	АППБ, АПВВБ, АПБбШв	Без блуждающих токов	В земле (траншеях) со средней коррозионной активностью
ААШп, ААШв, ААБ2л, ААБв, АСБл, АСБ2л	ААП2л, АСПл	АПвБбШв, АВВбШп	С наличием блуждающих токов	
ААШп, ААШв, ААБ2л, ААП2лШв, АСБ2л, ААБ2лШп, АСП2л, ААБ2лШв, ААБв, АСБл		АПсБбШв, АВГБ, АНРБ	Без блуждающих токов	В земле (траншеях) с низкой коррозионной активностью
ААШп, ААБв, АСБ2л, АСБ2лШв	ААП2лШв, АСП2л	АВАБл, АПАБл	С наличием блуждающих токов	

В табл. 3.14 приведены марки кабелей, рекомендуемые для прокладки в воздухе.

Кабели для прокладки в воздухе

С бумажной пропитанной изоляцией в металлической оболочке		С пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой		Область применения
при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации	
ААГ, ААШв ААШв	ААБлГ ААБлГ	АВВГ, АВРГ АНРГ, АПвВГ, АПВГ, АПвсВГ, АПсВГ	АВВБГ, АВРБГ АВБбШв, АПвВБП, АПАШв, АВАШв, АПВБбШв, АПвсБбШв, АпсВБГ, АПВБП, АНРБГ	Прокладка в помещениях (туннелях) в каналах, кабельных полуэтажах, шахтах, коллекторах, производственных помещениях: а) сухих б) сырых, частично затапливаемых при наличии среды со слабой коррозионной активностью в) сырых частично затапливаемых при наличии среды со средней и высокой коррозионностью
ААШв, АСШв	ААБлГ, ААБ2лШв, ААБлГ, АСБлГ, АСБ2лГ, АСБ2лШв			
ААГ, ААШв	ААБвГ, ААБлГ, АСБлГ	АВВГ, АВРГ, АПсВГ, АНРГ, АСРГ, АПвсВГ	АВВБГ, АВВБбГ, АВБбШв, АПсБбШв, АПвсВГ, АВРБГ, АСРБГ	Прокладка в пожароопасных помещениях

С бумажной пропитанной изоляцией в металлической оболочке		С пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой		Область применения
при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при наличии опасности механических повреждений в эксплуатации	
СБГ, СБШв, ААШв ААБлГ, АСБГ, ААШв ААГ, АСГ, АСШв, ААШв	— — ААБлГ, АСБГ	ВВГ, ВРГ, НРГ, СРГ АВВГ, АВРГ, АНРГ АВВГ, АВРГ, АНРГ, АСРГ	ВБВ, ВББШв, ВВБбГ, НРБГ, СРБГ АВБВ, АВБбШв, АВВБбГ, АВВБГ, АНРБГ, АСРБГ, АВРБГ —	Прокладка во взрывоопас- ных зонах классов: а) В-1, В-1а б) В-1г, В-П в) В-1б, В-1а
АШв ААШв, ААБлГ ААБвГ, АСБлГ, ААШв	ААБлГ, ААБвГ, ААБ2лШв, АСБлГ — ААБлГ	— ААВГ, АВРГ, АНРГ, АПсВГ, АПвВГ, АПВГ, АПсВГ, АВ, АПАШв —	АВВБГ, АВВБбГ, АВРБГ, АНРБГ, АПсВБГ, АПсВВГ, АВАШв АВВБГ, АВВБбГ, АВРБГ, АНРБГ, АВАШв АПсВБГ, АПВБГ	Прокладка на эстакадах: а) технологических б) специальных кабельных в) на мостах
СГ, АСГ		АВВГ, АПсВГ, АПвВГ, АПВГ		Прокладка в блоках

Допустимые токовые нагрузки кабелей при различных способах прокладки приведены в табл. 3.15—3.22.

Таблица 3.15

Допустимые токовые нагрузки, А, кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле

Сечение жилы, мм ²	Одножильные кабели при напряжении до 1 кВ	Двухжильные кабели при напряжении до 1 кВ	Трехжильные кабели при напряжении			Четырехжильные кабели при напряжении до 1 кВ
			до 3 кВ	до 6 кВ	10 кВ	
2,5	—	45	40	—	—	—
4	80	60	55	—	—	50
6	105	80	70	—	—	60
10	140	105	95	80	—	85
16	175	140	120	105	95	115
25	235	185	160	135	120	150
35	285	225	190	160	150	175
50	360	270	235	200	180	215
70	440	325	285	245	215	265
95	520	380	340	295	265	310
120	595	435	390	340	310	350
150	675	500	435	390	355	395
185	755	—	490	440	400	450
240	880	—	570	510	460	—
380	1 000	—	—	—	—	—
400	1 220	—	—	—	—	—
500	1 400	—	—	—	—	—
625	1 520	—	—	—	—	—
800	1 700	—	—	—	—	—

**Допустимые токовые нагрузки, А,
кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной
маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией
в свинцовой оболочке, прокладываемых в воздухе**

Сечение жилы, мм ²	Одножиль- ные кабели при напря- жении до 1 кВ	Двухжиль- ные кабели при напря- жении до 1 кВ	Трехжильные кабели при напряжении			Четырех- жильные кабели при напряжении до 1 кВ
			до 3 кВ	до 6 кВ	10 кВ	
2,5	40	30	28	—	—	—
4	55	40	37	—	—	35
6	75	55	45	—	—	45
10	95	75	75	55	—	60
16	120	95	95	65	60	80
25	160	130	130	90	85	100
35	200	150	150	110	105	120
50	245	185	185	145	135	145
70	305	225	225	175	165	185
95	360	275	275	215	200	215
120	425	320	320	250	240	260
150	470	375	375	290	270	300
185	525	—	430	325	305	340
240	610	—	—	375	350	—
300	720	—	—	—	—	—
400	880	—	—	—	—	—
500	1 020	—	—	—	—	—
625	1 180	—	—	—	—	—
800	1 400	—	—	—	—	—

**Токовые нагрузки, А, кабелей с медными жилами
с бумажной пропитанной маслोकанифольной и нестекающей массой
изоляция в свинцовой оболочке, прокладываемых в воде**

Сечение жилы, мм ²	Трехжильные кабели при напряжении			Четырехжильные кабели при напряжении до 1 кВ
	до 3 кВ	до 6 кВ	10 кВ	
16	—	135	120	—
25	210	170	150	195
35	250	205	180	280
50	305	255	220	285
70	375	310	275	350
95	440	375	340	410
120	505	430	395	470
150	565	500	450	—
185	615	545	510	—
240	715	625	585	—

Таблица 3.18

**Токовые нагрузки, А, кабелей и проводов с медными жилами
с резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и кабелей
с медными жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией
в свинцовой, пластмассовой или резиновой оболочке,
бронированных и небронированных (1 кВ)**

Сечение жилы, мм ²	Одножильные кабели	Двужильные кабели		Трехжильные кабели	
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
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

Сечение жилы, мм ²	Одножильные кабели	Двужильные кабели		Трехжильные кабели	
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385
150	440	350	505	305	435
185	510	405	570	350	500
240	605	—	—	—	—

Таблица 3.19

Допустимые токовые нагрузки, А, кабелей с алюминиевыми жилами, бумажной изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке при прокладке в земле/в воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Трехжильные кабели при напряжении			Четырехжильные кабели при напряжении до 1 кВ
	до 3 кВ	до 6 кВ	до 10 кВ	
6	55/35	—	—	46/—
10	75/46	60/42	—	65/45
16	90/60	80/50	75/46	90/60
25	125/80	105/70	90/65	115/75
35	145/95	125/85	115/80	135/95
50	180/120	155/110	140/105	165/110
70	220/155	190/135	165/130	200/140
95	260/190	225/165	205/155	240/165

Сечение токо- проводящей жилы, мм ²	Трехжильные кабели при напряжении			Четырехжильные кабели при напряжении до 1 кВ
	до 3 кВ	до 6 кВ	до 10 кВ	
120	300/220	260/190	240/185	270/200
150	335/225	300/225	275/210	305/230
185	380/290	340/250	310/235	345/260
240	440/330	390/290	355/270	—

Таблица 3.20

Допустимые токовые нагрузки, А, кабелей с алюминиевыми жилами, резиновой или пластмассовой изоляцией, в свинцовой, полихлорвиниловой или резиновой оболочках при прокладке их в воздухе/в земле

Сечение жилы, мм ²	Одножильные кабели	Двужильные кабели	Трехжильные кабели
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
16	75	70/105	60/90
25	105	90/135	75/115
35	130	105/160	90/140
50	165	135/205	110/175
70	210	165/245	140/210
95	250	200/295	170/225
120	295	230/340	200/295
150	340	270/390	235/335
185	395	310/440	270/385
240	465	—	—

Допустимые токовые нагрузки, А, проводов и шнуров с резиновой и пластмассовой изоляцией с медными жилами

Сечение жилы, мм ²	Провода проложены открыто	Провода проложены в одной трубе				
		два одно-жильных	три одно-жильных	четыре одножильных	один двухжильный	один трехжильный
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14
1,5	23	19	17	16	18	15
2,5	30	27	25	25	25	21
4	41	38	35	30	32	27
6	50	46	42	40	40	34
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250

Таблица 3.22

Допустимые длительные токовые нагрузки, А, на провода с алюминиевыми жилами с резиновой полихлорвиниловой изоляцией

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Провода, проложенные открыто	Провода (одножильные), проложенные в трубе			Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Провода, проложенные открыто	Провода (одножильные), проложенные в трубе		
		два	три	четыре			два	три	четыре
2	21	19	18	15	16	75	60	60	55
2,5	24	20	19	19	25	105	85	80	70
3	27	24	22	21	35	130	100	95	85

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Провода, проложенные открыто	Провода (одножильные), проложенные в трубе			Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Провода, проложенные открыто	Провода (одножильные), проложенные в трубе		
		два	три	четыре			два	три	четыре
4	32	28	28	23	50	165	140	130	120
4	36	32	30	27	70	210	175	165	140
6	39	36	32	30	95	255	215	200	175
8	46	43	40	37	120	295	245	220	200
10	60	50	47	39					

В табл. 3.23 приведены сведения об основных типах контрольных кабелей.

Таблица 3.23

Технические характеристики контрольных кабелей

Марка	Материал жилы	Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Число изолированных жил
<i>Кабели с резиновой изоляцией</i>			
КРСГ, КРСБ, КРСБГ, КРСК	М	1; 1,5; 2,5	4; 5; 7; 10; 14; 19; 27; 37
	М	4; 6	4; 7; 10
КРВГ, КРВГЭ, АКРВГ, АКРВГЭ	М	0,75; 1,0; 1,5	4; 5; 7; 10; 14; 19; 27; 37; 52
КРВБ, АКРВБ, КРВБГ, АКРВБГ, КРВБ6Г, АКРВБ6Г, КРНГ, АКРНГ, КРНБ, АКРНБ, КРНБГ, АКРНБГ, КРНБГц, АКРНБГц, КРНБ6г, АКРНБ6г	М, А	2,5	4; 5; 7; 10; 14; 19; 27; 37
	М, А	4; 6; 10	4; 7; 10
	А	10	4; 7; 10
<i>Кабели с поливинилхлоридной изоляцией</i>			
КВВГ, КВВГЭ, АКВВГ, АКВВГЭ, КВВБ, АКВВБ, КВВБГ, АКВВБГ, КВВБГц, АКВВБГц,	М	0,75; 1,0; 1,5	4; 5; 7; 10; 14; 19; 27; 37; 52; 61
	М, А	2,5	4; 5; 7; 10; 14; 19; 27; 37

Марка	Материал жилы	Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Число изолированных жил
КВВБ6Г, АККВВБ6Г, КВБ6ШВ, АКВБ6ШВ, КВП6ШВ, КВСтШВ, АКВСтШВ	М, А	4; 6	4; 7; 10
<i>Кабели с полиэтиленовой изоляцией</i>			
КПВГ, АКПВГ, КПВБ, АКПВБ, КПВБГ, АКПВБГ, КПВБ6Г, АКПВБ6Г, КПБ6ШВ, АКПБ6ШВ, КПП6ШВ, КПСтШВ, АКПСтШВ, КПсВГ, АКПсВГ, КПсВГЭ, АКПсВГЭ, КПсВБ, АКПсВБ, КПсВБГ, АКПсВБГ, КПсВБ6Г, АКПсВБ6Г, КПсБ6ШВ, АКПсБ6ШВ, КПсП6ШВ	М	0,75; 1,0; 1,5	4; 5; 7; 10; 14; 19; 27; 37; 52; 61
	М, А	2,5	4; 5; 7; 10; 14; 19; 27; 37
	М, А	4; 6	4; 7; 10
	А	10	4; 7; 10

Контрольные кабели используются для передачи низковольтных маломощных сигналов управления в различных электротехнических устройствах. Кабели рассчитаны на переменное напряжение до 660 В частотой до 100 Гц и постоянное напряжение до 1 000 В. Жилы кабелей изготавливают из меди (сечение от 0,75 до 6 мм²) и алюминия (сечение от 2,5 до 10 мм²).

Изоляция контрольных кабелей (К) изготавливается из резины (обозначение в марке — Р), поливинилхлоридного пластика (В), полиэтилена (П), фторопласта (Ф), в некоторых случаях — из кабельной пропитанной бумаги. Кабели могут иметь оболочки из резины или пластмассы, свинца и алюминия. Для защиты от внешних электрических полей контрольные кабели могут иметь экран (Э). В зависимости от условий прокладки контрольные кабели могут иметь броневые (Б) и защитные покрытия.

Примеры расшифровки обозначения кабеля: КРСБ — контрольный кабель с медными жилами, резиновой изоляцией, свинцовой оболочкой, бронированный; АКВВБГ — контрольный кабель с алюминиевыми жилами, поливинилхлоридной изоляцией и оболочкой, бронированный двумя стальными лентами с противокоррозионным покрытием. В табл. 3.24 приведены данные кабелей управления.

Технические характеристики кабелей управления

Марка кабеля	Сечение жил, мм ²	Число жил (число экранированных жил)	Расчетная масса, кг/км	Примечание
КРШУ	1,00	4 ... 37	200 ... 1 180	Изоляция — резина и прорезиненная тканевая лента, экран — медная луженая проволока (МЛП), обмотка — прорезиненная тканевая лента, оболочка — резина, панцирная броня: 1 — стальная оцинкованная проволока (СОП), 2 — нержавеющая стальная проволока (НСП), 3 — медная луженая проволока
КРШУЭ	1,00	4 ... 37	300 ... 1 940	
КУШГПВ	0,35	7 ... 108	68 ... 810	
КУШГПВ-П (1), КУШГПВ-Пн (2), КУШГПВ-Пм (3)	0,50	7 ... 108	78,7 ... 965	
КУШГПР	0,35	4 ... 108	58 ... 879	
КУШГПР-П	0,50	4 ... 108	64,8 ... 1 031	Изоляция — полиэтилен (ПЭ), обмотка — полиамидная пленка, прорезиненная тканевая пленка (ПТП), оболочка — резина, панцирная броня: стальная оцинкованная проволока, нержавеющая стальная проволока, медная луженая проволока
КУШГПР-Пн	0,75	4 ... 37	92 ... 643	
КУШГПР-Пм	1,00	4 ... 37	103 ... 760	
	1,50	4 ... 37	134 ... 1 016	
КЭРШ, КЭРШ-П	0,35	16 ... 115	237 ... 1 310	Изоляция — ПЭ, экран — медная луженая проволока А, обмотки — полиамидная пленка, панцирная броня: стальная оцинкованная проволока, нержавеющая стальная проволока, медная луженая проволока, оболочка — резина

Марка кабеля	Сечение жил, мм ²	Число жил (число экранированных жил)	Расчетная масса кг/км	Примечание
КЭРШ-Пн, КЭРШ-Пм	0,35	9 ... 63	263 ... 1 481	—
	0,50	16 ... 115	106 ... 1 006	
	0,75	9 ... 63	113 ... 1 090	
	0,35	4 ... 52	130 ... 565	
	0,50	4 ... 52	154 ... 706	
	0,15	4 ... 19	207 ... 972	
КПКР, КПКР-П	0,50	12	209 ... 295	Изоляция — ПЭ, оболочка — капрон толщиной 0,1 мм, обмотка — полиамидная пленка ПК-4, панцирная броня — нержавеющая стальная проволока
	0,75	4	119 ... 185	
КУПКР	0,50	12	182	Изоляция — ПЭ, оболочка — капрон толщиной 0,1 мм, обмотка — полиамидная пленка ПК-4, панцирная броня — нержавеющая стальная проволока
	1,00	37	400	
КФШР, КФЭШР	0,50	10 ... 48	155 ... 529	Изоляция — фторопласт-40Ш экран в КФШР отсутствует, в КФЭШР — медная луженая проволока, обмотка — ориентированная пленка Ф-4, оболочка — резина
	0,20	24	233	
	0,35	45	511	
	0,20	10	170	
	0,35	19	282	

КБФРТ	0,50	12	282	Изоляция — фторопласт 40Ш, две обмотки — ориентированные пленки фторопласта 4, экран — медная луженая проволока, оболочка — резина ШНН-45Л
	0,75	14	434	
	0,50	4	147	
	0,75	7	192	
КДФР	0,20	3 ... 52	82,1 ... 349	Изоляция — фторопласт 40Ш, обмотка — ориентированная пленка Ф-4, экран в КДФР отсутствует, в КДФЭР — ориентированная пленка Ф-4, оболочки — резина ШНН-45Л, оплетка — шелк, лавсан
КДФЭР	0,35	3 ... 52	94 ... 540	
	1,00	61	1 268	
	1,50	3 ... 52	167 ... 1 467	
	0,20	3 ... 52	107 ... 522	
	0,35	3 ... 52	162 ... 679	
	0,20	9 ... 32	198 ... 543	
0,35	7 ... 17	132 ... 322		
КУС	0,5	1	85	Изоляция — кремнийорганическая резина, экран — посеребренная проволока, обмотка по экрану и по сердечнику — ориентированная пленка Ф-4, оболочка — кремнийорганическая резина
КФРВ	0,75	19	210	Изоляция — фторопласт-40Ш, обмотка — ориентированная пленка Ф-4, оплетка — шелк, лавсан, пропитанный фенолоновым лаком, оболочка — кремнийорганическая резина, армированная лавсаном
КУФЭФС	0,75	2	84,6	Изоляция — фторопласт-40Ш, экран — медная луженая проволока, обмотка — ориентированная пленка Ф-4, оболочка — фторкаучук

Кабели управления предназначены для передачи сигналов малой мощности на переменном напряжении до 1 000 В частотой до 5 кГц или постоянном напряжении до 1 400 В. Отличием кабелей управления от контрольных, неподвижно устанавливаемых, является подвижное присоединение. Кабели имеют, как правило, медные жилы сечением 0,03... 2,5 мм² и числом от 3 до 108. Кабели могут быть неэкранированными, иметь часть экранированных жил, все экранированные жилы, двойной экран. Жилы кабелей управления могут иметь как одинаковое сечение токопроводящих жил, так и разное. Диапазон температур длительной эксплуатации: от 70 °С для кабелей с резиновой изоляцией до 250 °С с изоляцией из фторопласта-4.

Новые виды кабельной продукции. Развитие кабельной промышленности привело к выпуску силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ), пожаробезопасных кабелей; самонесущих изолированных проводов и волоконно-оптических кабелей связи.

Силовые кабели по сравнению с традиционными кабелями, имеющими изоляцию из пропитанной специальным составом бумаги (БПИ), обладают меньшим весом, меньшим диаметром, низкой повреждаемостью и более высокой пропускной способностью, а также большей устойчивостью к влажной среде и низкими диэлектрическими потерями. Конструкция таких кабелей герметизирована от проникновения влаги в радиальном и продольном направлениях, что позволяет эксплуатировать их в обводненных грунтах. При замене 10-киловольтных кабелей с БПИ на кабели с изоляцией из СПЭ достигается значительное снижение эксплуатационных затрат.

Пожаробезопасные кабели должны обладать комплексом свойств, необходимых для защиты при пожарах ответственных объектов (АЭС и т.д.), людей (метрополитены, зрелищные залы и др.), а также от повреждений электронного оборудования и телекоммуникационных систем.

Пожаробезопасность кабелей обеспечивается в соответствии со следующими показателями:

- нераспространение горения по кабельным коммуникациям при прокладке кабелей в пучках с высокой концентрацией горючей массы;
- пониженное выделение дыма, коррозионноактивных и опасных для здоровья продуктов горения обеспечивают кабели с применением новой серии пластикатов пониженной пожарной опасности (кабели с индексом LS — low smoke) и кабели с оболочкой из материалов, не содержащих галогенов (кабели с индексом HF — halogen free). HF-кабели имеют еще более низкую по сравнению с LS-кабелями дымообразующую способность и пониженную кислотность газов, выделяемых при горении;
- обеспечение функционирования кабелей при пожаре объекта заданное время (до 3 ч) (FR-кабели или огнестойкие кабели).

Допустимые токовые нагрузки кабелей, не распространяющих горение

Номинальное сечение жил, мм ²	Изоляция из полимерных композиций, не содержащая галогенов			Изоляция из силанольно-сшиваемого полиэтилена	
	одножильные*	трехжильные	четырёх- и пятижильные	одножильные*	трех-, четырёх- и пятижильные
16	121	87	81	140	101
25	160	115	107	185	131
35	197	141	131	228	163
50	247	177	165	—	—
70	318	226	210	—	—
95	386	274	255	—	—
120	450	321	299	—	—
150	521	370	344	—	—
185	594	421	392	—	—
240	704	499	464	—	—

* — токовые нагрузки даны для работы на постоянном токе.

В табл. 3.25 приведены допустимые токовые нагрузки силовых кабелей из полимерных композиций, не содержащих галогенов и с изоляцией из силанольно-сшиваемого полиэтилена при прокладке в помещениях и кабельных сооружениях при напряжении 0,66 и 1 кВ частотой до 100 Гц производства ЗАО «Завод Москабель».

В табл. 3.26 приведены данные силовых кабелей, не распространяющих горение с изоляцией и оболочкой из полимерных композиций, не содержащих галогенов (с индексом НГ) производства ЗАО «Завод Москабель» на номинальное напряжение 1 кВ, выпускаемые в соответствии с ТУ 16.К71-304—2001.

Таблица 3.26

Технические характеристики силовых кабелей с индексом нг-НГ

Марка кабеля	Число жил	Сечение жил, мм ²	Примечание
ППГнг-НГ	1, 3, 4, 5	16 ... 240	Кабели с медными жилами для прокладки в кабельных сооружениях и помещениях при отсутствии опасности механических повреждений в процессе эксплуатации

Марка кабеля	Число жил	Сечение жил, мм ²	Примечание
ПБбПнг-НФ	3, 4, 5	16 ... 240	То же, бронированный. Прокладка в кабельных сооружениях и помещениях при наличии опасности механических повреждений в процессе эксплуатации
ПвПГнг-НФ	1, 3, 4, 5	16 ... 35	Кабели с медными жилами, изоляция из сшитого полиэтилена. Прокладка в кабельных сооружениях и помещениях при отсутствии опасности механических повреждений в процессе эксплуатации

Самонесущие изолированные провода предназначены для передачи и распределения электроэнергии в воздушных силовых и осветительных сетях напряжением 0,4 и 6 и 10 кВ.

Эксплуатационные преимущества изолированных самонесущих проводов по сравнению с неизолированными состоят в следующем:

- повышенная надежность в эксплуатации;
- стойкость к атмосферным воздействиям (обледенение, ветровые нагрузки);
- снижение индуктивного сопротивления линий в 3,5 раза;
- защита зеленых насаждений (не требуется вырубка деревьев и кустарников на трассе прокладки).

Высокая надежность СИП позволяет снизить эксплуатационные затраты на 80 %, поскольку практически исключены короткие замыкания и обрывы, вызванные падением деревьев, налипанием снега и т. д. Потери электроэнергии в линии уменьшаются более чем в 3 раза, снижается риск несанкционированных подключений. Технические данные СИП были приведены в табл. 3.9.

Волоконно-оптические кабели (ВОК) являются перспективным и быстро развивающимся видом кабелей связи, обладают способностью одновременно передавать десятки миллионов телефонных разговоров или тысячи телевизионных цифровых каналов. Это возможно за счет способности кварцевого стекла переносить оптические сигналы в огромной полосе частот, охватывающей десятки терагерц.

Основным элементом ВОК является световод, выполненный в виде тонкого оптического волокна цилиндрической формы, по которому передаются световые сигналы.

Световод имеет двухслойную конструкцию и состоит из сердцевины и оболочки. Сердцевина, как правило, состоит из кварца и служит для передачи световой энергии. Оболочка может быть кварцевая или полимерная, и ее назначение состоит в создании лучших условий отражения на границе «сердцевина—оболочка» и защите от помех из окружающего пространства. Снаружи световода располагается защитное покрытие для предохранения его от механических воздействий и нанесения расцветки.

По световоду могут распространяться один или несколько лучей света, называемых *модами*. Соответственно различают одномодовый и многомодовый световоды.

Для обеспечения большой пропускной способности линии связи производятся ВОК, содержащие небольшое число (до 8) одномодовых волокон с малым затуханием, а кабели для распределительных сетей могут содержать до 144 волокон как одномодовых, так и многомодовых, в зависимости от расстояний между сегментами сети.

По условиям эксплуатации кабели подразделяются на монтажные, станционные, зонные и магистральные. Первые два типа кабелей предназначены для прокладки внутри зданий и сооружений. Они компактны, легки и, как правило, имеют небольшую строительную длину. Кабели последних двух типов предназначены для прокладки в колодцах кабельных коммуникаций, в грунте, на опорах вдоль ЛЭП, под водой. Эти кабели имеют защиту от внешних воздействий и строительную длину более двух километров.

В России ВОК выпускаются несколькими производителями кабельной продукции. ЗАО «Завод Москабель» производит многомодовые ВОК типа ОМЗКГМ, ОКСТМ, ОКСТМН, ОКСНМ, ОКПМ, ОКПД, одномодовые ВОК типа ОМЗКГЦ и ряд других ВОК различного исполнения для прокладки внутри зданий, в кабельных каналах, трубах, тоннелях и на мостах.

3.4. Расчет сечений и выбор проводов, кабелей и шин

Расчет сечений и выбор проводов, кабелей и шин проводится при учете следующих требований:

провода, кабели, шины не должны нагреваться сверх допустимой для них температуры при протекании по ним расчетного тока нагрузки;

для некоторых видов сетей в соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ) выбор сечения проводов осуществляется по экономической плотности тока;

отклонения напряжения на зажимах электроприемников не должны превышать $(-2,5...+5\%)$ для осветительной и $\pm 5\%$ для силовой нагрузки;

провода, кабели и шины должны обладать достаточной для данного вида сети механической прочностью;

провода, кабели и шины должны обладать достаточной для данного вида сети термической стойкостью при возникновении коротких замыканий в системе электроснабжения;

сечение проводов, кабелей и шин должно соответствовать уставке максимальной токовой защиты электрических цепей.

Расчетная токовая нагрузка проводников $I_{\text{расч}}$, А, определяется следующим образом:

для трехфазной четырехпроводной и трехпроводной сети —

$$I_{\text{расч}} = P_{\text{max}} / (\sqrt{3} U_{\text{н.л}} \cos \varphi);$$

для двухфазной сети с нулевым проводом —

$$I_{\text{расч}} = P_{\text{max}} / (2 U_{\text{н.ф}} \cos \varphi);$$

для однофазной сети —

$$I_{\text{расч}} = P_{\text{max}} / (U_{\text{н.ф}} \cos \varphi),$$

где P_{max} — расчетная максимальная нагрузка, Вт; $U_{\text{н.л}}$, $U_{\text{н.ф}}$ — номинальные линейное и фазное напряжения, В; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности нагрузки.

Для обеспечения нормальных условий работы линий электропередач выбранный кабель должен быть проверен по нагреву, потере напряжения и термической стойкости при токах короткого замыкания.

Выбор или проверка сечения проводников по нагреву производится по соотношению

$$I_{\text{доп.расч}} \leq k_t k_{\text{п.к}} I_{\text{доп.табл}},$$

где k_t — поправочный коэффициент, учитывающий фактическую температуру окружающей сети; $k_{\text{п.к}}$ — коэффициент, учитывающий количество проложенных кабелей в траншее.

В табл. 3.27 приводятся значения поправочного коэффициента k_t для кабелей, голых и изолированных проводов [6], где $t_{\text{расч}}$, $t_{\text{норм}}$ — соответственно расчетная температура среды и нормируемая температура жил.

Таблица 3.27

Поправочные коэффициенты на температуру земли и воздуха

$t_{\text{расч}}$, °С	$t_{\text{норм}}$, °С	Коэффициент при фактической температуре среды, °С											
		-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
15		1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68

$t_{\text{расч.}}$ °С	$t_{\text{норм.}}$ °С	Коэффициент при фактической температуре среды, °С											
		-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15		1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
15		1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,41
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15		1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15		1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	—
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	—

Таблица 3.28

**Поправочный коэффициент на количество работающих кабелей,
лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)**

Расстояние между кабелями в свету, мм	Значение коэффициента при числе кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,9	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

В табл. 3.28 приводятся значения коэффициента $k_{п.к}$ [15].

Проверка по потере напряжения проводится обычно для осветительных установок и при длине кабельной линии более 1 км. Расчет и выбор сечения по заданному уровню потери напряжения для линий трехфазного тока низкого напряжения может выполняться по следующей упрощенной формуле:

$$s_{п.н} = PL/(U\Delta U\gamma),$$

где P — мощность приемника, Вт; L — расчетная длина линии, м; ΔU — потеря напряжения, В; γ — удельная электрическая проводимость проводника, См/м.

Эта формула используется также и для определения потери напряжения ΔU в линиях при известном их сечении, материале проводников и длине.

При некоторых расчетах требуется знание значений удельных активного и индуктивного сопротивлений линий. В табл. 3.29 приведены средние значения удельного индуктивного сопротивления x_0 линий.

Удельное активное сопротивление линий рассчитывается по формуле

$$R_0 = 1\,000/s,$$

где s — сечение провода одной фазы, мм².

Проверка сечений по термической устойчивости проводится на основе расчета токов короткого замыкания в системе электропитания. Минимальное термически стойкое токам короткого замыкания $I_{к.з}$ сечение кабеля $s_{т.у}$ определяется по формуле

$$s_{т.у} = (I_{к.з} \sqrt{t_{к.з}}) / C,$$

где $I_{к.з}$ — ток короткого замыкания; $t_{к.з}$ — расчетное время короткого замыкания; C — термический коэффициент для кабелей.

Наименьшие допустимые сечения проводов по условию механической прочности приведены в табл. 3.30 [15].

В табл. 3.31 приведены значения экономической плотности тока для проводов, шин и кабелей [15].

Экономически целесообразное сечение S проводников определяется по формуле

$$S = I/j_{эк},$$

где I — расчетный ток проводников.

Таблица 3.29

Среднее значение удельного индуктивного сопротивления линий

Вид линии и ее рабочее напряжение	x_0 , Ом/км
Одноцепные воздушные линии 6, 10, 15, 35, 64, 110 кВ	0,40
Воздушные линии до 1 кВ	0,30
Кабельные линии 6 и 10 кВ	0,12
Кабельные линии 35 кВ	0,08
Кабельные линии до 1 кВ	0,07

**Наименьшие допускаемые сечения проводов
по условию механической прочности**

Характеристика провода и условия прокладки	Наименьшее сечение жилы, мм ²	
	медной	алюминиевой
Изолированные провода осветительных арматур:		
внутри зданий	0,5	—
вне зданий	1,0	—
Шнуры и провода в легком защитном резиновом, полихлорвиниловом шланге для подвесных и настольных ламп и для переносных бытовых электроприемников	0,75	—
Шнуры и провода в среднем защитном шланге для присоединения подвижных электроприемников в промышленных установках	1,0	—
Шнуры и провода в тяжелых шлангах	2,5	—
Скрученные двухжильные провода	1,0	—
Изолированные провода для прокладки на изолирующих опорах, расположенных друг от друга на расстоянии:		
до 1 м	1,0	2,5
до 2 м	1,5	2,5
до 6 м	2,5	4,0
до 12 м	4,0	6,0
более 12 м	6,0	16,0
Изолированные провода для прокладки в трубах	1,0	2,5
Неизолированные провода в зданиях	2,5	4,0
Неизолированные, защищенные от коррозии провода в зданиях	1,5	2,5
Изолированные и защищенные от коррозии неизолированные провода в наружных проводках:		
по стенам	2,5	4,0
во всех других случаях	4,0	10,0
Неизолированные провода в наружных проводках	4,0	10,0
Неизолированные провода воздушных линий	6,0	16,0

Экономическая плотность тока

Проводники	Экономическая плотность тока $j_{эк}$, А/мм ² , при числе часов использования максимума нагрузки в год		
	1 000 ... 3 000	3 000 ... 5 000	более 5 000
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами:			
медными	3,0	2,5	2,0
алюминиевыми	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами:			
медными	3,5	3,1	2,7
алюминиевыми	1,9	1,7	1,6

Сечение кабеля должно соответствовать всем приведенным условиям проверки.

Пример 3.1. Рассчитать и выбрать сечение трехфазной кабельной линии с медными жилами по длительно допустимому току. Кабель прокладывается в земле в одной траншее на расстоянии $L = 150$ м к электроустановке с расчетной мощностью $P = 70$ кВт, напряжением $U_{н.л} = 380$ В и коэффициентом мощности $\cos \varphi = 0,85$. Расчетная температура воздуха 45°C , в траншее находится еще один кабель.

Решение. 1. Определяем расчетный ток нагрузки:

$$I_{расч} = P_{max} / (\sqrt{3} U_{н.л} \cos \varphi) = 70\,000 / (1,73 \cdot 380 \cdot 0,85) = 125 \text{ А.}$$

2. Выбираем трехфазный кабель с медными жилами для прокладки в земле сечением $s = 25$ мм² с длительно допустимым током $I_{доп} = 160$ А.

3. Находим допустимую расчетную нагрузку кабеля с учетом температуры окружающей среды и условий прокладки, используя соответствующие коэффициенты из табл. 3.26 и 3.27:

$$I_{доп.расч} = I_{доп} k_t k_{п.к} = 160 \cdot 0,74 \cdot 0,92 = 109 \text{ А.}$$

4. Так как $I_{доп.расч} < I_{расч} = 125$ А, выбираем кабель с сечением жил $s = 35$ мм², имеющий длительно допустимый ток $I_{доп} = 190$ А. Для него $I_{доп.расч} = I_{доп} k_t k_{п.к} = 190 \cdot 0,74 \cdot 0,92 = 129$ А, что больше

расчетного рабочего тока $I_{\text{расч}} = 125 \text{ А}$ и удовлетворяет требованиям расчета.

5. Проверяем кабель по потере напряжения ΔU :

$$\Delta U = PL/(sU\gamma) = 70\,000 \cdot 150 / (35 \cdot 380 \cdot 57) = 13,9 \text{ В},$$

что составляет 3,6 %.

Контрольные вопросы

1. Какие виды проводниковых и электроизоляционных материалов применяются в проводниковых изделиях?
2. На какие виды подразделяются провода?
3. Где применяются шины и из каких материалов они изготавливаются?
4. Какие виды электрических кабелей вы знаете?
5. Какие виды и материалы защитных оболочек жил кабелей вы знаете?
6. Назовите способы прокладки кабелей и как это отражается на выборе типа кабеля.
7. Какие факторы должны учитываться при расчете сечений и выборе проводниковых изделий?
8. Как рассчитывается сечение проводников по допустимой токовой нагрузке?
9. Как рассчитывается сечение проводников по экономической плотности тока?
10. Как рассчитывается сечение проводников по потере напряжения?

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И УСТРОЙСТВА НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

4.1. Классификация электрических аппаратов

Электрическими аппаратами (ЭА) называются электротехнические устройства, предназначенные для управления потоками энергии и информации, а также режимами работы, контроля и защиты технических и электротехнических систем и их компонентов.

Одним из основных признаков классификации ЭА является их рабочее (номинальное) напряжение, по которому они подразделяются на аппараты низкого (до 1000 В) и высокого (свыше 1000 В) напряжения.

Аппараты низкого напряжения выполняют в основном функции коммутации и защиты электрических цепей и устройств (автоматические выключатели, контакторы, пускатели, реле, рубильники и пакетные выключатели, кнопки управления, тумблеры и другие аппараты) и регулирования параметров технических объектов (стабилизаторы, регуляторы напряжения, мощности и тока, усилители, датчики различных переменных).

Аппараты высокого напряжения подразделяются на коммутационные (выключатели, выключатели нагрузки, разъединители), измерительные (измерительные трансформаторы тока и напряжения, делители напряжения), компенсирующие (шунтирующие реакторы), комплектные распределительные устройства.

По своему исполнению аппараты подразделяются на электро-механические (контактные), статические (бесконтактные) и гибридные.

Основным признаком электро-механических аппаратов является наличие в них подвижных частей, например контактной системы у коммутационных аппаратов.

Статические аппараты строятся с использованием полупроводниковых и магнитных элементов и устройств (диодов, транзисторов, тиристоров, магнитных усилителей, дросселей насыщения и др.). Они более удобны в эксплуатации по сравнению с электро-механическими аппаратами, но более чувствительны к различным перегрузкам и электромагнитным помехам.

Гибридные аппараты представляют собой комбинацию электро-механических и статических аппаратов.

Электрические аппараты классифицируются также:

- по значению рабочих токов — на аппараты слаботочные (до 5 А) и сильноточные (свыше 5 А);
- роду тока — на аппараты постоянного и переменного тока;
- частоте рабочего напряжения — на аппараты с нормальной (до 50 Гц) и повышенной (от 400 до 10 000 Гц) частотой напряжения.

4.2. Аппараты управления

К аппаратам ручного управления относятся командные мало-мощные устройства — кнопки, ключи управления и различные командоаппараты (командоконтроллеры), с помощью которых осуществляется коммутация электрических цепей управления и подача операторами команд управления на различные электро-технические установки.

Кнопки управления. Кнопки управления различаются по размерам (нормальные и малогабаритные), числу замыкающих и размыкающих контактов, форме толкателя, величине и роду тока и напряжения, степени защиты от воздействия окружающей среды. Две, три или более кнопок, смонтированных в одном корпусе, образуют кнопочную станцию.

На рис. 4.1, *а* показано условное изображение одноцепных кнопок с замыкающим (кнопка *SB1*) и размыкающим контактами (кнопка *SB2*). Контакты кнопок и других электрических аппаратов на схемах изображаются в нормальном их состоянии, когда на них не оказывается механического, электрического, магнитного или какого-либо другого воздействия. Двухцепные кнопки имеют обе пары показанных контактов с единым приводом.

Выключатели кнопочные серий КУ предназначены для работы в цепях переменного тока с напряжением до 500 В и постоянного тока с напряжением до 220 В и токами до 10 А. Максимальная частота включений в час — 1 200 циклов, коммутационная износостойкость различных исполнений выключателей — от 0,1 до 10 млн циклов.

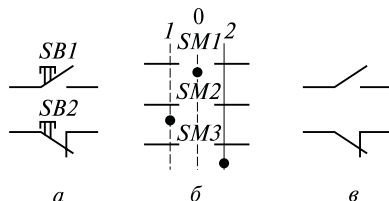


Рис. 4.1. Условные изображения:

а — кнопка управления; *б* — ключей управления; *в* — контактов электрических аппаратов

Структура условного обозначения выключателей КУ: КУ XX X X X X — XX: КУ — серия; XX — количество замыкающих (З) и размыкающих (Р) контактов; X — тип толкателя: 0 — другой вид приводного устройства, 1 — цилиндрический толкатель, 2 — грибовидный толкатель, 3 — грибовидный фиксируемый; X — цвет толкателя: 1 — черный, 2 — красный, 3 — зеленый, 4 — желтый, 5 — синий, 6 — белый; X — наличие специальных устройств: 0 — отсутствуют, 1 — рукоятка 0...90°, 2 — рукоятка 45...45°, 3 — рукоятка 90...0...90°, 4 — ключ 0...90°, вынимается, 5 — ключ 90...0...90°, вынимается, 6 — ключ 0...90°, не вынимается, 7 — ключ 90...0...90°, не вынимается; X — исполнение выключателей со степенью защиты со стороны управляющего элемента: 1 — IP40, 2 — IP54; X — климатическое исполнение (У, УХЛ, Т) по ГОСТ 15150—69.

Пример обозначения: КУ 131101 — выключатель, имеющий один замыкающий и три размыкающих контакта, цилиндрический толкатель, черного цвета, без специальных устройств, степень защиты IP40.

Кнопки и кнопочные станции типа КУ 120 и КЕ выпускаются на напряжение переменного тока до 380 В и постоянного тока до 220 В и номинальные токи до 4 А.

Посты управления кнопочные серии ПКЕ-112 выпускаются на напряжение до 660 В и имеют по два замыкающих и размыкающих контакта.

Ключи управления (универсальные переключатели). Эти аппараты имеют два или более фиксированных положений рукоятки управления и несколько замыкающих и размыкающих контактов. На рис. 4.1, б показано условное изображение переключателя, имеющего три фиксированных положения рукоятки. В среднем положении рукоятки (позиция 0) замкнут контакт *SM1*, что обозначается точкой на схеме, а контакты *SM2* и *SM3* разомкнуты. В положении 1 ключа замыкается контакт *SM2* и размыкается *SM1*, в положении 2 — наоборот.

Ключи управления серии ПЕ выпускаются на те же напряжения и токи, что и кнопки управления КЕ. Универсальные переключатели серий УП 5300, УП 5400 и ПКУ 3 используются для коммутации цепей катушек контакторов, масляных выключателей, управления многоскоростными асинхронными двигателями и в ряде других случаев. Они могут коммутировать до 32 цепей и иметь до 8 положений (позиций) рукоятки управления.

Командоконтроллеры (командоаппараты). Они представляют собой аппараты для коммутации нескольких маломощных (ток нагрузки до 16 А) электрических цепей с управлением от рукоятки или педали с несколькими положениями. Их электрическая схема изображается аналогично схеме ключей управления и переключателей.

Технические характеристики командоаппаратов

Серия	Напряжение, В	Ток, А	Назначение и особенности исполнения
КП-1000	500	10	Барабанный для дистанционного управления магнитными контроллерами и аппаратами
КА-21-17	220, 380	4	Кулачковый с микропереключателями для управления аппаратами
КА-11	30	0,5	На герметичных контактах для металлургических установок
КА401А	500	до 16	Кулачковый для управления электроприводами
КА-4000	440, 500	до 15	Кулачковый для управления электроприводами

В табл. 4.1 приведены основные технические данные и назначение командоаппаратов.

4.3. Силовые коммутационные аппараты с ручным управлением

Рубильники представляют собой простые коммутационные аппараты, предназначенные для неавтоматического нечастого замыкания и размыкания силовых электрических цепей постоянного и переменного тока напряжением до 500 В и током до 5 000 А. Они различаются по величине коммутируемого тока, количеству полюсов (коммутируемых цепей), виду привода рукоятки и числу ее положений (два или три). Рубильники серий Р, РП, РПЦ, ППЦ, РО, П и РА выпускаются на токи 100...630 А, напряжения 220...660 В и имеют число полюсов 1, 2 или 3.

Пакетные выключатели представляют собой разновидность рубильников и отличаются тем, что их контактная система набирается из отдельных пакетов по числу полюсов (коммутируемых цепей). Пакет состоит из изолятора, в пазах которого находятся неподвижный контакт с винтовыми зажимами для подключения проводов и пружинный подвижный контакт с устройством искрогашения.

Промышленность выпускает пакетные выключатели типа ПВМ, ППМ, ПУ, УП, ОКП, ПВП 11, ПМО, предназначенные для

коммутации электрических цепей постоянного тока напряжением до 220 В и токами до 400 А и переменного тока до 250 А при напряжении до 380 В.

В табл. 4.2 приведены данные на рубильники серии Р на номинальное напряжение 500 В и пакетные выключатели серии ПВМ на напряжения 220 В постоянного тока и 380 В переменного тока.

Пакетные выключатели-переключатели серии ПВП 17—29 имеют соответственно номинальные токи 63 и 100 А, число коммутационных полей 1...16 и 1...8 и выпускаются на напряжение 380 В частотой 50 и 60 Гц. Механическая износостойкость — не менее 0,5 млн переключений.

Пакетные выключатели серии ПП 52 выпускаются на напряжение переменного тока 380 В и 220 В постоянного тока и имеют соответственно номинальные токи 16...63 А и 10...40 А. Механическая износостойкость — не менее 100 тыс. переключений.

Таблица 4.2

Рубильники и пакетные выключатели

Тип	Номинальный постоянный ток, А	Номинальный переменный ток, А	Число полюсов	Тип	Номинальный постоянный ток, А	Номинальный переменный ток, А	Число полюсов
P2124/2	800	800	2	ПВМ2-60	60	40	2
P2344/2	1 500	1 500	2	ПВМ2-100	100	63	2
P2523/2	300	2 500	2	ПВМ2-150	250	160	2
P2723/2	5 000	4 000	2	ПВМ2-400	400	250	2
P2126/2	800	800	3	ПВМ3-10	10	6,3	3
P2326/2	1 500	1 500	3	ПВМ3-25	25	16	3
P2525/2	3 000	2 500	3	ПВМ3-100	100	63	3
P2725/2	5 000	4 000	3	ПВМ3-60	63	40	3
ПВМ1-10	6,3	4	1	ПВМ3-250	250	160	3
ПВМ2-10	10	6,3	2	ПВМ3-400	400	250	3
ПВМ2-25	25	16	2				

Выключатели врубные типа ВРА1—1, ВРА1—2 выпускаются на токи 16, 100, 250, 400 и 600 А в одно-, двух- и трехполюсном исполнении с передней или боковой рукоятками.

Разновидностью рубильников являются переключатели-разъединители с различным типом привода: рычажным типа ППЦ, с центральной рукояткой, с приводом от маховика или штанги типа П2000/2. Они выпускаются на те же номинальные напряжения и числа полюсов и на токи от 100 до 5 000 А.

Контроллеры являются многопозиционными электрическими аппаратами с ручным или ножным приводом для непосредственной коммутации силовых цепей, в основном электрических двигателей. Силовые контроллеры бывают двух видов: кулачковые и магнитные.

Кулачковые контроллеры характеризуются тем, что размыкание и замыкание их контактов обеспечивается смонтированными на барабане кулачками, поворот которых осуществляется с помощью рукоятки, маховичка или педали. За счет профилирования кулачков обеспечивается необходимая последовательность коммутации контактных элементов.

В крановом электроприводе используются кулачковые контроллеры серий ККТ—60А для управления асинхронными двигателями с напряжением до 380 В и КВ 100 для управления двигателями постоянного тока с напряжением до 440 В. Они имеют до 12 силовых контактов на номинальные токи до 63 А, а также маломощные контакты для коммутации цепей управления. Число позиций рукоятки (маховика) — до 6 в каждую сторону от среднего (нулевого) положения.

Магнитные контроллеры представляют собой коммутационное устройство, в состав которого входят командоконтроллер и силовые электромагнитные аппараты — контакторы. Командоконтроллер с помощью своих контактов управляет катушками контакторов, которые уже своими контактами осуществляют коммутацию силовых цепей двигателей. Срок службы магнитных контроллеров при одних и тех же условиях существенно выше, чем кулачковых контроллеров, что определяется высокой коммутационной способностью и износостойкостью электромагнитных контакторов.

Магнитные контроллеры нашли основное применение в электроприводе крановых механизмов, работа которых характеризуется большой частотой включения двигателей. В электроприводе крановых механизмов металлургического производства применяются магнитные контроллеры типов К на номинальные токи контакторов до 250 А и КС на токи до 400 А, а в кранах общего назначения — типов ТА на токи до 160 А и ТСА на токи до 250 А.

Главная цепь контроллеров выпускается на напряжение 220 и 380 В переменного тока, а цепи управления — на постоянном токе напряжением 220 В (К и КС) и на переменном напряжении силовой цепи (ТА и ТСА).

4.4. Автоматические выключатели

Автоматические выключатели (автоматы) низкого напряжения представляют собой многоцелевой электрический аппарат для нечастой коммутации электрических цепей, а также для защиты электрических цепей и оборудования от аварийных режимов: токов короткого замыкания и перегрузки, снижения или исчезновения напряжения, изменения направления тока и др.

По исполнению автоматические выключатели подразделяются на нетокоограничивающие, токоограничивающие и селективные автоматы.

Нетокоограничивающие автоматы отключают цепь при достижении током короткого замыкания ожидаемого значения.

Токоограничивающие автоматы ограничивают ток короткого замыкания путем быстрого введения в цепь дополнительного сопротивления электрической дуги и последующего быстрого отключения.

Селективные автоматы позволяют регулировать ток и время срабатывания максимальной токовой защиты, что дает возможность осуществлять селективную (избирательную) защиту потребителей и цепей. Токоограничивающие и селективные автоматы являются более сложными и дорогими аппаратами, поэтому их применение должно быть технически и экономически обоснованно.

Для осуществления функций защиты автоматические выключатели снабжаются расцепителями, которые при возникновении аварийных режимов воздействуют на удерживающий элемент аппарата, приводя к его отключению. По принципу своего действия расцепители бывают электромагнитными, тепловыми и полупроводниковыми.

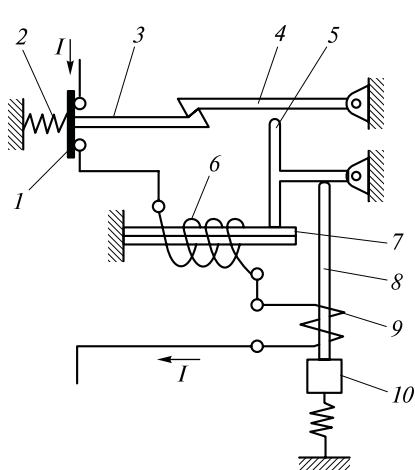
Тепловые расцепители предназначены для защиты цепей от перегрузок, а электромагнитные — от токов короткого замыкания и больших перегрузок по току. Полупроводниковые расцепители могут обеспечивать обе защиты с широкими возможностями по регулированию их уставок.

Минимальные и нулевые расцепители защищают от понижения напряжения в сети, при этом минимальные расцепители часто используются для дистанционного отключения автомата. Независимые расцепители служат для дистанционного отключения автоматов.

Расцепители дифференциального тока реагируют на токи утечки и применяются в устройствах защитного отключения (УЗО). УЗО на токи срабатывания 10...30 мА применяются для защиты людей от поражения электрическим током, а УЗО на токи срабатывания 100...300 мА — для защиты цепей и электроустановок.

Рис. 4.2. Устройство автоматического выключателя:

1 — контакт автомата; 2 — пружина; 3 — рычаг; 4 — защелка; 5 — рычаг механизма свободного расцепления; 6 — нагреватель теплового реле; 7 — биметаллическая пластина; 8 — толкатель; 9 — катушка реле максимального тока; 10 — сердечник реле максимального тока



Принцип действия автоматического выключателя иллюстрирует рис. 4.2. Рабочий ток нагрузки I протекает через контакт 1 автомата, нагреватель 6 теплового реле и катушку 9 реле максимального тока. При коротком замыкании в контролируемой цепи сердечник 10 реле максимального тока втягивается в катушку 9 и с помощью толкателя 8 воздействует на рычаг 5 механизма свободного расцепления. Рычаг поворачивается по часовой стрелке и приподнимает защелку 4. При этом освобождается рычаг 3 и пружина 2 размыкает контакты автомата.

Аналогично происходит отключение автомата при протекании по нему тока перегрузки. В этом случае ток, проходя по нагревателю 6 теплового реле, вызывает повышенный нагрев биметаллической пластины 7. Свободный конец этой пластины поднимается вверх и через рычаг 5 открывает защелку 4, вызывая отключение автомата.

Иногда в автоматах применяют тепловые расцепители без нагревателя. В этом случае ток пропускается непосредственно через биметаллическую пластину. В маломощных автоматах такой расцепитель может выполнять также функции элемента максимальной токовой защиты.

Применяемые автоматические выключатели различаются между собой назначением, уровнями номинальных токов и напряжения, набором и исполнением применяемых защит, отключающей способностью и временем отключения. Диапазон их номинальных токов составляет 10...10 000 А, предельных коммутируемых токов — 0,3...100 кА, время отключения — 0,02...0,7 с.

1. Автоматические выключатели серии А 3000 имеют несколько исполнений и используются в различных установках. В табл. 4.3 приведены технические данные автоматических выключателей этой серии.

Технические характеристики автоматов серии А 3000

Тип	Ток, А	Напряже- ние, В	Число полюсов	Возможность исполнения с расцепителем		Ток уставки расцепи- теля, А	Предельный ток отключения, кА		Время отключе- ния, с
				тепловым	электро- магнитным		постоян- ный	перемен- ный	
A3160	50	110; 220	1; 2; 3	Есть	Нет	15...50	1,6...3,6	2,5...4,5	0,025
A3110	110	220	2; 3	Нет	Есть	15...100	5	2,5...10	0,015
A3120	200	220	2; 3	Нет	Есть	—	20	18	—
A3130	200	220	2; 3	Нет	Есть	100...200	17...28	14...25	0,015
A3140	600	220	2; 3	Нет	Есть	250...600	25...50	32...40	0,03
A3710Б—A3740Б	До 630	440; 660	2; 3	Есть	Есть	—	110	40...60	—
A3710Ф—A3730Ф	До 630	220; 380	2; 3	Есть	Есть	—	25...50	25...50	—

Таблица 4.4

Технические характеристики автоматов серии «Электрон»

Параметр	Значение параметра для автомата				
	Э06	Э10	Э16	Э25	Э40
Номинальный ток, А	630	1 000	1 600	2 500	5 000
Коммутационная способность, кА	50	84	84	105	160

2. Автоматические выключатели серии «Электрон» применяются в установках с напряжением постоянного тока до 440 В и переменного тока до 660 В. Они могут иметь два или три силовых контакта и по четыре размыкающих и замыкающих вспомогательных контакта. В табл. 4.4 приведены данные этих автоматических выключателей.

3. Автоматические выключатели серии АЕ-1000, АЕ-2000 имеют электромагнитные и комбинированные расцепители и допускают частоту оперативных переключений до 30 в час.

4. Автоматические выключатели серий АП-50, АК-50 обеспечивают защиту от токов короткого замыкания и перегрузок и могут использоваться для подключения асинхронных двигателей соответствующей мощности.

5. Автоматические выключатели серии А-63 имеют однополюсное исполнение и допускают 50 000 циклов «включено—отключено», из них 6 000 циклов при номинальных токе и напряжении.

6. Автоматический выключатель АВ-45/1000 предназначен для защиты мощных сетей постоянного тока и имеет коммутационную способность до 200 кА при напряжении 5 000 В.

7. Автоматические выключатели серии АС-25 имеют морское и тропическое исполнение и могут работать в передвижных установках при тряске и вибрациях.

Данные этих автоматов приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

**Технические характеристики автоматов
с электромагнитным расцепителем**

Тип	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Число полюсов	Количество вспомогательных контактов		Наличие теплового расцепителя
				замыкающих	размыкающих	
АК-63	63	200; 400	2; 3	1	1	Есть
АК-50	50	320; 400	2; 3	1; 2	1; 2	—
АП-50	50	220; 500	2; 3	—	—	Есть
А-63	25	110; 220	1	—	—	—
АЕ-1000	25	240	1	—	—	Есть
АЕ-2000	25; 63; 100	220; 500	1; 2; 3	—	—	—
АС-25	25	220; 380	2; 3	—	—	—
АВ-45/1000	6 000	500	1	—	—	—
АСТ-2/3	25	380	2,3	—	—	—

8. Автоматические выключатели серий ВА-50 и ВА-75 предназначены для замены автоматов серий АЕ-2000, А-3700 и «Электрон» и рассчитаны на токи от 25 до 4 000 А и номинальные напряжения до 440 В постоянного и 660 В переменного тока. Они имеют предельную коммутационную способность до 160 кА (цепи постоянного тока) и 45 кА (цепи переменного тока).

9. Автоматы ВА47-38 и ВА47-43 являются быстродействующими и предназначены для защиты силовых полупроводниковых приборов и преобразователей напряжением до 600 В постоянного и 660 В переменного тока. Их собственное время отключения не зависит от уровня тока короткого замыкания и не превышает 1,0 мс.

10. Автоматы ВА13 и ВА21 выпускаются на токи от 0,6 до 100 А в одно-, двух- и трехполюсном исполнении, модульные автоматы типа ВМ40 — на токи от 2 до 63 А в одно-, двух-, трех- и четырехполюсном исполнении. Трехполюсные автоматы типа ВА75 выпускаются на напряжения 380 и 660 В переменного тока и 220 и 440 В постоянного тока. Номинальный ток этих автоматов составляет 160, 200 и 250 А.

4.5. Электромагнитные контакторы и пускатели

Контактор. Контактор представляет собой электромагнитный аппарат с дистанционным управлением, предназначенный для частых коммутаций силовых цепей. Контакторы различаются: по роду тока коммутируемой цепи (постоянного тока, переменного тока, постоянного и переменного токов), количеству главных контактов (одно-, двух- и многополюсные), роду тока цепи катушки (с управлением напряжением постоянного и переменного токов), номинальным току и напряжению коммутируемых цепей, конструктивному исполнению (с механическими контактами и бесконтактные) и другим признакам.

Конструктивная схема электромагнитного однополюсного контактора постоянного тока показана на рис. 4.3, а. На неподвижном сердечнике 14 магнитной системы контактора установлена втягивающая катушка 12. С подвижной частью магнитной системы якорем 8 связан подвижный главный контакт 5, который присоединяется к цепи тока при помощи гибкого проводника 7. При подаче напряжения на катушку 12 (замыкании контакта 13) якорь притягивается к сердечнику и контакт 5 замыкается с неподвижным главным контактом 1, что обеспечивает коммутацию тока *I*. Необходимое нажатие главных контактов в их рабочем положении обеспечивается пружиной 6. При этом в процессе соприкосновения контактов происходит перекачивание и притирание их контактных поверхностей, что уменьшает переходное сопротивление контактов.

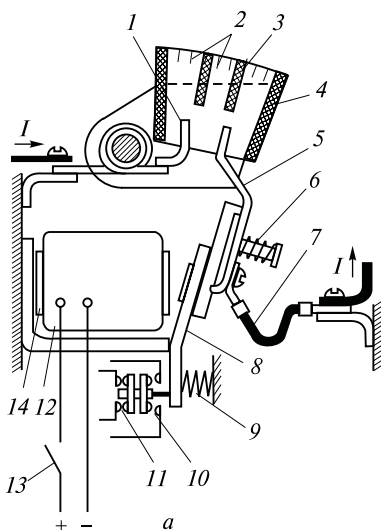


Рис. 4.3. Электромагнитный однополюсный контактор:

a — конструктивная схема; *б* — обозначение втягивающей катушки; *в*, *г* — обозначения силовых контактов; 1 — неподвижный главный контакт; 2 — пластины; 3 — изоляционные перегородки; 4 — дугогасительная камера; 5 — подвижной главный контакт; 6 — пружина; 7 — гибкий проводник; 8 — якорь; 9 — возвратная пружина; 10, 11 — блокировочные контакты; 12 — втягивающая катушка; 13 — контакт; 14 — сердечник

С якорем 8 связаны также вспомогательные (блокировочные) контакты мостикового типа — замыкающие 10 и размыкающие 11, предназначенные для работы в цепях управления и рассчитанные на небольшие токи. Блокировочные контакты 10 и 11 замыкаются и размыкаются одновременно с замыканием главных контактов, их условное изображение показано на рис. 4.1, в.

Отключение контактора производится снятием напряжения с катушки 12 (контакт 13 размыкается). При этом подвижная система контактора под действием силы тяжести и возвратной пружины 9 приходит в нормальное состояние. Возникающая при размыкании главных контактов дуга гасится в щелевой дугогасительной камере 4, изготавливаемой из жаростойкого изоляционного материала. Для облегчения гашения дуги могут применяться камеры с изоляционными перегородками 3, которые способствуют увеличению дуги и ее сопротивления, а также иногда устанавливается искрогасительная решетка из коротких металлических пластин 2.

Контакторы постоянного тока изготавливаются с одним или двумя полюсами на номинальные токи главных контактов от 4 до 2 500 А. Главные контакты способны отключать токи перегрузки до 7—10-кратных от номинального тока. Катушки контакторов постоянного тока имеют большое количество витков и об-

ладают значительной индуктивностью, что затрудняет размыкание цепей этих катушек. Мостиковые блок-контакты могут отключать токи до 20 А при напряжении до 500 В в цепях катушек аппаратов переменного тока, а в цепях катушек аппаратов постоянного тока — до 2,5 А при 110 В, 2 А при 220 В и 0,5 А при 440 В.

На рис. 4.3, б, в, г показаны условные обозначения элементов контактора: втягивающей катушки, замыкающих и размыкающих главных контактов без дугогашения и с дугогашением соответственно. В табл. 4.6 приведены данные основных типов контакторов постоянного тока.

Для тяжелых условий работы, в частности крановых электроприводов, предназначаются контакторы серий КПВ-600 и КПВ-620 с одним главным контактом на токи от 100 до 630 А. Для применения в электроприводах постоянного тока общепромышленного назначения выпускаются контакторы серий КП и КПД с одним или двумя главными контактами на токи от 25 до 250 А. Контактторы имеют магнитную систему клапанного типа, главные контакты пальцевого типа и вспомогательные контакты мостикового типа. Контактторы снабжены дугогасительной системой.

Контакторы переменного тока по принципу своего действия и основным элементам конструкции не отличаются от контакторов постоянного тока. Особенности их работы связаны с питанием катушек переменным током, что приводит к повышенному току в катушке при срабатывании, в несколько раз превышающему ток при втянутом якоре. По этой причине для контакторов переменного тока ограничивается число их включений в час (обычно не более 600). Кроме того, пульсирующий магнитный поток, создаваемый переменным током катушки, вызывает вибрацию и гудение магнитопровода, а также его повышенный нагрев. Для уменьшения этих нежелательных факторов магнитопровод набирается из тонколистовой трансформаторной стали, а на сердечник или якорь помещают короткозамкнутый виток.

В отличие от контакторов постоянного тока у контакторов переменного тока условия гашения дуги более легкие, так как дуга на переменном токе менее устойчива и может погаснуть при прохождении переменного тока нагрузки через нуль.

Контакторы переменного тока имеют на электрических схемах те же обозначения, что и контакторы постоянного тока.

В табл. 4.7 приведены данные основных типов контакторов переменного тока.

Контакторы серии КВ1 выпускаются на номинальные токи 160, 250, 400 и 630 А с двумя или тремя замыкающими главными контактами на номинальное напряжение до 1140 В переменного тока частотой 50 (60) Гц. Включающие катушки рассчитаны на номинальное напряжение цепи управления 24, 36, 48, 75, 110 и 220 В постоянного тока и 110, 127, 220 и 380 В переменного тока.

Технические характеристики контакторов постоянного тока

Тип	Номинальные		Обмотка		Время, с		Износостойкость, циклы		Допустимая частота включений в час
	напряжение, В	ток, А	напряжение, В	мощность, Вт	включения	отключения	механическая	коммутационная	
<i>Контакторы постоянного тока</i>									
КП1	220	20; 40; 75	110	20	0,1	0,04	—	—	1 200
КП2	220	20; 40; 75	220	180	0,2...0,3	0,1	—	—	240
КП7	660	2 500	110; 220	180	0,25	0,07	—	—	240
КП207	600	2 500	110; 220	30 ... 70	0,2	0,25	10 ⁷	—	300 ... 1 200
КПВ-600	220	63; 100; 160; 250; 630	110; 220	180	0,2 ... 0,3	0,1	—	—	240
КМВ-621	220	50	До 220	—	0,05	—	—	—	—
КПД100	220	До 250	До 440	35	—	—	10 ⁷	10 ⁶	1 200
<i>Контакторы постоянного и переменного тока</i>									
МК1	220; 500	40	До 200	38	0,06	0,04	10 ⁷	—	—
КМ200	220; 380	До 600	До 380	50	—	—	—	—	600
КМ3-0	220; 380	40	До 220	—	—	—	10 ⁶	—	—
РПК1	440; 500	10	До 500	—	—	—	10 ⁷	—	—
КН100—КН400	200	До 200	До 320	До 50	0,15	0,03	—	—	—

Технические характеристики контакторов переменного тока

Тип	Номинальные		Число полюсов	Допустимая частота включений, 1/ч
	напряжение, В	ток, А		
КТ6000	380; 660	100; 160; 250; 400; 630; 1 000	2; 3; 4; 5	1 200
КТ7000	380; 660	100; 160	2; 3; 4; 5	600
КВДК630	660	630	3	3 800
КТД121	500	40	3	1 200
КТПВ600	380	63; 100; 160; 250	2	1 200
КТП6000	380; 660	100; 160; 250; 400; 630	2; 3; 4	1 200
К1000	1 600	400 (без охлаждения водой), 800 (с охлаждением водой и частотой 800 Гц)	2, 3	—

Число вспомогательных контактов — 4...8, номинальный длительный ток вспомогательных контактов — 10 А, номинальное напряжение постоянного тока — до 220 В, переменного тока — до 380 В.

Механическая износостойкость главных контактов при напряжении 1 140 В на $3 \cdot 10^6$ включения — отключения. Степень защиты контакторов — IP00 по ГОСТ 14254, климатическое исполнение контакторов У2 и В3.

Контакторы переменного тока серий КТ 6000, КТ 7000, КТП 600 имеют от двух до пяти главных контактов. Их катушки могут выполняться на напряжение переменного тока от 36 до 500 В частотой 50 Гц.

Контакторы серий КТ 64, КТП 64, КТ 65 и КТП 65 являются модификацией контакторов серий КТ 6000, КТ 7000 и КТП 600. В них осуществляется бездуговая коммутация контактов путем шунтирования главных контактов тиристорами во время их размыкания. Отсутствие дуги при отключении контакторов повышает их надежность, износостойкость главных контактов и взрывобезопасность. Это позволяет, в частности, увеличить допустимое число их включений до 2 000 в час.

К универсальным контакторам, позволяющим коммутировать силовые цепи как постоянного, так и переменного тока, отно-

ся контакторы серии МК. Они обеспечивают коммутацию тока до 63 А в цепях постоянного тока напряжением до 440 В и переменного тока напряжением до 660 В, частотой 50 и 60 Гц. Число главных контактов — от 1 до 3. Втягивающие катушки этих контакторов выполняются на постоянный ток напряжением 24, 48, 110 и 220 В. В табл. 4.8 приведены данные этих контакторов.

Структура условного обозначения МК X — XXXXX: МК — серия; X — номинальный ток главной цепи: 1 — 40 А, 2 — 63 А, 3 — 100 А, 4 — 160 А; X — количество замыкающих контактов; X —

Таблица 4.8

Технические характеристики контакторов серии МК

Тип	Номинальный ток, А	Номинальный рабочий ток, А				
		постоянный		переменный		
		220 В	440 В	380 В	500 В	660 В
МК1-10, МК1-01, МК1-11	40	40	—	—	—	—
МК1-20		40	40	40	25	—
МК1-02, МК1-21		40	—	—	—	—
МК1-22	40	40	—	40	—	—
МК1-30		—	—	40	25	—
МК2-10, МК2-01, МК2-11	63	63	—	—	—	—
МК2-20		63	40	63	40	—
МК2-02		63	—	—	—	—
МК2-30		—	—	63	40	40
МК1-20Д	40	—	—	18	18	—
МК1-20М	20	20	—	—	—	—
МК3-01, МК3-10, МК3-11	100	100	—	—	—	—
МК4-01, МК4-10, МК4-11	160	160	—	—	—	—
МК3-20Д	100	—	—	100	—	—
МК3-20	100	100	100	—	—	—
МК4-20	160	160	160	—	—	—
МК2-20Б	63	63	—	—	—	—

количество размыкающих контактов; X — модификация контактора: Б — для привода высоковольтных выключателей, Д — для лифтов, М — для подвижного состава; X — климатическое исполнение (У, УХЛ, Т).

Контакторы типа МК5 и МК6 предназначены для работы в цепях до 380 В переменного тока и до 660 В постоянного тока и имеют номинальный ток главных контактов 250...400 А. Контакторы пригодны для работы в продолжительном, повторно-кратковременном и кратковременном режимах работы, допустимая частота включения контакторов — до 600 циклов в час. Степень защиты контакторов IP00, контакторы МК5-10Р и МК6-10Р имеют реверсивное исполнение с механической блокировкой.

Электромагнитный пускатель. Он представляет собой специализированный аппарат, предназначенный главным образом для пуска, остановки и реверса электрических двигателей. Кроме управления магнитные пускатели обеспечивают с помощью тепловых реле защиту двигателей от токовых перегрузок и сигнализацию об их работе. В соответствии с перечисленными функциями в состав пускателя могут входить контактор, кнопки управления, тепловые реле защиты, сигнальные лампы, размещаемые в одном корпусе. Выпускаемые магнитные пускатели различаются между собой по назначению (нереверсивные и реверсивные), наличию или отсутствию тепловых реле и кнопок управления, степени защиты от воздействия окружающей среды, уровням коммутируемых токов, рабочему напряжению главной цепи.

В табл. 4.9 приведены основные данные магнитных пускателей серий ПМЕ и ПАЕ.

Пускатели серии ПМЛ выпускаются на токи от 10 до 200 А, допустимая частота включения в час для пускателя первого—пятого габаритов составляет 3 600, а для шестого—седьмого габаритов — 2 400.

Пускатели серии ПМС предназначены для управления асинхронными двигателями и имеют шесть типоразмеров на токи от 10 до 160 А. В качестве встраиваемых элементов они могут иметь разделительный трансформатор, кнопки управления, амперметр, сигнальную лампу. Механическая износостойкость лежит в пределах 10...16 млн циклов, а частота включений в час составляет 6000 для пускателей первого габарита и 2400 для пускателей пятого и шестого габаритов.

Пускатели серии ПМА выпускаются для управления асинхронными двигателями мощностью от 1,1 до 75 кВт с номинальным напряжением 380 и 660 В.

Пускатели типа ПМ 12-040 выпускаются на ток 40 А в нереверсивном и реверсивном исполнениях с тепловым реле и без него.

Пускатели серии РЭВ с управлением от сети постоянного и переменного тока выпускаются на ток 10 А в нереверсивном и реверсивном исполнениях с тепловым реле и без него.

Технические характеристики пускателей серий ПМЕ и ПАЕ

Тип	Номинальный ток, А, при напряжениях 380/500 В	Габаритные размеры, мм	Наличие теплового реле
ПМЕ-001	3/1,5	75×65×119	Нет
ПМЕ-002	3/1,5	121×83×101	Есть
ПМЕ-003	3/1,5	90×150×118	Нет
ПМЕ-004	3/1,5	135×150×118	Есть
ПМЕ-111	10/6	68×85×84	Нет
ПМЕ-112	10/6	154×102×91	Есть
ПМЕ-113	10/6	164×90×106	Нет
ПМЕ-114	10/6	232×90×107	Есть
ПМЕ-211	25/14	102×90×118	Нет
ПМЕ-212	25/14	195×98×126	Есть
ПМЕ-213	25/14	130×205×155	Нет
ПМЕ-214	25/14	180×205×155	Есть
ПАЕ-311	40/21	214×114×144	Нет
ПАЕ-312	40/21	275×114×121	Есть
ПАЕ-313	40/21	214×239×114	Нет
ПАЕ-314	40/21	264×239×121	Есть
ПАЕ-411	63/35	290×183×135	Нет
ПАЕ-412	63/35	290×183×135	Есть
ПАЕ-413	63/35	275×343×135	Нет
ПАЕ-414	63/35	275×343×135	Есть
ПАЕ-511	110/61	335×200×156	Нет
ПАЕ-512	110/61	335×200×156	Есть
ПАЕ-513	110/61	320×338×170	Нет
ПАЕ-514	110/61	320×338×170	Есть
ПАЕ-611	146/80	380×230×190	Нет
ПАЕ-612	146/80	380×230×190	Есть
ПАЕ-613	146/80	385×435×190	Нет
ПАЕ-614	146/80	385×435×190	Есть

4.6. Реле

Реле представляют собой слаботочные аппараты, предназначенные для использования в схемах управления, автоматики, защиты и сигнализации самых разнообразных установок, а также коммутации электрических цепей. Они используются в качестве коммутационных аппаратов, датчиков тока, напряжения и мощности, промежуточных элементов для передачи команд из одной цепи в другую и размножения сигналов, датчиков времени и различных физических переменных и технологических параметров.

Отличительной особенностью реле является скачкообразное изменение его состояния при достижении входным воздействием на него определенного уровня. По своему исполнению реле подразделяются на электромагнитные (контактные), полупроводниковые (бесконтактные) и герметичные.

Электромагнитное реле (рис. 4.4) по принципу своего действия не отличается от контактора и работает следующим образом. На сердечнике 2 магнитной системы реле находится катушка 1, на которую подается входной электрический сигнал. Когда ток (напряжение) в цепи катушки превысит некоторое значение, называемое током (напряжением) срабатывания реле, создаваемая им электромагнитная сила станет больше противодействующей силы возвратной пружины 10, якорь 3 реле притянется к сердечнику 2 и траверса 6, поднявшись, обеспечит замыкание контактов 8 и размыкание контактов 7. Сила нажатия в контактах создается пружиной 9.

Если уменьшить (отключить) ток (напряжение) в катушке, то якорь под действием пружины 10 перейдет в исходное положение и контакты вернуться в нормальное (исходное) положение. Ток (напряжение), при котором якорь реле возвращается в исходное положение, носит название *тока (напряжения) возврата*, или *отпускания*, а отношение тока (напряжения) возврата к току (напряжению) срабатывания — *коэффициента возврата реле*.

Ток (напряжение) срабатывания реле может регулироваться в определенных пределах изменением силы натяжения возвратной пружины 10 с помощью гайки 5, а также за счет зазора δ , величина которого может регулироваться с помощью винта 4. При затяжке пружины 10 или увеличении зазора ток (напряжение) срабатывания возрастает.

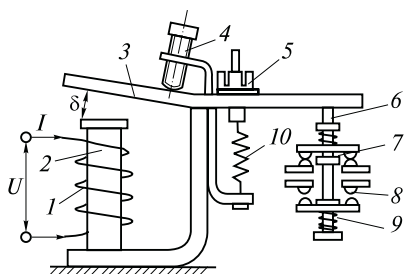


Рис. 4.4. Устройство электромагнитного реле:

- 1 — катушка; 2 — сердечник; 3 — якорь;
4 — винт; 5 — гайка; 6 — траверса; 7,
8 — контакты; 9, 10 — пружины

Поскольку контакты реле коммутируют относительно небольшие (до 5... 10 А) токи, в них обычно не используются дугогасительные камеры. Номенклатура выпускаемых реле очень обширна.

Промежуточные электромагнитные реле применяются в основном для коммутации электрических цепей и размножения контактов других электрических аппаратов. В табл. 4.10 приведены параметры некоторых промежуточных реле («р» — размыкающие контакты, «з» — замыкающие).

Электромагнитные реле постоянного тока серий РЭВ-800 применяются в схемах управления в качестве реле тока, напряжения, времени и промежуточных, а РЭВ-310 — реле тока и напряжения. Они изготавливаются с катушками на напряжение от 12 до 220 В и могут иметь от одного до четырех контактов.

В качестве промежуточных применяются также реле РП-250, РП-220, РП-230, РП-251, РП-252, РП-253, РП-321, РП-341, РП-42 и ряд других, которые могут использоваться и как реле напряжения.

Таблица 4.10

Технические характеристики промежуточных реле

Тип реле	Число контактов	Номинальное напряжение, В		Длительный ток контактов, А	Износостойкость, число срабатываний	
		постоянное	переменное		коммутационная	механическая
ПЭ-20	4р + 4з	—	До 240	5	$(1 \dots 2) \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$
ПЭ-21	До 8	До 200	До 380	5	До $3 \cdot 10^6$	$(3 \dots 5) \cdot 10^6$
ПЭ-23	3з + 3р	До 110	До 240	4	$(1 \dots 3) \cdot 10^6$	$(5 \dots 10) \cdot 10^6$
РП-23	5	До 220	—	—	—	—
РП-41, РП-42	8; 4	До 220	—	10	10^6	10^7
ЭП-41В	До 6	—	До 500	16	10^6	—
РП-8, РП-9, РП-11, РП-12	До 7	До 220	До 220	—	—	—
РПШ-0	До 12	—	До 50	12	$3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$
МКУ-48	До 8	До 220	До 380	5	$25 \cdot 10^6$	—

Реле времени представляет собой устройство, контакты которого замыкаются или размыкаются с некоторой выдержкой времени после получения сигнала управления.

Электромагнитное реле времени отличается от обычного реле наличием на магнитопроводе магнитной трубки (гильзы), которая и обеспечивает выдержку времени реле при отключении его катушки от источника питания.

Включение реле времени происходит как у обычного электромагнитного реле. Выдержка времени обеспечивается за счет замедления возврата контактной системы реле в исходное положение из-за более медленного спада магнитного потока при снятии с катушки напряжения. В соответствии с таким принципом действия электромагнитное реле времени обеспечивает выдержку при размыкании замыкающего контакта и замыкании размыкающего контакта. Выдержка времени реле регулируется путем установки латунной немагнитной прокладки ступенчато или плавно за счет изменения натяжения пружины.

В табл. 4.11 приведены данные электромагнитных реле времени типов РЭВ-80, РЭВ-800 и РЭВ-810.

Моторное (электромеханическое) реле времени в своей основе имеет специальный низкоскоростной двигатель и редуктор с большим передаточным числом, на выходном валу которого находится рычаг. Его начальное положение устанавливается по шкале уставок времени реле. Рычаг управляет работой вспомогательных контактов, которыми, в свою очередь, включается выходное электромагнитное реле.

Данные выпускаемых моторных реле времени типов Е-510 и РВ-4 приведены в табл. 4.11. Реле типа РВМ-12 способно обеспечить выдержку времени в пределах 0,5...4 с, РВМ-13 — 1...10 с.

Механическое реле времени имеет замедлитель в виде анкерного механизма, управляемого электромагнитом. При подаче напряжения на электромагнит (начало отсчета времени) его якорь заводит пружину анкерного механизма аналогично часовому. Последний, начав работать, перемещает подвижный контакт реле. После заданного времени, определяемого положением (уставкой) неподвижного контакта реле, произойдет замыкание контактной системы, что определит конец отсчета времени. Данные анкерных реле времени ЭВ-100 и ЭВ-200 приведены в табл. 4.11.

Некоторые механические реле времени управляются не электромагнитом, а подвижной частью контактора. В этом случае запуск в работу анкерного механизма происходит сразу же после включения контактора. Такие реле времени получили название маятниковых.

Электронные реле времени обычно в своих схемах используют различные полупроводниковые элементы (чаще всего транзисторные) и конденсаторы, время разряда или заряда которых

Технические характеристики реле времени

Тип реле	Напряжение, В	Выдержка времени, с	Число контактов		Ток через контакты, А		
			з	р	длительный	отключения	включения
РЭВ-80	12; 24; 48	0,25 ... 1,3	1,2	1,2	10	2 ... 15	10 ... 80
РЭВ-800	12; 24; 48; 110; 220	0,25 ... 5,5	1,2	1,2	10	1 ... 15	10 ... 80
РЭВ-810	12; 24; 48; 110; 220	0,25 ... 3,8	1,2	1,2	10	1 ... 40	10 ... 20
ЭВ-100	24; 48; 110; 220	0,1 ... 20	1	—	3...5	1 ... 5	—
ЭВ-200	127; 220	0,1 ... 20	1	1	3...5	2 ... 5	—
Е-510	110; 220	1 ... 360	—	4	5	2	—
РВ-4	127; 220; 380	—	1	1	—	—	—
ВЛ-23	110; 220	1 ... 100 0,1 ... 10 мин	—	—	—	—	—
ВЛ-37	24	0,1 ... 10 0,2 ... 200	—	—	4	—	—
РВГ-20111	12; 24	0,2 ... 0,7	—	—	0,1	—	—
РС-30	24; 240	1 ... 90	—	—	2,5	—	—

определяет их выдержку времени. Их выходной каскад реализуется на обычном электромагнитном реле. Данные полупроводниковых реле времени ВЛ-23 и ВЛ-37 приведены в табл. 4.11.

Электронные реле времени ВЛ-43 обеспечивают выдержку времени от 0,1 до 200 с, ВЛ-48 — от 0,1 до 100 с, имеют номинальный ток 4 А и номинальное напряжение питания 110 и 220 В и могут коммутировать мощность нагрузки до 160 ВА.

Реле времени с герметичными контактами характеризуются тем, что их контакты герметизированы и являются одновременно частью магнитопровода реле. Герметизация контактов повышает износостойкость и надежность реле в работе. В настоящее время разработаны герметичные контакты (герконы) на токи включения до 180 А, токи отключения до 60 А при номинальном токе 6,3 А.

В табл. 4.11 приведены данные реле времени с герконами РС-30 и РВГ-20111.

Реле максимального тока предназначены для защиты контролируемых цепей и устройств от повышения тока сверх определенной величины. Реле тока серии РТ-40 позволяют осуществлять токовую защиту с уставками от 0,05 (реле РТ-40/0,2) до 200 А (реле РТ-40/200) и могут коммутировать нагрузку мощностью до 60 Вт в цепях постоянного тока и мощностью до 300 Вт в цепях переменного тока.

Реле тока серии РТ-80 выпускаются на номинальный ток 5 и 10 А и могут иметь уставку защиты от 2 до 10 А. Замыкающие контакты этих реле могут коммутировать ток до 5 А при напряжении до 250 В, а размыкающие — переменный ток до 2 А и постоянный ток до 0,5 А, при том же напряжении.

Реле максимального тока РЭВ-200, РЭВ-310 и РЭВ-830 применяются для защиты цепей постоянного тока величиной от 1,5 до 600 А.

В качестве реле максимального тока в схемах электропривода применяются реле мгновенного действия типов РЭВ-570 для использования в цепях постоянного тока от 0,6 до 1 200 А и РЭВ-571Т для использования в цепях переменного тока с уровнем от 0,6 до 630 А. Они допускают регулировку своей уставки (тока срабатывания) в пределах (0,7...3) $I_{ном}$ (РЭВ-570) и (0,7...2) $I_{ном}$ (РЭВ-571Т) с точностью до $\pm 10\%$ и имеют время срабатывания порядка 0,05 с.

Реле автоматики, защиты и сигнализации имеют самое разнообразное назначение и исполнение. Например, к употребляемым в схемах электроснабжения, автоматики и защит относятся:

- реле направления мощности РБМ-170/270, обеспечивающее правильный выбор направления электрической мощности;
- реле прямой РНФ-2, обратной РНФ-3 и нулевой РНН-57 последовательностей напряжения, реагирующие на соответствующие напряжения при возникновении аномальных ситуаций;
- реле ДЗТ-11, предназначенные для дифференциальной защиты одной фазы трансформаторов;
- реле активной РБМ-275 и реактивной РБМ-276 мощностей, предназначенные для контроля уровней соответствующих мощностей;
- реле сигнальное типа РУ-21 и блоки сигнальных реле типа СЭ-2, реагирующие на определенные уровни тока или напряжения;
- реле счета импульсов типов Е-531, Е-526, РСИ-1, РСИ-2, осуществляющие счет электрических импульсов.

Технические данные этих и других реле специального назначения приведены в [1, 5, 15].

4.7. Низковольтные комплектные устройства

Электротехническая промышленность выпускает низковольтные комплектные устройства (НКУ) для схем электроснабжения, управления и защиты различных электротехнических объектов в виде шкафов, щитов и щитков, панелей, ящиков, блоков и других конструктивных исполнений. Номенклатура НКУ очень разнообразна и многочисленна, поэтому для примера ограничимся перечислением некоторых типовых НКУ, выпускаемых ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод» (г. Чебоксары).

1. НКУ приема и распределения электроэнергии для промышленности, объектов энергетики и жилищно-коммунального хозяйства:

- шкафы ввода с автоматического включения резерва (АВР) на токи до 1600 А типа Ш 8330;

- пункты распределительные типа ПР с индивидуальным набором выключателей, устройствами защитного отключения и электросчетчиками;

- щитки распределения электроэнергии типа ЩРО 8505В групповых силовых и осветительных сетей;

- щитки осветительные групповые типов ЯОУ, ОЩВ, УОЩВ, ЩО, ЩН;

- ящики типа ЯВЗ с рубильником без предохранителей и типа ЯРПВ с предохранителями на токи до 400 А, типа ЯВШ с автоматом и клеммником на токи до 100 А;

- щитки этажные типа ЩЗ;

- НКУ распределения переменного тока типа ПСН 1100 В и постоянного тока типа ПСН 1200 В для подстанций;

- щиты распределения электроэнергии на базе типовых панелей ЩО70;

- комплектные трансформаторные подстанции типа КТПСН для питания электрооборудования собственных нужд электростанций.

2. НКУ управления электроприводами:

- блоки управления Б, БМ, БМД, БМН, БМР и БМТ;

- ящики управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором типа Я 5000;

- НКУ типа РТЗО для питания электроприводов запорной арматуры для промышленности и коммунального хозяйства;

- панели управления многоскоростными асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором типа ПУ 5709 и ПУ 5715;

- НКУ типа УРСН-50М и УРСН-600М для управления электроприводами системы топливоподачи тепловых электростанций, в том числе для работы в составе АСУ ТП.

3. НКУ для автоматизации, управления и защиты электротехнических объектов:

- панели автоматики типа ЭПА 1000... 1600;
- панели общеподстанционные типа ЭПО;
- панели управления типа ЭПУ 1500;
- панели защиты типа ЭПЗ 1000... 1600.

Технические характеристики ряда других низковольтных распределительных устройств приведены в [15].

4.8. Выбор электрических аппаратов

Выбор электрических аппаратов осуществляется с учетом следующих показателей:

- коммутируемые аппаратом токи, напряжения и мощности;
- характер нагрузки — активная, индуктивная, емкостная, низковольтная, высоковольтная и др.;
- число коммутируемых цепей;
- напряжение и токи цепей управления;
- режим работы аппарата — кратковременный, длительный, повторно-кратковременный;
- условия работы аппарата — температура, влажность, давление, высота над уровнем моря, наличие вибрации и др.;
- способы монтажа аппарата;
- экономические и массогабаритные показатели;
- удобство сопряжения и электромагнитная совместимость с другими устройствами и аппаратами;
- стойкость к электрическим, механическим и термическим перегрузкам.

Предельной коммутационной способностью электрического аппарата называется максимальное значение тока короткого замыкания, которое он способен отключить несколько раз, оставаясь исправным.

Электродинамическая стойкость характеризуется амплитудой ударного тока короткого замыкания, который способен пропустить аппарат без своего повреждения.

Термическая стойкость характеризуется допустимым количеством тепла, которое может быть выделено в аппарате за время действия тока короткого замыкания.

Для определения соответствия этих параметров электрических аппаратов условиям работы электроустановки должны быть предварительно определены токи короткого замыкания. Их расчет проводится применительно к конкретным схемам электроустановок и рассмотрен в [8, 15].

Автоматические выключатели. Эти аппараты рекомендуется применять в ответственных установках при необходимости быстрого восстановления напряжения питания, дистанционного управления и комплексной защиты, а также в асинхронных электропри-

водах для предотвращения однофазного режима работы двигателей. Их использование целесообразно также в электроприводах с малой частотой включения, где они обеспечивают включение и защиту двигателя и могут применяться вместо магнитных пускателей.

Автоматические выключатели выбираются по номинальным току и напряжению, роду тока, предельной коммутационной способности, электродинамической и термической стойкости, времени выключения. Все параметры автоматов должны соответствовать их работе как в обычном, так и аварийном режимах, а конструктивное исполнение — условиям размещения.

Номинальный ток автомата должен быть не ниже тока продолжительного режима установки, а сам аппарат не должен отключаться при предусмотренных технологических перегрузках.

Проверка выбираемого автомата по условию защиты электроустановки от токов короткого замыкания состоит в сопоставлении тока короткого замыкания в установке с предельной коммутационной способностью автомата, которая должна быть выше этого тока.

Защита установки от перегрузок по току будет обеспечена, если номинальный ток автомата с тепловым расцепителем будет равен или несколько больше номинального тока защищаемого объекта.

Уставка тепловой и максимальной защит электродвигателей должна соответствовать уровням соответствующих токов двигателя. Максимальная токовая защита не должна срабатывать при пуске двигателя, для чего ее уставка $I_{y \max}$ выбирается по соотношению

$$I_{y \max} \geq k_p I_{\text{пуск}},$$

где k_p — коэффициент, учитывающий вид расцепителя и возможный разброс тока его срабатывания относительно уставки, $k_p = 1,5 \dots 2,2$; $I_{\text{пуск}}$ — пусковой ток двигателя.

Защита от перегрузки (тепловая защита) считается эффективной при следующем соотношении ее тока уставки $I_{y.T}$ и номинального тока двигателя

$$I_{y.T} = (1,2 \dots 1,4) I_{\text{ном}}.$$

Выбор или проверка автоматов по условиям стойкости при коротком замыкании осуществляется таким образом, чтобы значения предельной коммутационной способности, электродинамической и термической стойкости автоматов были не менее соответствующих параметров режима короткого замыкания в месте их установки, а именно:

- каталожная предельная коммутационная способность автомата должна быть не менее значения тока короткого замыкания, протекающего в цепи в момент размыкания контактов автомата;

- значение электродинамической стойкости автомата должно быть не менее амплитудного значения ударного тока короткого замыкания в месте установки автомата;
- тепловой импульс тока короткого замыкания не должен превышать указанное в каталоге значение термической стойкости автомата.

Параметры режима короткого замыкания при такой проверке определяются соответствующим расчетом [3, 8] или могут быть оценены по расчетным кривым [3].

Контакты, реле, магнитные пускатели. К числу показателей, по которым они выбираются, относятся характер и величина напряжений главной цепи и цепи управления (включающих катушек); коммутационная способность контактов и их количество, допустимая частота включений; режим работы; категория размещения; степень защиты от воздействия окружающей среды.

Дополнительно к этому реле, выполняющие функции управления и защиты, выбираются по роду входной воздействующей величины (ток, напряжение, мощность), выдержке времени (реле времени), коэффициенту возврата, времени срабатывания и отпускания.

Уставка тока реле максимального тока при защите асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором выбирается из соотношения

$$I_{y.t} = (1,2 \dots 1,3) I_{\text{пуск}},$$

а для асинхронных двигателей с фазным ротором и двигателей постоянного тока по формуле

$$I_{y.t} = (2 \dots 2,5) I_{\text{ном}}.$$

Выключатели и переключатели. Эти аппараты выбираются по роду и величине напряжения, току нагрузки, количеству переключений, которое они допускают по условиям механической и электрической износостойкости, а также конструктивному исполнению.

Кнопки и ключи управления. Они выбираются по роду и уровню напряжения, величине коммутируемого тока, количеству коммутируемых цепей, степени защиты и климатическому исполнению, электрической и механической износостойкости.

Пример 4.1. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа АИР132SM4 имеет следующие номинальные данные: мощность $P_{\text{ном}} = 11$ кВт, фазное напряжение $U_{\text{ном}} = 220$ В, КПД $\eta_{\text{ном}} = 87,5\%$, коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,87$, кратность пускового тока по отношению к номинальному току статора 7,5. Выбрать автоматический выключатель, обеспечивающий включение двигателя и его максимальную и тепловую защиты.

Решение. 1. Определяем номинальный и пусковой токи стартера двигателя:

$$I_{1 \text{ ном}} = P_{\text{ном}} / (3 U_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}) = 11\,000 / (3 \cdot 220 \cdot 0,875 \cdot 0,87) = 22 \text{ А};$$

$$I_{1 \text{ пуск}} = 7,5 I_{1 \text{ ном}} = 7,5 \cdot 22 = 164 \text{ А}.$$

2. Ток срабатывания максимальной токовой защиты

$$I_{\text{макс з}} = 1,5 I_{1 \text{ уд}} = 1,5 \cdot 164 = 246 \text{ А}.$$

3. Ток срабатывания тепловой защиты

$$I_{\text{т.з}} = 1,2 I_{1 \text{ ном}} = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ А}.$$

Для двигателя может быть выбран автомат типа ВА51Г25 (буква «Г» указывает его использование для защиты двигателей) с номинальным током 25 А с электромагнитным и тепловым расцепителями, уставки которых должны соответствовать расчетным значениям. Этот автомат должен быть проверен по условиям стойкости к токам короткого замыкания.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются электрические аппараты?
2. Какие аппараты относятся к аппаратам управления?
3. Назовите виды силовых коммутационных аппаратов ручного управления.
4. Что такое автоматический выключатель?
5. Какие виды защит может обеспечивать автоматический выключатель и за счет чего?
6. Что такое электромагнитный контактор?
7. В чем состоят особенности конструкции и работы бесконтактных и гибридных контакторов?
8. Каковы основное назначение и особенности исполнения магнитных пускателей?
9. Укажите назначение мягких пускателей.
10. Охарактеризуйте назначение и основные виды электромагнитных реле.
11. Опишите конструкцию и принцип действия электромагнитного реле.
12. Какие основные типы реле времени вы знаете?
13. Какие виды НКУ применяются в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве?
14. Какие условия должны учитываться при выборе электрических аппаратов?
15. По каким основным электрическим параметрам выбираются электрические аппараты?
16. Что такое предельная коммутационная способность, электродинамическая и термическая стойкость электрического аппарата?

КОММУТАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И УСТРОЙСТВА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

5.1. Выключатели

Выключатели предназначены для выполнения оперативной и аварийной коммутации в системах электроснабжения и включения и выключения электрических цепей и нагрузок. Основными параметрами применяемых выключателей являются:

- номинальный ток, который выключатель способен длительно проводить при заданном напряжении, его частоте и температуре окружающего воздуха;
- номинальное напряжение, при котором выключатель работает в данной системе электроснабжения;
- номинальный ток отключения, представляющий собой действующее значение наибольшего тока короткого замыкания, который выключатель способен отключить при данном напряжении и заданном цикле операций;
- термическая и электродинамическая стойкость, характеризующие соответственно токами термической и электродинамической стойкости;
- времена отключения и включения выключателя с приводом, характеризующие быстрдействие выключателя;
- цикл операций, определяющий перечень коммутационных операций, который должен совершать выключатель.

Масляные выключатели. Они характеризуются тем, что гашение возникающей при разрыве электрической цепи дуги происходит путем ее эффективного охлаждения в потоке газопаровой смеси, вырабатываемой дугой в результате разложения и испарения масла. Выключатели этого типа подразделяются на баковые (многообъемные), в которых масло используется для гашения дуги и изоляции токоведущих частей от бака, и малообъемные (маломазные), в которых масло используется только для гашения дуги и изоляции контактов одного полюса. В табл. 5.1 приведены данные некоторых типов масляных выключателей.

Электромагнитные выключатели. Они отключают цепи путем их размыкания сначала главными, а затем дугогасительными контактами, имеющими дугогасительные камеры. Для гашения дуги применяется магнитное дутье. В табл. 5.2 приведены данные электромагнитных выключателей.

Технические характеристики масляных выключателей

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Четырехсекундная термическая стойкость, кА	Номинальный ток отключения, кА	Время отключения, с	Масса, кг	Тип привода
ВМЭ-6-200-4	6	200	4	4	—	—	ПМ-300
ВМЭ-6-200-1,5	—	—	1,25	1,25	—	—	ПМ-113
ВМГ-10	10	630 1 000	20	20	—	140 145	ПЭ-11 ПП-67
ВМГП-10	10	630 1 000	20	20	—	140 145	ППВ-10
ВМПЭ-10	10	630 1 000 1 600	20 31,5	20 31,5	0,12	225 335	Встроенный электромагнитный
ВММ-10	10	400 630	10	10	0,12	94	Встроенный пружинный
ВК-10	10	630 1 000 1 600	20 31,5	20 31,5	0,07	150 180	Встроенный пружинный
МГГ-10-3200-45	10	3 200	—	—	—	—	ПЭ-21
МГГ-10-4000-45	10	4 000	45	45	0,15	—	ПЭ-21А
МГГ-10-500-45 МГГ-10-5000-63	10	5 000 5 000	64	63	0,15	—	ПЭ-21, ПЭ-21А

Примечание. ПП — привод пружинный встроенный, ПЭ — привод электромагнитный встроенный.

Технические характеристики электромагнитных выключателей

Тип выключателя	Четырехсекундная термическая стойкость, кА	Собственное время отключения выключателя с приводом, с, не более	Время отключения выключателя с приводом, с, не более	Собственное время включения выключателя с приводом, с, не более	Масса, кг
ВЭМ-6-2000/40-125	40	0,06	0,08	0,35	1 000
ВЭМ-6-3200/40-125	40	0,06	0,08	0,35	1 236
ВЭМ-10Э-1000/12,5	20 (5с)	0,05	—	0,4	610
ВЭМ-10Э-1250/12,5	20 (5с)	0,05	—	0,4	600
ВЭМ-10Э-1000/20	20	0,05	—	0,4	600
ВЭМ-10Э-1250/20	20	0,05	—	0,4	599
ВЭ-10-1250-20	20	0,06	0,075	0,075	522
ВЭ-10-1600-20	20	0,06	0,075	0,075	522
ВЭ-10-2500-20	20	0,06	0,075	0,075	533
ВЭ-10-3600-20	20	0,06	0,075	0,075	565
ВЭ-10-1250-31,5	31,5	0,06	0,075	0,075	563
ВЭ-10-1600-31,5	31,5	0,06	0,075	0,075	563
ВЭ-10-2500-31,5	31,5	0,06	0,075	0,075	574
ВЭ-10-3600-31,5	31,5	0,06	0,075	0,075	606

Вакуумные выключатели. Они характеризуются тем, что гашение дуги происходит в вакууме (до $1,3(10^{-2}... 10^{-5})$ Па). В табл. 5.3 приведены данные выключателей этого типа.

Воздушные выключатели. В выключателях этого типа гашение дуги происходит подачей в дугогасительные устройства сжатого воздуха при давлении 6...8 МПа. Этот тип выключателей применяется в качестве сетевых на напряжение 6 кВ и выше, генератор-

Технические характеристики вакуумных выключателей

Серия	Номинальный ток, А	Номинальный ток короткого замыкания, кА	Время термической стойкости, с	Полное время отключения, с	Количество циклов	Исполнение
ВВТЭ(П)-10-10У2	630	25	3	0,05	20 000	Стационарное
ВВТЭ(П)-10-20УХЛ2	До 1 000	52	3	0,05	20 000	На тележке
ВВЭ-10-20У3	До 1 600	52	3	0,055	20 000	На тележке
ВВЭ-10-31,5У3	До 3 150	80	3	0,055	2 000	На тележке
ВВЭ-10-20Т3	До 1 250	52	3	0,055	20 000	На тележке
ВВЭ-10-31,5Т3	До 2 500	80	3	0,055	20 000	На тележке
ВВВ-10-20У2	320	10	4	0,08	30 000	Стационарное

Примечание. Первое число после буквенной части обозначения — номинальное напряжение, кВ; второе число — номинальный ток отключения, кА.

ных выключателей на напряжение 6...27 кВ, выключателей для электротермических установок при напряжении 6... 220 кВ и в ряде других случаев.

Для электрических систем с напряжением 350... 500 кВ применяется другая дугогасящая среда — элегаз, который представляет собой шестифтористую серу (SF_6) и обладает более высокой электрической прочностью.

В табл. 5.4 приведены технические данные некоторых типов воздушных выключателей.

Более подробно принцип действия и конструкции высоковольтных выключателей рассмотрены в [20].

Выключатели нагрузки. Они предназначены для работы в шкафах КРУ, ячейках КСО и КТП внутренней установки при напряжении до 10 кВ. Выключатели типа ВНР-10/400-10 имеют номи-

Технические характеристики воздушных выключателей

Тип	Номинальный ток, кА	Ток термической стойкости, кА, для времени, с	Номинальный ток отключения, кА	Время включения, с	Время отключения, с
ВВОА-15	12,5	145; 3	140	0,1	0,08
ВВГ-20	12,5; 20	160; 4	160	0,1	0,15
ВВУ-35	2	40; 4	40	0,13	0,07
ВВУ-110	2	40; 4	40	0,2	0,08
ВВД-220	2	31,5; 4	31,5	0,24	0,08
	3,2	40; 4	40	—	—
ВНВ-220	2	40; 4	40	0,1	0,04
ВВБ-330	2	35,5; 4	35,5	0,25	0,08
ВВД-330	3,2	40; 4	40	0,25	0,08
	2	40; 4	40	0,1	0,04
ВВБ-500	2	35,5; 4	35,5	0,25	0,08
ВНВ-500	2	63; 3	63	0,1	0,06
ВВБ-750	3,2	40; 4	40	0,11	0,06
ВНВ-750	3,2	40; 4	40	—	0,06
ВНВ-1150	4	40; 4	40	0,1	0,035
ВВБК-110	3,2	50; 4	50	—	0,06
ВВБК-220	3,2	56; 4	56	—	0,04
ВВБК-330	3,2	40; 4	40	—	0,04
ВВБК-500	2	40; 4	40	—	0,04
ВВБК-750	3,2	40; 4	40	—	0,04
ВВБК-1150	4	40; 4	40	—	0,04

Примечание. Число после буквенной части обозначения — номинальное напряжение, кВ.

нальный ток 400 А, наибольший ток отключения 800 А и ток термической стойкости 10 кА при допустимом времени его действия 1 с.

5.2. Разъединители, отделители и короткозамыкатели

Разъединители. Они применяются для коммутации, отключения и переключения обесточенных электрических цепей и, в частности, для отделения на время ремонта или ревизии электрооборудования от смежных установок и линий, находящихся под напряжением, и обеспечения при этом видимого разрыва между ними.

Разъединители выпускаются для внутренней и наружной установок.

Разъединители для внутренней установки типа РВО, РВФ и РВЗ предназначены для работы при напряжении 6 кВ и токах от 400 до 2 000 А, разъединители для наружной установки выпускаются на токи от 200 до 5 000 А. Расшифровка буквенных обозначений разъединителей: Р — разъединитель; В — внутренняя установка; О — однополюсный; Ф — с фигурным исполнением токопровода; З — наличие заземляющих ножей; Д — двухколонковая конструкция; Л — наличие линейного контакта. Разъединители наружной установки имеют в обозначении букву Н. В табл. 5.5 приведены основные данные разъединителей внутренней установки, а в табл. 5.6 — наружной установки.

Таблица 5.5

Технические характеристики разъединителей внутренней установки

Тип	Предельный сквозной ток короткого замыкания, кА		Четырехсекундный ток термической стойкости, кА	Масса разъединителя и одного полюса (полное исполнение), кг
	Амплитудное значение	Действующее значение		
РВО-6/400	50	29	16	5,9
РВО-6/630	60	35	20	6,3
РВО-6/1000	120	71	40	12,5
РВ-6/400	50	29	16	24
РВ-6/630	60	35	20	27
РВ-6/1000	120	71	40	42
РВЗ-6/400	50	29	16	28
РВЗ-6/630	60	35	20	29
РВЗ-6/1000	81	47	40	46

Тип	Предельный сквозной ток короткого замыкания, кА		Четырех-секундный ток термической стойкости, кА	Масса разъединителя и одного полюса (полное исполнение), кг
	Амплитудное значение	Действующее значение		
РВФ-6/400	50	29	16	35
РВФ-6/630	60	35	20	38
РВФ-6/1000	81	47	40	67
РВО-10/400	50	29	16	5,9
РВО-10/630	60	35	20	6,3
РВО-10/1000	120	71	40	12,5
РВ-10/400	50	29	16	26
РВ-10/630	60	35	20	28
РВ-10/1000	120	71	40	44
РВЗ-10/400	50	29	16	30
РВЗ-10/630	60	35	20	32
РВЗ-10/1000	81	47	40	48
РВФ-10/400	50	29	16	41
РВФ-10/630	60	35	20	45
РВФ-10/1000	81	47	40	83
РЛВОМ-10/1000	81	47	40	16,19
РВР-III-10/2000	85	—	31,5	82
РВРЗ-III-10/2000	85	—	31,5	112

Для управления однополюсными разъединителями внутренней установки напряжением до 35 кВ применяются изолирующие штанги, а трехполюсными разъединителями — ручной привод типа ПР-10 и ПЧ-50 с червячной передачей. Управление разъединителями наружной установки осуществляется ручным приводом типа ПРНЗ, а при дистанционном управлении — электродвигательным приводом типа ПДН.

Технические характеристики разъединителей наружной установки

Тип	Амплитудное значение предельного сквозного тока короткого замыкания, кА	Ток термической стойкости, кА		Масса, кг
		главных контактов (4с)	заземляющих ножей (1с)	
РЛНД-10/400	25	10	10	61
РОН-10К/5000	180	71	—	105
РНД (3)-35/1000	63	25	25	81
РНД (3)-35/2000	80	31,5	31,5	178
РНД (3)-35/3200	125	50	50	240
РНД (3)-110/1000	80	31,5	31,5	225
РНД (3)-110/2000	100	40	40	380
РНД (3)-110/3200	125	50	50	451
РНД (3)-150/1000	100	40	40	42
РНД (3)-150/2000	100	40	40	500
РНД (3)-150/3200	112	45	45	505
РНД (3)-220/1000	100	40	40	775
РНД (3)-220/2000	100	40	40	866
РНД (3)-220/3200	125	50	50	900
РНД (3)-320/3200	160	63	63	3 510
РНД (3)-500/3200	160	63	63	4 250
РПД-500/3200	160	63	—	6 100
РПД-750/3200	160	63	—	9 370
РНВ(3)-750П/4000	—	63	—	8 769
РНЗ-1150/4000	100	40	—	13 370

Примечание. В числителе — номинальное напряжение, кВ; в знаменателе — номинальный ток, А.

Отделитель. Отделитель служит для автоматического отключения обесточенной цепи высокого напряжения за небольшое (не более 0,1 с) время, для чего снабжается быстродействующим при-

Технические характеристики отделителей

Характеристика	ОД-35, ОДЗ-35	ОД-110	ОД-110, ОДЗ-110	ОД-150, ОД-150У	ОД-220
Номинальный ток, А	630	800	1 000	1 000	1 000
Полное время отключения (без гололеда), с	0,45	0,32	0,38	0,38	0,5

Примечания:

1. Буква «З» обозначает наличие заземляющих ножей, «У» — усиленной изоляции.
2. Цифровая часть обозначения — номинальное напряжение, кВ.
3. Предельный сквозной ток — 80 кА.

Технические характеристики короткозамыкателей

Характеристика	КРН-35	КЗ-110	КЗ-150	КЗ-220У
Амплитуда предельного сквозного тока, кА	42	51	51	51
Ток термической стойкости, кА	12,5	20	20	20
Время включения (без гололеда), с	0,1	0,14	0,2	0,25
Масса (без привода), кг	48	150	210	210

Примечания:

1. Цифровая часть в обозначении — номинальное напряжение, кВ.
2. Буквы в обозначении: Н — для наружной установки; У — усиленная изоляция.

водом. В табл. 5.7 приведены основные сведения по применяемым отделителям.

Короткозамыкатель. Он служит для создания искусственного короткого замыкания в цепи высокого напряжения. По своей конструкции он подобен заземляющему устройству разъединителя, но снабжен быстродействующим приводом. В табл. 5.8 приведены данные короткозамыкателей.

Для отделителей применяется привод типа ПРО (привод ручной отделителя) и для короткозамыкателей — ПРК (привод ручной короткозамыкателя).

5.3. Комплектные высоковольтные установки

Рассмотрим комплектные трансформаторные подстанции, камеры сборные одностороннего обслуживания и комплектные распределительные устройства, предназначенные для приема, преобразования и распределения электроэнергии высокого напряжения.

Комплектные трансформаторные подстанции. КТП высокого напряжения осуществляют преобразование высокого напряжения в низкое и распределение этого напряжения между потребителями электроэнергии. Они различаются по назначению, количеству и типу установленных трансформаторов, типам используемых аппаратов, климатическому исполнению и ряду других признаков.

В табл. 5.9 приведены данные КТП на первичное напряжение 6 (10) кВ для наружной, а в табл. 5.10 — для внутренней установки.

Подстанции киосковые типа КТПК тупикового и проходного исполнения выпускаются на напряжение 6(10)/0,4 кВ, мощность 25...630 кВА и токи 40...400 А. Они имеют однострансформаторное исполнение и предназначены для электроснабжения городских, сельскохозяйственных, промышленных объектов в условиях с умеренным климатом.

На рис. 5.1 приведена электрическая схема подстанции тупикового исполнения. Фотореле КС используется для управления включением и отключением линий освещения в зависимости от освещенности.

Мачтовая подстанция наружной установки типа КТПМ 25...250/10(6) 0,4-03-У1 предназначена для приемки электроэнергии трехфазного переменного тока напряжением 10(6) кВ и преобразования его в напряжение 0,4 кВ. Мощность подстанций составляет 250...1 000 кВА, частота тока 50 Гц.

Камеры сборные одностороннего обслуживания. Они предназначены для установки во внутренних и наружных распределительных устройствах напряжением 10(6) кВ переменного тока в сетях с изолированной и заземленной нейтралью. В их состав входят силовые выключатели, воздушные разъединители и выключатели нагрузки, трансформаторы тока и напряжения, аппараты управления, сигнализации, защиты и другое вспомогательное оборудование.

Ячейки КСО-6(10)-Э1 «Аврора» выпускаются на токи 630 и 1 000 А и характеризуются током электродинамической стойкости 51 кА и током термической стойкости 20 кА в течение 2 с. Ячейки имеют степень защиты IP31.

КСО-202 наружной и внутренней установки выпускаются на токи 630, 1 000 и 1 600 А промышленной частоты 50 Гц.

Технические характеристики КТП наружной установки

Показатель	КТП25-6(10)/0,4; КТП40-6(10)/0,4; КТП63-6(10)/0,4	КТП100-6(10)/0,4; КТП 160-6(10)/0,4	КТП250-6(10)/0,4	КТП-400У1	КТП-630У1; КТП-1000У1; 2КТП-630У1; 2КТП-1000У1
Номинальная мощность, кВ·А	25; 40; 63	100; 160	250	400	630; 1 000; 2×630; 2×1 000
Тип силового трансформатора	ТМ-25/6(10); ТМ-40/6(10); ТМ-63/6(10)	ТМ-100/6(10); ТМ-160/6(10)	ТМ-250/6(10)	ТМФ-400/6(10)	ТМЗ-630/6 (10); ТМЗ-1000/6 (10)
Тип коммутационного аппарата на стороне высокого напряжения	РВ-10-250; ПК-6(10)	РВ-10-250; ПК-6(10)	РВ-10-250; ПК-6(10)	ВНПз-17 с приводом ПРА-17 (в шкафу типа ВВ Н-1); ПК-6 (10)	
Тип коммутационного аппарата на стороне низкого напряжения:					
на вводе	A3124 (40 и 60 А)	A3134 (200 А)	A3144 (400 А)	АВМ-ЮСВ (в шкафу типа КБН-1); 2 шт. БПВ-2	АВМ-20СВ (в шкафу типа КНН-1 или КНН-2)
на линиях	АП50-2М; A3124 (30, 40 и 60 А)	A3124 (100 А)	A3134 (200 А); A3124 (100 А)	4 шт. БПВ-1 (в шкафу КБН-1)	АВМ-4В, АВМ-10В или АВМ-20В (в шкафах типа КНН-4 или КНН-5) АВМ-20СВ (в шкафу типа КНН-3)

Количество отходящих линий	3 + 1 (освещения)	3 + 1 (освещения)	4 + 1 (освещения)	5 или 6	7... 9
Габаритные размеры КТП, мм:					
ширина (длина)	1 300	1 300	1 500	4 060	Определяется заказом 1185; 1255
глубина	1 150	1 150	2 100	1 220	
высота	2 740	2 740	2 900	2 000	
Масса, кг	740... 995	1 110... 1 385	1 850	2 880	Определяется заказом

Таблица 5.10

Технические характеристики КТП внутренней установки

Наименование показателей	КТП-160; КТП-250; КТП-400	КТП-СН-0,5	КТП-400	КТП-М-1000 КТП-М-1600	КТП-2500
Номинальная мощность, кВ · А	160; 250; 400	400; 630; 1 000	400	1 000; 1 600	2 500
Номинальное напряжение, кВ	6(10)/0,4; 0,23	6(10)/0,4; 0,23	6(10)/0,4; 0,23	6(10)/0,4; 0,23	6(10)/0,4; 0,23
Тип силового трансформатора	ТМЗ	ТСЗ, ТСЗС	ТМФ	ТМЗ; ТНЗ	ТНЗ
Шкафы ввода высокого напряжения (ВН):					
тип шкафа	ШВВ-3	Кабельная коробка	ВВ-1; ВВ-2	ШВВ-3; ШВВ-5	ШВВ-3; ШВВ-5

Наименование показателей	КТП-160; КТП-250; КТП-400	КТП-СН-0,5	КТП-400	КТП-М-1000 КТП-М-1600	КТП-2500
тип коммутационного аппарата	ВН-11	Глухой ввод	ВНПз-17; ПК-6(10)	ВН-11	ВН-11
Шкафы низкого напряжения (НН):					
вводы	ШВ-А	4ШН; 5ШН	КБ-1; КБ-2;	ШНВ-2М; ШНВ-3М	ШНВ-2К
секционные	—	4ШН; 6ШН	КБ-4	ШНС-2М	ШНС-3К
линейные	ШЛ-а	5ШН-600	КБ-5а; КБ-5б	ШНЛ-1М ШНЛ-2М	ШНЛ-2К ШНЛ-3К
Типы коммутационных аппаратов:					
на вводах и секционных на отходящих линиях	A3744C A3712Б; A3722Б; A3734С; A3744C	Э-16В; P-2515 A3710...A3740	АВМ-10СВ БПВ-1; БПВ-2	Э-40В; Э-25В Э-16В; Э-0.6В	Э-40В; Э-25В
на вводах и секционных на отходящих линиях	A3744C A3712Б; A3722Б; A3734С; A3744C	Э-16В; P-2515 A3710...A3740	АВМ-10СВ БПВ-1; БПВ-2	Э-40В; Э-25В Э-16В; Э-0.6В	Э-40В; Э-25В Э-25В

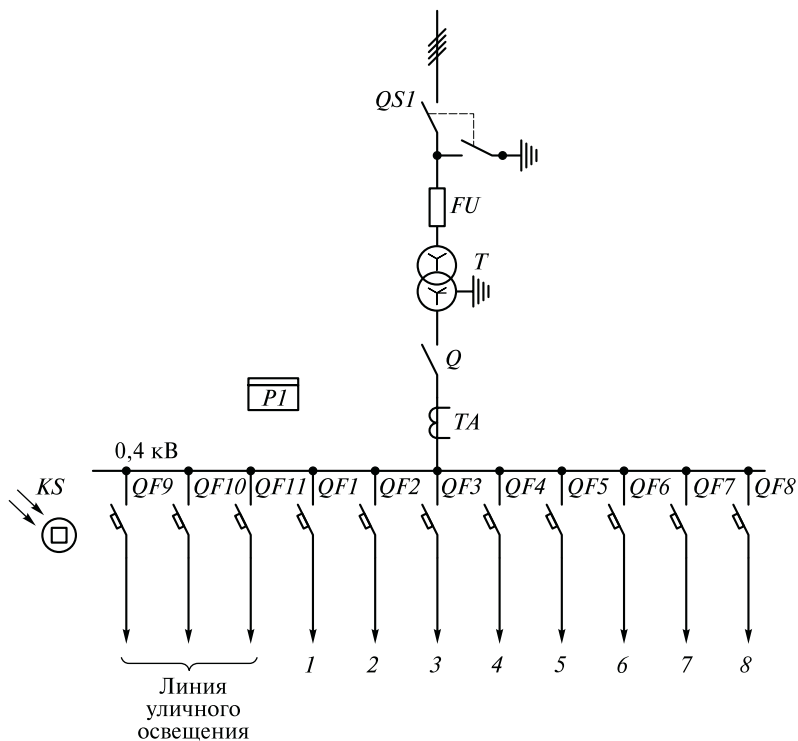


Рис. 5.1. Схема комплектной трансформаторной подстанции тупикового исполнения:

T — трансформатор; $QS1$ — выключатель нагрузки; FU — предохранитель на стороне высокого напряжения; Q — выключатель врубной; $QF1...QF8$ — автоматические выключатели отходящих линий низкого напряжения; $QF9...QF11$ — автоматические выключатели линий уличного освещения; TA — трансформатор тока; PI — электросчетчик; KS — фотореле

Камеры одностороннего обслуживания КСО-386 и КСО2(272) предназначены для использования в закрытых помещениях трансформаторных подстанций и комплектуются выключателями нагрузки, разъединителями, трансформаторами тока и напряжения, реле и микропроцессорными блоками автоматики и измерительными приборами.

Комплектные распределительные устройства. Они предназначены для распределения электроэнергии частотой 50 Гц. Малогабаритное КРУ серии КМ1 внутренней установки имеет номинальное напряжение 6(10) кВ и выпускается на номинальные токи 630, 1 000, 1 600, 2 000, 2 500 и 3 150 А. На те же параметры выпускается КРУ типа КРУ2-10.

Контрольные вопросы

1. Что такое высоковольтный выключатель?
2. Какими основными параметрами характеризуется выключатель?
3. Какие типы высоковольтных выключателей вы знаете?
4. Какое назначение имеют разъединители, отделители и короткозамыкатели?
5. Какое электротехническое устройство называется комплектной трансформаторной подстанцией?
6. Какие типы трансформаторных подстанций вы знаете?

Глава 6

ТРАНСФОРМАТОРЫ

6.1. Назначение и типы трансформаторов

Трансформатором называется статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции напряжения переменного тока одной величины (первичного напряжения) в напряжение переменного тока другой величины (вторичное напряжение). Основными частями трансформатора являются магнитная система (магнитопровод) и расположенные на ней две или более гальванически не связанные между собой обмотки.

Автотрансформатором называется трансформатор, две или более обмотки которого имеют между собой гальваническую связь, и передача энергии из первичной цепи во вторичную осуществляется как посредством магнитного поля, так и электрическим путем.

В зависимости от числа фаз преобразуемого напряжения трансформаторы могут быть однофазными, трехфазными и многофазными, а по уровню передаваемой мощности они подразделяются на силовые и маломощные. Отдельную группу трансформаторов составляют измерительные трансформаторы тока и напряжения, предназначенные для питания типовых измерительных приборов и аппаратов релейной защиты и автоматики при больших значениях измеряемых токов и напряжений. Эти трансформаторы обеспечивают и гальваническую развязку силовых и измерительных цепей.

В двухобмоточном трансформаторе различают обмотку высокого напряжения (ВН), присоединяемую к сети более высокого напряжения, и обмотку низкого напряжения (НН), присоединяемую к сети более низкого напряжения. В трехобмоточном трансформаторе имеется также и обмотка среднего напряжения (СН).

Обмотка трансформатора, к которой подводится электрическая энергия, называется первичной, а обмотка, от которой энергия отводится, — вторичной.

Условные изображения трансформаторов и автотрансформаторов на электрических схемах приведены на рис. 6.1.

В соответствии с ГОСТ 11677 — 85 в однофазном трансформаторе начало и конец обмотки ВН обозначаются соответственно прописными латинскими буквами *A* и *X*, а обмотки НН — строч-

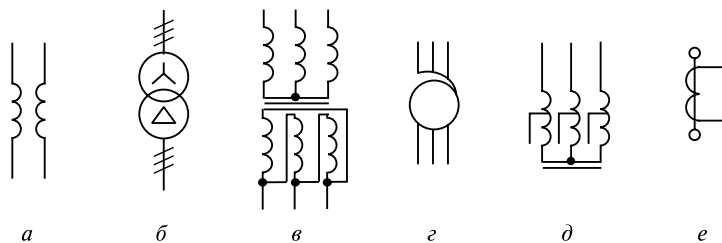


Рис. 6.1. Условные изображения:

a — однофазного трансформатора; *б в* — трехфазного трансформатора; *г, д* — автотрансформатора; *е* — трансформатора тока

ными латинскими буквами *a* и *x*. В трехфазном трансформаторе начала и концы обмоток ВН обозначаются соответственно *A, B, C* и *X, Y, Z*, а обмоток НН — *a, b, c* и *x, y, z*.

В трехфазных трансформаторах обмотки могут быть соединены по схемам «звезда» (первичная обмотка на рис. 6.1, *в*), что обозначается русской буквой *У*, «треугольник» (вторичная обмотка на рис. 6.1, *б*), что обозначается русской буквой *Д*, и «зигзаг» (латинская буква *Z* в обозначении). Отвод (ответвление) от нейтрали у схем «звезда» и «зигзаг» обозначается буквой *O*.

Важной характеристикой трансформаторов является группа соединения обмоток, которая определяется угловым смещением вектора линейного напряжения обмотки НН по отношению к аналогичному вектору линейного напряжения обмотки ВН.

Так, группа соединения *Y/Y₀-12* означает, что эти векторы смещены на 360° или, что то же самое, на 0° . Это соединение применяют в случае смешанной (силовой и осветительной) нагрузки трансформатора при $U_1 \leq 35$ кВ и $U_2 \leq 525$ В. Группу *Y/Δ-11* (смещение векторов составляет 330°) применяют для мощных трансформаторов с $U_1 \leq 35$ кВ и при вторичном напряжении $U_2 > 525$ В.

Параллельная работа трансформаторов допускается при одинаковых напряжениях и группе соединения обмоток, а также при отличии напряжения короткого замыкания не более чем на 10 %.

6.2. Силовые трансформаторы

К силовым относятся трехфазные и многофазные трансформаторы мощностью $6,3$ кВ·А и более и однофазные мощностью 5 кВ·А и более. По способу охлаждения они подразделяются на трансформаторы с естественным воздушным охлаждением (сухие трансформаторы), не имеющие специальной системы охлаждения, и с масляным охлаждением. К новым типам трансформато-

ров относятся трансформаторы герметичные и с литой изоляцией, обладающие более высокими надежностью и эксплуатационными качествами.

Для обеспечения возможности регулирования напряжения в системе электроснабжения выпускаются трансформаторы с отводами от обмоток, что позволяет изменять у них коэффициент трансформации. Существует два типа устройств регулирования напряжения трансформатора: под нагрузкой (обозначение РПН) и без нагрузки (ПБН). Отводы (регулируемые ступени) выполняются на обмотках ВН, так как по ним протекают меньшие по значению токи по сравнению с обмотками НН и СН.

Устройства РПН обеспечивают регулирование напряжения до 10...16 % от номинального уровня, а устройства переключения без возбуждения (ПБВ) позволяют регулировать напряжение в пределах +5; +2,5; 0; -2,5...+5 % от номинального уровня.

В табл. 6.1 приведены данные трехфазных трансформаторов серий ТМ и ТСЗ, при этом в таблице приняты следующие обозначения: $U_{1ном}$, $U_{2ном}$ — номинальные первичное и вторичное напряжения; $u_{к.з}$ — напряжение короткого замыкания, % от номинального; $P_{х.х}$, $P_{к.з}$ — мощность потерь соответственно холостого хода и короткого замыкания; i_0 — ток холостого хода, % от номинального. В обозначениях трансформаторов ТМ — трехфазный масляный; 25/10 — мощность 25 кВ·А, первичное напряжение 10 кВ; ТСЗ — трехфазный трансформатор сухой защищенного исполнения.

Таблица 6.1

Технические характеристики трехфазных трансформаторов типов ТМ и ТСЗ

Тип	Мощность, кВ·А	$U_{1ном}$, кВ	$U_{2ном}$, кВ	$u_{к.з}$, %	Мощность потерь, кВт		I_0 , %
					$P_{х.х}$	$P_{к.з}$	
ТМ-25/10	25	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,135	0,60	3,2
ТМ-40/10	40	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,190	0,88	3,0
ТМ-63/10	63	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,265	1,28	2,8
ТМ-100/10	100	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,365	1,97	2,6
ТМ-160/10	160	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,565	2,65	2,4
ТМ-250/10	250	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,820	3,70	2,3
ТМ-400/10	400	10; 6	0,4; 0,69	4,5	1,05	5,50	2,1

Тип	Мощность, кВ·А	$U_{1ном}$, кВ	$U_{2ном}$, кВ	$i_{к.з}$, %	Мощность потерь, кВт		I_0 , %
					$P_{х.х}$	$P_{к.з}$	
ТМ-630/10	630	10; 6	0,4; 0,69	5,5	1,56	7,6	2,0
ТМ-1000/10	1 000	10	0,4	5,5	2,45	12,2	1,4
ТМ-1600/10	1 600	10	0,4	5,5	3,30	18,0	1,3
ТМ-2500/10	2 500	10	0,4	5,5	4,60	25,0	1,0
ТМ-4000/10	4 000	10	0,4	5,5	6,40	33,5	0,9
ТМ-6300/10	6 300	10	0,4	6,5	9,00	46,5	0,8
ТСЗ-160/10	160	10	0,4	5,5	0,70	2,7	4,0
ТСЗ-250/10	250	10	0,4	5,5	1,00	3,8	3,5
ТСЗ-400/10	400	10	0,4	5,5	1,30	5,4	3,0
ТСЗ-630/10	630	10	0,4	5,5	2,00	1,3	1,5
ТСЗ-1000/10	1 000	10	0,4	5,5	3,00	11,2	1,5
ТСЗ-1600/10	1 600	10	0,4	5,5	4,20	16,0	1,5

В табл. 6.2 приведены данные трансформаторов серий ТМ, ТДЦ и ТРДНЦ. Расшифровка буквенных обозначений: ТДЦ — трансформаторы с циркуляционным охлаждением масла.

В табл. 6.3 приведены данные трансформаторов типа ТСЗ с ВН 380, 500 и 660 В и НН 230 и 400 В.

Электротехническая промышленность выпускает трансформаторы с литой изоляцией, которые обеспечивают при эксплуатации высокую пожаробезопасность, надежность, простоту в обслуживании, компактность и низкий уровень шума. В табл. 6.4 приведены данные трансформаторов с литой изоляцией типа ТСЗЛ в защитной оболочке производства ОАО «Электрозавод» (Москва).

В табл. 6.5 приведены технические данные трехфазных масляных герметичных трансформаторов серии ТМГ (производитель — ОАО «Электрозавод»), предназначенных для питания электрооборудования жилых и общественных зданий, промышленных предприятий, сельскохозяйственных объектов, транспорта и т.д. Трансформаторы не нуждаются в обслуживании при эксплуатации. Отсутствие контакта с воздухом обеспечивает сохранность изоляционных свойств масла в течение не менее 25 лет.

Технические характеристики трансформаторов ТМ, ТДЦ, ТРДНЦ

Тип	$U_{к.з}, \%$	Потери, кВт		$I_0, \%$	Масса, кг		Габаритные размеры, мм		
		холостого хода $P_{х.х}$	короткого замыкания $P_{к.з}$		полная	масла	высота	длина	ширина
ТМ-100/35	6,5	0,465	1,970	2,6	1 300	—	2 200	1 330	900
ТМ-160/35	6,5	0,700	2,65	2,4	1 700	—	2 260	1 400	1 000
ТМ-250/35	6,5	1,000	3,70	2,3	2 000	—	2 320	1 500	1 250
ТМ-400/35	6,5	1,35	5,50	2,1	2 700	—	2 500	1 650	1 350
ТМ-630/35	6,5	1,90	7,60	2,0	3 500	—	2 750	2 100	1 450
ТМ-1000/35	6,5	2,75	12,2	1,5	6,0	2,02	3 150	2 700	1 570
ТМ-1600/35	6,5	3,65	18,0	1,4	7,1	2,43	3 400	2 650	2 300
ТМ-2500/35	6,5	5,1	25,0	1,1	9,6	2,70	3 800	3 800	2 450
ТМ-4000/35	7,5	6,7	33,5	1,0	13,2	4,10	3 900	3 900	3 650
ТМ-6300/35	7,5	9,4	46,5	0,9	17,4	4,80	4 050	4 300	3 700
ТМ-10000/35	7,5	14,5	65,0	0,8	21,8	5,20	4 350	3 000	3 760
ТД-16000/35	8,0	21,0	90,0	0,6	31,3	8,20	4 860	3 950	3 970

Тип	$U_{к.з}, \%$	Потери, кВт		$I_0, \%$	Масса, кг		Габаритные размеры, мм		
		холостого хода $P_{х.х}$	короткого замыкания $P_{к.з}$		полная	масла	высота	длина	ширина
ТД-40000/35	8,5	36,0	165,0	0,4	52,3	—	5 700	5 300	4 400
ТДЦ-80000/35	9,5	60,0	280,0	0,3	78,6	11,9	6 100	5 950	4 550
ТМН-2500/110	10,5	6,5	22,0	1,50	24,5	10,15	4 090	5 150	3 540
ТМН-6300/110	10,5	11,5	48,0	0,80	37,3	14,7	5 150	6 080	3 170
ТДН-10000/110	10,5	15,5	60,0	0,70	38,0	12,9	5 380	5 900	4 270
ТДН-16000/110	10,5	24,0	85,0	0,70	54,5	19,7	6 300	6 910	4 470
ТРДН-25000/110	10,5	30,0	120,0	0,70	67,2	20,0	5 820	6 580	4 650
ТРДН-32000/110	10,5	40,0	145,0	0,70	—	—	—	—	—
ТРДН-40000/110	10,5	50,0	160,0	0,65	91,2	27,0	6 190	6 930	4 850
ТРДЦН-63000/110	10,5	70,0	245,0	0,60	107,2	28,5	6 500	8 300	4 400
ТРДЦН-80000/110	10,5	85,0	310,0	0,60	—	—	—	—	—
ТРДЦН-125000/110	10,5	120,0	400,0	0,55	—	—	—	—	—

Технические характеристики трансформаторов ТСЗ

Тип	Мощность, кВ·А	$U_{к.з}, \%$	Потери, Вт		$I_0, \%$	Масса, кг	Габаритные размеры, мм		
			холостого хода $P_{х.х}$	короткого замыкания $P_{к.з}$			высота	длина	ширина
ТСЗ-10/0,66	10	4,5	90	280	7,0	150	650	700	440
ТСЗ-16/0,66	16	4,5	125	400	5,8	180	680	760	480
ТСЗ-25/0,66	25	4,5	180	560	4,8	240	720	820	520
ТСЗ-40/0,66	40	4,5	250	800	4,0	320	820	890	540
ТСЗ-63/0,66	63	4,5	355	1 090	3,3	440	920	970	580
ТСЗ-100/0,66	100	4,5	500	1 500	2,7	580	980	1 060	620
ТСЗ-160/0,66	160	4,5	710	2 060	2,3	800	1 150	1 150	680

**Технические характеристики трансформаторов
с литой изоляцией типа ТСЗЛ**

Тип	Мощность, кВ·А	Масса, кг	Габаритные размеры, мм		
			высота	длина	ширина
ТСЗЛ-100/10-У3	100	640	980	575	1 060
ТСЗЛ-160/10-У3	160	800	1 150	620	1 140
ТСЗЛ-250/10-У3	250	1 100	1 250	635	1 195
ТСЗЛ-400/10-У3	400	1 560	1 370	850	1 440
ТСЗЛ-630/10-У3	630	2 100	1 480	900	1 665
ТСЗЛ-1000/10-У3	1 000	2 950	1 630	900	1 765
ТСЗЛ-1600/10-У3	1 600	4 200	1 800	920	2 065

Примечание. Номинальное напряжение первичной обмотки 6(10) кВ и вторичной обмотки 0,4, 0,23 кВ. Схема и группа соединения обмоток $\Delta/Y_n - 11$.

Таблица 6.5

**Технические характеристики трансформаторов
серии ТМГ**

Мощность, кВ·А	Схема и группа соедине- ния	Потери холостого хода, Вт	Ток холостого хода, %	Потери короткого замыка- ния, Вт	Напряже- ние корот- кого замы- кания, %	Масса, кг
100	У/У ₀ -0	280	2,2	1 970	4,5	575
160	У/У ₀ -0	380	2,0	2 600	4,5	780
250	У/У ₀ -0	450	1,8	3 700	4,5	1 035
400	У/У ₀ -0 Д/У ₀ -11	650	1,6	5 200	4,5	1 530
630	У/У ₀ -0 Д/У ₀ -11	950	1,4	7 500	5,5	2 100
1 000	У/У ₀ -0 Д/У ₀ -11	1 300	1,2	11 000	6,0	3 030

Технические характеристики однофазных трансформаторов

Тип	$S_{\text{ном}}$, кВ·А	$U_{1\text{ном}}$, В	$U_{2\text{ном}}$, В	I_0 , %	$u_{\text{к.з}}$, %
ОСМ-0,063	0,063	—	—	24	12,0
ОСМ-0,10	0,1	220	12; 24	24	9,0
ОСМ-0,16	0,16	380	36; 42	23	7,0
ОСМ-0,25	0,25	660	110	22	5,5
ОСМ-0,40	0,40	—	220; 14	20	4,5
ОСМ-0,63	0,63	—	29; 56; 130; 260	19	3,5
ОСМ-1,0	1,0	—	(для выпрямителей)	18	2,5

Трансформаторы двухобмоточные с переключением ответвлений на стороне ВН (кроме ТДЦ) без возбуждения типов ТМ-2500/110... ТМ-6300/110; ТД-10000/110... ТД-40000/110; ТДЦ-80000/110... ТДЦ-400000/110 имеют класс напряжения 110 и 150 кВ, схему соединения обмоток У/Д-11 и систему НН уровней 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 18 и 20 кВ.

В табл. 6.6 приведены данные некоторых типов однофазных трансформаторов. В своем буквенном обозначении они содержат первую букву О.

Трансформаторы сухие для питания электропечей и установок электронагрева типа ОС, ОСЗ, ОСЗК и ОСКР выпускаются на мощность от 8,34 до 250 кВ·А, ВН 220 или 380 В и допускают ступенчатое регулирование напряжения.

Для судов выпускаются трансформаторы в открытом исполнении типа ОСМ на мощности от 0,063 до 1 кВ·А, водозащищенные типа ОСВМ на мощности от 0,25 до 4 кВ·А и каплезащищенные типа ОСЗМ на мощности от 6,3 до 25 кВ·А. Трансформаторы этих серий выпускаются также трехфазными и на частоту 400 Гц.

Более подробные сведения о силовых трансформаторах можно найти в [15].

6.3. Автотрансформаторы

Автотрансформаторы имеют в своем обозначении букву А. Данные трехфазных трехобмоточных автотрансформаторов приведены в табл. 6.7, однофазных — в табл. 6.8, а их условное изображение приведено на рис. 6.1, з, д.

Технические характеристики трехфазных автотрансформаторов

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВ·А		Напряжение, кВ		
	Авто-трансформатор	Обмотка НН	ВН	СН	НН
АТДЦТН-63000/220/110	63	32	230	121	6,6; 11; 38,5
АТДЦТН-125000/220/110	125	61	230	121	6,3; 6,6; 10,5; 11; 38,5
АТДЦТН-200000/220/110	200	80	230	121	6,3; 6,6; 38,5; 10,5; 11
АТДЦТН-250000/220/110	250	125	230	121	6,3; 6,6; 38,5
АТДЦТН-250000/220/110	250	100	230	121	10,5; 11
АТДЦТН-125000/330/110	125	63	330	115	6,3; 6,6; 10,5; 11; 38,5
АТДЦТН-200000/330/110	200	80	330	115	6,3; 6,6; 10,5; 11; 38,5
АТДЦТН-250000/330/110	250	100	330	158	10,5; 38,5
АТДЦТН-250000/330/110	250	100	500	121	10,5; 38,61

Таблица 6.8

Технические характеристики однофазных автотрансформаторов

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВ·А		Напряжение, кВ		
	Авто-трансформатор	Обмотка НН	ВН	СН	НН
АОДЦТН-133000/330/220	133	50	191	133	15,75; 20
АОДЦТН-133000/330/220	133	67	191	133	15,75; 20
АОДЦТН-133000/330/220	133	33	191	133	10,5; 38,5
АОДЦТН-267000/500/220	267	67	289	133	10,5; 13,8; 38,5

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВ · А		Напряжение, кВ		
	Авто-трансформатор	Обмотка НН	ВН	СН	НН
АОДЦТН-267000/500/220	267	83	289	133	15,75
АОДЦТН-267000/500/220	267	120	289	133	20
АОДЦТН-267000/750/220	267	80	434	133	10,5
АОДЦТН-333000/750/220	333	120	434	191	15,75; 10,5

6.4. Измерительные трансформаторы тока и напряжения

Измерительные трансформаторы тока и напряжения служат для измерения соответственно тока и напряжения и изоляции измерительных приборов и устройств релейной защиты в установках высокого напряжения.

Трансформатор тока преобразует измеряемый первичный ток во вторичный, для чего его первичная обмотка включается в цепь измеряемого тока, а ко вторичной подключается измерительный прибор или средства защиты электроустановки. Трансформаторы тока по своему исполнению должны соответствовать номинальному напряжению и измеряемому току и их частоте, иметь требуемый класс точности и необходимые параметры по электродинамической и термической стойкости к действию токов короткого замыкания. Вторичный номинальный ток трансформаторов 1 и 5 А, условное изображение трансформатора тока приведено на рис. 6.1, е.

Буквы в обозначении трансформаторов тока характеризуют его конструкцию: Т — трансформатор; Л — литая изоляция; М — малогабаритный; О — опорной конструкции; К — катушечный; В — встроенный; П — проходного типа; У — усиленный по термической и динамической стойкости; Ш — шинный; Ф — в фарфоровом кожухе; Т — встроенный в силовой трансформатор; Г — для установки на нулевых выводах турбогенераторов; У — с U-образной первичной обмоткой; Н — навесного исполнения. Цифра после буквенного обозначения указывает на номинальное напряжение трансформатора, кВ.

В табл. 6.9 приведены данные некоторых типов трансформаторов тока.

Трансформаторы тока

Тип	$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$S_{\text{ном}}$ обмоток, В · А	
			измерительной	защитной
ТШ-0,5	0,5	14 000	—	—
ТНШ-0,66	0,66	1 600; 2 500	—	—
ТНШЛ-0,66	0,66	800; 1 000; 1 500; 2 000; 3 000; 4 000; 5 000	20	—
ТШН-0,66	0,66	100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1 000	5	—
ТЛМ-6	6	300; 400; 600; 800; 1 000; 1 500	10	15
ТОЛК-6	6	20; 30; 40; 50; 80; 100; 150; 200; 300; 400; 600	30	—
ТПЛМ-10	10	5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400	10	15
ТПОЛ-10	10	600; 800; 1 000; 1 500	10	15
ТОЛ-10	10	30; 50; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1 000; 1 500	10	15
ТЛ-10	10	50; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1 000; 1 500; 2 000; 3 000	10	15
ТПЛ-10К	10	10; 15; 30; 50; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1 000; 1 500	10	15
ТВГ-24	24	6 000	30	30
ТВ-10	10	6 000	20	—
ТВТ-10	10	5 000; 6 000; 12 000	30	—
ТВТ-110	110	300; 600; 1 000; 2 000	До 50	До 50
ТФЗМ35А	35	До 600	50	20
ТФРМ330Б	330	10/2 000; 1 500/3 000	30	40
ТФУМ330А	330	500/1 000/2 000	50	50

Трансформатор напряжения служит для преобразования высокого напряжения в низкое стандартного значения (100 или $100/\sqrt{3}$ В) и изоляции (потенциальной развязки) цепей измерительных приборов и элементов релейной защиты от высокого напряжения. Для безопасности обслуживания один конец вторичной обмотки заземляется.

Применяемые трансформаторы напряжения должны иметь номинальное напряжение, соответствующее напряжению электроустановки, мощность их нагрузки должна быть распределена по фазам равномерно и соответствовать их номинальной мощности при требуемом классе точности. Для питания счетчиков электроэнергии применяются трансформаторы класса 0,5, а для питания щитовых измерительных приборов — 1,0 и 3,0. Трансформаторы напряжения могут использоваться и как обычные трансформаторы, при этом мощность их нагрузки не должна превышать паспортного значения.

Обозначения трансформаторов напряжения (буква Н в обозначении): НТМИ — трехфазный, с естественным масляным охлаждением, с обмоткой для контроля изоляции сети; НОЛ — однофазный, с литой изоляцией. Оба вывода первичной обмотки изолированы; ЗНОЛ — то же, но один вывод первичной обмотки изолирован, а второй заземлен; НОМ — однофазный, с естественным масляным охлаждением. Оба вывода первичной обмотки изолированы; ЗНОГ — однофазный, с газовой изоляцией. Один вывод первичной обмотки заземлен, второй изолирован; НКФ — каскадный, залитый трансформаторным маслом, в фарфоровой крышке; НДЕ — емкостной делитель напряжения.

В табл. 6.10 приведены данные некоторых трансформаторов напряжения.

Таблица 6.10

Трансформаторы напряжения

Тип	$U_{ном}, В$		$S_{ном}, В \cdot А$ (при классе точности)		$S_{max}, В \cdot А$
	ВН	НН	1	0,5	
НОС-0,5	380, 500	100	50	25	100
НОМ-6	3 000	100	50	30	240
	6 000	100	75	50	400
НОМЭ-6	6 000	100	75	50	400
НТМК-10	10 000	100	200	120	960

Тип	$U_{\text{ном}}, \text{В}$		$S_{\text{ном}}, \text{В} \cdot \text{А}$ (при классе точности)		$S_{\text{max}}, \text{В} \cdot \text{А}$
	ВН	НН	1	0,5	
НТМИ-10-66	10 000	100; $100/\sqrt{3}$	200	120	960
НОЛ-08-10	10 000 11 000	100; 110	150	75	640
ЗНОЛ 06-10	$10\,000/\sqrt{3}$ $11\,000/\sqrt{3}$; 13 800	$100/\sqrt{3}$ $100/\sqrt{3}; 100$	150	75	640
НОМ-15	15 750; 18 000; $6\,000/\sqrt{3}$	100	150	75	640
ЗНОМ-15-63	$10\,000/\sqrt{3}$ $15\,750/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$ $100/\sqrt{3}$	75 150	50 75	400 640
ЗНОГ 110-79	$100\,000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	600	400	2 500
НКФ-330-73	$330\,000/\sqrt{3}$	$110/\sqrt{3}$	600	400	2 000
НДЕ-500-72	$500\,000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	500	300	1 200

Контрольные вопросы

1. Что называется трансформатором?
2. Что называется автотрансформатором?
3. Какие типы трансформаторов по способу охлаждения их обмоток вы знаете?
4. Изобразите схемы включения обмоток трансформаторов «звезда» и «треугольник».
5. Что представляет собой группа соединения обмоток трансформатора?
6. Каким образом осуществляется регулирование напряжения трансформаторов?
7. Для чего служат трансформаторы тока и напряжения?

СИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

7.1. Общая характеристика синхронных машин

Синхронной машиной называется двухобмоточная электрическая машина переменного тока, одна из обмоток которой (обмотка статора) подключается к электрической сети переменного тока, а другая (обмотка возбуждения) — к источнику постоянного тока. Наибольшее распространение получили синхронные машины с трехфазной обмоткой статора, которая называется также обмоткой якоря. Назначение обмотки статора состоит в создании вращающегося магнитного поля машины.

Обмотка возбуждения располагается на роторе и вместе с ним образует индуктор машины. В качестве источника тока возбуждения используются генераторы постоянного тока или статические полупроводниковые системы возбуждения.

Синхронные машины небольшой мощности иногда изготавливаются в обратном исполнении с обмоткой возбуждения на статоре и с трехфазной обмоткой на роторе. В регулируемых электроприводах применяются также синхронные машины с возбуждением от постоянных магнитов и с так называемым пассивным ротором в виде зубчатого цилиндра.

Синхронные машины по своему назначению подразделяются на генераторы, двигатели и синхронные компенсаторы. Условные изображения трехфазной синхронной машины приведены на рис. 7.1.

Начала и концы обмоток статора обычно имеют обозначения $C1... C4$, $C2... C5$, $C3... C6$, а обмотки возбуждения $I1... I2$.

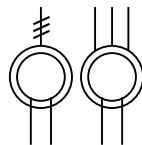


Рис. 7.1. Условные изображения синхронной электрической машины

7.2. Генераторы

Генератором называется электрическая машина, преобразующая подводимую к ее валу механическую энергию в электрическую энергию. Синхронные генераторы являются основным видом генераторов, применяемых на электрических станциях для выработки электрической энергии. В случае привода генератора от гидравлической турбины генератор носит название гидрогенератора,

если приводным двигателем является турбина, то генератор называется турбогенератором. На электростанциях небольшой мощности, например передвижных, в качестве двигателей генераторов используются дизели и карбюраторные двигатели.

Гидрогенераторы выполняются, как правило, явнополюсными, с вертикальной осью вращения, на мощности до $700 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ и частотами вращения от 50 до 500 (иногда до 1000) об/мин и применяются на гидравлических электростанциях. В табл. 7.1 приведены технические данные основных типов гидрогенераторов, где через $S_{\text{НОМ}}$, $n_{\text{НОМ}}$ и $U_{\text{НОМ}}$ обозначены соответственно их номинальная полная мощность, частота вращения и напряжение.

Таблица 7.1

Технические данные гидрогенераторов

Тип	$S_{\text{НОМ}}$, МВ·А	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	Краткая характеристика
СГГ	До 3,125	600; 750	6,3	Горизонтальные для высоконапорных гидроэлектростанций, защищенные, с вентиляцией по разомкнутому циклу; прямая электромашинная система возбуждения
СГК	До 23,3	До 150	До 4,0	Горизонтальные капсульные, с косвенным воздушным охлаждением
СГКВ	20,0; 28,0; 45,9	93,8; 62; 75	3,15; 4,16; 6,3	Горизонтальные капсульные, с непосредственным охлаждением обмоток статора и ротора водой
СВ	До 306	До 428,6	10,5; 15,75	Вертикальные, индивидуального исполнения, с косвенным воздушным охлаждением
СВО	45,6; 209; 236	150; 166,7	10; 15; 15,75	Вертикальные, обратимые двигатель-генераторы (для ГАЭС) с воздушным охлаждением
СВФ	590; 711	93,8; 142,8	15,75	Вертикальные с непосредственным охлаждением обмотки статора водой и форсированным охлаждением обмотки ротора воздухом

Тип	$S_{\text{НОМ}}$, МВ·А	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	Краткая характеристика
ВГС	До 282	До 600	До 15,75	Вертикальные, индивидуального исполнения, с косвенным воздушным охлаждением
ВГСФ	294	200	15,75	Вертикальные, индивидуального исполнения, с косвенным воздушным охлаждением обмотки статора воздухом и форсированным охлаждением обмотки ротора воздухом
ВГСВФ	353	200	15,75	Вертикальные, с непосредственным охлаждением обмотки статора водой и форсированным охлаждением обмотки ротора воздухом

В табл. 7.2 приведены подробные данные некоторых типов гидрогенераторов, где через $\cos\varphi_{\text{НОМ}}$ и $\eta_{\text{НОМ}}$ обозначены номинальные коэффициенты мощности и полезного действия.

Таблица 7.2

Технические данные гидрогенераторов

Тип	$S_{\text{НОМ}}$, МВ·А	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	Возбуждение	
						$I_{\text{В}}$, А	$U_{\text{В}}$, В
ВГС440/69-28	9,4	10,5	214	0,8	96,1	436	185
СГКВ480/115-64	20,0	3,15	93,8	1,0	96,3	950	295
ВГС525/125-28	26,9	10,5	214	0,8	96,3	1 050	145
СГК2538/160-70	19,0	3,15	85,7	0,92	96,0	—	—
СВ712/227-24	306	15,75	250	0,85	98,18	2 400	310
СВ0733/130-36	45,6	10	166,7	0,9	97,4	—	—
ВГС800/110-52	35	10,5	115,4	0,8	96,7	—	—
СВ808/130-40	64,7	10,5	150	0,85	97,7	1 200	204
ВГСФ930/233-30	294	15,75	200	0,85	98,1	1 880	308

Тип	$S_{\text{НОМ}},$ МВ · А	$U_{\text{НОМ}},$ кВ	$n_{\text{НОМ}},$ ОБ/МИН	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	$\eta_{\text{НОМ}},$ %	Возбуждение	
						$I_{\text{В}},$ А	$U_{\text{В}},$ В
ВГСВФ940/235/30	353	15,75	200	0,85	98,2	2 450	300
СВ01000/260-40	236	15	150	0,95	99,0	—	—
СВ1070/145-52	100	13,8	115,4	0,8	97,6	—	—
СВ1130/140-8	117,7	13,8	125	0,85	98,0	1 300	191
ВГС1190/215-48	282,5	15,75	125	0,85	98,4	1 500	370
ВТС1260/147-68	97	13,8	88,25	0,85	97,5	1 435	355
СВФ1285/275-2	711	15,75	142,8	0,9	98,3	3 500	530
СВ1500/200-8	127,8	13,8	68,2	0,9	97,6	1 820	380
ВГС1525/135-120	67,3	10,5	50	0,85	97,2	1 300	480
СВФ1690/175-64	590	15,75	93,8	0,85	98,2	3 680	615

Турбогенераторы имеют, как правило, горизонтальное расположение вала и выпускаются на мощности до 1 200 МВ · А и скорость вращения 3 000 об/мин, которой соответствует частота генерируемого напряжения 50 Гц при одной паре полюсов статорной обмотки. В табл. 7.3 приведены технические данные основных типов турбогенераторов.

Таблица 7.3

Технические характеристики турбогенераторов

Тип	$P_{\text{НОМ}},$ МВт	$n_{\text{НОМ}},$ об/мин	$U_{\text{НОМ}},$ кВ	Краткая характеристика
Т	2,5; 4; 6; 12; 20	3 000	3,15; 6,3; 10,5	Исполнение закрытое. Охлаждение воздушное по замкнутому циклу
ВС	32	3 000	6,3; 10,5	Исполнение закрытое. Косвенное водородное охлаждение
ТВФ	55; 63; 120	3 000	6,3; 10,5	Косвенное охлаждение обмотки и сердечника статора, непосредствен- ное охлаждение обмотки ротора водородом

0Тип	$P_{\text{ном}}$, МВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$U_{\text{ном}}$, кВ	Краткая характеристика
ТВВ	160; 200; 300; 500; 800; 1 000; 1 200	3 000	18; 24	Непосредственное охлаждение обмотки статора водой, непосредственное охлаждение обмотки ротора водородом при избыточном давлении, заполнение корпуса статора водородом
ТГВ	200; 300	3 000	15,75; 20	Непосредственное охлаждение обмотки статора и ротора водородом
ТГВ200М	200	3 000	15,75	Непосредственное охлаждение обмотки статора водой, непосредственное охлаждение обмотки ротора и активной стали водородом
ТГВ	500	1 500; 3 000	20	Непосредственное охлаждение обмотки и сердечников статора и ротора водородом
ТВМ	300; 500	3 000	20; 36,75	Непосредственное охлаждение обмотки и сердечника статора изоляционным маслом, непосредственное охлаждение ротора водой

В табл. 7.4 приведены технические данные турбогенераторов серии Т, а в табл. 7.5 — серии ТВВ.

Таблица 7.4

Технические характеристики турбогенераторов серии Т

Тип	$P_{\text{ном}}$, МВт	$U_{\text{ном}}$, кВ	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{ном}}$, %	Возбуждение		Масса, кг
					$I_{\text{в}}$, А	$U_{\text{в}}$, В	
Т-2,5-2	2,5	6,3; 13,5	0,8	97,3	80	244	11 000
Т-4-2	4	6,3; 13,5	0,8	97,4	110	276	15 000
Т-6-2	6	6,3; 10,5	0,8	97,5	135	251	18 800
Т-12-2	12	6,3; 10,5	0,8	97,7	225	288	25 500
Т-20-2	20	10,5	0,8	97,6	195	548	60 000

Технические характеристики турбогенераторов серии ТВВ

Тип	$P_{\text{НОМ}}$, МВт	$\cos \varphi_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	$I_{\text{НОМ}}$, кА	$U_{\text{В}}$, В	$I_{\text{В}}$, А	$\eta_{\text{НОМ}}$, %
ТВВ-160-2Е	160	0,85	18	6,04	360	2 300	98,5
ТВВ-200-2А	200	0,85	15,75	8,625	300	2 540	98,6
ТВВ-320-2	300	0,85	20	10,2	447	2 900	98,6
ТВВ-500-2	500	0,85	20	17	474	3 530	98,7
ТВВ-800-2	800	0,9	24	21,4	612	3 790	98,75
ТВВ-1000-2	1 000	0,9	24	26,73	427	7 550	98,75
ТВВ-1200-2	1 200	0,9	24	16,05	517	7 500	98,8
ТВВ-1000-Д	1 000	0,9	24	26,73	467	6 990	98,7

Генераторы общего назначения выполняются на мощности от единиц до нескольких десятков тысяч киловатт и частоты вращения от 100 до 1 500 об/мин. Разновидностями генераторов этого типа являются генераторы с постоянными магнитами на роторе и индукторные генераторы, у которых все обмотки располагаются на статоре, а ротор представляет собой зубчатый цилиндр. Этот тип генераторов используется для получения напряжений высокой частоты (до 10 000 Гц и более), необходимой, в частности, для работы высокочастотных электротехнологических установок.

Генераторы общего назначения выпускаются как трехфазными, так и однофазными. В табл. 7.6 приведены данные основных типов генераторов общего назначения, в табл. 7.7 — данные генераторов серий ЕСС и СГ, в табл. 7.8 — серий ОС и ГСФ, а в табл. 7.9 — серии ГАБ.

Таблица 7.6

Технические характеристики генераторов общего назначения

Тип	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$U_{\text{НОМ}}$, В	Краткая характеристика
ЕСС	До 50	1 500	230, 400	Защищенные, с возбуждением от полупроводниковых выпрямителей
ЕСС5	До 75	1 000; 1 500	230; 400	Защищенные, с аксиальной вытяжной вентиляцией

Тип	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$n_{\text{ном}}, \text{об/мин}$	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	Краткая характеристика
СГ2	До 315	500; 600; 1 000	400	Защищенные, с радиальной самовентиляцией. Возбуждение от тиристорного возбудителя, питающегося от отдельной обмотки
СГД (10 га-барит)	До 200	750; 1 000; 1 500	230; 400	Горизонтальные, защищенные, с аксиальной вытяжной вентиляцией, с приводом от дизеля
СГД2	До 800	375	400; 6 300	Горизонтальные, с приводом от дизеля, с самовентиляцией, со статической системой возбуждения
СГДС	До 1 250	750	10 500; 6 300	Закрытые, с принудительной вентиляцией по замкнутому циклу, с электромашинным возбудителем
ОС	До 125	1 500	230; 400	Общепромышленное применение
ГМС	До 500	500	230; 400	Горизонтальные, брызгозащищенные, с самовентиляцией, повышенной частоты (500 Гц), для работы на морских судах
ГИМ-1 ГИС-2	0,8; 1; 2,3	3 000 3 000	220; 80	Трехфазные индукторные генераторы. ГИМ-1 — вертикальные, обдуваемые, ГИС-2 — горизонтальные, закрытые. Предназначены для питания нагрузок напряжением повышенной частоты (300, 400, 600, 800, 1 200, 1 600, 2 400 Гц)
ГСПМ	37,5	3 000	230; 400	Горизонтальные, защищенные, с постоянными магнитами, 400 Гц
ГПЧ	12; 75	1 500	230	Горизонтальные, закрытые, 400 Гц

Технические характеристики генераторов серий ЕСС и СГ

Тип	$S_{\text{НОМ}}$, кВ · А	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	Масса, кг	Высота оси, мм	Возбуждение	
						$U_{\text{В}}$, В	$I_{\text{В}}$, А
ЕСС-52-4	6,25	1 500	80,2	125	180	—	—
ЕСС-62-4	15,0	1 500	86	238	200	—	—
ЕСС-81-4	25,0	1 500	87	349	250	—	—
ЕСС-82-4	31,5	1 500	88	420	250	—	—
ЕСС-91-4	62,5	1 500	90	590	315	—	—
ЕСС5-61-4	10	1 500	84,7	160	200	—	—
ЕСС5-62-4	15	1 500	85,0	189	200	—	—
ЕСС5-81-4	25	1 500	86,0	300	250	—	—
ЕСС5-81-6	25	1 000	86,0	300	250	—	—
ЕСС5-82-4	37,5	1 500	88,2	340	250	—	—
ЕСС5-83-6	37,5	1 000	88,2	360	250	—	—
ЕСС5-91-4	62,5	1 500	89,3	490	315	—	—
ЕСС5-92-6	62,5	1 000	89,6	540	315	—	—
ЕСС5-92-4	75,0	1 500	90,5	540	315	—	—
ЕСС5-93-4	93,7	1 500	91,0	605	315	—	—
СГД102-8	93,7	750	89,0	1 070	375	—	118,5
СГД103-4	250	1 500	92,3	1 550	375	—	129
СГ2-85/18-12	156	500	90,5	1 670	500	27	145
СГ2-85/18-10	200	600	91,3	1 640	500	29	156
СГ2-85/29-12	250	500	91,9	2 120	500	36	147
СГ2-74/25-6	313	1 000	93,0	1 600	450	31	179
СГ2-85/29-10	313	600	92,6	2 140	500	38	153
СГ2-85/45-12	394	500	92,7	2 750	500	49	147
СГД2-17-24-16	500	375	92,0	4 400	315	41	216

Тип	$S_{\text{ном}},$ кВ·А	$n_{\text{ном}},$ об/мин	$\eta_{\text{ном}},$ %	Масса, кг	Высота оси, мм	Возбуждение	
						$U_{\text{в}},$ В	$I_{\text{в}},$ А
СГД2-17-29-16	625	375	92,6	4 950	315	50	236
СГД2-17-36-16	790	375	93,5	5 450	315	55	222
СГД2-17-44-16	1 000	375	94,0	6 200	315	61	241
СГД2-15-30-8	1 250	375	94,3	7 300	—	50	323
СГД2-15-54-8	2 000	375	95,0	11 600	—	69	320
СГД2-15-74-8	2 500	375	95,0	13 700	—	70	306

Примечание. Генераторы серий ЕСС и ЕСС5 имеют напряжение 230 или 400 В, генераторы СГД2 — 400 или 6 300 В, генераторы СГДС — 6 300 В.

Таблица 7.8

Технические характеристики генераторов серий ОС и ГСФ

Тип	$S_{\text{ном}},$ кВ·А	$P_{\text{ном}},$ кВт	$I_{\text{ном}},$ А	$\eta_{\text{ном}},$ %
ОС-51	5	4	7,22	80
ОС-52	10	8	14,45	82
ОС-71	20	16	28,9	86,8
ОС-72	37,5	30	54,1	89
ОС-91	75	60	108,2	90,5
ОС-92	125	100	180	91,5
ГСФ-100М	120	100	181	80
ГСФ-200	250	200	361	80

Примечание. Ток указан при напряжении 400 В.

Таблица 7.9

Технические характеристики генераторов серии ГАБ

Тип генератора	$P_{\text{ном}},$ кВт	$U_{\text{ном}},$ В	$I_{\text{ном}},$ А		Число фаз
			$\cos \varphi = 1$	$\cos \varphi = 0,8$	
ГАБ-2-Т/230-М1	2	230	5,0	6,3	3
ГДБ-2-0/230-М1	2	230	8,7	10,9	1

Тип генератора	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А		Число фаз
			$\cos \varphi = 1$	$\cos \varphi = 0,8$	
ГАБ-4-Т/230-М1	4	230	10,0	12,6	3
ГАБ-4-0/230-М1	4	230	17,4	21,8	1
ГАБ-4-Т/400-М1	4	400	5,8	7,3	3
ГАБ-8-Т/400-М	8	400	11,5	14,5	3
ГАБ-8-Т/230-М	8	230	20,0	25,0	3
ГАБ-8-Т/-230/4-400	8	230	20,0	25,0	3

7.3. Двигатели

Двигателем называется электрическая машина, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую, которая используется для приведения в движение исполнительных органов рабочих машин и производственных механизмов — станков, подъемных кранов, лифтов, насосов, вентиляторов и др. Синхронные двигатели общего назначения выпускаются на мощности до нескольких десятков тысяч киловатт и частоты вращения от 100 до 3 000 об/мин. Они выпускаются с обмоткой возбуждения на явнополюсном или неявнополюсном роторе и с роторами в виде постоянных магнитов или в виде зубчатого цилиндра.

Табл. 7.10 содержит общую характеристику серий синхронных двигателей.

Таблица 7.10

Технические характеристики синхронных двигателей

Тип	$P_{\text{ном}}$, МВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$U_{\text{ном}}$, кВ	Краткая характеристика
СД2	До 1,0	500; 600; 750; 1 000; 1 500	0,38; 6	Горизонтальные, защищенные, с самовентиляцией; тиристорное возбуждение; общего назначения
СДН2, СДН3-3	До 4,0	300; 375; 500; 600;	6	Горизонтальные на стояковых подшипниках,

Тип	$P_{\text{ном}}$, МВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$U_{\text{ном}}$, кВ	Краткая характеристика
		750; 1 000		открытые (СДН2) и закрытые (СДН3-2), тиристорное возбуждение; общего назначения
СДЗ	До 1,0	500; 600; 750; 1 000; 1 500	0,38; 6	Горизонтальные, закрытые, с принудительной вентиляцией, с электромашинной системой возбуждения, общего назначения
БСДК БСДКП	0,2	500	0,38	Открытые, с самовентиляцией (БСДК) и взрывозащищенные с принудительной вентиляцией (БСДКП); безщеточная система возбуждения; для привода компрессоров
ВДС ВДС2	До 12,5	187,5; 214; 250; 300; 333; 375	6; 10	Вертикальные, подвесные, с водяными воздухоохладителями; вентильное или электромашинное возбуждение; для привода вертикальных гидравлических насосов
ВСДН (СДВ)	До 3,2	375; 500; 600; 750	6	Подвесные, защищенные с самовентиляцией по разомкнутому циклу; статическая вентильная система возбуждения; для приводов вертикальных гидравлических насосов
ДСЗ (21-го габарита)	До 22	375	6; 10	Закрытые, с самовентиляцией по замкнутому циклу; вентильная система возбуждения; для привода агрегатов прокатного стана

Тип	$P_{\text{ном}}$, МВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$U_{\text{ном}}$, кВ	Краткая характеристика
СДКП2	До 0,63	375; 500; 600	3; 6	Защищенные; тиристорное возбуждение; для привода поршневых компрессоров
СДМЗ	До 5,0	300; 375; 500; 600	3; 6; 10	Взрывозащищенные, продуваемые
СДСЭ	До 3,2	100; 150	6	Закрытые, с принудительной вентиляцией по замкнутому циклу; тиристорное возбуждение мельниц
МС213, МС325	До 19,5 До 10,9	300; 375; 500; 750	6; 10; 10,5	Горизонтальные, на стоекковых подшипниках, закрытые с принудительной вентиляцией для прокатного оборудования
СДСП	До 2,0	250; 300; 375	6	Взрывозащищенные; для привода поршневых компрессоров
СДЭ-2	До 2,5	1 000	6; 0	Защищенные, с самовентилиацией; тиристорное возбуждение; для привода экскаваторных агрегатов
СТД	До 5,0	3 000	6; 0	Закрытые, для работы в невзрывоопасной среде; бесщеточная система возбуждения; для привода быстроходных механизмов
СТДП	До 12,5	3 000	6; 10	Взрывозащищенные, продуваемые
СДЗ-2	До 1,0	600; 750; 1 000; 1 500	6	Закрытые, с самовентилиацией; тиристорное возбуждение; для привода дисковых мельниц

В табл. 7.11 приведены технические данные синхронных двигателей серий СД2, СДН2 и СДН32 (50 Гц, $\cos\varphi = 0,9$ при перевозбуждении).

В табл. 7.12 приведены данные двигателей серии СТД и ТДС.

Технические характеристики синхронных двигателей серий СД2, СДН2, СДНЗ2

Тип	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, кВ	$\eta_{\text{ном}}$, %	$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	Пусковые данные		Возбуждение		J , кг·м ²	Масса, т
					$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$U_{\text{в}}$, В	$I_{\text{в}}$, А		
СД2-85/18-12	132	0,38	90,9	1,7	4,5	1,0	25	137	29	1,67
СД2-85/29-12	200	0,38	92,4	1,7	5,0	1,1	32	129	45	2,12
СД2-85/29-10	250	0,38	93,2	1,7	5,5	1,2	33	133	45	2,14
СД2-85/40-10	315	6	93,1	1,7	5,3	1,1	31	154	51	2,65
СД2-74/40-8	315	0,38	94,0	1,7	5,5	1,2	34	160	26	2,05
СД2-85/40-8	400	6	93,9	1,7	5,5	0,9	33	161	48	2,70
СД2-85/47-8	500	6	94,3	1,7	5,5	0,9	38	166	57	2,95
СД2-85/45-6	630	6	95,0	1,7	6,0	0,9	38	177	46	2,75
СД2-85/57-6	800	6	95,5	1,7	6,0	0,9	44	175	58	3,25
СД2-85/34-4	630	6	94,5	1,7	6,0	0,9	36	186	26	2,65
СД2-85/43-4	800	6	95,0	1,7	6,0	0,9	41	187	32	2,95
СД2-85/55-4	1000	6	95,5	1,7	6,0	0,9	47	183	40	—
17-26-20	315	6	91,0	2,6	4,5	0,9	41	277	275	4,7

Тип	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$U_{\text{НОМ}}$, кВ	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$M_{\text{МАХ}}/M_{\text{НОМ}}$	Пусковые данные		Возбуждение		J , кг · м ²	Масса, т
					$I_{\text{П}}/I_{\text{Н}}$	$M_{\text{П}}/M_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{В}}$, В	$I_{\text{В}}$, А		
17-31-20	400	6	91,7	2,7	4,5	0,75	46	296	318	5,5
СДН32-20-49-20	3 200	6	96,0	1,8	4,5	0,7	118	302	5 500	24,5
17-26-20	500	6	92,5	2,1	4,6	0,9	46	296	275	4,8
17-31-16	630	6	93,2	2,0	4,5	0,85	48	304	320	5,4
СДН32-19-39-16	1 600	6	95,3	2,1	6,5	0,9	77	230	2 100	16,5
17-31-12	800	6	94,3	1,9	4,7	1,0	46	298	310	5,6
СДН2-18-64-12	2 500	6	96,2	1,8	6,5	1,5	77	260	1 750	17,0
16-56-10	1 000	6	95,3	1,9	5,4	0,8	44	274	223	6,5
16-59-8	1 250	6	95,7	1,7	5,8	1,0	44	291	203	6,7
17-71-6	3 150	6	96,9	1,7	6,6	1,3	58	281	435	10,9
17-89-6	4 000	6	97,1	1,7	7,0	1,4	65	279	525	12,7

Технические характеристики синхронных двигателей серий СТД и ТДС

Тип	$P_{\text{ном}}$, кВт	$S_{\text{ном}}$, кВт·А	КПД, %, при напряжении, кВ		Масса, т, при цикле вентилизации	
			6	10	замкнутом	разомкнутом
СТД-630-2УХЛ4	630	735	95,8	95,6	4,96	4,25
СТД-800-2УХЛ4	800	935	96,0	95,8	5,13	4,45
СТД-1000-2УХЛ4	1 000	1 160	96,3	96	5,56	5
СТД-1000-23У5	1 000	1 160	96,3	96	5,56	—
СТД-1250-2УХЛ4	1 250	1 450	96,8	96,5	6,98	6,49
СТД-1600-2УХЛ4	1 600	1 850	96,9	96,6	7,58	6,7
СТД-1600-23У5	1 600	1 850	96,9	96,6	7,58	—
СТД-2000-2УХЛ4	2 000	2 300	96,9	96,8	7,88	7
СТД-2500-2УХЛ4	2 500	2 870	97,2	97	11,1	10
СТД-3150-2УХЛ4	3 150	3 680	97,3	97,2	12,3	11,06
СТД-4000-2УХЛ4	4 000	4 580	97,5	97,4	12,92	11,58
СТД-5000-2УХЛ4	5 000	5 740	97,6	97,5	15,47	13,7
СТД-6300-2УХЛ4	6 300	7 240	97,6	97,5	31,3	—
СТД-8000-2УХЛ4	8 000	9 130	97,9	97,7	23,95	—
СТД-10000-2УХЛ4	10 000	11 400	97,8	97,9	26,52	—
СТД-12500-2УХЛ4	12 500	14 200	97,9	97,8	29,5	—
ТДС-20000-2УХЛ4	20 000	22 650	—	97,6	57,1	—
ТДС-31500-2УХЛ4	31 500	35 800	—	98	82,9	—

7.4. Специальные синхронные двигатели

К специальным относятся двигатели, которые предназначены для использования в регулируемых электроприводах рабочих машин и производственных механизмов: шаговые двигатели, вентильные двигатели (бесконтактные двигатели постоянного тока), гис-

терезисные двигатели, двигатели с электромагнитной редукцией (понижением) скорости вращения, двигатели с волновым и катящимся ротором и др. Остановимся подробнее на некоторых из них.

Шаговые двигатели. Шаговыми называются двигатели, которые преобразуют импульсные электрические сигналы в пропорциональное числу этих сигналов дискретное перемещение ротора. Обмотки статора шаговых двигателей питаются от электронного коммутатора, который преобразует входной сигнал управления в многофазную систему импульсов напряжения (тока). Ротор шагового двигателя выполняется, как правило, зубчатым и может быть активным (с постоянными магнитами) или пассивным.

В табл. 7.13 приведены данные некоторых серий шаговых двигателей, в которой через $\alpha_{ш}$ обозначен единичный шаг двигателя, а через $f_{п}$ — частота приемистости двигателя (предельная частота управляющих импульсов, при которой двигатель не выпадает из синхронизма).

Вентильный двигатель. Вентильный двигатель представляет собой регулируемый электропривод с синхронным двигателем. Обмотка статора синхронного двигателя в этой схеме питается от полупроводникового вентильного коммутатора напряжения, транзисторы или тиристоры которого управляются сигналами датчика положения ротора двигателя. Сочетание электронного коммутатора с датчиком положения ротора по своему действию эквивалентно

Таблица 7.13

Технические характеристики шаговых двигателей

Тип	$U_{ном}, В$	$I_{ном}, А$	$M_{ном}, мН \cdot м$	$\alpha_{ш}, ^\circ$	$f_{п}, шаг/с$	$J, 10^{-7} кг \cdot м^2$	Масса, кг
<i>Активный ротор с постоянными магнитами</i>							
ШДА	До 28	До 3	До 100	22,5	До 400	До 150	0,13 ... 1,5
ДША	13,5	До 7	До 100	22,5	До 280	До 412	0,25 ... 3,3
ДШ	27	До 8,7	До 160	22,5	До 430	До 60	0,21 ... 2,5
<i>Пассивный ротор индукторного типа</i>							
ДШИ	27	1,3	28	3	300	30	0,45
ШДР	До 27	До 6,5	До 30	До 9	До 700	До 280	0,21 ... 0,6
ДШ	27	До 6,4	До 160	До 5	До 1 000	До 100	0,36 ... 2,3
<i>Ротор волнового типа</i>							
ДВШ	12	До 5,3	До 600	До 0,5	До 600	—	0,55 ... 1,7

Технические характеристики вентильных двигателей серии ВД

Тип	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$I_{\text{НОМ}}$, А	$\eta_{\text{НОМ}}$, %
ВД225Г	15	500	39	78,9
ВД250Г	22,4	500	59,4	80,2
ВД280Г	45	500	115	81,8
ВД315Г	67	500	170	84
ВД225Г	22,4	750	58,5	82,3
ВД250Г	33,5	750	89	83,6
ВД280Г	67	750	173	85,4
ВД315Г	100	750	258	87,2
ВД225Г	30	1 000 (основное исполнение)	78	86,3
ВД250Г	45	1 000	119	87,5
ВД280Г	90	1 000	230	89,4
ВД315Г	132	1 500	340	90,5
ВД225Г	45	1 500	118	90
ВД250Г	67	1 500	178	90,8
ВД280Г	132	1 500	345	91,5
ВД315Г	200	1 500	575	92,5

тно коллекторно-щеточному узлу обычного двигателя постоянного тока, в результате чего вентильный двигатель имеет характеристики такого двигателя и иногда называется также бесконтактным двигателем постоянного тока (БДПТ).

Ротор вентильного двигателя выполняется с обмоткой возбуждения или с постоянными магнитами. В качестве электронного коммутатора обычно применяется преобразователь частоты при питании двигателя от сети переменного тока или инвертор при питании двигателя от сети постоянного тока. Схема вентильного двигателя и его характеристики рассмотрены в подразд. 13.5.

В табл. 7.14 приведены данные вентильных двигателей серии ВД, предназначенных для привода главного движения станков с

числовым программным управлением (ЧПУ). Питание двигателей осуществляется от трехфазной сети напряжением 380 В частотой 50 Гц. Напряжение питания цепи возбуждения — 220 В, коэффициент мощности — 0,82. Двигатели обеспечивают регулирование скорости в диапазоне 1 000, имеют встроенный тахогенератор и климатическое исполнение и категорию размещения УХЛ4 по ГОСТ 15150—69. Питание обмоток статора двигателя осуществляется от преобразователя частоты типа ЭТУ7801.

В табл. 7.15 приведена шкала мощностей вентильных низкоскоростных двигателей серии ВД, позволяющих регулировать скорость в диапазоне 10. При максимальной скорости их КПД и коэффициент мощности равны 0,9.

Схему вентильного двигателя этой серии образуют синхронный двигатель с тиристорным возбудителем, датчики скорости и положения ротора, асинхронный генератор для питания цепи возбуждения двигателя и система управления.

Вентильные двигатели серии ПЧВС выпускаются на мощности 2...20 МВт и напряжение 6 и 10 кВ. Они обеспечивают пуск

Таблица 7.15

Технические характеристики низкоскоростных вентильных двигателей

Тип	Мощность двигателя, кВт, при максимальной частоте вращения, об/мин						
	100	200	300	400	500	750	1 000
ВД800	—	—	—	200	250	400	500
	—	—	200	250	315	500	630
	—	200	250	315	400	630	800
ВД1000	—	250	315	400	500	800	1 000
	—	315	400	500	630	1 000	1 250
	—	400	500	630	800	1 250	1 600
ВД1250	200	500	630	800	1 000	1 600	2 000
	250	630	800	1 000	1 250	2 000	2 500
	315	800	1 000	1 250	1 600	2 500	3 150
ВД1600	400	1 000	1 250	1 600	2 000	3 150	—
	500	1 250	1 600	2 000	2 500	—	—
	630	1 600	2 000	2 500	3 150	—	—

двигателя с ограничением тока, регулирование скорости, реверсирование и рекуперативное торможение.

Для привода промышленных роботов, манипуляторов и станков с ЧПУ освоены серии двигателей ДВУ и 2ДВУ, охватывающие диапазон номинальных скоростей 2 000...6 000 об/мин и моментов 0,05...170 Н·м.

Конструкция двигателей этой серии по способу монтажа ИМ3081 по ГОСТ 2479—79, способу охлаждения IC0040 по ГОСТ 20459—75 и степени защиты IP54 по ГОСТ 17497—72. Они снабжены датчиком положения типа ПДФ-9, датчиком пути типа LTS_a-11с, тормозом, имеют изоляцию класса F и встроенные в обмотку статора терморезисторы для обеспечения защиты двигателя от перегрева. Изоляция двигателей имеет класс нагревостойкости F по ГОСТ 8865—70.

Двигатели серии 2ДВМ предназначены для комплектации регулируемых электроприводов подач станков и роботов типа ЭПБ2, ЭАМ и др. Они имеют возбуждение от постоянных магнитов и трехфазную обмотку статора, датчики скорости и положения ротора и могут снабжаться аварийным тормозом.

Бесконтактные моментные двигатели серии ДБМ разработаны для встраиваемого исполнения и их сборка осуществляется самим потребителем при монтаже технологического оборудования.

Подробные данные этих и других специальных синхронных двигателей содержатся в [22].

7.5. Синхронные компенсаторы

Синхронными компенсаторами называются синхронные электрические машины, предназначенные для генерирования реактивной мощности в питающую сеть. В качестве синхронных компенсаторов могут использоваться синхронные двигатели или специальные синхронные машины без механической нагрузки на валу.

Синхронные компенсаторы выпускаются мощностью 15...160 МВ·А при частоте вращения 750 или 1 000 об/мин и обычно имеют явнополюсный ротор и водородное охлаждение (буква В в обозначении). В табл. 7.16 приведены данные синхронных компенсаторов серий КС и КСВ.

Синхронные компенсаторы серии КС выполняются закрытыми, с косвенным воздушным охлаждением по замкнутому циклу, серии КСВ — с водородным охлаждением, серии КСВБ — то же, что КСВ, но с бесщеточной системой возбуждения, КСВБО — с реверсивным возбуждением. Компенсаторы серий КСВБ и КСВБО имеют номинальную скорость вращения 750 об/мин и выпускаются на напряжения 11 и 15,75 кВ.

**Технические характеристики синхронных компенсаторов
серий КС и КСВ**

Тип	$S_{\text{ном}},$ МВ · А	$U_{\text{ном}},$ кВ	$n_{\text{ном}},$ об/мин	Возбуждение		Масса, т	Потери, кВт
				$U_{\text{ном}},$ В	$I_{\text{ном}},$ А		
КС16-6	16	6,3	1 000	110	590	49,7	360
КС16-11	16	10,5	1 000	110	580	50,2	370
КСВ50-11	50	11	750	160	1 160	144,5	800
КСВ100-11	100	11	750	230	1 350	220	1 350
КСВ160-15	160	15,75	750	380	1 600	303	1 750

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте устройство синхронной машины.
2. Какие виды синхронных машин вы знаете?
3. Какая синхронная машина называется генератором и для чего он применяется?
4. Какие типы синхронных генераторов вы можете назвать?
5. Какая синхронная машина называется двигателем и для чего он применяется?
6. Какая синхронная машина называется синхронным компенсатором и для чего он применяется?
7. Что такое вентильный двигатель и какие элементы входят в его состав?
8. Что такое шаговый двигатель и в чем особенности его работы?

8.1. Общая характеристика асинхронных двигателей

Асинхронной машиной называется электрическая машина, одна из обмоток которой — обмотка статора — подключается к источнику переменного тока, а другая — обмотка ротора — выполняется короткозамкнутой (в виде беличьей клетки) или фазной, выводы которой подключаются к контактными кольцам. Особенностью работы асинхронных машин является неравенство (асинхронность) частот вращения ротора и магнитного поля, что и определило их название. Асинхронные машины в качестве генераторов используются очень редко и поэтому здесь не рассматриваются.

Асинхронные двигатели (АД) являются самым распространенным типом электрического двигателя, что определяется их дешевизной, простотой в обслуживании и технологичностью изготовления.

АД малой, средней и большой мощностей выпускаются трехфазными и могут иметь как короткозамкнутый ротор, так и фазный ротор с обмоткой, концы которой выведены на контактные кольца. Условные изображения АД с короткозамкнутым и фазным роторами приведены соответственно на рис. 8.1, *а*, *б*.

Обычно обмотки статора по фазам обозначают $C1...C4$, $C2...C5$, $C3...C6$, начала обмоток ротора — $P1$, $P2$, $P3$, нулевая точка обозначается 0.

Однофазные АД имеют короткозамкнутый ротор, их условное изображение приведено на рис. 8.1, *в*.

Главная обмотка обычно обозначается $C1...C2$, а пусковая — $П1...П2$.

Данные основных серий трехфазных АД приведены в табл. 8.1.

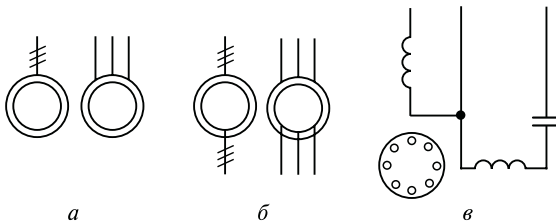


Рис. 8.1. Условные изображения асинхронного двигателя:

а — трехфазного с короткозамкнутым ротором; *б* — трехфазного с фазным ротором; *в* — однофазного

Технические характеристики трехфазных асинхронных двигателей

Серия, высота оси вращения, мм	Номинальная мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Номинальное напряжение, В	Исполнение, область применения
<i>Двигатели с короткозамкнутым ротором общего применения</i>				
RA (71...280)	До 100	750; 1 000; 1 500; 3 000	220/380	Защищенные и закрытые, обдуваемые, широкого применения
6A (315)	До 200	750; 1 000; 1 500; 3 000	220/380 380/660	Закрытые, обдуваемые, широкого применения
5A (5АН) (71...335)	До 400	750; 1 000; 1 500; 3 000	220/380 380/660	Защищенные и закрытые, обдуваемые, широкого применения
АИР (50...355)	До 315	750; 1 000; 1 500; 3 000	220; 380; 380/660 220; 380; 660	Открытые, защищенные, закрытые, обдуваемые, продуваемые, широкого применения
4A (56...355)	До 400	500; 600; 750; 1 000; 1 500; 3 000	220/380; 380/660 220; 380	Защищенные и закрытые, обдуваемые, широкого применения
4AP	До 45	750; 1 000; 1 500	380/660; 220/380	Закрытые, обдуваемые, с повышенным пусковым моментом
4AC	До 63 при ПВ = 40 %	750; 1 000; 1 500; 3 000	220; 380; 220/380; 380/660	Закрытые, обдуваемые, с повышенным скольжением
ДАЗО	До 2 000	500; 600; 750; 1 000; 1 500	6 000; 10 000	Закрытые, обдуваемые

АН-2 (15 ... 17-й габариты)	До 2 000	370; 500; 600; 750; 1 000	6 000	Защищенные, для нерегулируемых по скорости электроприводов
АТД2, АТД4	До 8 000	3 000	6 000	Для привода быстроходных механизмов
<i>Краново-металлургические двигатели</i>				
МТКФ	До 22 при ПВ = 40 %	750; 1 000	380/220; 500	Характеризуются повышенными перегрузочной способностью и пусковыми моментами, для привода крановых механизмов
МТКН	До 37 при ПВ = 40 %	750; 1 000	380/220; 500	То же, для приводов металлургического производства
<i>Двигатели с фазным ротором</i>				
4АНК, 4АК	До 400	750; 1 000; 1 500	220/380; 380/660	Защищенные (4АНК) или закрытые (4АК), общего назначения
5АНК	До 400	600; 750; 1 000; 1 500	220/380; 380/660	Защищенные или закрытые, общего назначения
АКП	До 125	1 000; 1 500	220/380; 380/660	Защищенные, для привода прессов, работающих в закрытых помещениях
АКН2 (15 ... 19-й габариты)	До 2 000	250; 300; 375; 500; 600; 750; 1 000	6 000	Для привода механизмов с частыми или тяжелыми условиями пуска
МТФ, МТН	До 30 До 118	600; 750; 1 000	220/380; 240/415; 400; 500	Защищенные, с независимой вентиляцией, для привода крановых механизмов (МТФ) и механизмов металлургического производства (МТН)

Приведем примеры расшифровки обозначений АД. Двигатель типа 4А160М6У3: 4 — номер серии; А — асинхронный двигатель (4АН — защищенного исполнения); 160 — высота оси вращения; М — средняя длина статора (S — малая длина, L — большая длина статора); 6 — число полюсов двигателя (синхронная скорость вращения 1 000 об/мин); У3 — климатическое исполнение (У — умеренный климат) и категория размещения.

Двигатели серий 5А и 6А: 5 и 6 — номера серий; серия RA — российские асинхронные; АИР — асинхронные Интерэлектро (Р — исполнение с согласованными по международным стандартам установочными размерами). Остальные элементы условных обозначений соответствуют серии 4А.

Двигатель МТКВ412-8: крановый асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (К), с изоляцией класса В, с условными размерами 412, с числом полюсов 8 (синхронная скорость 750 об/мин).

8.2. Двигатели серии 4А

Серия 4А является массовой серией АД для широкого применения и имеет различные модификации:

- с короткозамкнутым и фазным роторами;
- многоскоростные;
- с повышенными скольжением и пусковым моментом;
- малошумные;
- со встроенными температурной защитой и электромагнитными тормозами;
- тропического, влаго- и морозостойкого, пылезащитного, рудничного, сельскохозяйственного и химостойкого исполнений.

К специальным исполнениям относятся АД для приводов лифтов, деревообрабатывающих станков и для использования в частотно-регулируемых электроприводах.

Двигатели мощностью 0,06... 0,37 кВт изготавливаются на напряжение 220 и 380 В, мощностью 0,55... 11 кВт — на напряжение 220, 380 и 660 В, мощностью 132... 400 кВт — 380/660 В.

Данные АД серии 4А со степенью защиты IP44 и способом охлаждения ICA0141 приведены в табл. 8.2, а со степенью защиты IP23 и способом охлаждения ICA01 — в табл. 8.3. В табл. 8.2 и 8.3 приняты следующие обозначения: $P_{\text{ном}}$, $I_{\text{ном}}$, $M_{\text{ном}}$, $n_{\text{ном}}$, $\eta_{\text{ном}}$, $\cos \varphi_{\text{ном}}$ — соответственно номинальные мощность, ток, момент, частота вращения, КПД и коэффициент мощности; M_{max} , $M_{\text{п}}$, M_{min} — максимальный (критический), пусковой и минимальный моменты АД соответственно; J — момент инерции ротора.

В табл. 8.3 приведены данные АД серии 4А со степенью защиты IP 23.

Технические характеристики двигателей серии 4А (IP44, ICA0141)

Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	При номинальном режиме			$M_{\text{max}}/M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{min}}/M_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{НОМ}}$	J , кг · м ²
		$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$					
<i>Синхронная частота вращения 3000 об/мин</i>									
4AA50A2Y3	0,09	2740	60	0,7	2,2	2	1,2	5	$0,24 \cdot 10^{-4}$
4AA50B2Y3	0,12	2710	63	0,7	2,2	2	1,2	5	$0,27 \cdot 10^{-4}$
4AA56A2Y3	0,18	2800	66	0,76	2,2	2	1,2	5	$4,15 \cdot 10^{-4}$
4AA56BY3	0,25	2770	68	0,77	2,2	2	1,2	5	$4,65 \cdot 10^{-4}$
4A63A2Y3	0,37	2750	70	0,86	2,2	2	1,2	5	$7,63 \cdot 10^{-4}$
4A63B2Y3	0,55	2740	73	0,86	2,2	2	1,2	5	$9 \cdot 10^{-4}$
4A71A2Y3	0,75	2840	77	0,87	2,2	2	1,2	5,5	$9,75 \cdot 10^{-4}$
4A71 B2Y3	1,1	2810	77,5	0,87	2,2	2	1,2	5,5	$10,5 \cdot 10^{-4}$
4A80A2Y3	1,5	2850	81	0,85	2,2	2	1,2	6,5	$18,3 \cdot 10^{-4}$
4A80B2Y3	2,2	2850	83	0,87	2,2	2	1,2	6,5	$21,3 \cdot 10^{-4}$
4A90L2Y3	3	2840	84,5	0,88	2,2	2	1,2	6,5	$35,3 \cdot 10^{-4}$
4A100S2Y3	4	2880	86,5	0,89	2,2	2	1,2	7,5	$59,3 \cdot 10^{-4}$

Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	При номинальном режиме			$M_{\text{max}}/M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{min}}/M_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{НОМ}}$	J , кг · м ²
		$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$					
4A100L2Y3	5,5	2 880	87,5	0,91	2,2	2	1,2	7,5	$75 \cdot 10^{-4}$
4A112M2Y3	7,5	2 900	87,5	0,88	2,2	2	1	7,5	$1,0 \cdot 10^{-2}$
4A132M2Y3	11	2 900	88	0,90	2,2	1,6	1	7,5	$2,25 \cdot 10^{-2}$
4A160S2Y3	15	2 940	88	0,91	2,2	1,4	1	7,5	$4,75 \cdot 10^{-2}$
4A160M2Y3	18,5	2 940	88,5	0,92	2,2	1,4	1	7,5	$5,25 \cdot 10^{-2}$
4A180S2Y3	22	2 940	88,5	0,91	2,2	1,4	1	7,5	$7,0 \cdot 10^{-2}$
4A180M2Y3	30	2 945	90,5	0,90	2,2	1,4	1	7,5	$8,5 \cdot 10^{-2}$
4A200M2Y3	37	2 945	90	0,89	2,2	1,4	1	7,5	$14,5 \cdot 10^{-2}$
4A200L2Y3	45	2 945	91	0,90	2,2	1,4	1	7,5	$16,8 \cdot 10^{-2}$
4A225M2Y3	55	2 945	91	0,92	2,2	1,2	1	7,5	$25 \cdot 10^{-2}$
4A250S2Y3	75	2 960	91	0,89	2,2	1,2	1	7,5	$46 \cdot 10^{-2}$
4A250M2Y3	90	2 960	92	0,90	2,2	1,2	1	7,5	$52 \cdot 10^{-2}$
4A280S2Y3	110	2 970	91	0,89	2,2	1,2	1	7	1,09
4A280M2Y3	132	2 970	91,5	0,89	2,2	1,2	1	7	1,19

4A315S2Y3	160	2970	92	0,90	0,9	1	0,9	7	1,4
4A315M2Y3	200	2970	92,5	0,90	0,9	1	0,9	7	1,63
4A35582Y3	250	2970	92,5	0,90	0,9	1	0,9	7	2,85
4A355M2Y3	315	2970	93	0,91	0,9	1	0,9	7	3,23
<i>Синхронная частота вращения 1500 об/мин</i>									
4AA50A4Y3	0,06	1389	50	0,60	2,2	2	1,2	5	$0,29 \cdot 10^{-4}$
4AA50B4Y3	0,09	1370	55	0,60	2,2	2	1,2	5	$0,33 \cdot 10^{-4}$
4AA56A4Y3	0,12	1375	63	0,66	2,2	2	1,2	5	$7 \cdot 10^{-4}$
4AA56B4Y3	0,18	1365	64	0,64	2,2	2	1,2	5	$7,88 \cdot 10^{-4}$
4AA63A4Y3	0,25	1380	68	0,65	2,2	2	1,2	5	$12,4 \cdot 10^{-4}$
4AA63B4Y3	0,37	1365	68	0,69	2,2	2	1,2	5	$13 \cdot 10^{-4}$
4A71A4Y3	0,55	1390	70,5	0,70	2,2	2	1,6	4,5	$13,8 \cdot 10^{-4}$
4A71B4Y3	0,75	1390	72	0,73	2,2	2	1,6	4,5	$14,3 \cdot 10^{-4}$
4A80A4Y3	1,1	1420	75	0,81	2,2	2	1,6	5	$32,3 \cdot 10^{-4}$
4A80B4Y3	1,5	1415	77	0,83	2,2	2	1,6	5	$33,3 \cdot 10^{-4}$
4A90L4Y3	2,2	1425	80	0,83	2,2	2	1,6	6	$56 \cdot 10^{-4}$
4A100S4Y3	3,0	1435	82	0,83	2,4	2	1,6	6	$86,8 \cdot 10^{-4}$

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	При номинальном режиме			$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{min}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	J , кг · м ²
		$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$					
4A100L4Y3	4,0	1 430	84	0,84	2,4	2	1,6	6	$1,13 \cdot 10^{-2}$
4A112M4Y3	5,5	1 445	85,5	0,85	2,2	2	1,6	7	$1,75 \cdot 10^{-2}$
4A132S4Y3	7,5	1 455	87,5	0,86	3,0	2,2	1,7	7,5	$2,75 \cdot 10^{-2}$
4A132M4Y3	11	1 460	84,5	0,87	3,0	2,2	1,7	7,5	$4 \cdot 10^{-2}$
4A160S4Y3	15	1 465	88,5	0,88	2,3	1,4	1,0	7,0	$10,3 \cdot 10^{-2}$
4A160M4Y3	18,5	1 465	89,5	0,88	2,3	1,4	1,0	7,0	$12,8 \cdot 10^{-2}$
4A180S4Y3	22	1 470	90	0,90	2,3	1,4	1,0	6,5	$19 \cdot 10^{-2}$
4A180M4Y3	30	1 470	91	0,90	2,3	1,4	1,0	6,5	$23,3 \cdot 10^{-2}$
4A200M4Y3	37	1 475	91	0,90	2,5	1,4	1,0	7,0	$36,8 \cdot 10^{-2}$
4A200L4Y3	45	1 475	92	0,90	2,5	1,4	1,0	7,0	$44,5 \cdot 10^{-2}$
4A225M4Y3	55	148	92,5	0,90	2,5	1,3	1,0	7,0	$64 \cdot 10^{-2}$
4A250S4Y3	75	1 480	93,0	0,90	2,3	1,2	1,0	7,0	1,02
4A250M4Y3	90	1 480	93,0	0,91	2,3	1,2	1,0	7,0	1,17
4A280S4Y3	110	1 470	92,5	0,90	2,0	1,2	1,0	5,5	2,3

4A280M4Y3	132	1 480	93,0	0,90	2,0	1,3	1,0	5,5	2,48
4A315S4Y3	160	1 480	93,5	0,91	2,2	1,3	0,9	6,0	3,08
4A315M4Y3	200	1 480	94,0	0,92	2,2	1,3	0,9	6,0	3,63
4A355S4Y3	250	1 485	94,5	0,92	2,0	1,2	0,9	7,0	6,0
4A355M4Y3	315	1 485	94,5	0,92	2,0	1,2	0,9	7,0	7,05
<i>Синхронная частота вращения 1 000 об/мин</i>									
4AA63A6Y3	0,18	885	56,0	0,62	2,2	2,2	1,5	3,0	$17,4 \cdot 10^{-4}$
4A63B6Y3	0,25	890	59,0	0,62	2,2	2,2	1,5	3,0	$19 \cdot 10^{-4}$
4A71A6Y3	0,37	910	64,5	0,69	2,2	2,0	1,8	4,0	$19,3 \cdot 10^{-4}$
4A71B6Y3	0,55	900	67,5	0,71	2,2	2,0	1,8	4,0	$20,3 \cdot 10^{-4}$
4A80A6Y3	0,75	915	69,0	0,74	2,2	2,0	1,6	4,0	$46 \cdot 10^{-4}$
4A80B6Y3	1,10	920	74,0	0,74	2,2	2,0	1,6	4,0	$46,3 \cdot 10^{-4}$
4A90L6Y3	1,50	935	75,0	0,74	2,2	2,0	1,7	4,5	$73,5 \cdot 10^{-4}$
4A100L6Y3	2,20	950	81,0	0,73	2,2	2,0	1,6	5,0	$1,31 \cdot 10^{-2}$
4A112MA6Y3	3,0	955	81,0	0,76	2,5	2,0	1,8	6,0	$1,75 \cdot 10^{-2}$
4A112MB6Y3	4,0	950	82,0	0,81	2,5	2,0	1,8	6,0	$2,0 \cdot 10^{-2}$
4A132S6Y3	5,50	965	85,0	0,80	2,5	2,0	1,8	6,5	$4,0 \cdot 10^{-2}$

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}, \text{ кВт}$	При номинальном режиме			$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{min}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	$J, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$
		$n_{\text{ном}}, \text{ об/мин}$	$\eta_{\text{ном}}, \%$	$\cos\varphi_{\text{ном}}$					
4A132M6Y3	7,50	970	85,5	0,81	2,5	2,0	1,8	6,5	$5,75 \cdot 10^{-2}$
4A160S6Y3	11,0	975	86,0	0,86	2,0	1,2	1,0	6,0	$13,8 \cdot 10^{-2}$
4A160M6Y3	15,0	975	87,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,0	$18,3 \cdot 10^{-2}$
4A180M6Y3	18,5	975	88,0	0,87	2,0	1,2	1,0	5,0	$22,0 \cdot 10^{-2}$
4A200M6Y3	22,0	975	90,0	0,90	2,4	1,3	1,0	6,5	$40 \cdot 10^{-2}$
4A200L6Y3	30,0	980	90,5	0,90	2,4	1,3	1,0	6,5	$45,3 \cdot 10^{-2}$
4A250S6Y3	45,0	985	91,5	0,89	2,1	1,2	1,0	6,5	1,16
4A250M6Y3	55,0	985	91,5	0,89	2,1	1,2	1,0	6,5	1,26
4A280S6Y3	75,0	985	92,0	0,89	2,2	1,4	1,2	5,5	2,93
4A280M6Y3	90,0	985	92,5	0,89	2,2	1,4	1,2	5,5	3,38
4A315S6Y3	110	985	93,0	0,90	2,2	1,4	0,9	6,5	4,0
4A315M6Y3	132	985	93,5	0,90	2,2	1,4	0,9	6,5	4,5
4A355S6Y3	160	985	93,5	0,90	2,2	1,4	0,9	6,5	7,33
4A355M6Y3	200	985	94,0	0,90	2,2	1,4	0,9	6,5	8,8

Синхронная частота вращения 750 об/мин

4A71B8Y3	0,25	680	56,0	0,65	1,7	1,6	1,2	3,0	$18,5 \cdot 10^{-4}$
4A80A8Y3	0,37	675	61,5	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5	$33,8 \cdot 10^{-4}$
4A80B8Y3	0,55	700	64,0	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5	$40,5 \cdot 10^{-4}$
4A90LA8Y3	0,75	700	68,0	0,62	1,9	1,6	1,2	3,5	$67,5 \cdot 10^{-4}$
4A90LB8Y3	1,10	700	70,0	0,68	1,9	1,6	1,2	3,5	$86,3 \cdot 10^{-4}$
4A100L8Y3	1,50	700	74,0	0,65	1,9	1,6	1,2	4,0	$1,3 \cdot 10^{-2}$
4A112MA8Y3	2,20	700	76,5	0,71	2,2	1,9	1,4	5,0	$1,75 \cdot 10^{-2}$
4A112MB8Y3	3,0	700	79	0,74	2,2	1,9	1,4	5,0	$2,5 \cdot 10^{-2}$
4A132S8Y3	4	720	83	0,7	2,6	1,9	1,4	5,5	$4,25 \cdot 10^{-2}$
4A132M8Y3	5,5	720	83	0,74	2,6	1,9	1,4	5,5	$5,75 \cdot 10^{-2}$
4A160S8Y3	7,5	730	86	0,75	2,2	1,4	1	6	$13,8 \cdot 10^{-2}$
4A160M8Y3	11	730	87	0,75	2,2	1,4	1	6	$18 \cdot 10^{-2}$
4A180M8Y3	15	730	87	0,82	2	1,2	1	6	$25 \cdot 10^{-2}$
4A200M8Y3	18,5	735	88,5	0,84	2,2	1,2	1	5,5	$40 \cdot 10^{-2}$
4A200L8Y3	22	730	88,5	0,84	2	1,2	1	5,5	$45,3 \cdot 10^{-2}$
4A225M8Y3	30	735	90	0,81	2,1	1,3	1	6	$73,8 \cdot 10^{-2}$

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	При номинальном режиме			$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{min}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	J , кг · м ²
		$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$					
4A250S8Y3	37	735	90	0,83	2	1,2	1	6	1,16
4A250M8Y3	45	740	91	0,84	2	1,2	1	6	1,36
4A280S8Y3	55	735	92	0,84	2	1,2	1	5,5	3,18
4A280M8Y3	75	735	92,5	0,85	2	1,2	1	5,5	4,13
4A315S8Y3	90	740	93	0,85	2,3	1,2	0,9	6,5	4,93
4A315M8Y3	110	740	93	0,85	2,3	1,2	0,9	6,5	5,85
4A355S8Y3	132	740	93,5	0,85	2,2	1,2	0,9	6,5	9,05
4A355M8Y3	160	740	93,5	0,85	2,2	1,2	0,9	6,5	10,2
<i>Синхронная частота вращения 600 об/мин</i>									
4A250S10Y3	30	590	88	0,81	1,9	1,2	1	6	1,36
4A250M10Y3	37	590	89	0,81	1,9	1,2	1	6	1,61
4A280MS10Y	37	590	91	1,78	1,8	1	1	6	3,6
4A280M10Y3	45	590	91,5	0,78	1,8	1	1	6	3,78
4A315S10Y3	55	590	92	0,79	1,8	1	0,9	6	5,25

4A315M10Y3	75	590	92	0,8	1,8	1	0,9	6	6,18
4A355S10Y3	90	590	92,5	0,83	1,8	1	0,9	6	9,33
4A355M10Y3	110	590	93	0,83	1,8	1	0,9	6	10,9
<i>Синхронная частота 500 об/мин</i>									
4A315S12Y3	45	490	90,5	0,75	1,8	1	0,9	6	5,25
4A315L12Y3	55	490	91	0,75	1,8	1	0,9	6	6,18
4A355S12Y3	75	490	91,5	0,76	1,8	1	0,9	6	9,33
4A355M12Y3	90	495	92	0,76	1,8	1	0,9	6	10,9

Таблица 8.3

Технические характеристики двигателей серии 4А (IP23, ICA01)

Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	При номинальном режиме			$M_{\text{max}}/M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{min}}/M_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{НОМ}}$	J , кг · м ²
		$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$					
<i>Синхронная частота вращения 3000 об/мин</i>									
4АН160S2Y3	22,0	2915	88	0,88	2,2	1,3	1,0	7,0	$4,25 \cdot 10^{-2}$
4АН160M2Y3	30,0	2915	90,0	0,91	2,2	1,3	1,0	7,0	$5,5 \cdot 10^{-2}$
4АН180S2Y3	37,0	2945	91,0	0,91	2,2	1,2	1,0	7,0	$8,0 \cdot 10^{-2}$

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	При номинальном режиме			$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{min}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	J , кг · м ²
		$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$					
<i>Синхронная частота вращения 3000 об/мин</i>									
4АН180М2У3	45,0	2945	91,0	0,91	2,2	1,3	1,0	7,0	$9,25 \cdot 10^{-2}$
4АН200М2У3	55,0	2940	91,0	0,90	2,5	1,3	1,0	7,0	$16,0 \cdot 10^{-2}$
4АН200Л2У3	75,0	2940	92,0	0,90	2,5	1,3	1,0	7,0	$19,0 \cdot 10^{-2}$
4АН225М2У3	90,0	2945	92,0	0,88	2,2	1,2	1,0	7,0	$23,8 \cdot 10^{-2}$
4АН250С2У3	110,0	2950	93,0	0,86	2,2	1,2	1,0	7,0	$44,3 \cdot 10^{-2}$
4АН250М2У3	132,0	2945	93,0	0,88	2,2	1,2	1,0	7,0	$49,5 \cdot 10^{-2}$
4АН280С2У3	160,0	2960	94,0	0,90	2,2	1,2	1,0	6,5	$77,5 \cdot 10^{-2}$
4АН280М2У3	200,0	2960	94,5	0,90	2,2	1,2	1,0	6,5	1,03
4АН315М2У3	250,0	2970	94,5	0,91	2,1	1,0	0,9	6,0	1,7
4АН355С2У3	315	2970	94,5	0,92	2,1	1,0	0,9	7,0	2,38
АН355М2У3	400	2970	95	0,92	2,1	1,0	0,9	7,0	2,85
<i>Синхронная частота вращения 1500 об/мин</i>									
4АН160С4У3	18,5	1450	88,5	0,87	2,1	1,3	1	6,5	$9,25 \cdot 10^{-2}$
4АН160М4У3	22	1458	90	0,88	2,1	1,3	1	6,5	$11,8 \cdot 10^{-2}$

4AH180S4Y3	30	1465	90	0,84	2,2	1,2	1	6,5	$17,8 \cdot 10^{-2}$
4AH180M4Y3	37	1470	90,5	0,89	2,2	1,2	1	6,5	$21,8 \cdot 10^{-2}$
4AH200M4Y3	45	1475	91	0,89	2,5	1,3	1	6,5	$34,5 \cdot 10^{-2}$
4AH200L4Y3	55	1475	92	0,89	2,5	1,3	1	6,5	$42,3 \cdot 10^{-2}$
4AH225M4Y3	75	1475	92,5	0,89	2,2	1,2	1	6,5	$61,8 \cdot 10^{-2}$
4AH250S4Y3	90	1480	93,5	0,89	2,2	1,2	1	6,5	$88,3 \cdot 10^{-2}$
4AH250M4Y3	110	1475	93,5	0,89	2,2	1,2	1	6,5	$95,8 \cdot 10^{-2}$
4AH280S4Y3	132	1470	93	0,89	2	1,2	1	6	1,83
4AH280M4Y3	160	1470	93,5	0,9	2	1,2	1	6	2,13
4AH315S4Y3	200	1475	94	0,91	2	1,2	0,9	6	3,15
4AH315M4Y3	250	1475	94	0,91	2	1,2	0,9	6	3,7
4AH355S4Y3	315	1485	94,5	0,91	2	1	0,9	7	5,75
4AH355M4Y3	400	1485	94,5	0,91	2	1	0,9	7	7
<i>Синхронная частота вращения 1 000 об/мин</i>									
4AH180S6Y3	18,5	975	87	0,85	2	1,2	1	6	$18,8 \cdot 10^{-2}$
4AH180M6Y3	22	975	88,5	0,87	2	1,2	1	6	$23,5 \cdot 10^{-2}$
4AH200M6Y3	30	975	90	0,88	2,1	1,3	1	6	$37,7 \cdot 10^{-2}$
4AH200L6Y3	37	980	90,5	0,88	2,1	1,3	1	6,5	$43,0 \cdot 10^{-2}$
4AH225M6Y3	45	980	91	0,87	2	1,2	1	6,5	$70,3 \cdot 10^{-2}$

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	При номинальном режиме			$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{min}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	J , кг·м ²
		$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$					
4АН250S6У3	55	985	92,5	0,87	2	1,2	1	6,5	1,09
4АН280S6У3	90,0	980	92,5	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	2,5
4АН280M6У3	110	980	92,5	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	2,88
4АН280S6У3	132	985	93,0	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	4,45
4АН280M6У3	160	985	93,5	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	5,13
4АН280S6У3	200	985	94,0	0,90	2,0	1,2	1,0	6,0	7,8
4АН280M6У3	250	985	94,0	0,90	2,0	1,2	1,0	6,0	9,5
<i>Синхронная частота вращения 750 об/мин</i>									
4АН180S8У3	15,0	730	86,0	0,80	1,9	1,2	1,0	5,5	$23,5 \cdot 10^{-2}$
4АН180M8У3	18,5	730	87,5	0,80	1,9	1,2	1,0	5,5	$29,8 \cdot 10^{-2}$
4АН200M8У3	22,0	730	89,0	0,84	2,0	1,2	1,0	5,5	$49,0 \cdot 10^{-2}$
4АН200L8У3	30,0	730	89,5	0,82	2,0	1,2	1,0	5,5	$58,3 \cdot 10^{-2}$
4АН225M8У3	37,0	735	90,0	0,81	1,9	1,2	1,0	5,5	$82,5 \cdot 10^{-2}$
4АН250S8У3	45,0	740	91,0	0,81	1,9	1,2	1,0	5,5	1,19
4АН250M8У3	55,0	735	92,0	0,81	1,9	1,2	1,0	6,0	1,4

4АН280S8У3	75,0	735	92,0	0,85	1,9	1,2	1,0	5,5	3,0
4АН280М8У3	90,0	735	92,5	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	3,38
4АН315S8У3	110	735	93,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	6,08
4АН315М8У3	132	735	93,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,0	7,0
4АН355S8У3	160	740	93,5	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	9,75
4АН355М8У3	200	740	94,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	11,9
<i>Синхронная частота вращения 600 об/мин</i>									
4АН280 S10У3	45,0	585	90,0	0,81	1,8	1,0	1,0	5,5	3,23
4АН280М10У3	55,0	585	90,5	0,81	1,8	1,0	1,0	5,5	3,75
4АН315S10У3	75,0	590	91,0	0,82	1,8	1,0	0,9	5,5	5,63
4АН315М10У3	90,0	590	91,5	0,82	1,8	1,0	0,9	5,5	6,63
4АН355S10У3	110,0	590	92,0	0,83	1,8	1,0	0,9	5,5	6,68
4АН355М10У3	132,0	590	92,5	0,83	1,8	1,0	0,9	5,5	11,0
<i>Синхронная частота вращения 500 об/мин</i>									
4АН315S12У3	55,0	490	90,5	0,78	1,8	1,0	0,9	5,5	5,63
4АН315М12У3	75,0	490	91,0	0,78	1,8	1,0	0,9	5,5	6,63
4АН355S12У3	90,0	490	91,5	0,77	1,8	1,0	0,9	5,5	9,68
4АН355М12У3	110,0	490	92,0	0,77	1,8	1,0	0,9	5,5	11,0

АД с фазным ротором серии 4АК и 4АКН выпускаются на мощности от 5,5 до 400 кВт закрытыми обдуваемыми (степень защиты IP44) и защищенными (степень защиты IP23). Обмотка ротора соединена в звезду и выведена на контактные кольца. Данные АД с контактными кольцами приведены в табл. 8.4, где через $S_{\text{ном}}$ обозначено номинальное скольжение АД.

Таблица 8.4

Технические характеристики асинхронных двигателей с контактными кольцами

Тип двигателя	$P_{\text{ном}},$ кВт	$\eta_{\text{ном}},$ %	$\cos\phi_{\text{ном}}$	$S_{\text{ном}},$ %	$M_{\text{пнк}}/M_{\text{ном}}$	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Масса, кг
<i>Синхронная частота вращения 1 500 об/мин</i>								
4АК160S4УЗ	11	86,5	0,86	5	3	22	305	160
4АК160M4УЗ	14	88,5	0,87	4	3,5	29	300	185
4АК180M4УЗ	18	89	0,88	3,5	4	38	295	250
4АК200M4УЗ	22	90	0,87	2,5	4	45	340	305
4АК200L4УЗ	30	90,5	0,87	2,5	4	55	350	325
4АК225M4УЗ	37	90	0,87	3,5	3	160	160	415
4АК250SA4УЗ	45	91	0,88	3	3	170	230	555
4АК2508B4УЗ	55	90,5	0,9	3	3	170	200	595
4АК250M4УЗ	71	91,5	0,86	2,5	3	170	250	640
<i>Синхронная частота вращения 1 000 об/мин</i>								
4АК160S6УЗ	7,5	82,5	0,77	5	3,5	18	300	170
4АК160M6УЗ	10	84,5	0,76	4,5	3,8	20	310	200
4АК180M6УЗ	13	85,5	0,8	4,5	4	25	325	240
4АК200M6УЗ	18,5	88	0,81	3,5	3,5	35	360	300
4АК200L6УЗ	22	88	0,8	3,5	3,5	45	330	315
4АК225M6УЗ	30	89	0,85	3,5	2,5	150	140	405
4АК250S6УЗ	37	89	0,84	3,5	2,5	165	150	540
4АК250M6УЗ	45	90,5	0,87	3	2,5	160	180	600

Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	$S_{\text{НОМ}}$, %	$M_{\text{плл}}/M_{\text{НОМ}}$	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Масса, кг
<i>Синхронная частота вращения 750 об/мин</i>								
4АК160S8У3	5,5	80	0,7	6,5	2,5	14	300	170
4АК160М8У3	7,5	82	0,7	6	3	16	290	200
4АК180М8У3	11	85,5	0,72	4	3,5	25	270	260
4АК200М8У3	15	86	0,7	3,5	3	28	360	300
4АК200L8У3	18,5	86	0,73	3,5	3	40	300	320
4АК225М8У3	22	87	0,82	4,5	2,2	140	102	400
4АК250S8У3	30	88,5	0,81	4	2,2	155	125	540
4АК250М8У3	37	89	0,8	3,5	2,2	155	148	595
<i>Синхронная частота вращения 1 500 об/мин</i>								
4АНК160S4У3	14	86,5	0,85	5	3	27	330	140
4АНК160М4У3	17	88	0,87	5	3,5	34	315	160
4АНК180S4У3	22	87	0,86	5,5	3,2	43	300	190
4АНК180М4У3	30	88	0,81	4,5	3,3	63	290	220
4АНК200М4У3	37	90	0,88	3	3	62	360	290
4АНК200L4У3	45	90	0,88	3,5	3	75	375	315
4АНК225М4У3	55	89,5	0,87	4	2,5	200	170	405
4АНК250SA4У3	75	90	0,88	4,5	2,3	250	180	500
4АНК250SB4У3	90	91,5	0,87	4	2,5	260	220	540
4АНК250М4У3	110	92	0,9	3,5	2,5	260	250	585
4АНК280S4У3	132	92	0,88	2,9	2	330	251	725
4АНК280М4У3	160	92,5	0,88	2,6	2	330	300	775
4АНК315S4У3	200	93	0,89	2,5	2	396	312	910

Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}},$ кВт	$\eta_{\text{НОМ}},$ %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	$S_{\text{НОМ}},$ %	$M_{\text{гидр}}/M_{\text{НОМ}}$	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Масса, кг
4АНК315М4У3	250	93	0,9	2,5	2	425	360	990
4АНК355S4У3	315	93,5	0,9	2,2	2	460	420	1 240
4АНК355М4У3	400	94	0,9	2	2	485	505	1 380
<i>Синхронная частота вращения 1 000 об/мин</i>								
4АНК180S6У3	13	83,5	0,81	7	3	42	205	180
4АНК180М6У3	17	85	0,82	6	3	32,5	335	200
4АНК200М6У3	22	88	0,81	3,5	3	37	380	285
4АНК200L6У3	30	88,5	0,82	4	3	46	375	315
4АНК225М6У3	37	89	0,86	4	1,9	180	140	400
4АНК250SA6У3	45	89,5	0,86	4	2,3	200	155	470
4АНК250SB6У3	55	91	0,88	3,5	2,5	185	190	510
4АНК250М6У3	75	91,5	0,85	3	2,5	200	250	585
4АНК280S6У3	90	90	0,88	3,6	1,9	277	202	685
4АНК280М6У3	110	91,5	0,87	3,6	1,9	297	230	735
4АНК315S6У3	132	92	0,88	3	1,9	320	257	845
4АНК315М6У3	160	92,5	0,88	3	1,9	352	291	910
4АНК355S6У3	200	93	0,89	2,5	1,8	411	304	1 180
4АНК355М6У3	250	93	0,89	2,5	1,8	401	380	1 305
<i>Синхронная частота вращения 750 об/мин</i>								
4АНК180S8У3	11	85	0,72	5	3,2	22,5	315	195
4АНК180М8У3	14	86,5	0,69	4,5	3,5	28	310	225
4АНК200М8У3	18,5	86	0,78	4,5	2,5	30	380	285
4АНК200L8У3	22	87	0,79	4,5	2,5	40	330	315

Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}},$ кВт	$\eta_{\text{НОМ}},$ %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	$S_{\text{НОМ}},$ %	$M_{\text{плл}}/M_{\text{НОМ}}$	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Масса, кг
4АНК225М8У3	30	86,5	0,8	5	1,8	165	120	400
4АНК250SA8У3	37	87,5	0,8	5,5	2,2	190	115	475
4АНК250SB8У3	45	89	0,82	4	2,2	190	140	515
4АНК250М8У3	55	89,5	0,83	3,5	2,2	185	190	575
4АНК280S8У3	75	90,5	0,84	4	1,9	257	190	700
4АНК280М8У3	90	90,5	0,84	4	1,9	267	214	755
4АНК315S8У3	110	91,5	0,84	3,5	1,9	311	225	910
4АНК315М8У3	132	92	0,84	3,5	1,9	364	247	980
4АНК355S8У3	160	92,5	0,86	2,7	1,7	353	285	1 215
4АНК355М8У3	200	92,5	0,86	2,7	1,7	359	350	1 360
<i>Синхронная частота вращения 600 об/мин</i>								
4АНК280S10У3	45	89	0,78	5	1,8	178	162	625
4АНК280М10У3	55	89,5	0,79	4,5	1,8	180	185	675
4АНК315S10У3	75	90	0,8	4,5	1,8	221	217	845
4АНК315М10У3	90	90,5	0,81	4,2	1,8	223	260	920
4АНК355S10У3	110	90,5	0,81	3,8	1,7	242	283	1 180
4АНК355М10У3	132	91	0,81	3,6	1,7	257	330	1 260
<i>Синхронная частота вращения 500 об/мин</i>								
4АНК315S12У3	55	89	0,75	5	1,8	235	165	845
4АНК315М12У3	75	90	0,75	5	1,8	221	207	920
4АНК355S12У3	90	89,5	0,73	4	1,7	259	222	1 160
4АНК355М12У3	110	90	0,73	4	1,7	265	265	1 245

8.3. Асинхронные двигатели большой мощности

К двигателям большой мощности относятся АД с мощностью от 200 до 8 000 кВт. Такие АД выпускаются в составе серий ДАЗО4, АОД, АД4, А4, ДА 304, АДО, ВАН (с короткозамкнутым ротором), АК4, ВАКЗ, АОК, АКСБ (с фазным ротором) и ряде других серий.

Асинхронные турбодвигатели АД4 основного исполнения выпускаются на напряжение 6 и 10 кВ на мощности от 500 до 8 000 кВт и выдерживают в течение срока службы до 10 000 пусков.

Двигатели серии А4 имеют мощность 200...1000 кВт, серии ДАЗО4 — 200...800 кВт и выпускаются на напряжение 6 кВ и синхронные частоты вращения 500...1 500 об/мин.

АД серии АДО выпускаются на напряжение 6 кВ, мощности 1 250...3 150 кВт и синхронные частоты вращения 600, 750, 1 000 об/мин.

АД для вертикальной установки серии ВАН имеют номинальное напряжение 6 кВ, мощности 315...2 500 кВт, синхронные частоты вращения 375, 500, 600, 750 и 1 000 об/мин.

Двигатели с фазным ротором защищенного исполнения АК4 выпускаются на напряжение 6 кВ, мощности 250...1 000 кВт, синхронные частоты вращения 750, 1 000, 1 500 об/мин.

АД типа АКСБ с фазным ротором имеют напряжение 6 кВ, мощности 600, 800 и 1 000 кВт и предназначены для привода буровых установок.

Двигатели серии ВАКЗ с фазным ротором вертикального исполнения предназначены для привода главных циркуляционных насосов атомных электростанций и имеют синхронную частоту вращения 1 000 об/мин. Они допускают регулирование скорости в диапазоне 250...990 и 100...990 об/мин.

Технические данные двигателей большой мощности приведены в табл. 8.5, 8.6 и 8.7.

Таблица 8.5

Технические данные мощных АД

$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	Масса, кг
Серия АД4						
500	56,5	95,7	0,89	0,9	5,1	1 930
630	72	95,7	0,88	1	5,3	2 660
800	90	96	0,89	1	5,3	2 820

$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$I_{\text{НОМ}}$, А	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{НОМ}}$	Масса, кг
1 000	112,5	96,1	0,89	1	5,3	3 030
1 250	140	96,4	0,89	0,95	5,5	3 970
1 600	179	96,6	0,89	0,9	5,2	4 270
2 000	226	96,7	0,89	0,77	4,7	5 560
2 500	279	97	0,89	0,85	5	6 160
3 150	346	97,2	0,9	0,9	5,3	7 010
4 000	444	97,3	0,89	0,9	5,7	10 100
5 000	548	97,5	0,9	0,9	5,7	11 000
6 300	690	97,6	0,9	0,95	5,9	12 300
8 000	876	97,6	0,9	0,95	6	12 320
Серия А4						
<i>Синхронная частота вращения 1 500 об/мин</i>						
400	47	94,2	0,87	1	5,7	—
500	58	94,7	0,88	1	5,7	—
630	72,5	95,1	0,88	1,2	5,7	—
800	92	95,2	0,88	1	5,7	—
1 000	113	95,2	0,89	1	5,7	—
<i>Синхронная частота вращения 1 000 об/мин</i>						
315	38	93,6	0,85	1	5,3	—
400	47	94	0,86	1	5,3	—
500	59,5	94,4	0,86	1	5,3	—
630	74,5	94,7	0,86	1	5,3	—
800	94,5	95	0,86	1	5,3	—
<i>Синхронная частота вращения 750 об/мин</i>						
250	32	93	0,81	1	4,8	—
315	39,5	93,4	0,82	1	4,8	—

$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$I_{\text{НОМ}}$, А	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$\cos \varphi_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{НОМ}}$	Масса, кг
400	50	93,8	0,82	1	4,8	—
500	61,5	94,2	0,83	1	4,8	—
630	77,5	95,5	0,83	1	4,8	—
Серия АДО						
1 250	168,1	95,4	0,75	1,3	6	—
1 600	194,7	95,3	0,83	0,8	5,5	—
2 500	285,7	95,7	0,88	0,8	5,7	—
3 100	354,8	96	0,89	1	6,5	—

Таблица 8.6

Технические данные двигателей серии ДАЗО4

Тип	Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Напряжение, кВ	КПД, %	$\cos \varphi$
ДАЗО4-400ХК-4МУ1	315	1 500	6	93,7	0,88
ДАЗО4-400Х-4МУ1	400	1 500	6	94,2	0,87
ДАЗО4-400У-4МУ1	500	1 500	6	94,8	0,87
ДАЗО4-450Х-4МУ1	630	1 500	6	94,7	0,87
ДАЗО4-400У-4МУ1	800	1 500	6	95,0	0,88
ДАЗО4-400ХК-8МУ1	250	1 000	6	93,2	0,83
ДАЗО4-400Х-8МУ1	315	1 000	6	93,9	0,85
ДАЗО4-400У-8МУ1	400	1 000	6	94,2	0,85
ДАЗО4-450Х-8МУ1	500	1 000	6	94,4	0,85
ДАЗО4-450У-8МУ1	630	1 000	6	94,7	0,85
ДАЗО4-400Х-8МУ1	200	750	6	92,5	0,77
ДАЗО4-400У-8МУ1	250	750	6	93,0	0,79

Тип	Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Напряжение, кВ	КПД, %	cosφ
ДАЗО4-400Х-8МУ1	315	750	6	93,4	0,80
ДАЗО4-450УК-8МУ1	400	750	6	93,8	0,81
ДАЗО4-450У-8МУ1	500	750	6	94,2	0,82
ДАЗО4-400У-10МУ1	200	600	6	92,0	0,74
ДАЗО4-450ХК-10МУ1	250	600	6	92,5	0,78
ДАЗО4-450У-10МУ1	315	600	6	93,0	0,80
ДАЗО4-450Х-12МУ1	200	500	6	91,7	0,75
ДАЗО4-450У-12МУ1	250	500	6	92,2	0,75
ДАЗО4-85/37К-4У1	315	1 500	10	92,6	0,85
ДАЗО4-85/37-4У1	400	1 500	10	93,0	0,88
ДАЗО4-85/43-4У1	500	1 500	10	93,6	0,85
ДАЗО4-85/49-4У1	630	1 500	10	94,1	0,86
ДАЗО4-85/55-4У1	800	1 500	10	94,8	0,86
ДАЗО4-560Х-8	630	750	6	—	—
ДАЗО4-560УК-8	800	750	6	—	—
ДАЗО4-560У-8	1 000	750	6	—	—
ДАЗО4-560Х-4	1 250	1 500	6	—	—
ДАЗО4-560ХК-10	400	600	6	—	—
ДАЗО4-560Х-10	500	600	6	—	—
ДАЗО4-560УК-10	630	600	6	—	—
ДАЗО4-560У-10	800	600	6	—	—
ДАЗО4-560УК-4	1 600	1 500	6	—	—
ДАЗО4-560Х-6	1 000	1 000	6	—	—
ДАЗО4-560УК-6	1 250	1 000	6	—	—

Технические характеристики двигателей серии АОД

Тип	$P_{\text{ном}}$, кВт	n_0 , об/мин	$U_{\text{ном}}$, кВ	$I_{\text{ном}}$, А	КПД, %	cos φ
АОД-1000-4У1	1000	1500	6	115	95,2	0,88
АОД-1250-4У1	1250	1500	6	143	95,5	0,88
АОД-1600-4У1	1600	1500	6	183	95,8	0,88
АОД-800-6У1	800	1000	6	96	95,0	0,85
АОД-1000-6У1	1000	1000	6	119	95,5	0,85
АОД-1250-6У1	1250	1000	6	146	95,8	0,86
АОД-1600-6У1	1600	1000	6	187	96	0,86
АОД-630-8У1	630	750	6	81	94,9	0,79
АОД-800-8У1	800	750	6	101	95,1	0,8
АОД-1000-8У1	1000	750	6	126	95,3	0,8
АОД-400-10У1	400	600	6	54	93,8	0,76
АОД-500-10У1	500	600	6	66	94,1	0,78
АОД-630-10У1	630	600	6	82	94,7	0,78
АОД-800-10У1	800	600	6	101,5	94,9	0,8

8.4. Двигатели серии АИ

Асинхронные двигатели серии АИ (асинхронные Интерэлектро) предназначены для замены АД серий 4А и 4АМ и соответствуют рекомендациям Международной электротехнической комиссии (МЭК). Двигатели исполнения АИС имеют привязку мощностей и установочных размеров по нормам CENELEC для экспортных поставок, а двигатели АИР — привязку по нормам DIN для внутренних поставок. Двигатели основного исполнения имеют степени защиты IP54 и IP44 (закрытые), а с высотой оси вращения 200 мм и выше — IP23 (защищенные).

Машины имеют модификации с фазным ротором (в обозначении стоит буква К), с повышенными скольжением (С) и пусковым моментом (R), однофазные (V, E), многоскоростные, для электроприводов с частотным регулированием скорости, на частоту 60 Гц, с фазным ротором (Ф).

По климатическому исполнению: тропические, влагоморозостойкие, зимостойкие, водостойкие.

В табл. 8.8 приведены технические данные двигателей серии АИР основного исполнения.

Технические характеристики двигателей серии АИР

Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$\cos \varphi_{\text{НОМ}}$	$S_{\text{НОМ}}$, %	$M_{\text{п}}/M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{max}}/M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{min}}/M_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{НОМ}}$	J , кг · м ²	Масса, кг
<i>Синхронная частота вращения 3 000 об/мин</i>										
АИР50А2	0,09	60	0,75	11,5	2,2	2,2	1,8	4,5	$0,25 \cdot 10^{-4}$	2,5
АИР50В2	0,12	63	0,75	11,5	2,2	2,2	1,8	4,5	$0,28 \cdot 10^{-4}$	2,8
АИР56А2	0,18	68	0,78	9	2,2	2,2	1,8	5	$4,2 \cdot 10^{-4}$	3,4
АИР56В2	0,25	69	0,79	9	2,2	2,2	1,8	5	$4,7 \cdot 10^{-4}$	3,9
АИР63А2	0,37	72	0,86	9	2,2	2,2	1,8	5	$7,6 \cdot 10^{-4}$	4,7
АИР63В2	0,55	75	0,85	9	2,2	2,2	1,8	5	$9 \cdot 10^{-4}$	5,45
АИР71А2	0,75	78,5	0,83	6	2,1	2,2	1,6	6	$9,7 \cdot 10^{-4}$	6,5
АИР71В2	1,1	79	0,83	6,5	2,1	2,2	1,6	6	$11 \cdot 10^{-4}$	8,8
АИР80А2	1,5	81	0,85	5	2,1	2,2	1,6	7	$18 \cdot 10^{-4}$	9,8
АИР80В2	2,2	83	0,87	5	2	2,2	1,6	7	$21 \cdot 10^{-4}$	13,2
АИР90L2	3	84,5	0,88	5	2	2,2	1,6	7	0,0035	16,7
АИР100S2	4	87	0,88	5	2	2,2	1,6	7,5	0,0059	21,6
АИР100L2	5,5	88	0,89	5	2	2,2	1,6	7,5	0,0075	27,4

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$S_{\text{ном}}$, %	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{min}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	J , кг · м ²	Масса, кг
АИР112М2	7,5	87,5	0,88	3,5	2	2,2	1,6	7,5	0,01	41
АИР132М2	11	88	0,9	3	1,6	2,2	1,2	7,5	0,023	64
АИР160S2	15	90	0,89	3	1,8	2,7	1,7	7	0,039	100
АИР160М2	18,5	90,5	0,9	3	2	2,7	1,8	7	0,043	110
АИР180S2	22	90,5	0,89	2,7	2	2,7	1,9	7	0,057	160
АИР180М2	30	91,5	0,9	2,5	2,2	3	1,9	7,5	0,07	180
АИР200М2	37	91,5	0,87	2	1,6	2,8	1,5	7	0,13	220
АИР200S2	45	92	0,88	2	1,8	2,8	1,5	7,5	0,14	240
АИР225М2	55	92,5	0,91	2	1,8	2,6	1,5	7,5	0,22	320
АИР250S2	75	93	0,9	2	1,8	3	1,6	7,5	0,41	425
АИР250М2	90	93	0,92	2	1,8	3	1,6	7,5	0,46	455
<i>Синхронная частота вращения 1 500 об/мин</i>										
АИР50А4	0,06	53	0,63	11	2,3	2,2	1,8	4,5	0,000029	2,6
АИР50В4	0,09	57	0,65	11	2,3	2,2	1,8	4,5	0,000033	2,9
АИР56А4	0,12	63	0,66	10	2,3	2,2	1,8	5	0,0007	3,35

АИР56В4	0,18	64	0,68	10	2,3	2,2	1,8	5	0,00079	3,9
АИР63А4	0,25	68	0,67	12	2,3	2,2	1,8	5	0,0012	4,7
АИР63В4	0,37	68	0,7	12	2,3	2,2	1,8	5	0,0014	5,6
АИР71А4	0,55	70,5	0,7	9,5	2,3	2,2	1,8	5	0,0013	7,8
АИР71В4	0,75	73	0,76	10	2,2	2,2	1,6	5	0,0014	8,8
АИР80А4	1,1	75	0,81	7	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0032	9,9
АИР80В4	1,5	78	0,83	7	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0033	12,1
АИР90L4	2,2	81	0,83	7	2,1	2,2	1,6	6,5	0,0056	17
АИР100S4	3	82	0,83	6	2	2,2	1,6	7	0,0087	21,6
АИР100L4	4	85	0,84	6	2	2,2	1,6	7	0,011	27,3
АИР112М4	5,5	85,5	0,86	4,5	2	2,5	1,6	7	0,017	41
АИР132S4	7,5	87,5	0,86	4,0	2	2,5	1,6	7,5	0,028	58
АИР132М4	11	87,5	0,87	3,5	2	2,7	1,6	7,5	0,04	70
АИР160S4	15	90	0,89	3	1,9	2,9	1,8	7	0,078	100
АИР160М4	18,5	90,5	0,89	3	1,9	2,9	1,8	7	0,1	110
АИР180S4	22	90,5	0,87	2,5	1,7	2,4	1,5	7	0,15	170
АИР180М4	30	92	0,87	2	1,7	2,7	1,5	7	0,19	190

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$S_{\text{ном}}$, %	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{мин}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	J , кг · м ²	Масса, кг
АИР200М4	37	92,5	0,89	2	1,7	2,7	1,6	7,5	0,28	245
АИР200S4	45	92,5	0,89	2	1,7	2,7	1,6	7,5	0,34	270
АИР225М4	55	93	0,89	2	1,7	2,6	1,6	7	0,51	335
АИР250S4	75	94	0,88	1,5	1,7	2,5	1,4	7,5	0,89	450
АИР250М4	90	94	0,89	1,5	1,5	2,5	1,3	7,5	1,1	480
АИР280S4	110	93,5	0,91	2,2	1,6	2,2	1	6,5	2,3	594
АИР280М4	132	94	0,93	2,2	1,6	2,2	1	6,5	2,5	752
АИР315S4	160	93,5	0,91	2	1,4	2	1	5,5	3,1	896
АИР315М4	200	94	0,92	2	1,4	2	0,9	5,5	3,6	1 000
АИР355S4	250	94,5	0,92	2	1,4	2	0,9	7	6	1 275
АИР355М4	315	94,5	0,92	2	1,4	2	0,9	7	7	1 480
<i>Синхронная частота вращения 1 000 об/мин</i>										
АИР63А6	0,19	56	0,62	14	2	2,2	1,6	4	0,0018	4,65
АИР63В6	0,25	59	0,62	14	2	2,2	1,6	4	0,0022	5,6
АИР71А6	0,37	65	0,65	8,5	2	2,2	1,6	4,5	0,0017	7,8

АИР71В6	1,1	74	0,74	8	2	2,2	1,6	4,5	0,0046	13,4
АИР90L6	1,5	76	0,72	7,5	2	2,2	1,6	6	0,0073	16,9
АИР100L6	2,2	81	0,74	5,5	2	2,2	1,6	6	0,013	22,8
АИР112МА6	3	81	0,76	5	2	2,2	1,6	6	0,017	35
АИР112МВ6	4	82	0,81	5	2	2,2	1,6	6	0,021	40,4
АИР 132S6	5,5	85	0,8	4	2	2,2	1,6	7	0,04	57
АИР132М6	7,5	85,5	0,81	4	2	2,2	1,6	7	0,058	68
АИР160S6	11	88	0,83	3	2	2,7	1,6	6,5	0,12	100
АИР160М6	15	88	0,85	3	2	2,7	1,6	6,5	0,15	120
АИР180М6	18,5	89,5	0,85	2	1,8	2,4	1,6	6,5	0,2	180
АИР200М6	22	90	0,83	2	1,6	2,4	1,4	6,5	0,36	225
АИР200L6	30	90	0,85	2,5	1,6	2,4	1,4	6,5	0,4	250
АИР225М6	37	91	0,85	2	1,5	2,3	1,4	6,5	0,61	305
АИР250S6	45	92,5	0,85	2	1,5	2,3	1,4	6,5	1	390
АИР250М6	55	92,5	0,86	2	1,5	2,3	1,4	6,5	1,1	430
АИР280S6	75	92,5	0,9	2,2	1,3	2,2	1	6,5	2,9	637
АИР280М6	90	93	0,9	2,2	1,4	2,4	1	6,5	3,4	702

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$S_{\text{ном}}$, %	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{мак}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{ппп}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	J , кг · м ²	Масса, кг
АИР315S6	110	93	0,92	2,3	1,4	2,3	1	6	4	847
АИР315М6	132	93,5	0,9	2,3	1,4	2,3	1	6,5	4,5	950
АИР355S6	160	94	0,9	2,2	1,6	2	1	7	7,3	1136
АИР355М6	200	94,5	0,9	2,2	1,6	2	0,9	7	8,8	1280
<i>Синхронная частота вращения 750 об/мин</i>										
АИР71В8	0,25	56	0,65	8	1,8	1,9	1,4	4	0,0019	7,8
АИР80А8	0,37	60	0,61	6,5	1,8	1,9	1,4	4	0,0034	13,8
АИР80В8	0,55	64	0,63	6,5	1,8	1,9	1,4	4	0,0041	13,5
АИР90LА8	0,75	70	0,66	7	1,6	1,7	1,2	3,5	0,0067	19,7
АИР90LВ8	1,1	72	0,7	7	1,6	1,7	1,2	3,5	0,0086	22,3
АИР100L8	1,5	76	0,73	6	1,6	1,7	1,2	5,5	0,013	31,3
АИР112МА8	2,2	76,5	0,71	5,5	1,8	2,2	1,4	6	0,017	36
АИР112МВ8	3	79	0,74	5,5	1,8	2,2	1,4	6	0,025	41
АИР132S8	4	83	0,7	4,5	1,8	2,2	1,4	6	0,042	56
АИР132М8	5,5	83	0,74	5	1,8	2,2	1,4	6	0,057	70

АИР160S8	7,5	87	0,75	3	1,6	2,4	1,4	5,5	0,12	100
АИР160M8	11	87,5	0,75	3	1,6	2,4	1,4	6	0,15	120
АИР180M8	15	89	0,82	2,5	1,6	2,2	1,5	5,5	0,23	180
АИР200M8	18,5	89	0,81	2,5	1,6	2,3	1,4	6	0,36	225
АИР200L8	22	90	0,81	2,5	1,6	2,3	1,4	6	0,4	250
АИР225M8	30	90,5	0,81	2,5	1,4	2,3	1,3	6	0,61	305
АИР250S8	37	92,5	0,78	2	1,5	2,3	1,4	6	1,1	400
АИР250M8	45	92,5	0,79	2	1,4	2,2	1,3	6	1,2	430
АИР280S8	55	92	0,86	3	1,3	2,2	1	6	3,2	643
АИР280M8	75	93	0,87	3	1,4	2,2	1	6	4,1	735
АИР315S8	90	93	0,85	1,5	1,2	2,2	1	6	4,9	927
АИР315M8	110	93	0,86	1,5	1,1	2,2	0,9	6	5,8	1 001
АИР355S8	132	93,5	0,85	2	1,2	2	0,9	6,5	9	1 175
АИР355M8	160	93,5	0,85	2	1,2	2	0,9	6,5	10	1 280

8.5. Двигатели серий RA, 5A и 6A

Двигатели серии RA (Российская асинхронная). Серия, разработанная в середине 1990-х гг. на Ярославском электромашиностроительном заводе, предназначена для использования во всех отраслях промышленности, сельского и коммунального хозяйств и соответствует российским и международным стандартам. В ее состав входят двигатели мощностью от 0,37 до 90 кВт с высотами осей вращения от 71 до 280 мм.

Двигатели выпускаются на напряжение 220, 380, 660, 220/380, 380/660 В с частотой 50 Гц (по заказу 60 Гц), степенью защиты IP44, IP54 и монтажным исполнением IM1001, IM2001, IM3001.

Условные обозначения двигателей этой серии соответствуют обозначениям двигателей серии 4A. В табл. 8.9 приведены технические данные этих двигателей.

Таблица 8.9

Технические характеристики двигателей серии RA

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	J , кг·м ²	Масса, кг
RA71A2	0,37	2 800	71	0,81	1,5	5,0	2,3	2,4	0,0004	5
RA71B2	0,55	2 850	74	0,84	1,8	6,5	2,3	2,4	0,0005	6
RA71A4	0,25	1 325	62	0,78	1	3,2	1,7	1,7	0,0006	5
RA71B4	0,37	1 375	66	0,76	1	3,7	2,0	2,0	0,0008	6
RA71A6	0,18	835	48	0,69	1	2,3	2,5	2,0	0,0006	6
RA71B6	0,25	860	56	0,72	1	3,0	2,2	2,0	0,0009	6
RA80A2	0,75	2 820	74	0,83	2	5,3	2,5	2,7	0,0008	9
RA80B2	1,1	800	77	0,86	2	5,2	2,6	2,8	0,0012	11
RA80A4	0,55	1 400	71	0,80	1	5,0	2,3	2,8	0,0018	8
RA80B4	0,75	1 400	74	0,80	2	5,0	2,5	2,8	0,0023	10
RA80A6	0,37	910	62	0,72	1	3,3	2,0	2,5	0,0027	8
RA80B6	0,55	915	63	0,72	1	3,3	2,0	2,5	0,0030	11
RA90S2	1,5	2 835	79	0,87	3	6,5	2,8	3,0	0,0010	13
RA90L2	2,2	2 820	82	0,87	4	6,5	2,9	3,4	0,0015	15

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$n_{\text{ном}}, \text{об/мин}$	$\eta_{\text{ном}}, \%$	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{гн}}/M_{\text{ном}}$	$J, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	Масса, кг
RA90S4	1,1	1420	77	0,80	3	5,5	2,3	2,6	0,0034	13,5
RA90L4	1,5	1420	78,5	0,80	4	5,5	2,3	2,8	0,0042	15,5
RA90S6	0,75	935	70	0,72	2	4,0	2,2	2,5	0,0040	13
RA90L6	1,1	925	72	0,72	2	4,0	2,2	3,0	0,0052	15
RA100L2	3,0	2895	83	0,86	6	7,0	2,4	2,6	0,0038	20
RA100LA4	2,2	1420	79	0,82	5	6,0	2,2	2,6	0,0048	22
RA100LB4	3,0	1420	81	0,81	7	6,2	2,2	2,6	0,0058	24
RA100L6	1,5	925	76	0,76	4	4,5	2,0	2,1	0,0063	22
RA112M2	4,0	2895	84	0,87	9	6,8	2,2	3,3	0,0082	41
RA112M4	4,0	1430	85,5	0,84	9	6,5	2,2	2,9	0,0103	37
RA112M6	2,2	960	78	0,74	5	5,5	1,9	2,5	0,0185	36
RA112M8	1,5	700	73	0,70	5	4,5	1,7	2,1	0,0225	36
RA132SA2	5,5	2880	89	0,89	11	6,5	2,4	3,0	0,0155	43
RA132SB2	7,5	2890	89	0,89	15	7,0	2,5	3,2	0,0185	49
RA132S4	5,5	1450	85	0,85	11	7,0	2,4	3,0	0,0229	45
RA132M4	7,5	1455	83	0,83	15	7,0	2,8	3,2	0,0277	52
RA132S6	3,0	960	79	0,79	7	5,9	2,2	2,6	0,0252	41
RA132MA6	4,0	960	80	0,80	9	6,0	2,2	2,6	0,0368	50
RA132MB6	5,5	950	82	0,82	12	6,0	2,2	2,5	0,0434	56
RA132S8	2,2	720	70	0,70	6	5,0	1,7	2,1	0,0530	65
RA132M8	3,0	715	70	0,70	8	6,0	1,8	2,4	0,0625	73
RA160MA2	11	2940	87,5	0,89	22	6,8	2,0	3,3	0,0438	112
RA160MB2	15	2940	90	0,86	29	7,5	2,0	3,2	0,0470	116
RA160L2	18,5	2940	90	0,88	35	7,5	2,0	3,2	0,0533	133
RA160MA4	11	1460	88,5	0,86	22	6,5	1,8	2,8	0,0613	110
RA160ML4	15	1460	90	0,87	29	7,0	1,9	2,9	0,0862	129

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	$I_{\text{ном}}$, А	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{гн}}/M_{\text{ном}}$	J , кг·м ²	Масса, кг
RA160M6	7,5	970	87	0,80	16	6,0	2,0	2,8	0,0916	110
RA160ML6	11	970	88,5	0,82	23	6,5	2,2	2,9	0,1232	133
RA160MA8	4	730	84	0,71	10	4,8	1,8	2,2	0,1031	107
RA160MB8	5,5	730	84	0,71	14	4,8	1,8	2,2	0,1156	112
RA160L8	7,5	730	85	0,73	18	5,5	1,8	2,4	0,1443	131
RA180M2	22	2940	90,5	0,89	42	7,5	2,1	3,5	0,0604	147
RA180M4	18,5	1460	90,5	0,89	35	7,0	1,9	2,9	0,1038	149
RA180L4	22	1460	91	0,88	42	7,0	2,1	2,9	0,1131	157
RA180L6	15	970	89	0,82	31	7,0	2,3	3,0	0,1512	155
RA180L8	11	730	87	0,75	26	5,5	1,8	2,4	0,1897	145
RA200LA2	30	2950	92	0,89	55	7,5	2,4	3,0	0,1164	170
RA200LB2	37	2950	92	0,89	68	7,5	2,4	3,0	0,1326	230
RA200L4	30	1475	91	0,86	59	7,7	2,7	3,2	0,3200	200
RA200LA6	18,5	970	87	0,82	38	5,5	1,8	2,7	0,3100	182
RA200LB6	22	970	87	0,84	45	6,0	2,0	2,5	0,3600	202
RA200L8	15	730	88	0,80	34	5,7	2,0	2,5	0,3600	202

Двигатели серии 5А (5АН, 5АНК). Выпускаются Владимирским электромоторным заводом (ВЭМЗ), Московским электромеханическим заводом им. Владимира Ильича (ЗВИ) и рядом других заводов, взаимозаменяемы с АД серий 4А и АИ и соответствуют российским и международным нормам. Данные этих двигателей приведены в табл. 8.10.

Таблица 8.10

Технические характеристики двигателей серии 5А

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	Масса, кг
5АМ315М2	200	2960	95,6	0,93	1110
5АМ315S2	160	2960	95	0,92	970

Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	Масса, кг
5AM280M2	132	2 960	94,7	0,93	770
5AM280S2	110	2 960	94,3	0,93	720
5AM250M2	90	2 940	93	0,92	505
5AM250S2	75	2 940	93	0,91	475
5A225M2	55	2 940	93,5	0,91	340
5A200L2	45	2 940	93,4	0,90	255
5A200M2	37	2 940	93	0,90	235
5A160M2	18,5	2 925	91	0,90	138
5A 160S2	15	2 925	90,5	0,89	126
5ABOMB2	2,2	2 850	82,5	0,86	15,5
5A80MA2	1,5	2 850	81,5	0,94	14
5AM315M4	200	1 480	96	0,89	1 150
5AM315S4	160	1 480	96	0,89	1 110
5AM280M4	132	1 480	95,5	0,88	885
5AM280S4	110	1 480	95,3	0,87	780
5AM250M4	90	1 478	94	0,88	515
5AM250S4	75	1 478	94	0,87	480
5A225M4	55	1 470	93,3	0,85	345
5A200L4	45	1 465	92,5	0,85	270
5A200M4	37	1 465	92	0,86	245
5A160M4	18,5	1 455	90	0,86	140
5A160S4	15	1 450	89	0,86	127
5A80MB4	1,5	1 410	77	0,82	14,7
5A80MA4	1,1	1 410	75	0,80	13
5AM315M6	132	985	95	0,88	1 010

Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	Масса, кг
5AM315S6	110	985	95	0,88	960
5AM280M6	90	985	94,5	0,86	780
5AM280S6	75	985	94,5	0,86	745
5AM250M6	55	980	92,5	0,85	450
5AM250S6	45	980	92,5	0,83	430
5A225M6	37	980	91	0,83	330
5A200L6	30	978	90	0,84	245
5A160M6	15	970	88,5	0,84	150
5A160S6	11	970	88,5	0,83	124
5A80MB6	1,1	930	73	0,72	16
5A80MA6	0,75	930	71	0,70	14
5AM315M8	110	740	94	0,84	1025
5AM315S8	90	740	94,5	0,84	965
5AM280M8	75	740	93,9	0,84	790
5AM280S8	55	740	93,8	0,85	725
5AM250M8	45	735	92,5	0,76	460
5AM2508	37	735	92	0,75	430
5A225M8	30	735	90,5	0,79	340
5A200L8	22	735	90	0,80	260
5A200M8	18,5	735	89,8	0,79	240
5A160M8	11	725	87,5	0,75	149
5A160S8	7,5	725	87	0,75	123
5A80MB8	0,55	700	61	0,64	5,7
5A80MA8	0,37	675	60	0,62	3,5
5AM315M10	75	590	93,5	0,83	975

Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	Масса, кг
5AM315S10	55	590	93,5	0,83	925
5AM280M10	45	590	92,5	0,81	760
5AM280S10	37	590	92,4	0,81	710
5AM315M12	55	490	93	0,76	975
5AM315S12	45	490	93	0,76	925
5AH250M2	132	2940	94	0,9	500
5AH250S2	110	2940	93,5	0,88	455
5AH225M2	90	2950	94	0,92	322
5AH200L2	75	2940	93	0,88	270
5AH200M2	55	2940	93	0,88	240
5AH250M4	110	1470	94	0,85	510
5AH250S4	90	1470	94	0,85	455
5AH225M4	90	1475	93	0,85	314
5AH200L4	55	1470	92,5	0,88	280
5AH200M4	45	1470	92,5	0,87	250
5AH250M6	75	985	93	0,82	480
5AH250S6	55	985	95,5	0,82	410
5AH225M6	45	980	91,8	0,84	303
5AH200L6	37	980	91	0,81	255
5AH200M6	30	980	90,5	0,81	230
5AH250M8	55	740	92	0,75	475
5AH250S8	45	740	91	0,75	410
5AH225M8	37	735	90,4	0,80	315
5AH200L8	30	735	90,5	0,82	270
5AH200M8	22	735	90,5	0,82	240

Технические характеристики двигателей серии 5А с фазным ротором

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$
5АНК280А4	132	1 500	92,5	0,89
5АНК280В4	160	1 500	92,5	0,89
5АНК280А6	90	1 000	91	0,88
5АНК280В6	110	1 000	91	0,88
5АНК280А8	75	750	91	0,84
5АНК280В8	90	750	91	0,85
5АНК280А10	45	600	89	0,80
5АНК280В10	55	600	89,5	0,80
5АНК315А4	200	1 500	93	0,89
5АНК315В4	250	1 500	93	0,90
5АНК315А6	132	1 000	92	0,88
5АНК315В6	160	1 000	92,5	0,88
5АНК315А8	110	750	91,5	0,85
5АНК315В8	132	750	92,5	0,86
5АНК315А10	75	600	90	0,81
5АНК315В10	90	600	90,5	0,81
5АНК355А4	315	1 500	93,5	0,90
5АНК355В4	400	1 500	94	0,90
5АНК355А6	200	1 000	93	0,90
5АНК355В6	250	1 000	93,5	0,89
5АНК355А8	160	750	93,5	0,86
5АНК355В8	200	750	93,5	0,87
5АНК355А10	110	600	90,5	0,79
5АНК355В10	132	600	91	0,81

В табл. 8.11 приведены данные АД серии 5А с фазным ротором.

Двигатели серии 6А. Выпускаются ЗВИ с высотой оси вращения 315 мм, степенью защиты IP54 и IP44 и имеют монтажное исполнение IM1001 и климатическое исполнение УЗ. Данные этих двигателей приведены в табл. 8.12.

Таблица 8.12

Технические характеристики двигателей серии 6А

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\phi_{\text{ном}}$
6А315S2	160	380/660	3 000	93,5	0,91
6А315М2	200	380/660	3 000	93,7	0,91
6А315S4	160	380/660	1 500	93,7	0,91
6А315М4	200	380/660	1 500	94,2	0,92
6А315S6	110	220/380; 380/660	1 000	93,2	0,90
6А315М6	132	380/660	1 000	93,7	0,91
6А315S8	90	220/380; 380/660	750	93,2	0,83
6А315М8	110	220/380; 380/660	750	92,2	0,83

8.6. Краново-металлургические двигатели

Краново-металлургические двигатели серии МТК, 4МТК (с короткозамкнутым ротором) и МТ, 4МТ (с фазным ротором) предназначены для работы в повторно-кратковременном режиме S3 и характеризуются повышенными пусковыми и критическими моментами и механической прочностью. Они могут иметь класс изоляции Е, В, Н и F и выпускаются на номинальные мощности от 1,4 до 200 кВт (при ПВ = 25 %), напряжения 220/380 и 500 В и синхронные частоты вращения 600, 750 и 1 000 об/мин.

В табл. 8.13 и 8.15 приведены данные по АД этой серии с короткозамкнутым ротором, а в табл. 8.14 и 8.16 — с фазным ротором.

Пример расшифровки обозначения двигателя МТКН412-8: МТ — серия, К — короткозамкнутый ротор, Н — класс изоляции, 412 — условный габарит двигателя, 8 — число полюсов двигателя; двигателя МТF211-6: МТ — серия, F — класс изоляции, 212 — габарит, 6 — число полюсов.

Технические характеристики двигателей серии МТКФ и МТКН

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт, при ПВ = 40 %	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{ном}}$, %	M_{max} , Н·м	$M_{\text{ном}}$, Н·м	$I_{\text{ном}}$, А, при 380 В	J , кг·м ²	Масса, кг
МТКФ011-6	1,4	875	0,66	61,5	42	42	15	0,02	47
МТКФ012-6	2,2	880	0,69	67	67	67	22	0,0275	53
МТКФ111-6	3,5	885	0,79	72	105	104	35	0,045	70
МТКФ112-6	5	895	0,74	74	175	175	53	0,065	80
МТКФ211-6	7,5	880	0,77	75,5	220	210	78	0,11	110
МТКФ311-8	11	910	0,76	77,5	390	380	130	0,213	155
МТКФ312-6	15	930	0,78	81	600	590	205	0,3	195
МТКФ411-6	22	935	0,79	82,5	780	720	275	0,475	255
МТКФ412-6	30	935	0,78	83,5	1 000	950	380	0,638	315
МТКФ311-8	7,5	690	0,71	73,5	330	320	95	0,275	155
МТКФ312-8	11	700	0,74	78	510	470	150	0,388	195
МТКФ411-8	15	695	0,71	80	670	650	185	0,538	255
МТКФ412-8	22	700	0,69	80,5	1 000	950	295	0,75	315

МТКН111-6	3	910	0,7	68	99	98	32	0,045	70
МТКН112-6	4,5	900	0,75	71,5	158	157	50	0,065	80
МТКН211-6	7	895	0,7	73	230	220	88	0,11	110
МТКН311-6	11	910	0,76	77,5	390	380	130	0,213	155
МТКН312-6	15	930	0,78	81	600	590	205	0,3	195
МТКН411-6	22	935	0,79	82,5	780	720	275	0,475	255
МТКН412-6	30	935	0,78	83,5	1 000	950	380	0,638	315
МТКН311-6	7,5	690	0,71	73,5	330	320	95	0,275	155
МТКН312-8	11	700	0,74	78	510	470	150	0,388	195
МТКН411-8	15	695	0,71	80	670	650	185	0,538	255
МТКН412-8	22	700	0,69	80,5	1 000	950	295	0,75	315
МТКН511-8	28	695	0,77	83	1 150	1150	336	1,075	440
МТКН512-8	37	695	0,78	83	1 500	1420	460	1,425	540

Технические характеристики двигателей МТФ и МТН

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт, при $\text{ПВ} = 40\%$	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{ном}}$, %	M_{max} , Н·м	J , кг·м ²	Масса, кг
МТФ011-6	1,4	885	0,65	61,5	40	0,0213	51
МТФ012-6	2,2	890	0,68	64	57	0,0288	58
МТФ111-6	3,5	895	0,73	70	87	0,0488	76
МТФ112-6	5	930	0,7	75	140	0,0675	88
МТФ211-6	7,5	930	0,7	77	195	0,115	120
МТФ311-6	11	945	0,69	79	320	0,225	170
МТФ312-6	15	955	0,73	82	480	0,313	210
МТФ411-6	22	965	0,73	83,5	650	0,5	280
МТФ412-6	30	970	0,71	85,5	950	0,675	345
МТФ311-8	7,5	695	0,68	73	270	0,275	170
МТФ312-8	11	705	0,71	77	430	0,388	210
МТФ411-8	15	710	0,67	81	580	0,538	280
МТФ412-8	22	720	0,63	82	900	0,75	345
МТН111-6	3	895	0,67	65	85	0,0488	76
МТН112-6	4,5	910	0,71	69	120	0,0675	88
МТН211-6	7	920	0,64	73	200	0,115	120

MTH311-6	11	940	0,69	78	320	0,225	170
MTH312-6	15	950	0,73	81	480	0,313	210
MTH411-6	22	960	0,73	82,5	650	0,5	280
MTH412-6	30	965	0,71	84,5	950	0,675	345
MTH512-6	55	960	0,79	88	1660	1,018	—
MTH611-6	75	950	0,85	87	2660	3,275	—
MTH612-6	95	960	0,85	88	3650	4,125	—
MTH613-6	118	965	0,84	90	4750	5,1	—
MTH311-8	7,5	690	0,68	71,5	270	0,275	170
MTH312-8	11	700	0,69	78	430	0,313	210
MTH411-8	15	705	0,67	79	580	0,538	280
MTH412-8	22	715	0,63	80,5	900	0,75	345
MTH511-8	28	705	0,72	83	1020	1,075	470
MTH512-8	37	705	0,74	85	1400	1,425	570
MTH611-10	45	570	0,72	84	2360	4,25	900
MTH612-10	60	565	0,78	85	3200	5,25	1070
MTH613-10	75	575	0,72	88	4200	6,25	1240
MTH711-10	100	584	0,69	89,5	4650	1025	1550
MTH712-10	125	585	0,7	90,3	5800	1275	1 700

**Технические характеристики двигателей 4МТК
с короткозамкнутым ротором**

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт, при ПВ = 40 %	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$I_{\text{ном}}$, А, при $U = 380$ В	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{к}}/M_{\text{ном}}$	КПД, %	cosφ
4МТКМ200LA8	15	705	40	5,5	3,2	3,2	83	0,70
4МТК200LA6	22	935	48	7,4	3,3	3,3	87	0,80
4МТКМ200LB8	22	700	54	5,5	3,2	3,2	83	0,75
4МТК200LB6	30	945	61	7,4	3,3	3,3	87,5	0,85
4МТКМ225М8	30	700	72	5,8	2,8	2,8	84	0,75
4МТКМ225М6	37	930	77	6,5	3,0	3,0	85	0,86
4МТКМ225L8	37	700	85	5,5	2,8	2,8	85	0,78
4МТКМ225L6	55	925	112	7,4	3,4	3,4	86	0,87
4МТКМ225М6/20	16	900	35	5,0	2,3	2,9	81	0,85
	34	230	27	1,7	2,3	2,3	43	0,45
4МТКМ225L6/20	22	900	48	5,5	2,6	2,9	81	0,86
	4,5	235	32	1,9	2,3	2,3	48	0,45
4МТКМ225L6/12	30	835	68	4,0	1,9	1,9	75	0,89
	15	385	52	2,6	2,2	2,2	63	0,70

Таблица 8.16

Технические характеристики двигателей 4МТ с фазным ротором

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт, при ПВ = 40 %	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$I_{\text{ном}}$, А, при $U = 380$ В	$I_{\text{дном}}$, А	E_2 , В	$M_{\text{к}}/M_{\text{ном}}$	КПД, %	cosφ
4МТ200LA6	22	960	51	59	246	2,8	86	0,76
4МТ200LB6	30	960	66	72	273	2,8	87	0,79

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт, при ПВ = 40 %	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$I_{\text{ном}}$, А, при $U = 380$ В	$I_{\text{дном}}$, А	E_2 , В	$M_c/M_{\text{ном}}$	КПД, %	cosφ
4MTM200LA8	15	720	44	46	189	3,2	83	0,62
4MTM200LB8	22	715	58	58	248	3,0	83	0,70
4MTM225M6	37	955	80	80	295	3,0	87	0,81
4MTM225L6	55	955	117	122	285	2,9	88	0,81
4MTM225M8	30	715	74	70	275	2,9	85	0,72
4MTM225L8	37	725	88	76	305	2,9	86	0,74
4MTM280S6	75	955	149	180	266	3,2	89	0,86
4MTM280L6	110	970	216	168	420	3,5	91	0,85
4MTM280L8	75	725	155	145	320	3,5	91	0,80
4MTM280S10	45	570	109	167	177	3,0	86	0,73
4MTM280M10	60	575	140	162	235	3,2	88	0,74
4MTM280L10	75	575	175	150	308	3,0	89	0,73

8.7. Двигатели малой мощности

Двигатели малой мощности, называемые иногда микродвигателями, по числу фаз питающего напряжения подразделяются на трехфазные, однофазные и универсальные, которые могут работать от трехфазной и однофазной сетей.

По принципу своего действия, конструкции и свойствам эти двигатели практически не отличаются от АД средней и большой мощности.

Трехфазные двигатели. Двигатели малой мощности входят в состав ранее рассмотренных серий 4А, РА и АИ. Наряду с этим выпускаются специальные серии трехфазных АД малой мощности, к числу которых относятся серии АОЛ, АПН, АВ, ДАТ и др. АД этих серий имеют кратности пускового момента в пределах 1,2...2, максимального момента 1,7...2,5 и пускового тока 3...6. Данные АД этих серий приведены в табл. 8.17.

Технические характеристики трехфазные двигателей малой мощности

Серия	$U_{\text{ном}}$, В	$P_{\text{ном}}$, Вт	$n_{\text{ном}}$, 10 ³ об/мин	$I_{\text{ном}}$, А	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	Масса, кг
АОЛ	127; 220; 380	До 600	1,39 ... 2,8	0,28 ... 4,3	43 ... 75	0,62 ... 0,85	3 ... 9,2
АПН	220; 380	До 600	1,39 ... 2,83	0,29 ... 2,15	42 ... 70	0,58 ... 0,75	3,9 ... 9
АВО	127; 220; 380	До 600	1,3 ... 2,8	0,12 ... 4,1	34 ... 78	0,56 ... 0,87	1,4 ... 8,4
ДАТ	127; 220; 380	До 90	1,28 ... 2,75	0,16 ... 0,95	20 ... 68	0,6 ... 0,88	0,45 ... 2,2
УАД	220	До 70	1,28 ... 2,7	0,05 ... 0,4	9 ... 65	0,5 ... 0,75	0,25 ... 1,9
АДВ	220; 380	До 25	1,37 ... 1,38	0,05 ... 0,24	38 ... 50	—	1,1 ... 1,9
ДАТ	До 220	До 750	4,8 ... 11,5	0,15 ... 5,3	13 ... 84	0,4 ... 0,82	0,12 ... 5,8
АОЛП	220; 380	До 600	3,75 ... 4,6	1 ... 3,9	63 ... 74	0,45 ... 0,54	5,1 ... 8,4

Технические характеристики однофазных двигателей

Серия	$P_{\text{ном}}$, Вт	$n_{\text{ном}}$, 10^3 об/мин	k_I	$k_{\text{пуск}}$	k_M	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$
АОЛБ	До 600	1,37 ... 2,94	6,5 ... 9	1 ... 1,2	1,4 ... 2,2	22 ... 69	0,52 ... 0,72
4АЕ	До 550	1,34 ... 2,84	7,5 ... 8,5	0,8 ... 1	1,5 ... 1,7	37 ... 52	0,65 ... 0,83
ДХМ	До 150	1,44 ... 2,91	5,7 ... 8,5	1,7 ... 2,2	2,2 ... 3,1	50 ... 70	0,56 ... 0,72
ДГ	До 200	1,43 ... 2,85	7,5 ... 9,3	1,1 ... 2,3	1,9 ... 2,9	60 ... 71	0,54 ... 0,72
АОЛГ	До 600	1,37 ... 2,94	3 ... 5,5	2 ... 2,5	1,5 ... 1,9	22 ... 69	0,68 ... 0,72
4АЧ	До 550	1,34 ... 2,84	4 ... 5,5	1,6 ... 1,8	1,5 ... 1,7	37 ... 62	0,65 ... 0,82
АВЕ	До 400	1,4 ... 2,8	2,5 ... 4,5	0,4 ... 0,7	1,5 ... 1,8	30 ... 72	0,86 ... 0,95
4АТ	До 750	1,32 ... 2,82	2,5 ... 5	0,4 ... 0,6	1,5 ... 1,7	45 ... 68	0,82 ... 0,95
КД	До 60	1,35 ... 2,8	1,4 ... 3,3	0,4 ... 1,3	1,4 ... 2,5	15 ... 60	0,8 ... 0,95
УАД	До 50	1,28 ... 2,75	1,5 ... 5	0,1 ... 0,5	1,5 ... 2	9 ... 60	0,7 ... 0,8
АОЛД	До 1000	1,43 ... 2,94	2,5 ... 5	1 ... 1,2	1,6 ... 2	33 ... 70	0,88 ... 0,98
4АУТ	До 750	1,32 ... 2,82	2,5 ... 5,5	1,5 ... 2	1,5 ... 1,7	45 ... 68	0,82 ... 0,95
АДЕ	До 25	1,28 ... 1,33	—	0,1 ... 0,6	1,4 ... 1,7	11 ... 24	0,5 ... 0,6
ДВЛВ	До 10	1,28 ... 2,7	1,3 ... 1,6	0,2 ... 0,8	1,2 ... 1,6	7 ... 25	0,4 ... 0,6
ДАО	До 16	2,35 ... 2,68	1,3 ... 1,5	0,1 ... 0,6	1,2 ... 1,5	9 ... 23	0,4 ... 0,6

Технические характеристики двигателей серии УАД

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$I_{\text{ном}}$, А	$\eta_{\text{ном}}$, %	$M_{\text{плз}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{пл}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{пл}}/I_{\text{ном}}$
<i>В трехфазном режиме</i>							
УАД-12	1,5	2 700	0,055	14	2,5	2,5	2
УАД-22	4	2 700	0,08	28	2	1,5	2
УАД-32	7	2 700	0,11	30	2	2	2,5
УАД-42	13	2 700	0,13	45	2	2	3,2
УАД-52	20	2 700	0,17	55	2	2	4,5
УАД-62	40	2 700	0,25	60	1,5	1,5	6
УАД-72	70	2 700	0,4	65	1,5	1,5	6
УАД-24	1,2	1 280	0,05	9	1,5	1,5	1,5
УАД-34	2,5	1 250	0,09	11	1,5	1,5	1,5
УАД-44	6	1 280	0,13	20	1,5	1,5	2
УАД-54	9	1 280	0,17	25	1,5	1,5	2,5
УАД-64	20	1 280	0,23	40	1,5	1,5	3
УАД-74	30	1 280	0,3	50	1,5	1,5	3,5
<i>В однофазном режиме</i>							
УАД-12	1	2 750	0,055	10	2	0,5	2
УАД-22	3	2 750	0,08	20	2	0,5	2
УАД-32	5	2 750	0,11	25	1,5	0,3	2,5
УАД-42	10	2 750	0,13	44	1,5	0,3	3
УАД-52	18	2 750	0,19	50	1,5	0,3	3,5
УАД-62	30	2 750	0,3	54	1,5	0,2	4
УАД-72	50	2 750	0,42	60	1,5	0,1	5
УАД-24	1	1 280	0,055	9	1,5	0,5	1,5
УАД-34	2	1 280	0,09	11	1,5	0,5	1,5
УАД-44	4	1 300	0,14	14	1,5	0,5	1,5
УАД-54	8	1 300	0,16	25	1,5	0,5	2
УАД-64	15	1 300	0,23	35	1,5	0,3	2,5
УАД-74	55	1 300	0,3	45	1,5	0,2	3

Однофазные двигатели. Эти двигатели чаще всего выпускаются с двумя обмотками на статоре, одна из которых называется главной, а вторая — вспомогательной, или пусковой. Во вторую обмотку на время пуска или постоянно включается конденсатор, или (реже) резистор, что необходимо для пуска двигателя в ход. Однофазные двигатели имеют более низкие показатели по сравнению с трехфазными. Основные данные однофазных двигателей приведены в табл. 8.18, где через k_I , $k_{\text{пуск}}$, и k_M обозначены соответственно кратности пускового тока, пускового и максимального моментов.

Двигатели АОЛГ и 4АЧ используют пусковые конденсаторы емкостью соответственно 5...90 и 10...100 мкФ, АВЕ, 4АТ, КД и УАД — рабочие конденсаторы емкостью соответственно 0,75...8, 6...82, 1...8 и 0,5...5 мкФ, а АОЛД и АУТ — пусковые и рабочие конденсаторы в пределах 2,5...500 мкФ.

Двигатели серий АОЛБ, 4АЕ, ДХМ и ДГ имеют повышенное сопротивление пусковой обмотки, а АДЕ, ДВЛВ и ДАО — экранированные полюса и не требуют включения дополнительных конденсаторов или резисторов.

Универсальные двигатели. Выполняются как трехфазные и могут работать как от трехфазных, так и от однофазных сетей. Обычно при однофазном питании они имеют пусковые и рабочие характеристики на 20...40 % ниже, чем при трехфазном питании. В табл. 8.19 приведены данные двигателей серии УАД в трехфазном и однофазном режимах.

В однофазном режиме для пуска двигателей используются конденсаторы емкостью 0,5...4 мкФ.

Контрольные вопросы

1. По каким причинам АД нашли широкое применение во всех областях экономики?
2. Как обозначаются выводы АД?
3. Какие новые серии отечественных АД были разработаны в последние годы?
4. Какими свойствами характеризуются АД краново-металлургической серии и почему?
5. В каких случаях целесообразно применять АД с фазным ротором?
6. Какое исполнение могут иметь АД, питаемые от однофазной сети переменного тока?

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

9.1. Общая характеристика машин постоянного тока

Машиной постоянного тока называется двухобмоточная электрическая машина, обе обмотки которой — якоря и возбуждения — подключаются к источнику постоянного тока. В машине постоянного тока обычного исполнения обмотка возбуждения располагается на неподвижной части машины (статоре), а обмотка якоря — на роторе. Подвод тока к обмотке якоря осуществляется с помощью коллекторно-щеточного узла, который в зависимости от режима работы машины (генератор или двигатель) выполняет роль механического инвертора или выпрямителя.

В зависимости от схемы питания обмоток различают машины с независимым, параллельным, последовательным и смешанным возбуждением (рис. 9.1). Машины смешанного возбуждения (рис. 9.1, *а*) имеют две обмотки возбуждения, одна из которых включается последовательно с обмоткой якоря, а другая — параллельно с ней или независимо от нее. У машин последовательного возбуждения (рис. 9.1, *б*) обмотки включены последовательно друг другу. У машин параллельного возбуждения (рис. 9.1, *в*) цепи обмоток включены параллельно друг другу и подключены к одному и тому же источнику питания. У машин с независимой обмоткой возбуждения (рис. 9.1, *г*) обмотки питаются от разных источников.

Выводы цепи якорной обмотки обозначают Я1 (начало) и Я2 (конец), параллельной обмотки возбуждения — Ш1 и Ш2, последовательной обмотки возбуждения — С1 и С2.

Машины постоянного тока могут иметь также и дополнительные (вспомогательные) обмотки, выводы которых обозначают К1 и К2 для компенсационной обмотки и Д1, Д2 — для обмотки добавочных полюсов.

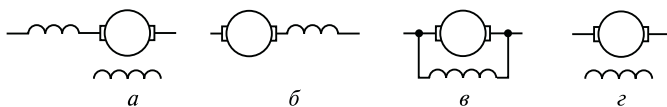


Рис. 9.1. Условные изображения машины постоянного тока:

а — со смешанной обмоткой возбуждения; *б* — с последовательной обмоткой возбуждения; *в* — с параллельной обмоткой возбуждения; *г* — с независимой обмоткой возбуждения

Технические характеристики машин постоянного тока

Серия	$P_{\text{ном}}$, Вт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$U_{\text{ном}}$, В	Краткая характеристика
<i>Двигатели</i>				
4П	До 250	750 ... 3 000	110; 220; 440	Общего назначения, для замены двигателей серии 2П
2П	До 200	600 ... 3 000	110; 220; 340; 440	Общего назначения для замены двигателей П 1-11 габаритов
П2	До 10 000	25 ... 500	440; 750; 930	Закрытые с независимым возбуждением и с принудительной вентиляцией. Для замены двигателей серии П 18-22 габаритов
П (1-11 габаритов)	До 200	600 ... 3 000	110; 220; 440	Общепромышленного и специализированного назначения
П (12-22 габаритов)	До 6 300	100 ... 1 500	220; 440; 750; 1 000	То же
Д	До 185 при ПВ = 100 %	410 ... 1 460	220; 440	Повышенные пусковые моменты и широкий диапазон регулирования скорости. Для привода крановых, металлургических и других механизмов

Серия	$P_{\text{ном}}$, Вт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$U_{\text{ном}}$, В	Краткая характеристика
ПБВ	До 5,5	1 000	60; 110	Закрытые с возбуждением от постоянных магнитов, для привода станков с ЧПУ
ПГ, ПГТ ПС, ПСТ ПБС, ПБСТ	До 1 До 0,75 До 11,3	3 000 3 000 3 000	60; 110; 220 110; 220 110; 220; 340; 440	Закрытые с естественным охлаждением (ПГ, ПГТ), защищенные с принудительной вентиляцией (остальные), реверсивные, общего назначения
ДПМ	До 60 при ПВ = 25 %	До 1700	110; 220	Водозащищенные, с естественным охлаждением и широким диапазоном регулирования скорости, для судовых механизмов
МП	До 6 300	До 63/80	440; 930	Закрытые с принудительной вентиляцией, для привода прокатных станов
МПС	45 630 11 500	50/100 63/80 750/1 000	220 600 930	Специальные двигатели для металлургической промышленности
2МП	До 12 600	До 300/500	930	Закрытые с принудительной вентиляцией, двухкорные, для привода прокатных станов

МИ	До 0,37	1 000, 2 000, 3 000	60, 110	Закрытые (водозащищенные), для работы в системах автоматики
МПБ	До 600 в режиме двигателя До 800 в режиме генератора	До 3 100 До 3 200	220; 460; 580 230; 460; 700	Балансирные машины, для работы в качестве тормозного генератора или двигателя на испытательных стендах
<i>Генераторы</i>				
П (1-11 га-баритов)	До 190	970...2 850	115; 230; 460; 110/160; 220/320	Общего назначения, защищенные, со смешанным возбуждением, со стабильным и регулируемым напряжением
П (18-22 га-баритов)	До 6 300	375, 500, 750	630; 1 000	Закрытые с принудительной вентиляцией
ГП2	5 700, 4 200	375	725; 950	Для работы в преобразовательных агрегатах
ГП	До 9 500	375...1 250	400; 725; 930	Для питания двигателей главных приводов прокатных станков

Примечание. Через косую линию обозначены пределы регулирования скорости и напряжения.

Машины постоянного тока применяются в качестве генераторов для питания потребителей постоянного тока — электролизных, гальванических и сварочных установок, цепей возбуждения синхронных машин и двигателей в регулируемых по скорости электроприводах рабочих машин и электрического транспорта. Для этого выпускаются серии машин специализированного назначения — тяговые, краново-металлургические, судовые и др. Генераторы постоянного тока малой мощности используются в качестве датчиков скорости вращения. В табл. 9.1 содержатся основные сведения о машинах постоянного тока.

9.2. Двигатели общего назначения

В табл. 9.2 приведены данные двигателей серии 2ПН, в табл. 9.3 — серии 2ПФ, в табл. 9.4 — 4ПО, в табл. 9.5 — 4ПБ, а в табл. 9.6 — 4ПФ. Двигатели серии 2П с высотами осей вращения (ВОВ) 90... 315 мм могут иметь степень защиты IP22 (защищенные, буква Н в обозначении), с ВОВ 132... 315 мм — IP22 (защищенные, с независимой вентиляцией от постороннего вентилятора, буква Ф в обозначении), с ВОВ 90... 200 мм — IP44 (закрытые, с естественным охлаждением, буква Б в обозначении), с ВОВ 132... 200 мм — IP44 (закрытые, с наружным обдувом от постороннего вентилятора, буква О в обозначении).

Двигатели серий 4ПО и 4ПБ с ВОВ 80... 160 мм имеют степень защиты IP44, а серии 4ПФ — IP23. Двигатели серий 2П и 4П могут снабжаться датчиком скорости (тахогенератором). Он указывается буквой Г в обозначении.

Таблица 9.2

Технические характеристики двигателей серии 2ПН

ВОВ, мм	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$n_{\text{ном}}$, об/мин	n_{max} , об/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	$R_{\text{я}}$, Ом	$R_{\text{л.п.}}$, Ом
90М	0,17	110	750	3 000	47,5	5,84	4,40
		220	750	1 500	48,5	27,2	16,2
	0,25	110	1 060	4 000	56	3,99	2,55
		220	1 120	2 000	57	15,47	11,2
	0,37	110	1 500	3 000	61,5	2,52	1,47
		220	1 500	2 250	61,5	10,61	6,66
0,71	110	2 360	4 000	69,5	1	0,54	

ВОВ, мм	$P_{\text{НОМ}},$ кВт	$U_{\text{НОМ}},$ В	$n_{\text{НОМ}},$ ОБ/МИН	$n_{\text{МАХ}},$ ОБ/МИН	$\eta_{\text{НОМ}},$ %	$R_{\text{Я}},$ Ом	$R_{\text{Д.П.}},$ Ом	
90М		220	2 360	3 540	70	3,99	2,55	
	1	110	3 000	4 000	71,5	0,6	0,35	
		220	3 000	4 000	72,5	2,52	1,47	
100М	0,37	110	750	3 000	60	2,69	1,62	
		220	750	1 500	59,5	11,78	6,7	
	0,5	110	1 000	4 000	65	1,79	0,93	
		220	1 000	2 000	66	7,05	4,62	
	0,75	110	1 500	4 000	71	0,805	0,57	
		220	1 500	4 300	71,5	3,4	2,05	
	1,2	110	2 120	4 000	75	0,436	0,355	
		220	2 200	4 000	76,5	1,792	0,93	
	2	110	3 000	4 000	78,5	0,201	0,135	
		220	3 000	4 000	79	0,805	0,57	
	112М	0,6	110	800	3 000	59	1,29	1,12
			220	800	2 500	60,5	5,07	4,5
0,85		110	1 060	4 000	63	0,788	0,682	
		220	950	3 500	64	3,85	3,08	
1,5		110	1 500	4 000	70	0,42	0,355	
		220	1 500	4 000	70	1,77	1,55	
2,5		110	2 120	4 000	76	0,196	1,134	
		220	2 200	4 000	76	0,788	0,682	
3,6		110	3 150	4 000	78,5	0,084	0,089	
		220	3 000	4 000	79	0,42	0,356	
132М	1,6	110	750	3 000	68	0,472	0,308	
		220	750	2 500	68,5	1,88	1,39	

ВОВ, мм	$P_{\text{НОМ}},$ кВт	$U_{\text{НОМ}},$ В	$n_{\text{НОМ}},$ ОБ/МИН	$n_{\text{МАХ}},$ ОБ/МИН	$\eta_{\text{НОМ}},$ %	$R_{\text{Я}},$ Ом	$R_{\text{Д.П}},$ Ом
132М	2,5	110	1 000	4 000	72	0,271	0,204
		220	1 000	3 000	73,5	1,08	0,763
		440	1 000	25 000	73	4,54	3,26
	4	110	1 500	4 000	77,5	0,14	0,094
		220	1 500	4 000	79	0,564	0,336
		440	1 500	3 750	79	2,28	1,44
	7	110	2 200	4 000	81	0,067	0,049
		220	2 240	4 000	83	0,226	0,166
		440	2 240	4 000	83	0,906	0,692
	10,5	220	3 000	4 000	84	0,14	0,094
		440	3 000	4 000	85	0,564	0,366
	160М	3	110	750	3 000	75,5	0,138
220			750	2 500	76,5	0,732	0,485
440			750	1 850	76	3,15	2,21
4,5		110	950	4 000	78,5	0,11	0,078
		220	1 000	3 000	79,5	0,411	0,304
		440	950	2 500	79	1,78	1,44
7,5		110	1 600	4 000	83	0,037	0,024
		220	1 500	4 000	83	0,183	0,135
		440	1 500	3 750	84	0,732	0,485
13		220	2 120	4 000	85,5	0,081	0,056
		440	2 360	4 000	86,5	0,279	0,175
18		220	3 150	4 000	87	0,037	0,024
	440	3 150	4 000	87,5	0,145	0,101	
180М	5,6	110	750	3 000	78,5	0,084	0,056

ВОВ, мм	$P_{\text{НОМ}},$ кВт	$U_{\text{НОМ}},$ В	$n_{\text{НОМ}},$ ОБ/МИН	$n_{\text{МАХ}},$ ОБ/МИН	$\eta_{\text{НОМ}},$ %	$R_{\text{Я}},$ Ом	$R_{\text{Д.П}},$ Ом	
180М		220	750	3 500	79	0,338	0,221	
		440	750	1 850	79,5	1,5	0,825	
	8	110	1 000	3 500	81,5	0,058	0,037	
		220	1 060	3 000	83	0,181	0,122	
		440	1 000	2 500	82	0,902	0,54	
	15	110	1 500	3 500	85,5	—	—	
		220	1 500	4 000	85,5	0,084	0,056	
		440	1 500	3 500	86	0,338	0,221	
	26	220	2 240	3 500	88	0,038	0,025	
		440	2 240	3 500	89	0,15	0,092	
	37	220	3 000	3 500	89,5	0,022	0,015	
		440	3 150	3 500	79,5	0,084	0,056	
	200М	8,5	110	800	3 000	81	0,047	0,029
			220	800	2 500	82	0,188	0,116
440			800	1 850	82	0,796	0,506	
13		110	1 120	3 500	84	0,026	0,016	
		220	1 120	3 000	85	0,106	0,061	
		440	1 000	2 500	84,5	0,485	0,303	
22		220	1 500	3 500	87,5	0,047	0,029	
		440	1 500	3 500	87,5	0,246	0,13	
36		220	2 200	3 500	88,5	0,026	0,016	
		440	2 200	3 500	—	0,106	0,061	
60	440	3 150	3 500	90,5	0,047	0,029		
225М	7,5	220	1 500	1 800	77	0,350	0,1010	
	11	220	600	2 100	79,5	0,202	0,0688	

ВОВ, мм	$P_{\text{НОМ}},$ кВт	$U_{\text{НОМ}},$ В	$n_{\text{НОМ}},$ ОБ/МИН	$n_{\text{МАХ}},$ ОБ/МИН	$\eta_{\text{НОМ}},$ %	$R_{\text{Я}},$ Ом	$R_{\text{Д.П}},$ Ом
225М	15	220	750	2 500	80,5	0,146	0,0637
	22	220	1 000	2 500	82	0,086	0,0429
	37	220	1 500	3 000	86,5	0,0366	0,0159
		440	1 500	1 850	86,5	0,168	0,0678
250М	15	220	530	1 500	80	0,142	0,078
	18	220	630	2 100	80,5	0,11	0,054
		440	600	2 800	80,5	0,57	0,25
	22	220	750	2 000	81	0,074	0,039
		440	850	2 400	81	0,235	0,096
	37	220	1 060	2 500	85	0,035	0,019
		440	1 060	2 500	85	0,152	0,078
	50	440	1 500	1 800	87	0,11	0,054
	55	220	1 500	2 800	87	0,0185	0,0098
		440	1 700	2 800	87	0,059	0,026
280М	22	220	530	1 250	83	0,062	0,033
	30	220	600	1 500	84,5	0,046	0,022
		440	600	1 500	84,5	0,185	0,0817
	45	220	750	2 000	86	0,034	0,015
		440	750	1 200	86,5	0,137	0,0618
	75	220	1 000	2 250	88,5	0,016	0,0083
		440	1 180	2 400	88,5	0,046	0,0022
	90	440	1 500	1 500	89	—	—
	110	220	1 500	2 600	89,5	0,0075	0,0038
		440	1 500	2 250	89,5	0,034	0,0154
315М	45	220	600	1 500	85,5	0,03	0,014

ВОВ, мм	$P_{\text{ном}},$ кВт	$U_{\text{ном}},$ В	$n_{\text{ном}},$ об/мин	$n_{\text{max}},$ об/мин	$\eta_{\text{ном}},$ %	$R_{\text{я}},$ Ом	$R_{\text{д.п}},$ Ом
315М		440	600	1 500	85,5	0,12	0,058
	55	440	750	1 800	87	0,068	0,028
	100	440	1 000	2 250	88	0,04	0,024
	110	220	1 000	2 250	89	0,0082	0,0045
	160	220	1 500	2 400	90	0,004	0,0025
		440	1 900	2 400	90	0,0116	0,0071

Примечания:

1. Данные приведены для двигателей с длиной сердечника якоря М, климатическим исполнением — УХ, категорией размещения — 4.

2. Обозначения: n_{max} — максимальная скорость двигателя; $R_{\text{я}}, R_{\text{д.п}}$ — активное сопротивление соответственно обмоток якоря и дополнительных полюсов.

Таблица 9.3

Технические характеристики двигателей серии 2ПФ

ВОВ, мм	$P_{\text{ном}},$ кВт	$U_{\text{ном}},$ В	$n_{\text{ном}},$ об/мин	$n_{\text{max}},$ об/мин	$\eta_{\text{ном}},$ %	$R_{\text{я}},$ Ом	$R_{\text{д.п}},$ Ом
132L	2,8	110	750	3 750	66,5	0,269	0,22
		220	750	2 500	67	1,08	0,915
		440	750	1 850	69	4,05	2,92
	4,2	110	950	4 000	72	0,167	0,124
		220	1 000	3 000	73	0,67	0,445
		440	1 000	2 500	73	2,8	1,96
	5,5	110	1 500	4 200	79	0,08	0,066
		220	1 600	4 200	80,5	0,269	0,22
		440	1 600	3 750	80,5	1,08	0,915
	7,5	110	2 200	4 000	83	0,055	0,039
		220	2 120	4 000	83,5	0,167	0,124
		440	2 200	4 000	86	0,67	0,445

ВОВ, мм	$P_{\text{НОМ}},$ кВт	$U_{\text{НОМ}},$ В	$n_{\text{НОМ}},$ об/мин	$n_{\text{МАХ}},$ об/мин	$\eta_{\text{НОМ}},$ %	$R_{\text{Я}},$ Ом	$R_{\text{Д.П}},$ Ом	
	11	220	3 000	4 000	85,5	0,08	0,066	
		440	3 150	4 000	86,5	0,322	0,27	
160М	4,2	110	800	3 750	74,5	0,11	0,087	
		220	750	2 500	73	0,516	0,407	
		440	750	1 850	73	2,06	1,785	
	6	110	1 000	4 000	78	0,081	0,056	
		220	1 000	3 000	79	0,326	0,208	
		440	1 000	2 500	79	1,304	1,05	
	7,5	220	1 500	4 200	83	0,145	0,101	
		440	1 600	3 750	83,5	0,516	0,407	
	10	110	750	3 300	77,5	0,065	0,044	
		220	450	2 500	79	0,203	0,145	
		440	750	1 850	78	0,99	0,644	
	13	220	2 240	4 000	87	0,081	0,056	
		440	2 240	4 000	87	0,278	0,175	
	16	220	3 150	4 000	87	0,037	0,024	
		440	3 150	4 000	88	0,145	0,101	
	180L	14	220	1 000	3 300	82	0,136	0,084
			440	1 000	2 500	83	0,585	0,462
		18,5	220	1 500	3 500	87	0,065	0,044
440			1 500	3 500	87	0,26	0,183	
25		220	2 120	3 500	89	0,042	0,03	
		440	2 200	3 500	89,5	0,136	0,084	
32		440	3 150	3 500	90,5	0,065	0,044	

ВОВ, мм	$P_{\text{НОМ}},$ кВт	$U_{\text{НОМ}},$ В	$n_{\text{НОМ}},$ об/мин	$n_{\text{МАХ}},$ об/мин	$\eta_{\text{НОМ}},$ %	$R_{\text{Я}},$ Ом	$R_{\text{Д.П.}},$ Ом
200L	15	110	750	3 300	82	0,031	0,02
		220	750	2 500	82,5	0,125	0,08
		440	800	1 850	83,5	0,5	0,264
	20	220	1 000	3 300	85,5	0,083	0,053
		440	1 000	2 500	85,5	0,286	0,168
	30	220	1 500	3 500	88,5	0,031	0,02
		440	1 500	3 500	88,5	0,125	0,08
	42	440	2 360	3 500	90,5	0,055	0,037
55	440	3 150	3 500	91	0,031	0,02	
225L	15	220	500	1 800	77,5	0,196	0,079
		220	600	2 100	83	0,161	0,074
	18,5	440	750	1 500	83	0,473	0,208
	22	220	750	2 500	83,2	0,095	0,05
	30	220	1 060	2 500	85	0,049	0,02
		440	1 060	2 250	85	0,196	0,08
250L	22	220	500	1 500	78	0,122	0,064
	26,5	440	600	1 800	81,5	0,38	0,195
	20,8	220	600	2 100	82,2	0,082	0,047
	30	220	750	1 500	84,3	0,05	0,031
		440	750	2 000	84,3	0,261	0,115
	37	220	750	2 000	83,2	0,051	0,031
		340	750	2 000	83,2	0,122	0,064
45	220	1 000	2 500	86	0,03	0,016	

ВОВ, мм	$P_{\text{НОМ}},$ кВт	$U_{\text{НОМ}},$ В	$n_{\text{НОМ}},$ ОБ/МИН	$n_{\text{МАХ}},$ ОБ/МИН	$\eta_{\text{НОМ}},$ %	$R_{\text{Я}},$ Ом	$R_{\text{Д.П.}},$ Ом
250L	45	340	1 180	2 500	86	0,065	0,031
		440	1 000	1 500	86	0,122	0,064
	71	440	1 500	2 800	88,5	0,65	0,031
	75	220	1 500	2 800	89	0,0128	0,0077
280L	37	220	500	1 250	83,2	0,05	0,025
		440	500	1 250	83,2	0,2	0,092
	45	220	600	1 500	85,5	0,037	0,017
		440	600	1 200	85,5	0,15	0,06
	55	220	750	1 900	87,5	0,025	0,012
		440	750	1 000	87,5	0,0992	0,052
	85	440	1 000	2 250	88,7	0,05	0,025
	13,2	220	1 500	2 600	91	0,006	0,034
440		1 500	1 900	91	0,025	0,012	
315M	45	440	500	1 250	86	0,162	0,073
	55	220	600	1 500	87	0,029	0,004
		440	600	1 500	87	0,12	0,057
	75	220	750	1 700	88,5	0,014	0,0083
		440	750	1 800	88,5	0,068	0,0082
	100	440	1 000	2 200	88	0,04	0,0024
	110	220	1 000	2 250	89	0,0082	0,0045
	160	220	1 500	2 400	90	0,004	0,0025
440		1 900	2 400	90	0,012	0,0071	

Примечание. Данные указаны для климатического исполнения двигателей УХ и категории размещения 4. Буква L обозначает вторую длину сердечника якоря.

Технические характеристики двигателей серии 4ПО

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А	$n_{\text{ном}}$, об/мин	n_{max} , об/мин
4ПО80А1	0,18	110	3,5	1 000	2 000
		220	1,6	1 000	2 000
	0,25	110; 220	4,1; 1,7	1 500	3 000
	0,55	110	7,9	3 000	4 000
		220	3,8	3 000	4 000
4ПО80А2	0,25	110	4,0	1 000	2 000
		220	1,8	1 000	2 000
	0,37	110	5,8	1 500	4 000
		220	2,1	1 500	4 000
	0,55	110	8,0	2 200	4 000
		220	3,5	2 200	4 000
	0,75	110	10,7	3 000	4 000
		220	4,9	3 000	4 000
4ПО80В1	0,37	110	4,8	1 000	4 000
		220	2,4	1 000	4 000
	0,55	50	14,5	1 000	2 000
		75	10,2	1 000	—
		110	7,7	1 500	—
		220	3	1 500	—
	0,75	110	10,2	1 500	4 000
		220	5	2 200	4 000
	1,1	50	31,2	2 200	4 000
		75	21,1	3 000	4 000
		110	15,2	3 000	4 000

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А	$n_{\text{ном}}$, об/мин	n_{max} , об/мин
		220	7,1	3 000	4 000
4ПО100S1	0,37	110	5,7	750	3 000
		220	2,7	750	1 500
	0,55	110	8,4	1 000	4 000
		220	3,9	1 000	2 000
	0,75	110	10,4	—	—
		220	5,1	1 500	4 000
	1,1	110	14	2 200	4 000
		220	6,7	2 200	4 000
	1,5	110	20	3 000	4 000
		220	9,7	3 000	4 000
4ПО100S2	0,55	110	8,6	750	3 000
		220	3,8	750	1 500
	0,75	110	10,4	1 000	4 000
		220	4,8	1 000	2 000
	0,55	75	11,9	1 000	—
		110	13,8	1 500	4 000
	1,1	220	6,1	1 500	4 000
		110	19,3	2 200	4 000
	1,5	220	9,5	2 200	4 000
		110	26,2	3 000	4 000
2,2	220	13,4	3 000	4 000	
4ПО100L	0,75	110	11	750	3 000
		220	5,2	750	1 500
	1,1	110	15,4	1 000	4 000

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А	$n_{\text{ном}}$, об/мин	n_{max} , об/мин
	1,5	220	7,2	1 000	2 000
		110	19	1 500	4 000
	2,2	220	9,3	—	—
		110	28	2 200	4 000
	3	220	13,9	2 200	4 000
		110	37,2	3 000	4 000
4ПО112М1	1,5	220	18,4	3 000	4 000
		110	19	1 000	2 000
	2,2	220	9	1 000	2 000
		110	26	1 500	3 000
	3	220	12,8	1 500	3 000
		110	34,7	2 200	4 000
	4	220	17	2 200	4 000
		110	44,8	3 000	4 000
4ПО112М2	1,5	220	22	3 000	4 000
		110	19,1	750	1 500
	2,2	220	9,6	750	1 500
		110	27,9	1 000	2 000
	3	220	13,6	1 000	2 000
		110	33,8	1 500	3 000
	4	220	16,6	1 500	3 000
		110	45	2 200	4 000
	5,5	220	22	2 200	4 000
		110	60	3 000	4 000
		220	30	3 000	4 000

Технические характеристики двигателей серии 4ПБ

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А	$n_{\text{ном}}$, об/мин	n_{max} , об/мин
4ПБ80А1	0,14	110	2,8	1 000	2 500
		220	1,2	1 000	2 500
	0,18	110	2,9	1 500	4 000
		220	1,3	1 500	4 000
	0,37	110	5,9	3 000	4 000
		220	2,8	3 000	4 000
4ПБ80А2	0,18	110	2,9	1 000	4 000
		220	1,3	1 000	2 500
	0,25	110	3,7	1 000	2 500
		220	1,6	1 500	4 000
	0,37	110	5,0	1 500	4 000
		220	2,4	2 200	4 000
	0,55	110	8,1	3 000	4 000
		220	3,8	3 000	4 000
4ПБ80В1	0,25	110	3,8	1 000	4 000
		220	1,8	1 000	2 500
	0,37	110	5,1	1 500	4 000
		220	2,4	1 500	4 000
	0,55	110	7,3	2 200	4 000
		220	3,5	2 200	4 000
	0,75	110	9,3	3 000	4 000
		220	4,5	3 000	4 000
4ПБ100S1	0,25	110	4,2	750	4 000
		220	1,9	750	4 000

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А	$n_{\text{ном}}$, об/мин	n_{max} , об/мин	
	0,4	110	6,1	1 000	2 500	
		220	2,8	1 000	2 500	
	0,55	110	7,7	1 500	4 000	
		220	3,6	1 500	4 000	
	0,75	110	9,6	2 200	4 000	
		220	4,6	2 200	4 000	
	1,1	110	13,9	3 000	4 000	
		220	6,7	3 000	4 000	
	4ПБ100S2	0,37	110	5,4	750	3 000
			220	2,6	750	2 000
		0,5	110	7	1 000	4 000
			220	3,3	1 000	4 000
0,75		110	9,3	1 500	4 000	
		220	4,5	1 500	4 000	
1,1		110	13,3	2 200	4 000	
		220	6,5	2 200	4 000	
1,5		110	17,8	3 000	4 000	
		220	8,7	3 000	4 000	
4ПБ100L1		0,4	110	6	750	3 000
			220	3,1	750	2 000
	0,6	110	8	1 000	4 000	
		220	3,8	1 000	2 500	
	0,9	110	10,6	1 500	4 000	
		220	5,2	1 500	4 000	
	1,3	110	15,3	1 500	4 000	

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$n_{\text{мах}}$, об/мин
	1,8	220	7,4	1 500	4 000
		110	20,7	2 200	4 000
		220	10	3 000	4 000
4ПБ112М1	0,5	110	8	750	2 500
		220	3,9	750	2 000
	0,75	110	10,5	1 000	3 000
		220	5	1 000	2 500
	1,1	110	14	1 500	4 000
		220	6,7	1 500	4 000
	1,5	110	18,3	2 200	4 000
		220	9,1	2 200	4 000
	2,2	110	25,6	3 000	4 000
		220	12,5	3 000	4 000
4ПБ112М2	1	110	13	1 000	2 500
		220	6,4	1 000	2 500
	1,5	110	17,6	1 500	4 000
		220	8,8	1 500	4 000
	2,2	110	25,3	2 200	4 000

Таблица 9.6

Технические характеристики двигателей серии 4ПФ

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	$\eta_{\text{ном}}$, %	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$n_{\text{мах}}$, об/мин
<i>Номинальное напряжение 220 В</i>					
4ПФ112S	4	24	72,3	900	
	3,15	19,8	69,3	750	

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	$\eta_{\text{ном}}$, %	$n_{\text{ном}}$, об/мин	n_{max} , об/мин
	2	14,5	57,6	450	5 000
4ПФ112М	4,25	26,4	68	730	
	3	20,1	60,3	475	
4ПФ112L	3,55	24,5	60,1	425	
4ПФ132S	15	85,4	77,9	1 400	4 500
	7,5	43,6	76	1 000	
	6	32,7	74	875	
	4,25	26,9	65	580	
4ПФ132М	11	61,5	78,5	1 060	4 500
	8,5	48,6	76	875	
	8	47,3	68	600	
4ПФ132L	11	62,8	76	800	
	8,5	54,4	68	515	
4ПФ160S	15	79,6	80,7	850	4 000
	11	66,2	70,5	530	
4ПФ160М	15	85,6	75,3	580	4 000
4ПФ180	17	99,4	73	500	3 800
4ПФ180М	20	114,5	75	475	
<i>Номинальное напряжение 440 В</i>					
4ПФ1128	7,5	19,2	87,1	2 120	
	5,5	14,9	81,4	1 450	
	4,25	12,6	74	975	
	3,14	9,9	69	730	
4ПФ112М	7,5	19,6	82,5	1 450	
	5,5	16,6	74,1	900	5 000

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	$\eta_{\text{ном}}$, %	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$n_{\text{мах}}$, об/мин
	4,25	13,3	67,4	690	
4ПФ112L	10	26,3	81,2	1 320	
	7,5	21,5	81	975	
	5,5	17	70,8	690	
4ПФ132S	30	76,7	87,1	3 070	
	18,5	47,8	85	2 180	4 500
	15	41,7	80	1 400	
	5,5	15,7	73	800	
4ПФ132M	30	78,9	86,3	2 300	4 500
	22	59,3	83	1 600	
	11	30	80	1 090	
	8,5	24,8	75	800	
4ПФ132L	23,6	64,8	83	1 400	5 000
	15	40,8	81	1 030	
	11	30,7	78	825	
4ПФ160S	30	78,6	84	1 450	
	18,5	48,6	82	1 090	
	15	42,5	76,1	730	
4ПФ160M	22	56,8	84,5	1 090	4 500
	18,5	49,6	80,8	775	
4ПФ160L	30	77	85,5	1 030	
	22	58,7	81,3	775	
4ПФ180S	45	114	88	1 450	
	37	95,7	85	1 150	
	26,5	72,8	78	775	4 500

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	$\eta_{\text{ном}}$, %	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$n_{\text{мах}}$, об/мин
4ПФ180М	45	115,6	86	1 060	
	37	97,6	83	825	
4ПФ200М	55	144	84,9	1 000	4 000
4ПФ200L	75	191	87,3	1 060	4 000
4ПФ225М	90	230	90	1 000	4 000
4ПФ225L	110	282	87	1 000	4 000
4ПФ250М	132	336	87	1 000	3 500
4ПФ250L	160	402	89	1 000	3 500
4ПФ200М	27	226	88,6	1 500	3 600
	45	121	82,2	750	3 600
	90	27	76,2	500	2 500
4ПФ200L	37	275	89,1	1 500	3 600
	55	147	83,3	750	3 600
	110	104	78,6	500	2 500
4ПФ225М	45	230	89,1	1 500	3 000
	132	125	79	500	2 500
4ПФ225L	50	400	89,7	1 500	3 000
	75	199	84	750	3 000
	160	142	77,6	500	2 500
4ПФ250М	90	497	90,3	1 500	3 000
	200	236	85,3	750	3 000
4ПФ250L	75	614	91	1 500	3 000
	110	284	86,7	750	3 000
	250	203	82,2	500	2 500

В табл. 9.7 приведены данные мощных двигателей серии П2, МП и 2МП.

Технические характеристики двигателей серий П2, МП и 2МП

Типоразмер двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$M_{\text{ном}}$, кН·м	J , 10^3 кг·м ²	Масса, 10^3 кг	$\eta_{\text{ном}}$, %
П2-18/70-0,315	315	440	925	36	83,6	1,2	25,8	78,2
П2-21/90-4	4 000	750	5 700	100/250	382	12,5	80,0	93,2
П2-23/85-7,1	7 100	930	8 120	100/180	678	32,2	102,5	94
П2-23/106-7,1	7 100	930	8 200	80/125	847,6	38,8	119	94,3
П2-23/170-8	8 000	930	9 250	50/80	1528	64	215	93,4
П2-24/71-6,3	6 300	825	8 050	160/315	378	—	81,8	95
П2-25/130-9	9 000	930	10 200	60/120	1 364	77,5	169	94,8
П2-26/150-10	10 000	930	11 350	50/100	1 910	121,2	202	94,7
П2-630-201-5С	1 600	930	1 855	250/500	61,1	3,75	22,9	93,3
П2-630-202-8С	3 150	930	3 565	400/600	75,2	4,07	28,1	94,8
П2-630-203-5С	1 600	930	1 865	160/500	95,5	4,95	30,6	92,4
П2-630-212-НС	5 000	930	5 640	400/500	119,4	7,33	36	95,3
П2-630-213-6С	2 500	930	2 860	160/315	149,2	9	43,7	93,9
П2-630-214-6С	2 500	930	2 870	125/315	191	9,85	48,8	93,3

П2-630-241-8С	4 000	930	4 570	160/320	238,8	30	56,8	94
П2-630-243-8С	4 000	930	4 600	100/260	382	37,8	74,6	93,4
МП4000-32	4 000	930	478	32/80	1 193,8	60	190	90
МП6300-63	6 300	930	7 170	63/80	955	42,5	182	94
МП6300-40	6 300	930	7 370	40/80	1 504	85	195	91,9
МП9000-63	9 000	750	8 960	50/80	1 719	60	208	943,7
МП2500-63	12 500	930	14 150	63/90	1 895	125	230	95
МП1000-315	1 000	440	2 480	315/800	30,3	0,45	13	93,6
МП5600-300	5 600	930	6 325	300/400	178,3	16	70	95,2
МП7100-125	7 100	930	8 000	125/250	542,4	42,5	110,6	95,4
2МП2000-315	21 000	440	22 480	315/800	230,3	0,91	27,2	93,6
2МП3000-315	31 000	440	32 480	315/800	330,3	1,4	39,6	93,3
2МП3200-300	21 600	465	23 660	300/500	250,9	2,5	45	93,9
2МП11200-300	25 600	930	26 325	300/500	2 178,3	27,5	116	95,2
2МП14200-200	27 100	930	27 985	200/400	2 339	60	165	95,6
2МП14200-125	27 100	930	28 000	125/250	2 542	95,0	232	95,4
2МП14200-50	26 300	930	27 280	50/100	21 203	212,5	316	92,8

Двигатели краново-металлургической серии Д предназначены для работы в условиях повышенных температуры, влажности, запыленности и вибраций в составе электроприводов, работающих в повторно-кратковременном режиме с частыми пусками, реверсами и торможениями. В связи с этим они имеют повышенную механическую прочность и пониженный момент инерции якоря, что повышает их быстродействие и снижает потери электроэнергии в двигателе в переходных процессах. Двигатели допускают тройное превышение скорости вращения по сравнению с номинальной, имеют изоляцию класса Н и выпускаются на напряжения 220 и 440 В. В табл. 9.8 приведены данные двигателей этой серии на напряжение 220 В.

Таблица 9.8

Технические характеристики двигателей серии Д

Тип	Закрытые в часовом режиме и продуваемые в длительном режиме при ПВ = 100 %				Закрытые в повторно-кратковременном режиме при ПВ = 100 %					
	$P_{ном},$ кВт	Частота вращения $n_{ном},$ об/мин, при возбуждении			Мощность $P_{ном},$ кВт, и частота вращения $n_{ном},$ об/мин, при возбуждении					
		С	СШ	Ш	С		СШ		Ш	
					$P_{ном}$	$n_{ном}$	$P_{ном}$	$n_{ном}$	$P_{ном}$	$n_{ном}$
<i>Тихоходные</i>										
Д-12	2,5	1100	1175	1180	2,4	1150	2,4	1230	2,4	1230
Д-21	4,5	900	1050	1030	3,6	1040	3,6	1140	3,6	1080
Д-22	6,0	850	1050	1100	4,8	970	4,8	1120	4,8	1150
Д-31	8,0	800	870	840	6,8	900	6,8	910	6,8	880
Д-32	12,0	675	780	770	9,5	760	9,5	840	9,5	800
Д-41	16,0	650	700	690	13,0	730	13,0	740	13,0	720
Д-806	22,0	575	650	650	19,0	640	17,0	730	16,0	710
Д-808	37,0	525	575	575	24,0	615	24,0	650	22,0	630
Д-810	55,0	500	—	550	35,0	610	—	—	29,0	600
Д-812	75,0	475	—	515	47,0	560	—	—	38,0	565
Д-814	110,0	460	—	500	66,0	565	—	—	55,0	560

Тип	Закрытые в часовом режиме и продуваемые в длительном режиме при ПВ = 100 %				Закрытые в повторно-кратковременном режиме при ПВ = 100 %					
	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	Частота вращения $n_{\text{НОМ}}$, об/мин, при возбуждении			Мощность $P_{\text{НОМ}}$, кВт, и частота вращения $n_{\text{НОМ}}$, об/мин, при возбуждении					
		С	СШ	Ш	С		СШ		Ш	
					$P_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$	$P_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$	$P_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$
Д-816	150	450	—	480	85	540	—	—	70	535
Д-818	185	410	—	450	100	515	—	—	83	470
<i>Быстроходные</i>										
Д-21	5,5	1200	1450	1440	4,4	1340	4,4	1550	4,4	1500
Д-22	8,0	1200	1390	1510	6,5	1300	6,5	1475	6,5	1570
Д-31	12,0	1100	1280	1360	9,5	1190	9,5	1360	9,5	1420
Д-32	18,0	960	1100	1190	13,5	1100	13,0	1200	13,0	1240
Д-41	24,0	970	1120	1100	18,0	1060	18,0	1160	17,5	1160
Д-806	32,0	900	980	1000	23,0	1010	23,0	1060	21,0	1060
Д-808	47,0	720	800	800	30,0	850	30,0	860	26,0	825

Примечание. С — серийное (последовательное), Ш — шунтовое (параллельное), СШ — смешанное (серийно-шунтовое) возбуждение.

9.3. Генераторы

В табл. 9.9 приведены данные генераторов общего назначения серии 2ПН, которые используются для питания различных потребителей постоянного тока.

Таблица 9.9

Технические характеристики генераторов серии 2ПН

Типоразмер генератора	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$U_{\text{НОМ}}$, В	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$\eta_{\text{НОМ}}$, %
2ПН100МУХЛ4	0,37	115	1 500	61,4
		230	1 500	60

Типоразмер генератора	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$U_{\text{НОМ}}$, В	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$\eta_{\text{НОМ}}$, %
	1,25	115	3 000	76
		230	3 000	76
2ПН100ЛУХЛ4	0,55	115	1 500	63,3
		230	1 500	63,3
	1,8	115	3 000	78,5
		230	3 000	78,5
2ПН112МУХЛ4	0,75	115	1 500	64,5
		230	1 500	63,5
	2,8	115	3 000	76,6
		230	3 000	76,5
2ПН112ЛУХЛ4	1,1	115	1 500	67
		230	1 500	69,5
		115	3 000	80,5
		230	3 000	80,5
2ПН132МУХЛ4	2,2	115	1 500	73,5
		230	1 500	75,0
		460	1 500	75,5
	6	115	3 000	82
		220	3 000	83,5
2ПН132ЛУХЛ4	3	115	1 500	77
		230	1 500	79
		460	1 500	78
	8,5	115	3 000	83,5
		230	3 000	85
2ПН160МУХЛ4	3	115	1 000	75,6

Типоразмер генератора	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$U_{\text{НОМ}}$, В	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$\eta_{\text{НОМ}}$, %
	5,5	230	1 000	76
		115	1 500	81,5
		230	1 500	81,5
	16	460	1 500	81
		115	3 000	84,5
		230	3 000	86,5
2ПН160ЛУХЛ4	4	115	1 000	78,5
		230	1 000	78,5
	7,5	115	1 500	82
		230	1 500	81
		460	1 500	84,5
	22	230	3 000	87,5
2ПН180МУХЛ4	5,5	115	1 000	80,0
		230	1 000	79,5
	11	115	1 500	83
		230	1 500	84
		460	1 500	84,5
	30	230	3 000	89
2ПН180ЛУХЛ4	7,5	115	1 000	81
		230	1 000	81,5
	12,5	115	1 500	84,5
		230	1 500	86,5
		460	1 500	84,5
2ПН200МУХЛ4	10	115	1 000	81
		230	1 000	82

Типоразмер генератора	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$U_{\text{НОМ}}$, В	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$\eta_{\text{НОМ}}$, %
	18,5	115	1500	85,5
		230	1 500	87
		460	1 500	86,5
	45	220/320	3 000	89
2ПН200ЛУХЛ4	22	230	1 500	87,5
		460	1 500	87
	55	230/320	3 000	91,5
2ПН225МУХЛ4	30	115	1 500	85,3
		230	1 500	85,5
		460	1 500	85
2ПН225ЛУХЛ4	25	230	1 000	83,5
	37	230	1 500	86,5
		460	1 500	86,5
2ПН250МУХЛ4	45	115	1 500	85
	55	230	1 500	87
		460	1 500	86
2ПН250ЛУХЛ4	37	230	1 000	86,2
	71	230	1 500	87
2ПН280МУХЛ4	90	230	1 500	89,5
		460	1 500	90
2ПН280ЛУХЛ4	110	460	1 500	90
2ПН315МУХЛ4	90	115	1 000	88
	90	115	1 500	88,5
	160	460	1 500	90
2ПН315ЛУХЛ4	180	230	1 500	89

9.4. Универсальные коллекторные двигатели

Универсальными коллекторными двигателями называют двигатели небольшой (до 1 кВт) мощности, способные работать от сети как постоянного, так и переменного тока. Для этого их обмотка возбуждения выполняется секционированной и имеет дополнительные выводы. При питании от источника постоянного тока под напряжение подключается вся обмотка возбуждения, а при питании двигателя от источника переменного тока — часть ее. Двигатели этого типа выпускаются в составе серий УЛ, УВ, УМТ, СЛ и МУН. В табл. 9.10 приводятся данные двигателей серии УЛ.

Таблица 9.10

Технические характеристики двигателей серии УЛ

Тип	$P_{\text{НОМ}}$, Вт	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	$I_{\text{НОМ}}$, А, при $U_{\text{НОМ}}$, В			$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	$J_{\text{РОТ}}$, 10^{-3} кг · м ²
			= 110	= 220	~220			
УЛ-02	10	8000	0,27	0,14	0,15	34	0,9	5
УЛ-03	18	8000	0,41	0,2	0,23	40	0,9	12,5
УЛ-041	30	8000	0,54	0,27	0,32	50	0,85	37,5
УЛ-042	50	8000	0,82	0,41	0,49	55	0,85	50
УЛ-051	80	8000	1,25	0,63	0,74	58	0,85	125
УЛ-052	120	8000	1,82	0,9	1,1	60	0,85	175
УЛ-061	180	8000	2,64	1,3	1,6	62	0,85	325
УЛ-062	270	8000	3,84	1,9	2,1	64	0,9	400
УЛ-071	400	8000	5,7	2,85	3,15	64	0,9	700
УЛ-072	600	8000	8,55	4,3	4,7	64	0,9	875
УЛ-02	5	5000	0,2	0,1	0,12	22	0,86	5
УЛ-03	10	5000	0,31	0,15	0,19	30	0,82	12,5
УЛ-041	18	5000	0,45	0,23	0,28	36	0,8	37,5
УЛ-051	50	5000	0,93	0,46	0,62	49	0,75	125

Тип	$P_{\text{НОМ}},$ Вт	$n_{\text{НОМ}},$ об/мин	$I_{\text{НОМ}}, A,$ при $U_{\text{НОМ}}, B$			$\eta_{\text{НОМ}},$ %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	$J_{\text{РОТ}},$ $10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
			= 110	= 220	~220			
УЛ-052	80	5 000	1,3	0,64	0,86	56	0,75	175
УЛ-061	120	5 000	1,92	0,9	1,3	57	0,75	325
УЛ-062	180	5 000	2,82	1,4	1,9	58	0,75	400
УЛ-071	270	5 000	3,96	2,0	2,5	62	0,8	700
УЛ-072	400	5 000	5,5	2,8	3,4	66	0,7	875
УЛ-041	5	2 700	0,15	0,08	0,11	25	0,7	37,5
УЛ-042	10	2 700	0,23	0,11	0,16	36	0,7	50
УЛ-051	18	2 700	0,33	0,16	0,29	40	0,7	125
УЛ-052	30	2 700	0,47	0,23	0,43	45	0,7	175
УЛ-061	50	2 700	0,81	0,4	0,67	48	0,7	325
УЛ-062	80	2 700	1,25	0,63	1,1	48	0,7	400
УЛ-071	120	2 700	1,82	0,91	1,5	52	0,7	700
УЛ-072	180	2 700	2,48	1,2	2,1	56	0,7	875
УЛ-081	270	2 700	3,5	1,7	2,9	60	0,7	1 625
УЛ-082	400	2 700	5,0	2,5	4,0	65	0,7	2 200

9.5. Тахогенераторы

Тахогенератором, или датчиком скорости, называется информационная машина, преобразующая скорость вращения вала (оси) — входная переменная — в пропорциональный ей электрический сигнал — выходная переменная датчика. Тахогенераторы как датчики скорости характеризуются погрешностью измерения H , %, по величине которой они подразделяются на семь классов: от $\pm 0,02$ % до $\pm 2,5$ %, коэффициентом пульсации выходного напряжения $k_{\text{пуль}}$, %, и асимметрией напряжения A , %, имеющей место при разных направлениях вращения тахогенератора, и коэффициентом усиления $k_{\text{ус}}$. В табл. 9.11 приведены данные некоторых типов тахогенераторов постоянного тока.

Технические характеристики тахогенераторов постоянного тока

Тип	$n_{\text{ном}}, 10^3 \text{ об/мин}$	$k_{\text{ус}}, \text{ мВ}/(\text{об/мин})$	$H, \%$	$A, \%$	$J_p, 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$k_{\text{пуль}}, \%$	Масса, кг
СЛ	3 ... 3,7	16 ... 20	2 ... 3	2 ... 3	50 ... 200	—	0,45 ... 1,3
ТД	1,5	23 ... 100	1,5	2 ... 2,5	60 ... 200	—	0,7
ТГП	1,5 ... 9	2 ... 60	0,1 ... 5	0,2 ... 1	0,5 ... 8	2,5 ... 10	0,03 ... 0,12
ТП	1,5 ... 3	6 ... 400	0,1 ... 1	0,25 ... 5	0,3 ... 360	2,5 ... 5	0,06 ... 0,9
ТГ	1,1 ... 2,4	21 ... 96	1	1	60 ... 200	—	1 ... 1,8

Контрольные вопросы

1. Какие способы возбуждения могут иметь машины постоянного тока?
2. Как обозначаются выводы обмоток машин постоянного тока?
3. Какими признаками характеризуются новые серии двигателей постоянного тока?
4. Какими признаками характеризуются серия краново-металлургических двигателей постоянного тока?
5. Для чего применяются генераторы постоянного тока?
6. В чем заключается универсальность специальных коллекторных двигателей постоянного тока?
7. Для чего применяются тахогенераторы и какими свойствами в этом случае они должны обладать?

СИЛОВЫЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ, РЕЗИСТОРЫ, КОНДЕНСАТОРЫ И РЕАКТОРЫ

10.1. Предохранители

Предохранители — это электротехнические аппараты, предназначенные для защиты электрических цепей и установок от токов короткого замыкания и перегрузки. Преимущественно они используются для выполнения первой из названных функций, а защиту электрических цепей и установок от токов перегрузки осуществляют с помощью автоматических выключателей и тепловых реле. Действие предохранителей состоит в сгорании их плавкой вставки при протекании по ним токов срабатывания, вследствие чего и происходит разрыв электрической цепи.

По своей конструкции предохранители подразделяются на открытые, у которых плавкая вставка не защищена патроном или размещена в открытой с торцов трубке, закрытые и засыпные с расположением вставки в патроне, заполненном мелкозернистым наполнителем, например кварцевым песком. Для лучшего использования наполнителя как теплоотводящей и дугогасящей среды некоторые предохранители имеют несколько параллельно соединенных вставок, суммарное сечение которых эквивалентно сечению одной вставки на тот же ток. Вставки предохранителей изготавливаются из меди, цинка, алюминия, свинца или серебра.

Особую группу образуют жидкометаллические и инерционные предохранители. В жидкометаллических предохранителях в качестве плавкого элемента используется жидкий металл (чаще галлий и его сплавы), находящийся в герметизированном или вакуумированном патроне. Этот тип предохранителя обычно используется в сочетании с каким-либо защитным аппаратом, например автоматическим выключателем. Инерционные предохранители имеют две вставки разного сечения и исполнения и обеспечивают защиту как от токов короткого замыкания, так и от сравнительно небольших токов перегрузки.

Основной характеристикой предохранителя является его времятоковая характеристика, представляющая собой зависимость времени сгорания плавкой вставки от величины протекающего тока. Она в количественном выражении показывает, что чем больше протекающий по предохранителю ток, тем быстрее сгорает плавкая вставка; при номинальном токе сгорания плавкой вставки не происходит вообще. Иногда защитная способность предохраните-

лей оценивается произведением квадрата тока на время, что эквивалентно количеству выделяемой в предохранителе теплоты.

В электрических сетях и установках применяются несколько типов предохранителей. В табл. 10.1 приведены данные предохранителей типа НПН, выполняемых со стеклянным корпусом круглого сечения, и ПН2, имеющих фарфоровый корпус прямоугольного сечения.

В табл. 10.2 приведены данные предохранителей разборного типа ПР-2.

Таблица 10.1

Технические характеристики предохранителей серий НПН и ПН2

Тип предохранителя	Номинальный ток, А		Наибольший отключаемый ток, А, при напряжении до 500 В
	предохранителя	плавких вставок	
НПН15	15	6; 10; 15	10 000
НПН60М	60	20; 25; 35; 45; 60	
ПН2-100	100	30; 40; 50; 60; 80; 100	50 000
ПН2-250	250	80; 100; 120	40 000
ПН2-400	400	200; 250; 300	25 000
ПН2-600	600	300; 400; 500; 600	25 000
ПН2-1000	1 000	500; 600; 750; 800	10 000

Таблица 10.2

Технические характеристики предохранителей типа ПР-2

Тип предохранителя	Номинальный ток, А	Номинальный ток плавких вставок, А	Предельный ток отключения, А, при напряжении		Габаритные размеры, мм
			380 В	500 В	
ПР-2-15	15	6; 10; 15	8 000	7 000	171×24,5×33
ПР-2-60	60	15; 20; 25; 35; 45; 60	4 500	3 500	173×30,5×43
ПР-2-100	100	60; 80; 100	—	—	247×43×56
ПР-2-200	200	100; 125; 160; 200	11 000	10 000	296×56×76,5

Тип предохранителя	Номинальный ток, А	Номинальный ток плавких вставок, А	Предельный ток отключения, А, при напряжении		Габаритные размеры, мм
			380 В	500 В	
ПР-2-350	350	200; 225; 260; 300; 350	13 000	11 000	346 × 72 × 10
ПР-2-600	600	350; 430; 500; 600	23 000	—	442 × 140 × 154
ПР-2-1000	1 000	600; 700; 850; 1 000	20 000	20 000	580 × 155 × 154

Для защиты полупроводниковых установок применяются быстроедействующие *предохранители серий ПП и ПНБ*. Предохранители типа ПНБ5 выпускаются на напряжение 220 и 440 В и номинальные токи 40... 630 А. Предохранители типа ПНБ7 выпускаются на напряжение ~380 и 660 В и номинальные токи 25... 1000 А. В табл. 10.3 приведены данные предохранителей серии ПП.

Таблица 10.3

Технические характеристики предохранителей серии ПП

Тип	Ток, А	Напряжение, В	Предельный ток отключения, А
ППД12-43133	1 600	150	100
ППД12-40433	6 300	450	200
ПП51-3340354	160	380	—
ПП41	До 630	760; 440	100
ПП57-31	100	До 660	—
ПП57-34	250	До 660	—
ПП57-37	400	До 660	—
ПП57-39	630	До 1 150	—
ПП57-40	800	До 1 250	—
ПП71	До 750	1 300	40
ПП61	До 160	380	100

Для малогабаритных распределительных устройств выпускаются резьбовые *предохранители серии ПРС* на токи до 100 А и напряжение до 500 В.

Предохранители ПКТ101... ПКТ105 (с кварцевым наполнителем, токоограничивающие) применяются для защиты силовых трансформаторов и линий электропередач. Они выпускаются на напряжение 6, 10 кВ и номинальные токи от 2 до 315 А.

Газогенерирующие предохранители типа ПС, называемые стреляющими, предназначены для защиты силовых трансформаторов при установке в наружных установках и выпускаются на напряжения 10, 35 и 110 кВ и номинальный ток плавкой вставки от 8 до 100 А.

10.2. Конденсаторы и конденсаторные установки

Конденсаторы представляют собой электротехническое устройство, обладающее свойством быстро накапливать и отдавать электрическую энергию. Они широко используются для компенсации реактивной мощности и фильтрации высших гармоник тока и напряжения в силовых цепях переменного тока, а также в полупроводниковых преобразователях для принудительной коммутации тиристоров. Они применяются как в виде отдельных единиц, так и в виде комплектных установок (батарей). Основными параметрами конденсаторов являются рабочее напряжение и их электрическая емкость, а конденсаторных установок — напряжение и мощность, определяемая половинным произведением емкости на квадрат напряжения.

Номенклатура выпускаемых конденсаторов очень широкая. В табл. 10.4 приведены данные *косинусных конденсаторов серии КС*, применяемых для повышения коэффициента мощности ($\cos\varphi$) электроустановок переменного тока частотой 50 Гц.

Конденсаторы серий КЭ и КЭК выпускаются на напряжение до 1 кВ в одно- и трехфазном исполнении и свыше 1 кВ в однофазном напряжении. Конденсаторы в трехфазном исполнении имеют соединение по схеме треугольника. *Конденсаторы КЭП-6,3 и КЭП-10,5* имеют аналогичную конструкцию с конденсаторами КЭ и КЭК и выпускаются соответственно на напряжения 6,3 и 10,5 кВ.

Конденсаторы серий КСК1 и КСК2 за счет применения высококачественных материалов имеют по сравнению с конденсаторами КС1 и КС2 лучшие характеристики. *Конденсаторы типа КЭКФ и КЭКШ* предназначены для использования в силовых фильтрах высших гармоник и в установках компенсации реактивной мощности. В табл. 10.5 приведены данные этих и некоторых других конденсаторов.

Технические характеристики конденсаторов типа КС

Тип	Напряже- ние, кВ	Емкость, мкФ	Высота с изоля- тором, мм	Масса, кг
КС1-0,22-6-3У3	0,22	397	408	28
КС1-0,22-12-3У3	0,22	794	726	56
КС1-0,38-18-3У3	0,38	397	408	28
КС2-0,38-36-3У3	0,38	794	726	56
КС2-0,38-50-3У3	0,38	1102	726	56
КС1-0,5-18-3У3	0,5	230	408	28
КС2-0,5-36-3У3	0,5	460	726	56
КС1-0,66-20-3У3	0,66	146	422	28
КС1-0,66-25-3У3	0,66	183	422	28
КС2-0,66-40-3У3	0,66	292	740	56
КС2-0,66-50-3У3	0,66	366	740	56
КС1-1,05-37,5-2У3	1,05	108,3	422	27
КС2-1,05-75-2У3	1,05	217	740	54

Таблица 10.5

Технические характеристики конусных конденсаторов

Тип	Номиналь- ное напря- жение, кВ	Мощ- ность, квар	Номиналь- ная емко- сть, мкФ	Высота конден- сатора, мм	Мас- са, кг
КЭ1-0,38-25-2У3	0,38	25	551,0	410	26
КЭ1-0,38-25-3У3	0,38	25	551,0	410	26
КЭ2-0,38-40-2У3	0,38	40	882,0	480	53
КЭ2-0,38-40-3У3	0,38	40	882,0	480	53
КЭ2-0,38-50-2У3	0,38	50	1 102,0	480	53

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Мощность, квар	Номинальная емкость, мкФ	Высота конденсатора, мм	Масса, кг
КЭ2-0,38-50-3У3	0,38	50	1 102,0	480	53
КЭК2-0,4-67-2У3	0,4	67	1 334,0	725	50
КЭК2-0,4-67-3У3	0,4	67	1 334,0	725	50
КЭ1-0,66-25-2У3	0,66	25	183,0	418	26
КЭ1-0,66-25-3У3	0,66	25	183,0	418	26
КЭ2-0,66-50-2У3	0,66	50	366,0	480	53
КЭ2-0,66-50-3У3	0,66	50	366,0	480	53
КСК2-0,4-67-3У3	0,4	67	1 111; 1 334	725	60
КСК2-0,415-67-3Т3	0,415	67	1 239; 1 032	725	60
КСК2-0,44-67-3Т3	0,44	67	919	725	60
КЭП-6,3-200-2У1	6,3	200	16,0	821	48
КЭП-6,3-225-2У1	6,3	225	18,0	821	48
КЭП-10,5-200-2У1	10,5	200	5,7	861	48
КЭП-10,5-225-2У1	10,5	225	6,4	861	48
КМПС-0,4-12,5-3У3	0,4	12,5	82,9×3	271	3,9
КЭКФ-4-200-2УХЛ1	4,0	200,0	39,8	827	50
КЭКФ-4,4-200-2УХЛ	4,4	200,0	32,9	827	50
КЭКШ-6,3-200-1У1	6,3	200,0	16,0	861	50
КЭКФ-6,3-200-2УХЛ1	6,3	200,0	16,0	861	50
КЭКФ-6,6-200-2УХЛ1	6,6	200,0	14,6	861	50
КЭКШ-7,3-200-1У1	7,3	200,0	12,0	861	50
КЭКФ-7,3-200-2УХЛ1	7,3	200,0	12,0	861	50
КСКФ-4,4-150-2У1	4,4	150,0	24,7	787	52

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Мощность, квар	Номинальная емкость, мкФ	Высота конденсатора, мм	Масса, кг
КСКФ-6,6-150-2У1	6,6	150,0	11,0	821	52
КСКФ-7,3-150-2У1	7,3	150,0	9,0	821	52
КЭ1-1,05-37,5-1У3	1,05	37,5	108,3	418	26
КЭ1-1,05-37,5-2У3	1,05	37,5	108,3	418	26
КЭ2-1,05-75-1У3	1,05	75,0	217,0	739	52
КЭ2-1,05-75-2У3	1,05	75,0	217,0	739	52
КЭ1-3,15-37,5-2У3	3,15	37,5	12,0	441	25
КЭ1-6,3-37,5-2У3	6,3	37,5	3,0	471	25
КЭ1-10,5-37,5-2У3	10,5	37,5	1,08	526	25
КЭ2-3,15-75-2У3	3,15	75,0	24,0	756	48
КЭ2-6,3-75-2У3	6,3	75,0	6,0	786	48
КЭ2-10,5-75-2У3	10,5	75,0	2,16	841	48

В табл. 10.6 приведены данные конденсаторов высокой емкости серии ИКЭ.

Таблица 10.6

Технические характеристики конденсаторов серии ИКЭ

Серия ИКЭ, кДж/В	U, В	C, Ф	$I_{\text{разр. м}^*}$, А	Масса, кг	Серия ИКЭ, кДж/В	U, В	C, Ф	$I_{\text{разр. м}^*}$, А	Масса, кг
6/14	14	60	600	8	40/96	96	8,5	1300	29
9/14	14	100	700	10	40/64	64	23	1900	32
16/14	14	160	1200	14	33/200	200	1,6	400	20
20/28	28	55	1400	18	20/150	150	1,9	400	19
40/28	28	100	2000	23	15/175	175	1,0	1000	21
70/36	36	105	1500	34	40/300	300	0,95	400	30

Конденсаторы типов ФЭТ, ПСП, ФСК, ФК и ФЭК применяются в высокочастотных фильтрах, а импульсные конденсаторы типов ИМКН, ИК, ИМ и ИКМ — в высоковольтных импульсных установках.

Конденсаторы повышенной частоты типа ЭСВ предназначены для повышения коэффициента мощности электротермических установок, работающих с частотами от 0,5 до 10 кГц. Номинальное напряжение этих конденсаторов лежит в пределах 0,8...2 кВ, а емкость — от нескольких единиц до полутора сотен микрофарад.

С использованием косинусных конденсаторов изготавливаются конденсаторные установки УК, УКЛ, УКН, УКМ, БК, предназначенные для компенсации реактивной мощности потребителей электроэнергии. Они представляют собой устройства, включающие в себя собранные по схеме треугольника конденсаторы и аппаратуру управления, измерения, защиты и сигнализации. Защита от токов короткого замыкания осуществляется плавкими предохранителями, ступенчатое регулирование емкости установок происходит с помощью магнитных пускателей и может реализовываться при ручном или автоматическом управлении.

В табл. 10.7 и 10.8 приведены данные некоторых низковольтных конденсаторных установок этого назначения.

Таблица 10.7

Технические характеристики низковольтных конденсаторных установок

Тип установки	Напряжение, кВ	Номинальная мощность, квар	Масса, кг
УКЛ (П) Н 0,38-150-50У3	0,38	150	335
УКЛ (П) Н 0,38-300-50У3	0,38	300	575
УКН 0,38-75У3	0,38	75	175
УКТ 0,38-75У3	0,38	75	175
УКН 0,38-150У3	0,38	150	175
УКТ 0,38-150У3	0,38	150	300
ККУ 0,38-Мс БРВ-2	0,38	160	716
ККУ 0,38-Ус HD-2	0,38	280	1071
УКМ 58-04-20-10У3	0,4	20	47
УКМ 58-04-30-10У3	0,4	30	62

Тип установки	Напряжение, кВ	Номинальная мощность, квар	Масса, кг
УКМ 58-04-50-25 УЗ	0,4	50	70
УКМ 58-04-67-33,3 УЗ	0,4	67	85
УКМ 58-04-100-33,3 УЗ	0,4	100	110
УКМ 58-04-150-30 УЗ	0,4	150	132
УКМ 58-04-180-30 УЗ	0,4	180	145
УКМ 58-04-200-33,3 УЗ	0,4	200	168
УКМ 58-04-300-33,3 УЗ	0,4	300	210
УКМ 58-04-402-67 УЗ	0,4	402	395
УКМ 58-04-603-67 УЗ	0,4	603	585

Таблица 10.8

Технические характеристики низковольтных автоматизированных конденсаторных установок серии АКУ

Тип	Мощность, квар	Номинальный ток, А	Сечение питающего медного кабеля, мм ²
АКУ 0,4-50-10УЗ	50	72,2	3×50
АКУ 0,4-75-12,5УЗ	75	108,7	3×50
АКУ 0,4-100-25УЗ	100	144,5	3×70
АКУ 0,4-100-10УЗ	100	144,5	3×70
АКУ 0,4-150-10УЗ	150	216,7	2×(3×50)
АКУ 0,4-200-20УЗ	200	289	2×(3×70)
АКУ 0,4-220-20УЗ	220	319	2×(3×70)
АКУ 0,4-240-20УЗ	240	348	2×(3×95)
АКУ 0,4-260-20УЗ	260	377	2×(3×95)
АКУ 0,4-280-20УЗ	280	406	2×(3×95)
АКУ 0,4-300-20УЗ	300	433,5	2×(3×120)

Тип	Мощность, квар	Номинальный ток, А	Сечение питающего медного кабеля, мм ²
АКУ 0,4-330-15У3	330	478,5	2 × (3 × 120)
АКУ 0,4-350-25У3	350	507,5	2 × (3 × 150)
АКУ 0,4-380-20У3	380	551	2 × (3 × 150)
АКУ 0,4-400-20У3	400	580	2 × (3 × 150)
АКУ 0,4-420-20У3	420	609	2 × (3 × 185)

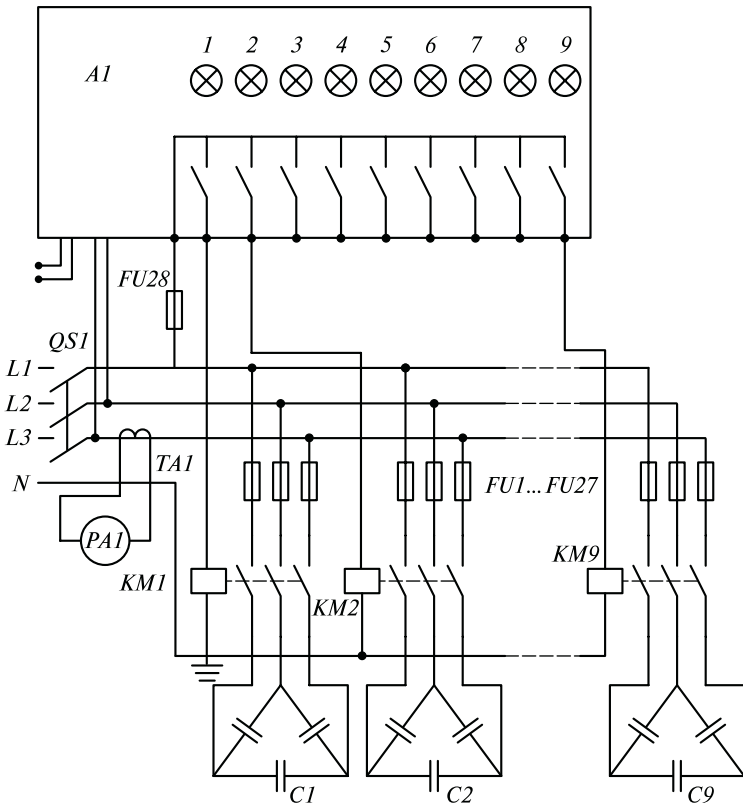


Рис. 10.1. Электрическая схема компенсационной установки КРМ-4:

$C1...C9$ — конденсаторы; $KM1...KM9$ — контакторы для подключения ступеней конденсаторов; $QS1$ — выключатель-разъединитель; $FU1...FU28$ — предохранители; $TA1$ — трансформатор тока; $PA1$ — показывающий амперметр; $A1$ — контроллер; $1...9$ — сигнальные лампы включения ступеней конденсаторов; $L1, L2, L3, N$ — провода сети

Низковольтные установки компенсации реактивной мощности КРМ-0,4 имеют номинальное напряжение 400 В, мощность от 35 до 600 квар с автоматическим регулированием количества ступеней с шагом 2,5 квар. На рис. 10.1 приведена электрическая схема установки КРМ-0,4, в состав которой входят конденсаторы $C1...C9$, контакторы $KM1...KM9$ для подключения ступеней конденсаторов, выключатель-разъединитель $QS1$, предохранители $FU1...FU28$, трансформатор тока $TA1$ с показывающим амперметром $pA1$, контроллер $A1$, сигнальные лампы $1...9$ включения ступеней конденсаторов. В состав установки входят также разрядные резисторы для конденсаторов $C1...C9$.

Автоматизация работы установки обеспечивается контроллером $A1$, который вычисляет требуемую мощность конденсаторных батарей для достижения заданного значения коэффициента мощности и с помощью контакторов производит подключение или отключение ступеней конденсаторов.

В табл. 10.9 и 10.10 приведены данные высоковольтных конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности электропотребителей при высоком напряжении.

Таблица 10.9

Технические характеристики компенсаторов реактивной мощности серии КРМ-6 и КРМ-10

Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальная мощность, квар	450; 900; 1350; 1800; 2250; 2700; 3150
Степень защиты по ГОСТ 14254—96	IP21; IP54

Таблица 10.10

Технические характеристики высоковольтных конденсаторных установок

Тип	Номинальная мощность, квар	Размеры, мм			Масса, кг
		длина	ширина	высота	
КУ6-1	330	2 350	846	2 870	1 100
КУ6-11	500	3 050	846	2 870	1 578
КУ10-1	330	2 350	846	2 870	1 200
КУ10-11	500	3 050	846	2 870	1 718

Тип	Номинальная мощность, квар	Размеры, мм			Масса, кг
		длина	ширина	высота	
КУН6-11	420	2 060	1745	2 350	1 200
КУН 10-11	400	2 060	1745	2 350	1 400
КУ6-1 с БРВ-1	330	2 350	846	2 870	1 118
КУ6-11 с БРВ-1	500	3 050	846	2 870	1 578
КУ10-11 с БРВ-1	500	3 050	846	2 870	1 718
КУ10-1 с БРВ-1	330	2 350	846	2 870	1 218
УК6-450	450	2 480	850	2 000	690
УК10-450	450	2 480	850	2 000	690

10.3. Резисторы и блоки резисторов

Резисторы. Резисторами называются электротехнические устройства, предназначенные для увеличения активного сопротивления электрических цепей низкого и высокого напряжения. По своему назначению резисторы подразделяются на следующие основные группы:

- пусковые, регулирующие и тормозные, которые используются для ограничения тока при пуске, торможении и реверсе электродвигателей, а также для регулирования их скорости вращения;
- регулировочные, используемые для регулирования тока возбуждения электрических машин;
- нагрузочные, применяемые в электроустановках для поглощения электрической энергии и в испытательных стендах;
- специальные, применяемые в различных электроустановках в качестве балластных, добавочных, экономических, разрядных, заземляющих и демпферных резисторов.

Резисторы с регулируемым сопротивлением получили название реостатов.

По своему конструктивному исполнению силовые резисторы могут быть литыми, штампованными ленточными, витыми ленточными и проволочными. В качестве материалов для изготовления резисторов используются литейный чугун, сталь, марганец, константан и сплавы железохромоалюминиевые (фехралы), хромоникелевые и хромоалюминиевые. Резисторы могут использо-

ваться как в виде отдельных резистивных элементов, так и в составе блоков, ящиков или панелей резисторов.

В табл. 10.11 приведены параметры литых плоских резисторов типа СЖ.

Таблица 10.11

Технические характеристики резисторов типа СЖ

Тип	Сопротивление при 20 °С, Ом	Длительно допустимый ток, А	Кратковременная нагрузка (5 мин), А	Постоянная времени, мин	Масса, кг
СЖ60	0,0044	220	465	14 ... 16	1,77
СЖ61	0,0057	190	420	14 ... 16	1,45
СЖ62	0,0075	160	360	14 ... 16	1,5
СЖ63	0,0095	140	310	14 ... 16	1,3
СЖ64	0,0145	120	255	14 ... 16	1,3
СЖ65	0,0215	95	200	14 ... 16	1,2
СЖ66	0.0325	72	150	14 ... 16	1,3
СЖ67	0,0495	60	115	14 ... 16	1,2
СЖ68	0,06	55	100	14 ... 16	1,3
СЖ69	0,091	46	80	14 ... 16	1,3

В табл. 10.12 и 10.13 приведены данные соответственно штампованных элементов типа ШЭ и штампованных ленточных элементов типа ЛФ.

Таблица 10.12

Технические характеристики резистивных элементов типа ШЭ

Тип	Сопротивление при 20 °С, Ом	Длительно допустимый ток, А	Кратковременная нагрузка, А, в течение				Превышение температуры, °С
			60 с	30 с	10 с	2 с	
ШЭ1	0,042	35	55	75	125	290	150
ШЭ2	0,021	50	105	138	250	580	150
ШЭ3	0,014	60	155	210	350	860	150

Технические характеристики резистивных элементов типа ЛФ

Тип	Сопротивление при 20 °С, Ом	Длительно допустимый ток, А	Рабочая температура, °С	Масса, кг
ЛФ1	0,32	140	450	4,5
ЛФ2	0,45	До 155	450	4,4
ЛФ10	До 0,3	До 270	600	5,6
ЛФ11	До 1,0	До 540	600	21
ЛФ11Б	До 2,0	До 280	600	17
ЛФ8	0,4	100	450	—

Таблица 10.14

Технические характеристики элементов серии ЭС3

Сопротивление резистора, Ом	Номинальный ток, А	Допустимое сопротивление на ступень, Ом	Масса, кг
0,642	23,6	0,043	0,55
0,481	27,4	0,032	0,59
0,402	30,1	0,027	0,63
0,320	33,8	0,021	0,66
0,261	37,9	0,017	0,74
0,200	46,6	0,013	0,81

Резисторы типа ЭС3 и ЭС10 предназначены для комплектации блоков резисторов серии ЯС, данные резисторов типа ЭС3 приведены в табл. 10.14.

Резисторы типа Э10 имеют сопротивление от 0,0777 до 1,37 Ом и выпускаются на номинальные токи от 23,5 до 109 А. Проволочные трубчатые резисторы серии ПТ предназначены для работы в цепях переменного и постоянного тока в закрытых помещениях и имеют данные, приведенные в табл. 10.15.

Блоки резисторов. Они представляют собой электрические устройства, состоящие из нескольких резисторов, включенных по определенной схеме. К ним относятся блоки СЖ с двухрядным расположением резистивных элементов в количестве от 56 до 112 шт. Общее сопротивление блоков может составлять 0,1 ... 10 Ом, а мас-

Технические характеристики резисторов серии ПТ

Тип	Номинальная мощность, Вт	Диапазон сопротивлений, Ом	Размеры, мм			Масса, кг
			Наружный диаметр	Внутренний диаметр	Длина	
ПТ-8Т2	8	До 2 200	15	6	35	20
ПТ-16Т2	16	До 5 600	15	6	80	31
ПТ-25Т2	25	До 5 600	26	16	80	56
ПТ-50Т2	50	До 15 000	30	20	125	96
ПТ-75Т2	75	До 33 000	30	20	175	135

са — 80...225 кг. Они выпускаются на напряжение 220...4 000 В, продолжительные токи 46...600 А с естественной вентиляцией в незащищенном исполнении.

Блоки резисторов ЯС предназначены для работы в электрических цепях переменного тока с напряжением до 660 В с частотой 50 и 60 Гц и постоянного тока с напряжением 440 В в качестве пускорегулирующих, тормозных, балластных, добавочных и др. Данные этих блоков приведены в табл. 10.16. Эта таблица содержит

Таблица 10.16

Технические характеристики блоков резисторов

Тип	Число и тип элементов	Сопротивление ступени, Ом	Мощность, кВт	Длительный ток, А	Масса, кг
БТС-1	12 ЛФ11	1,52	2 340	До 540	1 020
ББС-2	6 ЛФ11Б	0,52	745	До 270	505
БКФ	280 КФ	До 21	2 800	—	3 150
БЛФ-1	9 ЛФ1	2,88	140	До 140	250
БЛФ-2	9 ЛФ2	4,05	220	До 155	240
БТС-7	5 ЛФИ	3,32	1 200	—	750
ЛФ-238	4 ЛФ10	До 1	—	190	46,5
		До 2	—	265	

Тип	Число и тип элементов	Сопrotивление ступени, Ом	Мощность, кВт	Длительный ток, А	Масса, кг
		3 ... 0,019	—	400	
ЛФ-269	3 ЛФ116	1 ... 0,351	—	100	45,5
		2 ... 0,132	—	150	
		3 ... 0,089	—	200	
СН-12	6 ШЭ	—	12,0	До 60	140
СН-16	8 ШЭ	—	16,0	До 60	160
СН-20	10 ШЭ	—	20,0	—	185
СН-24	12 ШЭ	—	24,0	—	210
СН-28	14 ШЭ	—	28,0	—	240
ЯС-1	40 ЭС	3,0 ... 8,0	До 5,8	До 39	27,3 ... 23,1
ЯС-2	20 ЭС	0,1 ... 1,6	До 5,8	До 215	39 ... 23,5
ЯС-3	11 ЭС	0,2×11 ... 260×11	—	До 42	15 ... 20
ЯС-4	5	0,098 ... 6,85	—	До 215	17 ... 22
ЯСТ-1	12×3	0,9×3 ... 2,4×3	—	До 39	25 ... 21,7
ЯСТ-2	6×3	0,03×3 ... 0,48×3	—	До 215	36 ... 22,6

также данные блоков типа СВ и СН, в которых используются элементы типа ШЭ, и блоков БТС-1, ББС-2, БКФ, БЛФ-1, БЛФ-2 и БТС-7, широко используемых в самых различных электротехнических устройствах.

Пусковые и пускорегулирующие реостаты. Выпускаются с естественным и масляным охлаждением и различаются по номинальному напряжению и току, числу ступеней, наличию или отсутствию защит, используемым резистивным элементам и конструктивному исполнению.

Реостаты серий РП, РЗП и РЗР предназначены для управления двигателями постоянного тока мощностью до 19 кВт при напряжении сети 110 В, мощностью до 42 кВт при напряжении 220 или 440 В (реостаты серии РП и РПЗ) и мощностью до 36 кВт при напряжении 220 В (реостат серии РЗР). Реостаты серии РП имеют минимальную электрическую защиту, а серий РЗП и РЗР — ми-

Технические характеристики реостатов серий РП, РПЗ и РЗР

Тип	Номинальный ток, А	Число ступеней		Масса, кг
		пусковых	регулируемых	
РП-2511	31,5	4	—	5,5
РЗП-2	40	7	—	12
РЗП-2А	40	7	—	14
РЗП-3	125	8	—	21
РЗП-3А	125	8	—	27
РЗП-4	200	12	—	52
РЗП-4А	200	12	—	55
РЗП-4Б	200	12	—	60
РЗП-4В	200	12	—	65
РЗП-21	40	6	10	12
РЗП-21А	40	6	10	14
РЗП-31	125	7	15	22
РЗП-231А	125	7	15	25
РЗП-231Б	125	7	15	29
РЗП-42	200	10	20	50
РЗП-42А	200	10	20	55
РЗП-42Б	200	10	20	60

нимально-максимальную. Реостаты серии РП состоят из проволочных резистивных элементов типа СН, СНл и ЦФ. Другие данные резисторов этих серий приведены в табл. 10.17.

В табл. 10.18 приведены данные *маслонаполненных пусковых реостатов серии РМ*, применяемых для пуска асинхронных двигателей с фазным ротором. Они допускают два-три пуска из холодного состояния, после чего должны быть паузы до следующего включения не менее двойной продолжительности включения.

Реостаты возбуждения серий РВ, РВМ, РТМ, МР, РЗВ, РПВ, РШН, РШНД и РШМ предназначены для регулирования тока возбужде-

Технические характеристики пусковые реостатов серии РМ

Тип	Номинальный ток, А	Мощность двигателя, кВт	Максимальное напряжение, В	Число ступеней	Масса без масла, кг
РМ-1531У3	210 250	24,5; 29,5; 40 50; 55	400	8	23,5
РМ-1631У3	500	150; 175	600	9	70
РМ-16541У3	400	75; 100	600	9	70
РМ-16641У3	400	100	600	9	80
РМ-1671У3	750	300; 410; 500	1200	11	180
РМ-16761У3	600	200; 300	1200	10	145

ния электрических машин при напряжениях до 440 В и могут выполняться с ручным, дистанционным ручным и электродвигательным приводами. В табл. 10.19 приведены данные некоторых типов реостатов возбуждения.

Таблица 10.19

Технические характеристики реостатов возбуждения

Тип	Предельный ток, А	Мощность, кВт	Число ступеней
Р-21	—	0,15	42
Р-22	—	0,3	42; 84
РПВ-01	10	0,6	2 × 17
РПВ-11	10	0,9	2 × 17
РВМ-1	30	2,0	100
РВМ-2	60; 120	12,0	130; 92
РВМ-3	60; 120	36,0	130; 92
РЭВ-01А	15	0,3; 0,45	32
РЭВ-11Б	15	0,65	40
РЭВ-21А	15	0,9	60
РЭВ-31А	15	1,2	64

Тип	Предельный ток, А	Мощность, кВт	Число ступеней
РЭВ-41А	25	2,5	120
МР-120	350; 125	18	34; 44
МР-160	350; 125	24	34; 44
МР-240	350; 125	36	34; 44
МР-360	350; 125	54	34; 44
МР-440	350; 125	66	34; 44
МР-520	350; 125	78	34; 44

Таблица 10.20

Технические характеристики реостатов серии Р

Тип	Предельный ток, А	Мощность, кВт	Сопротивление, Ом
Р-0,5	До 27,5	0,6	До 500
Р-1	До 27,5	1,2	До 1 000
Р-2	До 38	1,8	До 500
Р-3	До 38	2,4	До 335
Р-4	До 40	3,2	До 250

В табл. 10.20 приведены данные реостатов серии Р, используемых для регулирования скорости двигателей и других целей.

10.4. Реакторы

Реактором называется статическое электромагнитное устройство, предназначенное для использования его индуктивности в электрической цепи. По своему назначению реакторы бывают следующих видов.

Фильтровые (сглаживающие) реакторы используются в фильтрах для уменьшения содержания высших гармоник в токе различных преобразователей.

Коммутирующие реакторы используются в схемах полупроводниковых преобразователей для осуществления принудительной коммутации вентиляей.

Токоограничивающие реакторы служат для ограничения токов короткого замыкания, что позволяет использовать в схемах аппараты с меньшими значениями токов отключения и термической устойчивости.

Шунтирующие реакторы предназначены для компенсации зарядной мощности линий сверхвысокого напряжения в режиме малых нагрузок, будучи включенным для этого между токоведущими элементами и землей.

Заземляющие реакторы предназначены для компенсации емкостных токов короткого замыкания на землю и имеют плавное регулирование своей индуктивности.

Реакторы подразделяются между собой и по другим признакам: виду магнитной системы обмоток, количеству фаз, способу охлаждения, возможностям регулирования индуктивности и др. Реакторы на номинальные токи от 25 до 100 А и напряжения 3... 10 кВ выполняются в виде дисков в воздухе.

Масляные реакторы имеют обмотку, помещаемую в бак с маслом и выпускаются на токи от 200 до 1 000 А и напряжение 35 кВ и более.

Бетонные реакторы имеют обмотку, витки которой скрепляются между собой бетонными вертикальными колонками, и выпускаются на токи от 150 до 4 000 А и напряжения до 35 кВ. Бетонные реакторы с алюминиевой обмоткой для внутренней установки на напряжение 6 и 10 кВ серий РБ (одинарные) и РБС (сдвоенные) имеют естественное или принудительное (буква Д в обозначении) охлаждение и выпускаются для горизонтальной (буква Г в обозначении) и вертикальной (буква В в обозначении) установок. В цифровом обозначении первое число — номинальное напряжение, кВ; второе — номинальный ток, А; третье — номинальное индуктивное сопротивление, Ом. Буква Н в обозначении принадлежит реакторам для наружной установки.

Фильтровые (сглаживающие) реакторы серии ФРОС предназначены для использования в схемах электроприводов и имеют однофазное исполнение с естественным воздушным охлаждением. Выпускаются на номинальные токи от 1 600 до 10 000 А. Буква З обозначает защищенное (в кожухе) исполнение реактора.

Реакторы серии СПОМ — сглаживающие, однофазные, с масляным охлаждением, выпускаются на токи от 75 до 360 А и могут иметь индуктивность 0,05... 0,25 Гн.

Шунтирующие реакторы типа РОМ (однофазные, масляные), РТД и РОД (соответственно трехфазные и однофазные с масляным охлаждением с дутьем) и РОДЦ (с принудительной циркуляцией масла) выпускаются на мощности от 1 100 до 110 000 кВ·А в сетях до 1 150 кВ.

Для ограничения токов в цепях вентильных электроприводов применяются реакторы серии РТСТ, которые выпускаются на

напряжение 220, 310 и 410 В, токи от 20,5 до 820 А и индуктивности 0,0505... 2,02 мГн. Пример расшифровки обозначения реакторов: РТСТ-410-0,54 — реактор трехфазный, сухой, токоограничивающий, на ток 410 А, имеющий номинальную индуктивность фазы 0,54 мГн.

В цепях заряда емкости применяются реакторы серий ЕРОС и ЕРОМ, а для компенсации емкости токов замыкания на землю — реакторы серии РЗДСОМ.

10.5. Расчет и выбор предохранителей, конденсаторных батарей и резисторов

Предохранители. Выбираются по рабочему току защищаемой электроустановки, который не должен превышать номинальный ток плавкой вставки и номинальному напряжению. При этом конструктивное исполнение предохранителя должно соответствовать условиям его использования.

При обеспечении максимально-токовой защиты асинхронных двигателей ток плавкой вставки определяется с помощью следующих соотношений: нормальный пуск со временем пуска менее 5 с $I_{вст. ном} = 0,4I_{п}$; тяжелый пуск со временем пуска более 10 с $I_{вст. ном} = (0,5...0,6)I_{п}$, где $I_{п}$ — пусковой ток двигателя.

Для АД с контактными кольцами и двигателей постоянного тока $I_{вст. ном} = (1...1,3)I_{ном}$.

Для защиты цепей управления с суммарным рабочим током I_c ток плавкой вставки выбирается из условия $I_{вст. ном} = 2,5I_c$.

Резисторы. Резистор выбирается по двум основным параметрам: величине сопротивления и току, при этом его сопротивление должно равняться расчетному, а его номинальный ток соответствовать эквивалентному по нагреву току нагрузки, что обеспечит нормативный нагрев резистора. Подбор величины сопротивления осуществляется за счет последовательного, параллельного и смешанного соединений отдельных элементов в секции.

Для продолжительного режима работы (S1) проверка резистора по нагреву состоит в сопоставлении рабочего тока нагрузки с номинальным током резистора.

Для кратковременного (S2) и повторно-кратковременного (S3) режимов работы нагрузки необходимо вначале рассчитать эквивалентные токи с помощью расчетных коэффициентов, зависящих от времени протекания тока t_p по резистору и его постоянной времени нагрева. Эти зависимости приведены на рис. 10.2, где K_k — расчетный коэффициент для кратковременного, $K_{пк}$ — для повторно-кратковременного режима; T_n — постоянная времени нагрева.

Порядок проверки предварительно выбранного резистора по нагреву состоит в следующем. С помощью графика изменения тока

нагрузки во времени определяются эквивалентный рабочий ток $I_{\text{экв}}$, протекающий по резистору, и время его протекания t_p для кратковременного режима или продолжительность включения $\text{ПВ}_p = t_p/t_{\text{ц}}$ для повторно-кратковременного режима, где $t_{\text{ц}}$ — время цикла работы нагрузки. Далее для найденных t_p или ПВ_p по постоянной времени нагрева T_n резистора с помощью кривых рис. 10.2 находятся коэффициенты K_k или $K_{\text{пк}}$. Далее определяется расчетный ток резистора:

$$I_{\text{расч}} = I_{\text{экв}}/K_k, \text{ или } I_{\text{расч}} = I_{\text{экв}}/K_{\text{пк}}$$

и производится его сопоставление с номинальным током резистора $I_{\text{ном}}$. При $I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$ нагрев резистора не будет превосходить допустимого (нормативного).

Пример 10.1. Двигатель работает в кратковременном режиме с временем включения $t_p = 25$ с. Оценить нагрев постоянно включенного в его цепь резистора типа НС 413/0,4 (номинальный ток $I_{\text{ном}} = 30$ А, постоянная времени нагрева $T_n = 132$ с), если по нему при включении протекает ток $I_{\text{экв}} = 56$ А.

Решение. Для постоянной времени нагрева $T_n = 132$ с по кривым рис. 10.2, *a* находим $K_k = 2,3$. Определим расчетный ток резистора $I_{\text{расч}} = I_{\text{экв}}/K_k = 56/2,3 = 24,3$ А.

Так как $I_{\text{расч}} = 24,3$ А < 30 А = $I_{\text{ном}}$, то резистор по нагреву проходит.

Конденсаторы и конденсаторные батареи. Конденсаторы выбираются по своей емкости, рабочему напряжению и конструктивному исполнению, соответствующему условиям их установки.

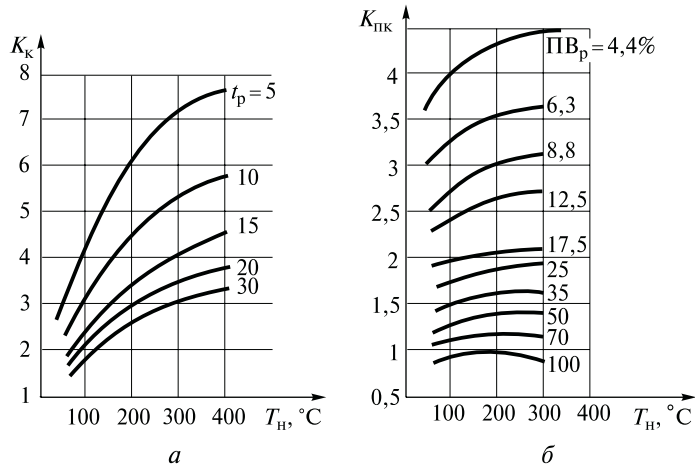


Рис. 10.2. Зависимости расчетных коэффициентов от постоянной времени нагрева для кратковременного (а) и повторно-кратковременного (б) режимов работы

Реактивная мощность компенсирующей установки (батареи) $Q_{к.у}$ определяется следующим образом:

$$Q_{к.у} = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2),$$

где P — активная мощность электроприемника, для которого производится компенсация реактивной мощности; $\operatorname{tg}\varphi_1$, $\operatorname{tg}\varphi_2$ — тангенсы угла φ после и до компенсации.

Пример 10.2. Определить мощность конденсаторной батареи, которую необходимо использовать для повышения коэффициента мощности электрической установки активной мощностью $P = 35$ кВт от значения $\cos\varphi_1 = 0,7$ ($\operatorname{tg}\varphi_1 = 1,0$) до значения $\cos\varphi_2 = 0,9$ ($\operatorname{tg}\varphi_2 = 0,49$). Номинальное напряжение установки — 0,4 кВ.

Решение. Подставив численные значения в формулу, получим

$$Q_{к.у} = 35(1 - 0,49) = 17,85 \text{ квар.}$$

В качестве такой батареи может быть использована, например, конденсаторная установка УКМ 58-04-20-10 УЗ (см. табл. 10.7) с реактивной мощностью 20 квар.

Контрольные вопросы

1. Для чего применяются предохранители?
2. Какие типы предохранителей вы знаете?
3. Для чего применяются быстродействующие предохранители?
4. Каково назначение так называемых косинусных конденсаторов?
5. Для чего применяются конденсаторные батареи и установки?
6. Как можно рассчитать мощность конденсаторной батареи для компенсации реактивной мощности?
7. Какие типы резистивных элементов вы знаете?
8. Какие материалы применяются в резистивных элементах?
9. Что такое ящик (блок) резисторов?
10. Как выбираются резисторы?
11. Какие функции выполняют реакторы в электроприводе и других видах электрооборудования?

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА СХЕМ АВТОМАТИКИ

11.1. Аналоговые элементы и устройства

Аналоговые элементы и устройства оперируют с непрерывными (аналоговыми) электрическими сигналами. Основным элементом многих аналоговых устройств управления является операционный усилитель, на базе которого создаются различные регуляторы и функциональные преобразователи электрических сигналов.

Операционный усилитель (ОУ) представляет собой усилитель постоянного тока с большим коэффициентом усиления (до тысячи и более), охваченного отрицательной обратной связью. Схема ОУ приведена на рис. 11.1, где через $z_{\text{BX}1} \dots z_{\text{BX}i}$ обозначены комплексные в общем случае активно-емкостные входные сопротивления ОУ, а z_{OC} — комплексное сопротивление цепи обратной связи (ОС).

ОУ, включенный по схеме рис. 11.1, осуществляет преобразование входных сигналов $U_{\text{BX}i}$ в соответствии с выражением

$$U_{\text{ВЫХ}} = -z_{\text{OC}} \sum_1^m (U_{\text{BX}i} / z_{\text{BX}i}),$$

где m — количество входных сигналов.

Когда на вход ОУ поступает один входной сигнал U_{BX} , а $z_{\text{OC}} = R_{\text{OC}}$ и $z_{\text{BX}1} = R_1$, имеет место следующее преобразование входного сигнала:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -R_{\text{OC}} U_{\text{BX}} / R_1 = -k U_{\text{BX}},$$

т. е. осуществляется его умножение на коэффициент $k = R_{\text{OC}} / R_1$ и изменение знака на противоположный. При $R_{\text{OC}} = R_1$ ($k = 1$) имеет место инвертирование входного сигнала по знаку.

Если $z_{\text{OC}} = R_{\text{OC}}$ и $z_{\text{BX}i} = R_{\text{BX}i}$, то ОУ осуществляет суммирование подаваемых на него электрических входных сигналов с одновременным умножением их на соответствующий коэффициент $k_i = R_{\text{OC}} / R_{\text{BX}i}$:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -\sum_1^m (U_{\text{BX}i} k_i).$$

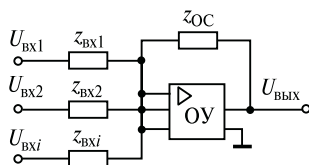


Рис. 11.1. Схема операционного усилителя

При включении во входные цепи и цепи обратных связей наряду с резисторами конденсаторов ОУ позволяют осуществлять и другие преобразования входных сигналов, необходимые для получения управляющих воздействий в схемах управления и автоматики. Такие схемы получили название регуляторов, к числу которых относятся пропорциональный П-регулятор, пропорционально-интегральный ПИ-регулятор, пропорционально-дифференциальный ПД-регулятор и ряд других. Схемы, характеристики и формулы для расчета параметров регуляторов приведены в [9].

ОУ широко используются также в схемах компараторов, формирователей импульсов, генераторов электрических сигналов, ограничителей, усилителей и во многих других устройствах. Выпускаются ОУ в виде интегральных микросхем, в которых все элементы ОУ соединены в требуемую электрическую схему.

Примером реализации серийных аналоговых средств управления и их функций явилась разработка унифицированной блочной системы регулирования (УБСР) в виде серии УБСР—А (на обычных элементах электроники) и затем серии УБСР—АИ (на интегральных микросхемах).

11.2. Дискретные элементы и устройства

Тенденцией развития систем управления и автоматизации является широкое применение в них дискретной техники, к которой относятся цифровые элементы и устройства. Они характеризуются высокими точностью, быстродействием и надежностью в работе, малым энергопотреблением, высокой помехоустойчивостью и удачно сочетаются со средствами вычислительной техники. В некоторых случаях целесообразным оказывается создание смешанных, цифроаналоговых схем, сочетающих в себе наилучшие свойства аналоговых и дискретных элементов и устройств.

Логические элементы. Логическими элементами (ЛЭ) называются дискретные элементы, напряжения на входе и выходе которых могут принимать или высокое — логическая единица (далее 1), или низкое — логический нуль (далее 0) значения. Они могут выполняться на электромагнитных реле, магнитных элементах и в виде интегральных схем (ИС), являющихся современным их исполнением.

На рис. 11.2 показаны схемы простейших ЛЭ. Логический элемент НЕ (рис. 11.2, а) выполняет операцию отрицания (инвертирования). При наличии входного сигнала $X = 1$ выходной сигнал отсутствует ($Y = 0$), а при отсутствии входного ($X = 0$) выходной сигнал $Y = 1$.

Сигнал на выходе логического элемента ИЛИ появляется при наличии хотя бы одного входного сигнала — $X1$ или $X2$ (рис. 11.2, б).

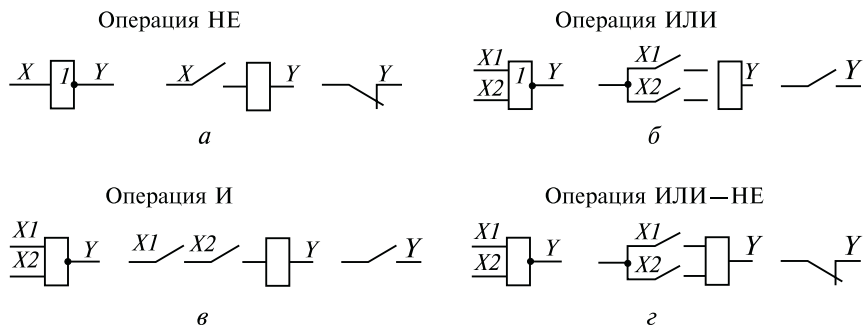


Рис. 11.2. Логические элементы:
 а — НЕ; б — ИЛИ; в — И; г — ИЛИ-НЕ

Операция ИЛИ может выполняться для любого количества входных сигналов.

При логическом элементе И сигнал на выходе $Y = 1$ (рис. 11.2, в) появляется только в том случае, когда оба входных сигнала равны 1. В остальных случаях $Y = 0$.

В более сложном логическом элементе ИЛИ-НЕ (рис. 11.2, г) при наличии хотя бы одного сигнала на входе ($X_1, X_2 = 1$) сигнал на выходе $Y = 0$, а при отсутствии входных ($X_1, X_2 = 0$) $Y = 1$.

Кроме рассмотренных примеров логические элементы могут выполнять запоминание определенного уровня входного сигнала (операция *Память*), блокировку (операция *ЗАПРЕТ*), выдержку времени на включение и отключение и другие операции.

Триггер. Триггер является одним из наиболее распространенных элементов цифровых устройств управления, обладающий двумя устойчивыми состояниями и способный скачком переходить из одного состояния в другое под воздействием внешнего управляющего сигнала. Триггер может рассматриваться как элементарная ячейка памяти, которая хранит 1 бит информации. Таким образом, триггер может запомнить предварительно установленный в нем уровень логического сигнала 0 или 1 и сохранять этот уровень до момента новой записи. С использованием триггеров строятся различные логические и вычислительные узлы, а также генерирующие устройства и устройства памяти. По способу записи информации различают *RS*-триггер, *JK*-триггер, *D*-триггер, *T*-триггер.

Вычислительные устройства. Эти устройства предназначены для выполнения различных арифметических операций. Вычислительные операции выполняются в цифровых узлах на основе двоичной (цифры 0 и 1), восьмеричной (цифры от 0 до 7) или шестнадцатеричной (цифры от 0 до 9 и шесть латинских букв — А (10), В (11), С (12), D (13), Е (14), F (15)) системы счисления. Шест-

надцатеричная и восьмеричная системы позволяют осуществлять более краткую и удобную запись информации в двоичной форме.

К вычислительным устройствам относятся счетчики, сумматоры и компараторы (устройства сравнения).

Счетчик — это цифровой узел, предназначенный для подсчета числа входных сигналов. Они подразделяются на суммирующие, вычитающие и реверсивные. Реверсивные счетчики обеспечивают как суммирование, так и вычитание чисел, а вычитающие — только вычитание.

Сумматор — это цифровой узел, который выполняет операцию сложения двух чисел. Обычно сумматор представляет собой совокупность одноразрядных суммирующих схем, работающих в соответствии с таблицей двоичного сложения. Сумматоры позволяют осуществлять операцию вычитания, для чего операцию вычитания заменяют операцией сложения уменьшаемого с поразрядным дополнением вычитаемого.

Компаратор — это цифровой узел, который выполняет функцию сравнения двух чисел A_n и B_n . В результате сравнения определяется истинность одного из соотношений: $A_n = B_n$; $A_n > B_n$; $A_n < B_n$, каждое из которых фиксируется единичным сигналом на соответствующем выходе.

Логические цифровые узлы. Они осуществляют различные логические операции над дискретными электрическими сигналами. К ним относятся распределители импульсов, шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры и др.

Распределитель импульсов представляет собой цифровой узел, который обеспечивает распределение одноканальной последовательности импульсов по нескольким выходам.

Дешифратор (декодер) осуществляет такое преобразование сигнала на n входах, при котором на одном его выходе вырабатывается сигнал 1, а на всех остальных сохраняются сигналы, равные 0. Обратную операцию выполняет **шифратор**, преобразующий единичный сигнал на одном из входов в двоичное число на нескольких выходах.

Мультиплексор — цифровой узел, обеспечивающий передачу сигналов с нескольких входных линий в одну выходную. Выбор входной линии производится с помощью управляющего импульсного сигнала (кода), подаваемого на управляющие входы мультиплексора. Мультиплексор может быть выполнен на основе схемы дешифратора путем ее небольшого преобразования.

Устройства памяти. Эти устройства предназначены для запоминания, хранения и выдачи информации. К ним относятся регистры, матрицы-накопители и запоминающие устройства (ЗУ): оперативные и постоянные.

Регистр предназначен для записи, запоминания и выдачи многоразрядного двоичного числа и выполнения над ним некото-

рых несложных логических операций. С помощью введения дополнительных связей и логических элементов в регистрах возможно выполнение таких логических операций, как инвертирование кода, сдвиг числа вправо или влево на требуемое число разрядов, передача чисел в другой разряд и т.д.

Матрица-накопитель представляет собой узел памяти с более высоким объемом запоминаемой информации по сравнению с регистром. Основу матрицы составляют триггеры, способные запомнить 1 бит информации (одноразрядное двоичное число). Многоразрядная матрица состоит из одноразрядных матриц, соединенных параллельно. Разновидностью матрицы-накопителя более высокого функционального уровня является программируемая логическая матрица (ПЛМ).

Запоминающие устройства обеспечивают хранение больших объемов информации. ЗУ, обеспечивающие многократную запись и считывание информации, получили название оперативных запоминающих устройств (ОЗУ). Особенность ОЗУ состоит в том, что оно хранит информацию только при наличии питания, а при его потере информация теряется.

Запоминающие устройства, предназначенные для постоянного хранения единовременно записанной информации, получили название постоянных запоминающих устройств (ПЗУ). Эти устройства способны сохранять записанную в них информацию и при потере питания. ПЗУ характеризуются большим объемом хранимой информации, более простыми по сравнению с ОЗУ схемами и меньшим энергопотреблением.

Цифроаналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые (АЦП) преобразователи. Они применяются для взаимного преобразования аналоговых и цифровых сигналов. Могут выполняться в виде преобразователя код — напряжение (ПКН), преобразующего двоичный или двоично-десятичный код в напряжение постоянного тока; преобразователей частота — напряжение (ПЧН) и преобразователей напряжение — частота (ПНЧ), осуществляющих преобразование частоты следования импульсов в напряжение постоянного тока и обратное преобразование.

Примером серийной реализации цифровых устройств управления может служить унифицированная блочная система регулирования УБСР — ДИ, узлы и блоки которой реализованы с использованием отечественных цифровых интегральных микросхем серий К155 и К172 и аналоговых интегральных схем серий К124, К140, К153 и К190.

В состав УБСР — ДИ входят блоки для обработки цифровой информации (формирователь чисел, дискриминатор чисел, арифметическое устройство) и частотных сигналов (генератор частотных сигналов, цифровой интегратор, управляемый делитель частоты), преобразования кода числа в частоту и частоты в код чис-

ла, ввода и вывода информации (регистры памяти входной и выходной, формирователь сигналов импульсных и кодовых датчиков положения, усилители выходные) и связи с аналоговыми элементами схем управления.

11.3. Микропроцессорные средства управления

В настоящее время микропроцессорные средства управления широко применяются во всех областях деятельности человека. Их основой является *микропроцессор* (МП) — программно-управляемое цифровое устройство, предназначенное для обработки информации и управления этим процессом.

Микропроцессор выполняется на основе одной или нескольких больших интегральных схем (БИС), которые состоят из нескольких десятков тысяч простых элементов и могут иметь 24, 40, 48 и 64 вывода. Площадь БИС не превосходит несколько десятков квадратных миллиметров, что определяет малое энергопотребление МП, его надежность в работе, небольшие массу и габаритные размеры, а при массовом выпуске — невысокую стоимость.

Структурная схема микропроцессора показана на рис. 11.3. В нее входят арифметико-логическое устройство АЛУ, устройство управления УУ и регистровое запоминающее устройство РЗУ. Эти три основные части МП соединены тремя линиями связи — шинами данных ШД, адресов ША и управления ШУ.

Арифметико-логическое устройство предназначено для выполнения арифметических и логических операций над данными в виде двоичных чисел. Данные, с которыми производятся эти операции, называются *операндами*. Обычно в операции участвуют два операнда, один из которых находит в специальном регистре — аккумуляторе А, а другой — в регистрах РЗУ или памяти МП. Иногда АЛУ называют операционной частью МП.

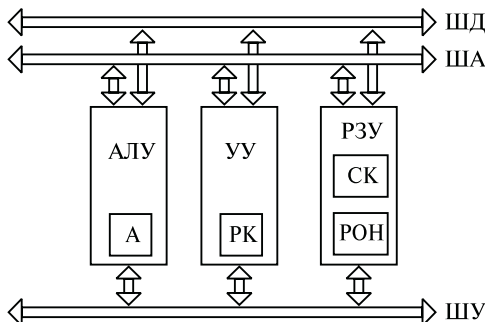


Рис. 11.3. Схема микропроцессора

Регистровое запоминающее устройство содержит несколько регистров общего назначения РОН, а также регистров специального назначения, в частности, счетчик команд СК. Иногда РЗУ называют внутренней памятью МП.

Управляющее устройство предназначено для выработки сигналов управления, обеспечивающих работу блоков МП. В состав УУ входит регистр команд РК, в котором фиксируется выполняемая в данный момент команда.

Команды, обеспечивающие реализацию заданного алгоритма обработки информации, образуют программу, и выполняются в пошаговом режиме строго в записанной последовательности.

Каждая команда программы содержит информацию о том, что нужно делать, с какими операндами и по какому адресу поместить результат операции. Первая часть команды содержит код операции, т.е. информацию о характере выполнения операции над операндами (например, сложение, логическое сравнение и т.д.). Вторая часть команды — адресная — содержит адреса расположения операндов, с которыми производится данная операция, и адрес регистра или ячейки памяти, куда должен быть помещен результат.

Команды, адреса и операнды МП выражаются двоичными многоразрядными числами, представляемыми, как и во всех цифровых устройствах, комбинацией двух уровней напряжения: высокого и низкого. Первые МП оперировали с 4-разрядными числами, а современные ЭП — с 8- и 16-разрядными числами. Использование в МП многоразрядных двоичных чисел позволяет повысить их быстродействие и точность работы.

Программа (совокупность команд) МП может быть записана несколькими способами. Первый из них предусматривает запись команд непосредственно в виде двоичных чисел, т.е. в виде так называемого машинного кода, понятного для данного МП.

Более удобным является использование языков программирования. Языки низкого уровня типа Ассемблер как средство общения с МП включают в себя несколько десятков типовых команд, представленных в условных мнемокодах. Большие возможности и удобства пользователю МП схемами управления предоставляют языки программирования высокого уровня: Фортран, Паскаль МТ+, ПЛ/М, Бейсик-80, СИ, АДА и их разновидности (диалекты). Составленные на этих языках программы далее транслируются (переводятся) с помощью специальных программ, получивших название кросс-программ, в систему машинных кодов, понятных для МП.

Для выполнения функции управления схема МП дополняется целым рядом блоков, в результате чего образуется микропроцессорная система (МПС), структурная схема которой приведена на рис. 11.4.

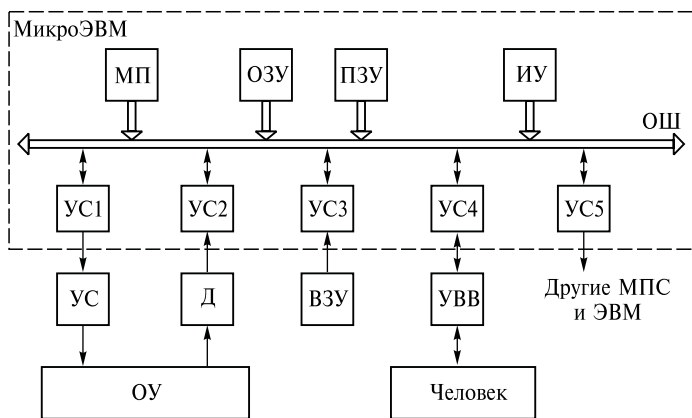


Рис. 11.4. Схема микропроцессорной системы

В состав МПС наряду с МП в общем случае входят устройства памяти оперативной ОЗУ и постоянной ПЗУ, интерфейсное устройство ИУ, устройства сопряжения УС с внешними объектами; внешние запоминающие устройства ВЗУ, устройства ввода-вывода информации УВВ, общая шина ОШ, включающая в себя ШД, ШУ и ША.

ОЗУ и ПЗУ служат для размещения подлежащих обработке данных программы, в соответствии с которой эта обработка должна вестись, и результатов обработки. Для расширения возможностей МПС, кроме ОЗУ и ПЗУ, могут использоваться ВЗУ, к числу которых относятся накопители информации на гибких магнитных дисках, магнитной ленте, кассетные накопители.

Устройства ввода-вывода информации предназначены для обеспечения взаимодействия МПС и человека в удобной для него форме. К УВВ относятся клавиатура пульта управления МПС, печатающая машинка (принтер), графопостроители, устройства визуального представления информации (дисплей) и т. д.

Устройства сопряжения УС обеспечивают связь МПС с различными внешними (периферийными) устройствами. Они могут иметь самые разнообразные схемные и элементные реализации. В частности, для согласования сигналов датчиков Д объекта управления ОУ с МПС используются аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи электрических сигналов, обозначенные на схеме УС1 и УС2.

Устройства сопряжения УС3 и УС4, предназначенные для связи МПС с ВЗУ и УВВ, представляют собой в простейшем случае буферные (промежуточные) регистры памяти для хранения данных, передаваемых с ОШ на внешние устройства или обратно. УС, получившие название контроллеров (микроконтроллеров),

выполняют более сложные функции и их работа может программироваться.

Устройства сопряжения УС5 выполняют согласование работы данной МПС с другими МПС и ЭВМ. Устройства такого типа получили название адаптеров.

Интерфейс устройств — это совокупность электронных схем, шин и алгоритмов (программ), обеспечивающая управление передачей информации между МП, памятью и внешними устройствами, к которым относятся УВВ, ВЗУ и Д. ИУ обеспечивает требуемое взаимодействие МПС с указанными внешними устройствами при изменении режима ее работы. Типичным примером является переход от выполнения одной программы к выполнению другой при поступлении от какого-либо внешнего устройства сигнала управления. Такой переход получил название прерывания. После завершения прерывающей программы ИУ обеспечивает возврат МПС к работе по прерванной программе. Примерами ИУ являются таймер, блок прямого доступа к памяти, блок организации прерываний.

По назначению и своим характеристикам различают следующие виды МПС.

1. Унифицированные блочные микропроцессорные комплексы и программируемые логические контроллеры, которые предназначены для создания локальных систем автоматического управления отдельных агрегатов, технологических комплексов и промышленных систем.

2. Специализированные мини-ЭВМ и микроЭВМ, которые ориентированы на конкретный тип объекта управления и наиболее часто используются как встраиваемые.

3. Мини-ЭВМ и микроЭВМ общего назначения, персональные ЭВМ, управляющие мини-ЭВМ и микроЭВМ, которые имеют в своем составе широкий набор устройств сопряжения, ввода-вывода и обладают возможностью выполнения больших объемов вычислительных операций. В связи с этим они применяются при решении сложных задач управления: оптимизация технологических процессов, статистические методы их контроля, хранение и обработка больших объемов информации, управление в реальном масштабе времени и др.

11.4. Программируемые контроллеры

Программируемые контроллеры (ПК) представляют собой МПС, предназначенные для управления локальными объектами в реальном масштабе времени. Появившиеся как средство для замены релейной автоматики и устройств жесткой логики на ИС малой и средней степени интеграции ПК в настоящее время пред-

ставляют собой класс МПС, ориентированных на широкое использование в промышленной среде для решения самых разнообразных задач автоматизации.

Для этого ПК имеют соответствующее конструктивное исполнение и специальное программное обеспечение, легко осваиваемое персоналом, не имеющим специальной подготовки в области программирования.

Принцип действия ПК иллюстрирует рис. 11.5. Основную часть схемы ПК образуют запоминающее устройство ЗУ, в котором содержится программа его работы; логический процессор ЛП (арифметико-логическое устройство), осуществляющий логические операции над последовательно вводимыми в него сигналами; коммутатор входных К1 и выходных К2 сигналов; устройства сопряжения ПК с входными УС1 и выходными УС2 сигналами; память П, в которую поступают результаты выполнения логических операций.

Входные сигналы $U_{вх1}$, $U_{вх2}$, ..., $U_{вх3}$, содержащие информацию о ходе технологического процесса, режимах работы отдельных частей управляемого объекта, состоянии защиты, поступают на вход УС1, которое обеспечивает их гальваническую развязку и формирование из них сигналов, соответствующих величине и виду используемым в данном ПК.

Сформированные таким образом сигналы поступают на вход К1, который последовательно подает на ЛП тот из них, адрес которого содержит в очередной команде, поступающей из ЗУ.

После выполненных ЛП преобразований, которые также определяются заложенной в ЗУ программой, сигналы через коммутатор К2 поступают в регистр памяти П и далее через УС2 на выход ПК.

В качестве входных допускаются сигналы напряжением 5...250 В постоянного или переменного тока, общее число которых может достигать тысячи и более.

Выходные устройства сопряжения УС2 обычно строятся на основе оптронных тиристоров, обеспечивающих гальваническую развязку выходных цепей и позволяющих управлять достаточно мощными исполнительными устройствами — реле, контакторами, катушками электромагнитов и т. д.

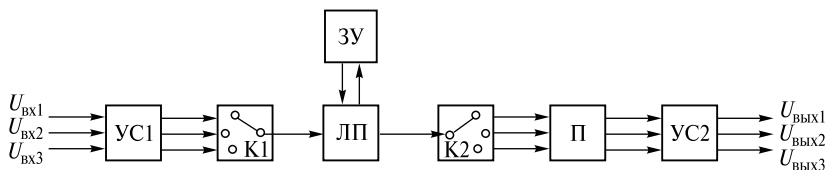


Рис. 11.5. Схема программируемого контроллера

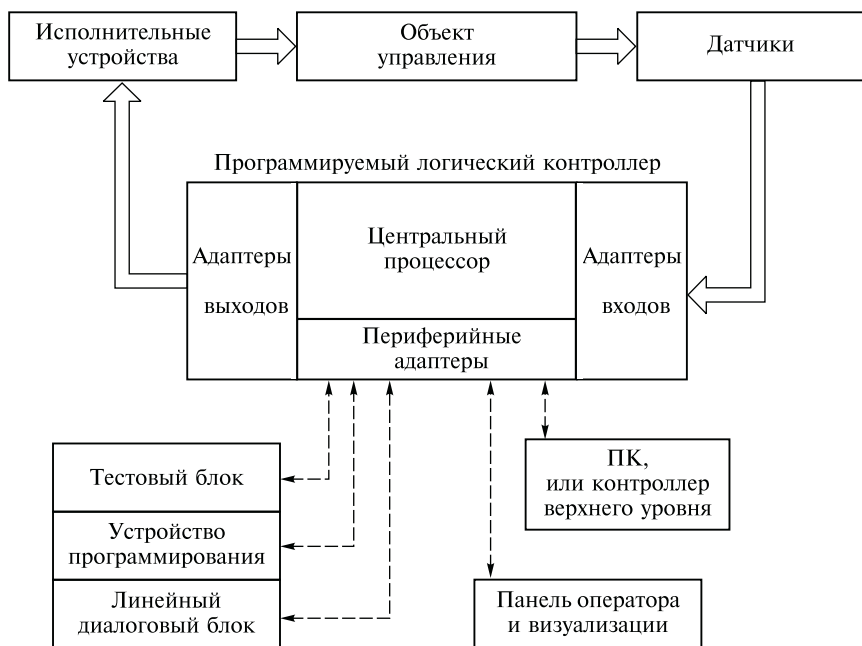


Рис. 11.6. Использование программируемого контроллера в схеме управления

Программирование ПК ведется на проблемно-ориентированных языках, специализированных для решения задач дискретного логического управления. К ним относятся:

- графические языки релейно-контакторных схем (РКС);
- графические языки логических схем, использующие типовые логические функции;
- языки мнемонического символьного кодирования в виде набора строк-уравнений сложных булевых выражений;
- языки ассемблерного типа;
- проблемно-ориентированные языки высокого уровня — Графсет, Ярус-2, Фокон-2 или модифицированные традиционные языки программирования (Бейсик, Паскаль).

На рис. 11.6 показана схема, иллюстрирующая применение ПК в структуре управления некоторым объектом. Российские производители выпускают ПК типов С100, С200, С300 (АО «АвтоВАЗ», г. Тольятти); МПК-01 и МКАУ-011 (ВФ «Элна», г. Москва); МФК, ТКМ51, ТКМ52 (АО «ТЕКОН»); VME и АТ96 («ЭЗАН», Черноголовка, Московская обл.); ЭК 2000 («ЭМИКОН», г. Москва); КУРС-2000 (НТЦ «Контроллеры и управляющие распределенные системы», г. Москва); ДС4001, ДС4002 («Дискретные системы», г. Москва); ВИРА-ПКМ (СКБ РАН г. Таруса), MIF («Торнадо», г. Новосибирск), QС1С («Наузилус», г. Москва).

11.5. Оптоэлектронные приборы

Полупроводниковые оптоэлектронные приборы являются приборами, чувствительными к электромагнитному излучению в спектральном диапазоне от инфракрасного до ультрафиолетового или излучающими электромагнитную энергию в том же диапазоне. Оптоэлектронные приборы широко используются для передачи, обработки и отображения информации, а также в различных устройствах при необходимости обеспечения гальванической развязки между электрическими цепями, например между схемой управления и силовой частью силового преобразователя электроэнергии. Применение находят следующие виды оптоэлектронных приборов.

Светоизлучающий диод (СИД) — это полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования электрической энергии в энергию светового излучения. В основном применяется для индикации готовности электротехнических устройств к работе, сигнализации о наличии на нем напряжения и аварийных ситуаций и других состояний различных объектов.

Светоизлучающие диоды выпускаются в металлических корпусах со стеклянной линзой, создающей острую направленность излучения, в пластмассовых корпусах из оптически прозрачного цветного компаунда, создающего рассеянное излучение, и бескорпусными. СИД в пластмассовых корпусах применяются также для набора матриц и линейных шкал, служащих средствами светового отображения крупноразмерной информации.

По ОСТ 11.339.015—81 обозначение светоизлучающих индикаторов содержит восемь элементов: первый И — индикатор; второй П — полупроводниковый; третий Д — единичный СИД или М — СИД для мнемонических табло; четвертый — номер разработки (01...69 — прибор без схемы управления, 70...100 — со схемой управления); пятый — группа прибора; шестой — число диодов в индикаторе; седьмой — буква, обозначающая цвет диода; восьмой — цифра, обозначающая модификацию прибора (5 — бескорпусной прибор).

Нижний предел рабочего напряжения СИД лежит в пределах 2,5...3,5 В, а прямые токи составляют единицы и десятки микроампер.

Инфракрасный излучающий диод (ИК-диод) — это полупроводниковый диод, который при протекании по нему прямого тока излучает электромагнитную энергию в инфракрасной области света. Это излучение не воспринимается человеческим глазом и может регистрироваться лишь фотоприемником, чувствительным к соответствующей полосе спектра.

Принцип работы, исполнение и основные области применения у ИК-диодов те же, что и у СИД. Кроме того, они применяются в устройствах и линиях, требующих оптической связи или

гальванической развязки, а также в различных датчиках контроля и автоматики технологических процессов. Постоянное прямое напряжение ИК-диодов составляет несколько вольт, а постоянный прямой ток — несколько десятков или сотен микроампер.

Фоторезистор — это полупроводниковый прибор, сопротивление которого меняется в зависимости от его освещенности.

Фотодиод — это диод, проводимость которого возникает при воздействии на него оптического излучения.

Фототиристор — это прибор, который переходит из одного устойчивого состояния в другое в результате воздействия на него светового потока.

Фототранзистор — это полупроводниковый прибор, действие которого основано на использовании явления внутреннего эффекта.

Оптопара — это оптоэлектронный полупроводниковый прибор, состоящий из излучающего и фотоприемного элементов, между которыми есть оптическая связь и обеспечена электрическая изоляция (гальваническая развязка). Излучателем в оптопаре может служить СИД, ИК-диод или сверхминиатюрная лампочка накаливания. В зависимости от вида фотоприемного элемента различают резисторные, диодные, транзисторные и тиристорные оптопары. Условное изображение этих оптопар представлены соответственно на рис. 11.7.

В резисторной оптопаре (рис. 11.7, *а*) используется фоторезистор, сопротивление которого уменьшается под воздействием излучения. Резисторные оптопары типа ОЭП используются в аналоговых и ключевых устройствах, имеют входное напряжение 3,8...5,8 В и выходной ток 0,2...20 мА и содержат один или два фоторезистора (ОЭП-7, 14 и 16).

В диодной оптопаре (рис. 11.7, *б*) используется фотодиод на основе кремния, а излучателем служит ИК-диод. Диодные оптопары АОД101(А, Б, В, Г), АОД107(А, Б, В), ЗОД101(А, Б, В, Г), ЗОД107(А, Б) выпускаются в металlostеклянных и пластмассовых корпусах и имеют входные напряжения 1,5...1,8 В и выходное обратное напряжение 15...20 В. Оптопары АОД112А-1, ЗОД112А-1, АОД120(А-1, Б-1), ЗОД121(А-1, Б-1, В-1), АОД201, ЗОД201 имеют примерно те же основные параметры и выпускаются в бескорпусном исполнении. Диодные оптопары АОД109 (А,

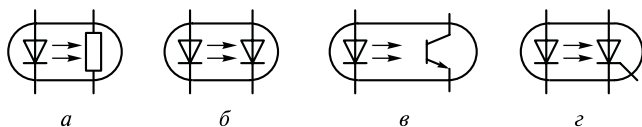


Рис. 11.7. Условные изображения оптопар:

а — резисторная; *б* — диодная; *в* — транзисторная; *г* — тиристорная

Б, В, Г, Д, Е, Ж, И) и ЗОД109(А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, И) состоят из трех отдельных оптопар.

В транзисторной оптопаре (рис. 11.7, в) фотоприемником является фототранзистор. Обозначение транзисторных оптопар: малой мощности — АОТ123, 126, 128 и ЗОТ123, 126; средней мощности — АОТ110, 122, 127 и АОТ110,122, 127; двухканальных — АОТ101.

В тиристорной оптопаре (рис. 11.7, г) в качестве приемного элемента используется кремниевый фототиристор. Маломощные оптотиристоры выпускаются в составе серии АОУ103(А, Б, В) и ЗОУ103(А, Б, В, Г, Д) в металлокерамическом корпусе и АОУ115(А, Б, В) в пластмассовом корпусе.

Мощные оптотиристоры типа ТО115 выпускаются на ток 10 А и рабочие напряжения 100... 1 000 В; типа ТО132 — на токи 25 и 40 А и напряжения 200... 1 200 В; типа ТО 142 и ТО 165 — на токи 50, 63, 80 А и напряжения 200... 1 200 В.

Тиристоры оптронные симметричные (оптосиммисторы) типа ТСО 142, 152 выпускаются на токи до 80 А и напряжения до 1200 В. Модули оптотиристорные МТОТО и оптотиристорно-диодные МТОД выпускаются на токи до 160 А и напряжения до 1 200 В, а МТО2 на токи до 25 А и напряжения до 1 400 В.

Контрольные вопросы

1. Какие элементы называются аналоговыми?
2. Что такое операционный усилитель?
3. Какие существуют типы регуляторов в схемах автоматики?
4. Что такое логический элемент?
5. Что такое триггер?
6. Какую структуру имеет микропроцессор и микропроцессорная система?
7. Что такое программируемый контроллер?
8. Какие виды оптоэлектронных приборов вы знаете?
9. Что такое оптопара?

СИЛОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

12.1. Общая характеристика преобразователей

Преобразователем называется электротехническое устройство, преобразующее электроэнергию одних параметров или показателей качества в электроэнергию с другими значениями параметров или показателей качества. Параметрами электроэнергии являются род тока и напряжения, их частота, число фаз, фаза напряжения. По виду преобразования электроэнергии преобразователи подразделяются на следующие виды:

- выпрямители, преобразующие переменный ток в постоянный;
- инверторы, преобразующие постоянный ток в переменный;
- регуляторы напряжения переменного тока, преобразующие напряжение переменного тока одной величины в напряжение переменного тока другой величины при той же частоте;
- преобразователи частоты, преобразующие напряжение переменного тока одной частоты в напряжение переменного тока другой частоты;
- регуляторы напряжения постоянного тока, преобразующие напряжение постоянного тока одной величины в напряжение постоянного тока другой величины;
- преобразователи фаз, осуществляющие изменение числа фаз напряжения переменного тока.

К преобразователям можно отнести также полупроводниковые (бесконтактные) коммутационные аппараты, агрегаты (системы) бесперебойного питания и стабилизаторы напряжения.

Если силовая часть преобразователей построена на полупроводниковых приборах (диодах, транзисторах, тиристорах или их модулях), преобразователь называется полупроводниковым. Достоинствами таких преобразователей являются их высокие КПД, быстродействие и срок службы, отсутствие электромеханических контактов, широкие возможности по автоматизации работы электроустановок и технологического обслуживания.

К недостаткам преобразователей этого типа относятся низкие перегрузочная способность полупроводниковых приборов и их помехозащищенность, а также вносимые при их работе искажения в синусоидальную форму питающего напряжения.

12.2. Силовые полупроводниковые приборы и модули

Диоды. Диодом называется двухэлектродный (анод—катод) полупроводниковый прибор с односторонней проводимостью, который проводит ток при наличии на его аноде более высокого электрического потенциала по сравнению с его катодом (прямое напряжение). При подаче на диод обратного напряжения он перестает пропускать ток (закрывается).

Диоды используются во всех видах преобразователей и в первую очередь в выпрямителях. Обозначение диода приведено на рис. 12.1, *а*.

Для охлаждения силовых диодов используются специальные охладители (радиаторы), по способу соединения с которыми диоды подразделяются на штыревые, фланцевые и таблеточные.

По своим характеристикам и назначению диоды бывают общего назначения, быстровосстанавливающиеся (высокочастотные) и диоды Шоттки.

Диоды общего назначения применяются в устройствах, которые работают на частотах электрических сигналов до 1 кГц (чаще всего — 50 Гц). Наиболее мощные диоды этого типа имеют рабочие токи до 5 кА и напряжения до 5 кВ. Падение напряжения на диодах этой группы составляет 1,5... 3 В.

Быстровосстанавливающиеся диоды имеют небольшое время восстановления запирающих свойств — порядка 3... 5 мкс, что позволяет использовать их в высокочастотных цепях и устройствах — до 10 кГц и более. Мощные диоды этого типа выпускаются на токи до 1 кА и напряжения до 3 кВ.

Диоды Шоттки, имея очень малое время восстановления (не более 0,3 мкс), находят применение в высокочастотных и импульсных цепях низкого напряжения (обычно до 100 В). В табл. 12.1 приведены данные диодов общего назначения (обозначения Д, В и ДЛ, ВЛ — лавинные) и быстровосстанавливающих (обозначения ДЧ и ВЧ).

Кроме отдельных диодов выпускаются силовые диодные модули, представляющие собой два или более диодов, собранных по определенным, наиболее часто встречающимся схемам. Модули

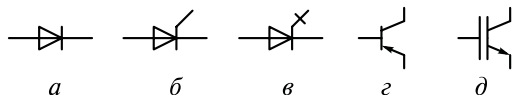


Рис. 12.1. Условные изображения:

а — диода; *б* — тиристора однооперационного; *в* — тиристора двухоперационного; *г* — транзистора; *д* — транзистора полевого с изолированным затвором

Технические характеристики силовых диодов

Тип прибора	I_{FSM} , кА	U_{RRM} , В	U_{FM} , В (не более)	Масса, кг
B10; B25	0,5; 0,9	До 1 600	1,35	До 0,084
B50	2,0	До 1 600	1,35	0,19
B200, B320	6,0	До 1 600	1,35; 1,6	0,5; 1,1
B6-200	6,0	До 1 600	1,35	0,29
B500	9,0	До 3 800	2,0	0,31
B800	15,0	До 2 400	1,85	0,31
B2-320	6,5	До 4 000	1,9	0,15
B2-500	7,0	До 3 000	1,8	0,47
B2-1600	28,0	До 1 600	1,5	0,4
Д112-10; Д112-16	0,21; 0,25	До 1 400	1,35	0,006
Д112-25; Д122-32	0,3; 0,4	До 1 400	1,35	0,006; 0,012
Д122-40; Д132-50	0,5; 1,0	До 1 400	1,35	0,012; 0,027
Д132-63; Д132-80	1,1; 1,2	До 1 400	1,35	0,027
Д133-400	7,0	До 4 000	2,1	0,2
Д133-500	9,0	До 2 800	1,7	0,2
Д143-630	10,0	До 4 000	1,6	0,28
Д133-800; Д143-1000	12; 18,0	До 1600	2,1; 1,55	0,2; 0,28
Д143-800	15,0	До 2 800	1,7	0,28
Д253-1600	28,0	До 2 000	1,5	0,55
Д141-100; Д151-125	1,9; 2,2	До 1 600	1,45; 1,35	0,1; 0,18
Д151-160; Д161-200	3,0; 5,5	До 1 600	1,35	0,18; 0,3
Д161-250; Д161-320	6,4; 7,5	До 1 600	1,35	0,3
Д171-400	10,5	До 1 600	1,5	0,51
ВЛ10; ВЛ25	0,5; 0,9	До 1 200	1,35	0,045; 0,084

Тип прибора	I_{FSM} , кА	U_{RRM} , В	U_{FM} , В (не более)	Масса, кг
ВЛ50	2,0	До 1 200	1,35	0,19
ДЛ112-10; ДЛ112-16	0,21; 0,25	До 1 500	1,35	0,006
ДЛ112-25; ДЛ112-32	0,27; 0,4	До 1 500	1,35	0,006; 0,012
ДЛ122-40; ДЛ132-50	0,5; 1,0	До 1 500	1,35	0,012; 0,027
ДЛ132-63; ДЛ132-80	1,1; 1,2	До 1 500	1,35	0,027
ВЛ200; ВЛ320	6,0; 6,6	До 1 200	1,35; 1,6	0,5; 1,1
ДЛ161-200; ДЛ171-320	5,5; 7,5	До 1 400	1,45	0,3; 0,51
ДЛ121-320; ДЛ133-500	5,5; 7,5	До 1 400	1,45	0,07; 0,2
ДЧ151-80; ДЧ151-100	2,4; 2,7	До 1 400	1,85; 1,55	0,18
ДЧ161-125; ДЧ161-160	4,5; 5,0	До 1 400	1,8; 1,45	0,29
ДЧ171-250; ДЧ171-320	8,0; 9,0	До 1 400	2,1; 1,65	0,51
ДЧ143-800; ДЧ143-1000	12,0; 14,5	До 1 800	3,0; 2,3	0,2
ВЧ2-160; ВЧ2-200	3,5; 4,3	До 1 000	1,75; 1,55	0,42

Примечания:

1. I_{FSM} — ударный неповторяющийся прямой ток; U_{RRM} — повторяющийся импульс обратного напряжения; U_{FM} — импульсное падение напряжения в открытом состоянии.

2. Второе число в обозначении — номинальный ток диода А.

имеют в своем обозначении первую букву М, например диодный модуль М2Д-400.

Тиристоры. Тиристором называется трехэлектродный (анод—катод—управляющий электрод) полупроводниковый прибор, который пропускает ток при более высоком потенциале анода по отношению к катоду и наличии на управляющем электроде электрического импульса управления. Тиристоры подразделяются на незапираемые (однооперационные), запираемые (двухоперационные), проводящие в обратном направлении (тиристоры—диоды) и симметричные тиристоры. Условное изображение используемых одно- и двухоперационных тиристоров приведено соответственно на рис. 12.1, б, в.

Незапираемые (однооперационные) тиристоры являются неполностью управляемыми приборами, поскольку могут закры-

ваться только при более высоком потенциале катода по отношению к аноду (обратное напряжение).

Запираемые (двухоперационные) тиристоры закрываются при подаче на управляющий электрод отрицательного сигнала управления, т. е. являются полностью управляемыми приборами. Наиболее мощные тиристоры имеют рабочие токи до 5 кА и более и напряжения до 6 кВ. Обозначения силовых тиристоров: обычного исполнения — Т и ТЛ (лавинные), ТБИ и ТЧ — быстровосстанавливающиеся и высокочастотные, ТС — симметричные (триаки), ТД — тиристоры-диоды, ТЗ — запираемые тиристоры. Разновидностью тиристоров являются оптотиристоры, которые управляются световым потоком и имеют обозначение ТО.

По своему конструктивному исполнению тиристоры бывают штыревые, фланцевые и таблеточные. Для охлаждения тиристоров используются охладители (радиаторы), выполненные из алюминиевых или медных (реже) сплавов. В табл. 12.2 приведены данные тиристоров Т, ТЛ, ТБ, ТЧ и ТС.

Таблица 12.2

Технические характеристики силовых тиристоров

Тип прибора	I_{TSM} , кА	U_{DRM} , В	U_{TM} , В (не более)	Масса, кг
T112-10; T112-16	0,15; 0,2	До 1 800	1,85; 1,8	0,007
T 122-20; T122-25	0,3; 0,35	До 1 800	1,75	0,012
T130-40; T130-50	0,75; 0,8	До 1 200	1,75	0,013
T 130-63; T130-80	1,2; 1,35	До 1 200	1,65	0,026
T 132-40; T132-50	0,75; 0,8	До 1 200	1,75	0,027
T 132-16; T132-25	0,22; 0,33	До 2 000	2,2	0,027
T 142-32	0,38	До 2 000	2,1	0,053
T142-40; T142-50	0,7; 0,75	До 2 000	2,1	0,053
T142-63; T142-80	1,2; 1,35	До 200	1,65	0,053
T152-63; T152-80	1,1; 1,2	До 2 000	1,95	0,84
T25; T50	0,8; 1,5	До 1 400	1,9; 1,75	0,12; 0,19
T100; T160	3,0; 3,5	До 1 400	1,95; 1,75	0,44
T123-200; T123-250	3,3; 4,5	До 1 600	1,9; 1,75	0,07
T 123-320	5	До 1 600	1,65	0,07

Тип прибора	I_{TSM} , кА	U_{DRM} , В	U_{TM} , В (не более)	Масса, кг
T 133-320	6	До 2 000	2,0	0,2
T 133-400	7	До 1 600	1,75	0,2
T 143-400	8	До 2 400	2,15	0,28
T143-500; T143-630	10; 12	До 1 600	1,8; 1,75	0,28
T151-100	2,0	До 1 600	1,85	0,18
T161-125; T161-160	2,5; 3,3	До 1 600	1,75	0,3
T171-200; T 171-250	5; 6	До 1 600	1,75	0,51
T171-320	7	До 1 600	1,6	0,51
T153-630	14	До 2 400	2,1	0,55
T 153-800	16	До 1 800	1,9	0,55
T253-800	16	До 2 400	2,1	0,55
T253-1000	20	До 1 800	1,8	0,55
T253-1250	26	До 1 200	1,6	0,55
T353-800	15	До 3 200	2,3	0,55
T 173-1250	20	3 000	2,5	1,6
T2-160	3,5	До 1 000	1,6	0,3
T2-250	5,5	До 1 600	1,85	0,15
T2-320	8,5	До 1 400	2,1	0,31
T3-320	6,8	До 2 400	2,3	0,31
T500	9,5	До 1 600	2,1	0,31
T630	13	До 2 400	2,3	0,345
T800; T1000	14; 18	До 1 800	2,1	0,345; 0,375
T2-800	16	До 2 400	2,3	0,375
ТБ151-50;ТБ151-63	1,0; 1,1	До 1 200	2,5; 2,15	0,18
ТБ 161-80; ТБ161-100	2,2; 2,5	До 1 200	2,6; 2,15	0,29

Тип прибора	I_{TSM} , кА	U_{DRM} , В	U_{TM} , В (не более)	Масса, кг
ТБ133-200; ТБ133-250	5,2; 5,5	До 1 200	2,4; 2,0	0,2
ТБ320	6	До 1 200	2,8	0,42
ТБ400	7	До 1 000	2,1	0,42
ТБ143-320; ТБ143-400	6; 7	До 1 200	2,5; 2,1	0,28
ТБ 153-630; ТБ153-800	10; 12	До 1 200	2,2; 1,8	0,56
ТБ253-800; ТБ253-1000	20; 21	До 1 400	2,25; 1,9	0,6
ТБ2-160; ТБ3-200	4; 4,5	До 1 200	2; 1,7	0,47
ТБ171-160; ТБ171-200	4; 2,5	До 1 200	2; 1,75	0,51
ТЛ2-160	3,5	До 900	1,9	0,42
ТЛ-200	4	До 1 100	1,6	0,42
ТЛ-250	4,5	До 1 100	1,8	0,7
ТЛ171-250; ТЛ171-320	6,8; 7,5	До 1 100	2,05; 1,65	0,51
ТЧ-25; ТЧ-40	0,7; 0,9	До 900	3,05; 1,95	0,12
ТЧ-50; ТЧ-63	1,7; 2	До 900	2,90; 2,35	0,2
ТЧ-80	2,4	До 900	2,6	0,35
ТЧ-100; ТЧ-125	2,8; 3,4	До 1 200	2,0; 1,85	0,35
ТЧИ-100	2,4	До 1 200	2,0	0,35
ТС2-10; ТС2-16	0,08; 0,1	До 1 100	2,0	0,012
ТС2-25; ТС2-40	0,12; 0,2	До 1 100	2,0	0,012
ТС2-50; ТС2-63	0,23; 0,25	До 1 100	2,0	0,04
ТС2-80	0,33	До 1 100	2,0	0,04
ТС80; ТС125	1,2; 1,5	До 1 200	2,3; 1,46	0,44
ТС160	1,7	До 1 200	1,45	0,44
ТС161-100; ТС161-125	1,0; 1,5	До 1 200	1,45	0,298

Тип прибора	I_{TSM} , кА	U_{DRM} , В	U_{TM} , В (не более)	Масса, кг
ТС161-160; ТС161-200	1,8; 2,3	До 1 200	1,75; 1,6	0,298
ТС171-250; ТС171-320	3,0; 3,3	До 1 200	1,7; 1,5	0,510

Примечания:

1. I_{TSM} — ударный неповторяющийся прямой ток; U_{DRM} — повторяющийся импульс напряжения в закрытом состоянии; U_{TM} — импульсное напряжение в открытом состоянии.

2. Второе число в обозначении — номинальный ток тиристора.

Тиристоры запираемые типа ТЗ132, ТЗ142, ТЗА142, ТЗА152 и ТЗА165 выпускаются на токи от 40 до 320 А и напряжения до 1 400 В.

Тиристорные и тиристорно-диодные модули представляют собой приборы, включающие в себя два или более соответствующих элементов, собранных по схемам типовых узлов силовых схем преобразователей. Кроме основных силовых приборов они могут включать и дополнительные вспомогательные элементы, осуществляющие функции защиты и согласования параметров цепей.

Модули тиристорные МТТ выпускаются на токи до 200 А и напряжения до 1 600 В. Модули тиристорно-диодные МТД имеют рабочие токи до 250 А и напряжения до 1 600 В. Модули на быстродействующих тиристорах типа МТБТБ имеют рабочие токи до 125 А и напряжения до 1200 В, а на запираемых тиристорах МТЗ1 и МТЗ4 — соответственно до 200 А и 1 400 В.

Транзистор. Транзистором называется трехэлектродный (эмитер — коллектор — база) полупроводниковый полностью управляемый прибор, который в зависимости от сигнала управления может находиться в закрытом (низкая проводимость) или открытом (высокая проводимость) состоянии. Он может работать как в усилительном, так и ключевом режимах, последний из которых обычно используется в силовых преобразователях. В открытом состоянии транзистор проводит ток и падение напряжения на нем мало, в закрытом состоянии он способен выдерживать прямое напряжение и его ток при этом имеет небольшое значение.

В качестве силовых чаще всего используются следующие типы транзисторов:

- полевые МОП-транзисторы (транзисторы типа металл — оксид — полупроводник) и полевые со статической индукцией, имеющие обозначение СИТ. МОП-транзисторы называются также униполярными транзисторами;
- биполярные обычные и биполярные транзисторы с изолированным затвором (БИЗ).

Каждый тип транзистора имеет свои особенности и соответственно области рационального применения. Полевые транзисто-

Технические характеристики биполярных силовых транзисторов

Параметр	ТК235-20	ТК235-25	ТК235-32	ТК235-40	ТК152-50	ТК152-63
Постоянный ток коллектора, А	20	25	32	40	50	63
Напряжение коллектор—эмиттер, В	100, 200, 300, 400, 500				100, 200, 300, 400	
Импульсный ток коллектора, А	32	40	50	63	80	100
Масса, кг	0,025	0,025	0,025	0,025	0,056	0,056

ры применяются при частотах коммутации до 100 кГц и способны коммутировать токи до нескольких сотен ампер при напряжении до полутора киловольт. Биполярные транзисторы могут иметь примерно те же уровни токов и напряжений, а их рабочие частоты лежат в пределах 20 кГц. Достоинствами БТИЗ-транзисторов являются низкие потери мощности в открытом состоянии и высокое входное сопротивление цепи управления.

Условные изображения транзисторов обычного и полевого с изолированным затвором приведены соответственно на рис. 12.1, *з*, *д*.

В табл. 12.3 приведены данные силовых биполярных транзисторов, транзисторов фланцевого исполнения ТК235 и штыревого исполнения ТК152.

В преобразователях силовые транзисторы применяются чаще всего в составе модулей, которые получили название силовых интеллектуальных модулей. Такие модули, кроме силовых транзисторов, содержат элементы, которые обеспечивают их защиту от перенапряжений, перегрузок по току и температуре, а также соединение с другими блоками преобразователей. В табл. 12.4 приведены данные отечественных модулей с БТИЗ.

Таблица 12.4

Технические характеристики модулей с БТИЗ

Тип модуля	$U_{к-э}$, В	I_k , А	P_{max} , Вт
М2ТКИ-400-06	600	400	1 400
М2ТКИ-50-12	1 200	50	400
МДТКИ-50-12	1 200	50	400

Тип модуля	$U_{к-э}$, В	I_k , А	P_{max} , Вт
МТКИД-50-12	1 200	50	400
М2ТКИ-75-12	1 200	75	625
МДТКИ-75-12	1 200	75	625
МТКИД-75-12	1 200	75	625
М2ТКИ-100-12	1 200	100	800
МДТКИ-100-12	1 200	100	800
МТКИД-100-12	1 200	100	800
М2ТКИ-150-12	1 200	150	1 250
МДТКИ-150-12	1 200	150	1 250
МТКИД-150-12	1 200	150	1 250
МТКИ-200-12	1 200	200	1 550
М2ТКИ-200-12	1 200	200	1 400
МДТКИ-200-12	1 200	200	1 400
МТКИД-200-12	1 200	200	1 400
МТКИ-300-12	1 200	300	2 500
МТКИ-400-12	1 200	400	2 800
М2ТКИ-600-12	1 200	600	3 900
М2ТКИ-800-12	1 200	800	500
МТКИ-1200-12	1 200	1200	7 800
М2ТКИ-50-17	1 700	50	500
МДТКИ-50-17	1 700	50	500
МТКИД-50-17	1 700	50	500
М2ТКИ-75-17	1 700	75	625
МДТКИ-75-17	1 700	75	625
МТКИД-75-17	1 700	75	625
М2ТКИ-100-17	1 700	100	1 000

Тип модуля	$U_{к-э}$, В	I_k , А	P_{max} , Вт
МДТКИ-100-17	1 700	100	1 000
МТКИД-100-17	1 700	100	1 000
М2ТКИ-150-17	1 700	150	1 250
МДТКИ-150-17	1 700	150	1 250
МТКИД-150-17	1 700	150	1 250
МТКИ-200-17	1 700	200	1 750
МТКИ-300-17	1 700	300	2 500
МТКИ-1200-33	3 300	1 200	13 000

12.3. Выпрямители

Выпрямители широко применяются в электроприводе, электромеханических и электрометаллургических установках, на электрическом транспорте, при электролизе, в зарядных устройствах, линиях электропередач постоянного тока и во многих других случаях, когда требуется постоянное напряжение. Выпрямители классифицируются по нескольким признакам.

По числу фаз напряжения переменного тока выпрямители подразделяются на однофазные и трехфазные, по виду схемы силовой части — на мостовые и с нулевым выводом. По характеру выходного напряжения постоянного (выпрямленного) тока выпрямители делятся на регулируемые, у которых оно может изменяться как по величине, так и по полярности, и нерегулируемые, которые не имеют таких возможностей. Выпрямители, позволяющие изменять полярность своего выходного напряжения, называются *реверсивными*, они состоят обычно из двух комплектов нереверсивных выпрямителей.

В силовой части неуправляемых выпрямителей используются диоды и их модули, а управляемых — тиристоры. Для согласования уровней напряжения переменного (входного) и постоянного (выходного) напряжений в схемах выпрямителей используются трансформаторы, которые при этом обеспечивают одновременно и гальваническую развязку цепей переменного и постоянного тока.

На рис. 12.2, а в качестве примера приведена схема однофазного тиристорного управляемого нереверсивного выпрямителя с нулевым выводом. В состав выпрямителя входят два тиристора $VS1$

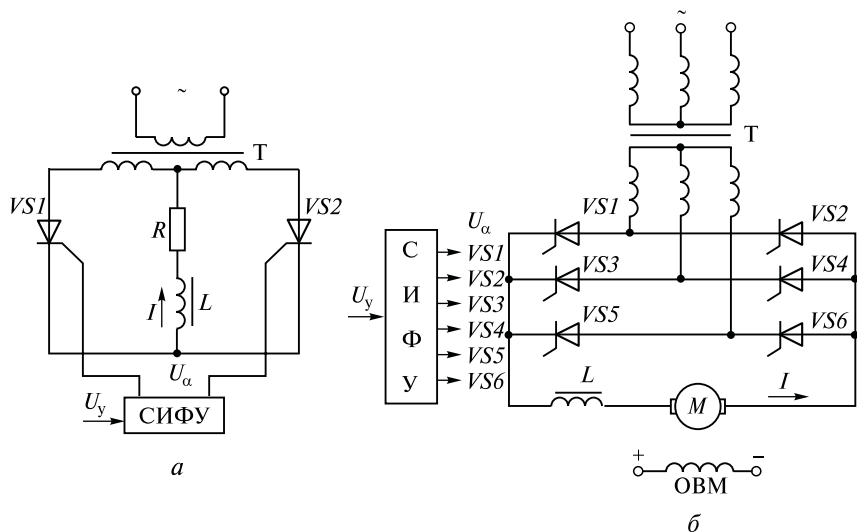


Рис. 12.2. Схемы выпрямителей:

а — однофазного с нулевым выводом; *б* — трехфазного мостового

и *VS2*, подключенные ко вторичным обмоткам трансформатора *T* и обеспечивающие на нагрузке *R* двухполупериодное выпрямленное и регулируемое по величине напряжение. Управление тиристорами осуществляется с помощью подаваемых на их управляющие электроды от системы импульсно-фазового управления (СИФУ) импульсов управления U_α . Изменяя с помощью сигнала управления U_y момент подачи импульсов на тиристоры, можно осуществлять регулирование напряжения на нагрузке.

На рис. 12.2, *б* приведена схема трехфазного мостового выпрямителя на шести тиристорах *VS1... VS6*, нагрузкой которого является якорь двигателя постоянного тока *M*. На схеме также показан реактор *L*, который включается в цепь выпрямленного тока для сглаживания его пульсаций, и обмотка возбуждения *ОВМ*. Другие возможные схемы выпрямителей рассмотрены в [22].

В табл. 12.5 приведены соотношения, которые связывают параметры цепей переменного и постоянного тока для разных схем выпрямления при активной нагрузке выпрямителя. В ней приняты обозначения: U_2 , I_2 — действующие значения соответственно напряжения сети (вторичной обмотки трансформатора) и переменного тока; U_{cp} , I_{cp} — средние значения выпрямленных напряжения и тока; $U_{обр\ max}$ — максимальное обратное напряжение, прикладываемое к вентилю (диоду или тиристор); S_1 — расчетная мощность переменного тока (типичная мощность трансформатора); P_{cp} — мощность нагрузки на стороне постоянного тока.

Соотношения между токами и напряжениями в выпрямителях

Схема выпрямления	$U_{ср}/U_2$	$U_{обр\ max}/U_{ср}$	$I_2/I_{ср}$	$S_1/P_{ср}$	Коэффициент пульсаций, %
Однополупериодная	0,45	3,14	0,785	1,48	157
Однофазная нулевая	0,9	3,14	0,785	1,48	67
Однофазная мостовая	0,9	1,57	1,11	1,23	67
Трехфазная нулевая	1,17	2,09	0,585	1,37	25
Трехфазная мостовая	2,34	1,05	0,817	1,05	6

В табл. 12.6 приведены данные управляемых выпрямителей, применяемых для питания цепей якоря и возбуждения двигателей постоянного тока и цепей возбуждения синхронных двигателей. Буква Р в обозначении характеризует возможность изменения полярности (реверса) напряжения выпрямителей.

Выпрямители серии В-ТПЕД (НПП «Энергия, г. Москва; ОАО Уралэлектротяжмаш, г. Екатеринбург) предназначены для тяговых подстанций городского электрического транспорта. Они имеют выходное напряжение 600 В, КПД не менее 98 %, коэффициент мощности 0,95 и естественное воздушное охлаждение.

Таблица 12.6

Технические характеристики управляемых выпрямителей

Тип	Напряжение питания, В	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В
ТЕ4, ТП4, ТЕР4, ТПР4	220; 380	До 500	230; 460
АТ, АТР	220; 380; 6 000; 10 000	До 1 600	230; 460
АТВ, АТВР	220; 380; 6 000; 10 000	До 800	230; 460
ТПЗ, ТПЗР	6 000; 10 000	2 500; 4 000; 5 000; 10 000; 125 000	460; 660; 825; 1 050
АТО, АТОР	220; 380	До 50	115; 230; 460
КТУ	380; 6 000; 10 000	До 1 600	230; 345; 460; 660

Выпрямители типа В-ОПДЕ (производство ОАО «Электровыпрямитель», г. Саранск) используются для зарядки аккумуляторных батарей и пуска двигателей внутреннего сгорания. Они обеспечивают номинальный зарядный ток в 22 А при выходном напряжении постоянного тока 12 или 24 В. Напряжение питания выпрямителя — 220 В частотой 50 Гц.

Выпрямители типа ВГ-ТПЕ и ВГ-ТПВ (ОАО «Электровыпрямитель», г. Саранск) предназначены для питания технологическим током гальванических ванн. Они выпускаются на напряжения 12, 24, 48 и 150 В и номинальные токи от 50 до 12 500 А при нереверсивном исполнении и токи от 100 до 6 300 А при реверсивном исполнении.

12.4. Регуляторы напряжения переменного тока

Регуляторы напряжения переменного тока находят широкое применение в системах электроснабжения, в регулируемом электроприводе и электротехнологии, в осветительных и многих других электроустановках, где требуется регулирование напряжения переменного тока без изменения его частоты. Они могут быть одно- и трехфазными и используют в своей силовой части главным образом однооперационные тиристоры.

На основе тиристорных регуляторов напряжения выпускаются устройства для плавного пуска асинхронных и синхронных двигателей («мягкие» пускатели, или «мягкие» стартеры), а также бесконтактные контакторы.

Упрощенная схема однофазного тиристорного регулятора напряжения (ТРН) приведена на рис. 12.3, а. Его силовая часть состоит из двух тиристоров V_{S1} и V_{S2} , включенных по встречно-параллельной схеме между источником питания с напряжением U_1 и нагрузкой Z_H . Изменение с помощью входного сигнала U_y

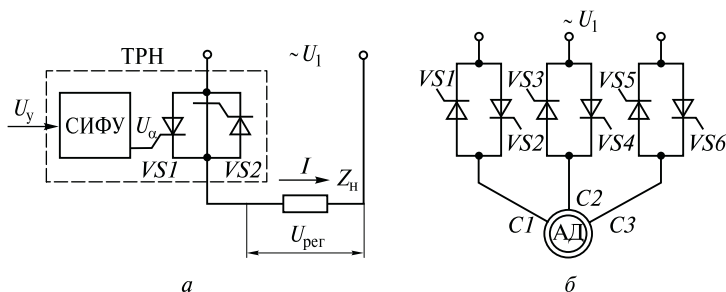


Рис. 12.3. Схемы регулятора напряжения переменного тока:

а — однофазного; б — трехфазного

момента подачи импульсов управления U_α на тиристоры позволяет регулировать напряжение на нагрузке $U_{\text{рег}}$ от нуля до сетевого U_1 при той же частоте сети.

На рис. 12.3, б показана схема силовой части трехфазного тиристорного регулятора напряжения, нагрузкой которого являются обмотки статора асинхронного двигателя АД. Добавление в эту схему еще двух пар тириستоров позволяет изменять чередование фаз напряжения на статоре двигателя и тем самым изменять на противоположное направление его частоту вращения. Такие схемы позволяют также осуществлять торможение двигателей.

В табл. 12.7 приведены данные по регуляторам напряжения отечественного производства, где через $U_{\text{ном}}$ обозначено номинальное напряжение сети, $P_{\text{ном}}$ и $I_{\text{ном}}$ — номинальные мощность и ток нагрузки.

Пример расшифровки условного обозначения ТСУ-4-XXXXX3: ТСУ — устройство управления тиристорное; 4 — номер разработки; X — характеристика устройства при управлении двигателями: X — безударный пуск, оптимизация коэффициента мощности; динамическое торможение, кратковременное регулирование частоты вращения, управление механическим тормозом; X — номинальный ток (от 1 до 10 А; от 2 до 25 А; от 3 до 63 А; от 4 до 160 А; от 5 до 400 А); X — наличие реверса двигателя (0 — без реверса, 1 — с реверсом); X — степень защиты устройства (0 — IP00, для

Таблица 12.7

Технические характеристики низковольтных регуляторов напряжения

Тип	$U_{\text{ном}}$, В	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	Производитель
ПН-ТТЕ (ТТВ)	380	До 371	До 630	ОАО завод «Инвертор»
РНТО, РНТТ	380, 660	—	До 630	АО «Российская Электротехническая компания»
ТСУ-4	380	—	До 400	НПО «Электропривод»
ПБ	220, 380, 440	—	До 630	ГУП «ПО УМЗ»
ПН	380	—	До 8000	ОАО «Электровыпрямитель»
ППТТ	380	До 105,6	До 160	ОАО «Электровыпрямитель»

встраивания в шкаф; 1 — IP31, в оболочке); X3 — климатическое исполнение и категория размещения (УХЛ3 — для блоков с умеренным и холодным климатом).

12.5. Преобразователи частоты

Полупроводниковые преобразователи частоты (ПЧ) находят широкое применение в различных электроустановках вследствие постоянного повышения технико-экономических показателей, расширения их номенклатуры и удешевления. В первую очередь, это относится к регулируемому электроприводу переменного тока и различным электротехнологическим установкам.

Широкое распространение в электроприводе и других электроустановках получили преобразователи с непосредственной связью и преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока.

Силовая часть схемы трехфазного преобразователя частоты с непосредственной связью показана на рис. 12.4. Она образована тремя группами тиристоров $VS1 \dots VS6$, включенных между вторичными обмотками трансформатора T и нагрузкой Z_a , Z_b и Z_c с зажимами $C1$, $C2$, $C3$. Регулируемое по частоте $f_{\text{пер}}$ и величине напряжение $U_{\text{пер}}$ на нагрузке формируется из напряжения источника питания (трансформатора) u_a , u_b и u_c , что и определило название этого типа преобразователя частоты. Частота напряжения на нагрузке регулируется вниз от сетевой f_1 , ее максимальное значение обычно не превосходит 25 Гц, что определяет ограниченные возможности применения этого типа преобразователя частоты.

Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока могут выполняться по двум наиболее употреби-

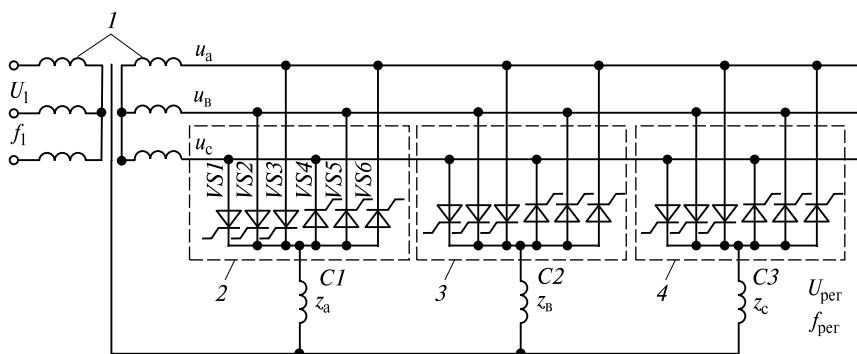


Рис. 12.4. Силовая часть схемы преобразователя частоты с непосредственной связью:

1 — трансформатор; 2...4 — фазные группы тиристоров

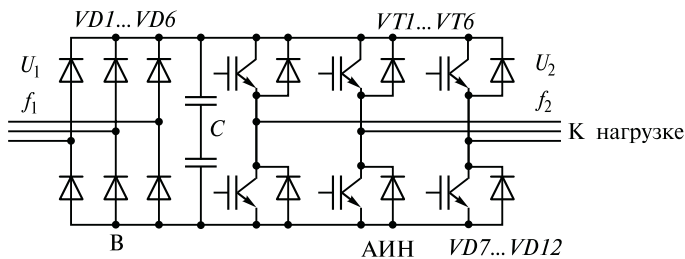


Рис. 12.5. Силовая часть схемы преобразователя частоты с автономным инвертором напряжения

мым вариантам. На рис. 12.5 показана силовая часть схемы трехфазного преобразователя частоты с автономным инвертором напряжения (АИН). Она состоит из нерегулируемого выпрямителя В, собранного на шести диодах $VD1...VD6$, и автономного инвертора напряжения АИН на шести управляемых ключах, в качестве которых на схеме показаны модули, содержащие биполярные транзисторы с изолированным затвором $VT1...VT6$ и шунтирующие диоды $VD7...VD12$.

Выпрямитель преобразует напряжение сети переменного тока U_1 с частотой f_1 в выпрямленное напряжение, а инвертор АИН — это выпрямленное напряжение в напряжение U_2 регулируемой частоты f_2 . Регулирование напряжения U_2 на нагрузке осуществляется за счет применения широтно-импульсной модуляции выпрямленного напряжения. Конденсаторы C выполняют роль фильтра и элемента, осуществляющего обмен реактивной мощности с нагрузкой.

На рис. 12.6 показана силовая часть схемы преобразователя частоты с инвертором тока (ИТ). Она включает в себя управляемый выпрямитель В на тиристорах $VS1...VS6$ и инвертор тока ИТ на запираемых тиристорах $VS7...VS12$. Конденсаторы C являются источником реактивной мощности для нагрузки, реактор L обеспечивает работу инвертора тока.

Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока обеспечивают широкий диапазон регулирования частоты, которая может быть как ниже, так и выше сетевой, что обеспечивает их широкое использование в регулируемых электроприводах переменного тока. Преобразователи частоты с инвертором напряжения применяются в основном в нереверсивных электроприводах продолжительного режима работы при диапазоне регулирования скорости до 20 и позволяют питать при необходимости несколько двигателей от одного ПЧ.

Преобразователи частоты с инвертором тока применяют для индивидуальных электроприводов, работающих с частыми пусками, торможением и реверсом при диапазоне регулирования ско-

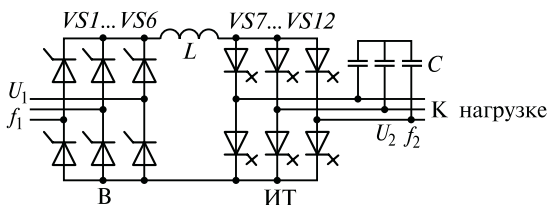


Рис. 12.6. Силовая часть схемы преобразователя частоты с инвертором тока

рости двигателей до 100. Этот ПЧ позволяет осуществлять рекуперацию (отдачу) энергии в сеть при торможении двигателей.

Развитие электронной техники привело к созданию и серийному выпуску преобразователей частоты с так называемым векторным управлением, в которых за счет специальных схем управления могут быть получены очень большие (до 10 000) диапазоны регулирования скорости двигателей.

В табл. 12.8 и 12.9 приводятся данные соответственно по низковольтным и высоковольтным преобразователям частоты, при-

Таблица 12.8

Технические характеристики низковольтных преобразователей частоты

Тип	$U_{\text{ном}}$, В	$P_{\text{ном}}$, Вт	Диапазон регулирования частоты, Гц	Производитель
«Универсал»	380	До 400	0,5 ... 200, 2 000	ИБП РАН, МЭИ
АП-140	380	До 500	0,5 ... 200	НТЦ «Приводная техника»
ЕИ-7000	220/380	До 900	0,1 ... 400	Компания «Веспер»
«Эратон-М4»	380	До 75	1 ... 50	АО «ЭРАСИБ»
Р	380	До 110	2 ... 50	НПП «САПФИР»
АПЧ	380	До 250	0,1 ... 100, 400	ООО «ЭЛПРИ»
«ОМЕГА»	380	До 315	0,5 ... 50, 200	ОАО «Электровыпрямитель»
АТО4	380	До 315	0 ... 400	Корпорация «Триол»
КЭУ	380	До 45	2 ... 60	МЭИ

Технические характеристики высоковольтных преобразователей частоты

Тип	$U_{\text{ном}}$, кВ	$P_{\text{ном}}$, Вт	Диапазон регулирования частоты, Гц	Производитель
ВПЧА	6; 10	До 1 250	2,5...55	ОАО «Электровыпрямитель»
ПЧ ТТП	6; 10; 15,75	До 21 800	3...50	ОАО «Электровыпрямитель»
КПЧТ	6; 10	До 1 250	—	ОАО «Электропривод»
ПЧ	6; 10; 15,75	До 8 650	0,1...60	ОАО «Электропривод»
АТО 3	3; 6; 10	До 1 600	0...50	Корпорация «Триол»
АТО 7	3; 6	До 5 000	0...50	Корпорация «Триол»
АТО 9	3; 6; 10	До 2 500	0...50	Корпорация «Триол»
СТ-10	3; 6; 10	До 1 600	0...50	Корпорация «Триол»
СТ-17	3; 6; 10	До 8 000	0...50	Корпорация «Триол»
ТПЧ-СД	1...16	До 25 000	—	АО «Ансальдо — ВЭИ»
ТПЧ-АД	1...4	До 6 000	—	АО «Ансальдо — ВЭИ»
Е1-7009М	6; 10	До 1 250	—	Компания «ВЕСПЕР»
Е1-SN-2001	3; 6; 10	До 900	—	Компания «ВЕСПЕР»
ПЧСВ	6; 10	До 20 000	5...50	Компания «ЭЛТЕКС»

меняемых в регулируемых электроприводах переменного тока, где $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение сети; $P_{\text{ном}}$ — номинальная мощность подключаемого двигателя.

12.6. Пускатели и полупроводниковые контакторы

Стремление повысить надежность работы электрооборудования и упростить его обслуживания приводит ко все более широкому использованию силовых полупроводниковых элементов и устройств. К их числу относятся полупроводниковые контакторы различного

го назначения и пускатели для двигателей переменного тока. Они строятся на базе силовых полупроводниковых приборов — тиристоров и транзисторов — и отличаются широкими функциональными возможностями, высокой степенью износостойкости и высоким быстродействием.

Основным элементом силовой части тиристорных контакторов и пусковых устройств является пара тиристоров, включенных по встречно-параллельной схеме, как это было показано на рис. 12.3, *а*. Такое включение обеспечивает протекание тока в нагрузку Z_n в оба полупериода питающего напряжения.

При управлении трехфазной нагрузкой пара тиристоров включается во все три фазы, как это было показано на рис. 12.3, *б* на примере управления асинхронным двигателем. В качестве пары тиристоров может использоваться и симметричный тиристор (симистор), который представляет собой соединенные в одном корпусе по этой схеме два тиристора.

Бесконтактные пускатели. Пускатели представляют собой тиристорные устройства, предназначенные для управления двигателями переменного тока при их пуске и, при необходимости, при торможении и реверсе. Они позволяют снижать пусковые токи двигателей и их моменты при пуске и получили вследствие этого название «мягкие» пускатели, или «мягкие» стартеры.

Основной «мягких» пускателей являются регуляторы напряжения переменного тока (см. рис. 12.3), что обеспечивает ограничение пусковых токов и моментов асинхронных и синхронных двигателей за счет снижения напряжения в этом режиме.

Кроме благоприятного воздействия на систему электроснабжения пуск при пониженных пусковых токах и моментах приводит к уменьшению тепловых и механических нагрузок на элементы электропривода и технологического оборудования, что повышает долговечность их работы. Пусковые устройства могут также обеспечивать торможение двигателей, их реверс и необходимую защиту электропривода при его эксплуатации.

Распространение получили и гибридные пусковые устройства с шунтирующим (байпасным) электромагнитным контактором. Схема включения гибридного пускового устройства приведена на рис. 12.7, где АД — асинхронный двигатель, $VS1...VS6$ — тиристоры пускателя, СУ — система управления пускателя, К — контактор, U_y — входной сигнал управления.

Схема работает следующим образом. При пуске, осуществляемом подачей на вход СУ сигнала управления U_y , контактор К не включен, и за счет управления тиристорами к двигателю подводится пониженное или постепенно возрастающее напряжение. После окончания пуска двигателя, проходящего при пониженных пусковых токах, устройство управления СУ осуществляет вклю-

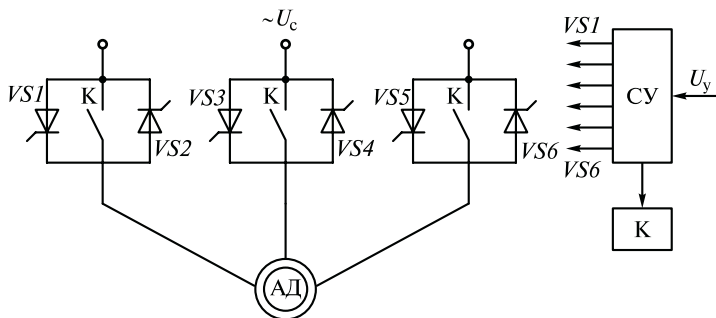


Рис. 12.7. Схема включения гибридного пускового устройства

чение контактора К, который своими силовыми контакторами напрямую подключает двигатель к сети.

Тиристоры $VS1 \dots VS6$ оказываются при этом шунтированными контактами контактора, ток по ним не протекает, что приводит к снижению потерь электроэнергии в таком устройстве. Шунтирующий контактор может быть встроенным в пусковое устройство (например, пусковое устройство БУ.АЭК 1М в табл. 12.11) или быть смонтирован отдельно.

Выпускаемые электротехнической промышленностью пусковые устройства охватывают практически всю номенклатуру асинхронных и синхронных двигателей по мощности и напряжению. В табл. 12.10, 12.11 приведены данные соответственно низковольтных и высоковольтных отечественных пусковых устройств.

Таблица 12.10

Технические характеристики низковольтных пусковых устройств

Тип	$U_{\text{ном}}$, В	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	Производитель
ПБН, ПБР	220; 380; 660	—	4 ... 630	ОАО «Электропривод»
БУ.АЭК 1М	380	До 315	—	ОАО «ЗВИ»
УПР1, УПР2	380	До 200	До 400	ОАО ЧЭАЗ
ИРБИ-61	380	До 315	—	АО ИРБИС
ДМС-010Н ...550Н	380	До 400	До 710	Компания «ВЕСПЕР»
ПТ	380	—	16; 40	ОАО завод «Инвертор»
АП11	380; 660	До 315	До 600	Корпорация «Триол»

Тип	$U_{\text{ном}}$, В	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	Производитель
БПУ	380	До 250	До 630	ОАО «ВНИИР»
ПТУ	380	До 250	—	ОАО «Электровыпрямитель»
УПП	380	До 375	До 630	ОАО «Электровыпрямитель»
БТП, ШТП	380; 660	—	До 400	ВНИИР, г. Чебоксары
УПП	380	—	До 1200	ООО «ЭЛПРИ»

Таблица 12.11

Технические характеристики высоковольтных пусковых устройств

Тип	$U_{\text{ном}}$, В	$P_{\text{ном}}$, кВт	Производитель	Примечание
УБПВД	6; 10	До 12 500	ОАО «ВНИИР»	Для АД и СД
АС15	3; 6; 10	До 8000	Корпорация «Триол»	—
ПН-ТТП	6; 10	До 6000	Корпорация «Союз»	Для АД и СД
ТПУ-СД	6; 10	До 6000	ОАО «Ансальдо — ВЭИ»	Для СД
ПТУ50-6	6	До 400	ОАО «Электровыпрямитель»	Для АД
УППВЭ	6; 10	До 15 000	ОАО «ЧЭАЗ»	—

Полупроводниковые контакторы. Их применяют в устройствах бесперебойного питания, для переключения ступеней конденсаторных батарей, управления осветительными приборами и во многих других установках. По аналогии с электромагнитными контакторами они выпускаются для коммутации силовых цепей постоянного и переменного тока.

Электротехническая промышленность выпускает тиристорные контакторы на номинальное напряжение 380 В переменного тока с естественной коммутацией типов ТКЕО — 250/380 на номинальный ток 250 А для коммутаций линий нагрузки и ТКЕП 100/380 и ТКЕП — 250/380 соответственно на токи 100 А и 250 А для переключения нагрузки.

Тиристорные контакторы с искусственной коммутацией типа ТКИ выпускаются в составе агрегатов бесперебойного питания на

номинальные токи 50, 100 и 200 А и имеют время срабатывания не более 1 мс.

Тиристорные трехфазные коммутаторы ТК-63-400, ТК-100-400, ТК-250-400 предназначены для включения, отключения и защиты систем электроосвещения. Они выпускаются на фазное напряжение ~220 В и соответственно номинальные токи 63, 100 и 250 А. Коммутаторы обеспечивают пофазное управление осветительной нагрузкой и защиту (отключение) поврежденного участка систем электроосвещения при перегрузках и коротких замыканиях.

Трехфазный контактор ТК-1,6-90 имеет входное напряжение ~1 600 В и номинальный ток 90 А, а контактор ТК-2,4-120 — соответственно ~2 400 В и 120 А. Выходное напряжение этих контакторов — ~220 В.

Трехфазные контакторы ТК-0,4-250, 400, 630 выпускаются на входное напряжение ~380 В, выходное 220 В и токи соответственно 250, 400 и 630 А.

Гибридные (комбинированные) контакторы имеют в своем составе электромагнитный и полупроводниковый контакторы и работают по тому же принципу, что и рассмотренные ранее гибридные пускатели для двигателей. Полупроводниковый контактор осуществляет коммутацию цепей нагрузки на первом этапе, за счет этого повышается скорость и управляемость процесса коммутации и исключается частично или полностью появление электрической дуги. После окончания периода коммутации срабатывает электромагнитный контактор и подключает нагрузку, напрямую к источнику питания.

Таблица 12.12

Технические характеристики гибридных контакторов переменного тока

Тип контактора	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Частота включений в час, не более	Износостойкость, млн циклов		Масса, кг	Ток короткого замыкания, кА	Время отключения, мс
				механическая	коммутационная			
КТ64-33	380	160	1 200	10	5	17,9	8	12
КТ65-33	660					19,4		
КТ64-35	380	250	1 200	10	5	36	13	12
КТ65-35	660							

Тип контактора	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Частота включений в час, не более	Износостойкость, млн циклов		Масса, кг	Ток короткого замыкания, кА	Время отключения, мс
				механическая	коммутационная			
КТ64-37	380	400	600	5	5	72	9	20
КТ65-37	660							
КТ64-39	380	630	600	5	5	94	20	20
КТ65-39	660							
КТП64-33	380	160	2 000	16	5	21,6	8	12
КТП65-33	660					23,0	9	
КТП64-35	380	250	2 000	10	5	41,5	13	12
КТП65-35	660							
КТП64-37	380	400	1 200	10	5	72	19	20
КТП65-37	660							
КТП64-39	380	630	1 200	10	5	102	20	20
КТП65-39	660							

В табл. 12.12 приведены данные гибридных контакторов переменного, а в табл. 12.13 — постоянного тока.

Таблица 12.13

Технические характеристики гибридных контакторов постоянного тока

Тип контактора	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Размеры, мм			Масса, кг
			Ширина	Высота	Глубина	
КП81-33	160	220	390	473	256	29
КП81-35	250	220	480	555	303	41,5
КП81-37	400	220	503	480	435	60
КП81-39	630	220	565	580	465	90

12.7. Регуляторы напряжения постоянного тока

Регуляторы напряжения постоянного тока применяются в тех случаях, когда требуется осуществлять регулирование напряжения постоянного тока на нагрузке, а источником электроэнергии является источник нерегулируемого напряжения постоянного тока, например аккумуляторная батарея, контактная сеть постоянного тока электрического транспорта. В качестве преобразователей постоянного тока используются импульсные преобразователи, в которых используются силовые полупроводниковые управляемые ключи — тиристоры и транзисторы всех видов. Регулирование напряжения в них происходит за счет модуляции напряжения источника питания.

Принцип работы импульсного преобразователя напряжения иллюстрирует схема на рис. 12.8, где Z_n , U_n , I_n — соответственно сопротивление, напряжение и ток нагрузки, E — напряжение источника питания, УПК — управляемый полупроводниковый ключ, VD — обратный диод. Регулирование напряжения на нагрузке осуществляется за счет периодического замыкания и размыкания УПК, при которых происходит подключение нагрузки к источнику питания и ее отключение. Изменяя длительность импульсов при неизменной частоте их следования (широтно-импульсный способ) или их частоту при неизменной длительности (частотно-импульсный способ), можно регулировать напряжение на нагрузке от нуля до напряжения источника питания.

Наибольшее распространение получил широтно-импульсный способ, при котором среднее напряжение на нагрузке U_n связано с напряжением источника питания E , длительностью импульса t_n и периодом их следования T следующим соотношением:

$$U_n = t_n E / T = \gamma E,$$

где γ — относительная длительность (скважность) импульсов, $\gamma = t_n / T$.

Наиболее широкое применение импульсные преобразователи напряжения постоянного тока нашли на электрическом транспорте при питании подвижного состава от тяговой сети постоянного тока. К их числу относится преобразователь типа РТ—300/700, устанавливаемый на некоторых типах троллейбусов и трамваев. Он имеет следующие технические данные: напряжение тяговой сети 550 В, номинальный рабочий ток 340 А, максимальный рабочий ток в режиме тяги не более 480 А, масса 1 800 кг.

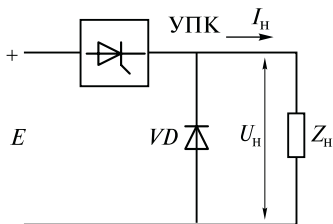


Рис. 12.8. Схема импульсно-го регулятора напряжения постоянного тока

12.8. Инверторы, устройства бесперебойного питания и стабилизаторы

Инвертор. *Инвертором* называется электротехническое устройство для преобразования напряжения постоянного тока в однофазное или трехфазное напряжение переменного тока требуемой фиксированной частоты (например, 50 или 400 Гц) или напряжения регулируемой частоты. Инверторы используются в составе преобразователей частоты с промежуточным звеном постоянного тока, в устройствах бесперебойного питания или в качестве самостоятельного устройства. Инвертором называют также маломощное электронное устройство управления, применяемое для изменения (инвертирования) полярности сигнала постоянного тока. Такое устройство может быть выполнено на базе операционного усилителя (см. подразд. 11.1 настоящего справочника).

Электротехническая промышленность выпускает широкую номенклатуру инверторов, отличающихся номинальной мощностью, уровнями входного и выходного напряжений, частотой и числом фаз выходного напряжения, набором выполняемых функций. В табл. 12.14 приведены данные инверторов типа ПОС производства ОАО завода «Инвертор» (г. Оренбург), предназначенных для получения однофазного напряжения $230 \text{ В} \pm 2\%$ переменного тока частотой $(50 \pm 0,5)$ Гц.

Устройства бесперебойного питания. Они предназначены для обеспечения бесперебойного питания ответственных потребителей электроэнергии, к которым относятся, в частности, средства связи и диспетчеризации, медицинская аппаратура жизнеобеспечения, устройства вычислительной техники, некоторые объекты

Таблица 12.14

Технические данные инверторов типа ПОС

Параметр	ПОС-24-230-2,5-50	ПОС-60-230-16-50
Входное напряжение, В	21 ... 32	54 ... 75
Максимальный потребляемый ток, А	44,5	86,9
Номинальная выходная мощность, В · А	630	3 500
Коэффициент мощности нагрузки	0,8 ... 1,0	0,8 ... 1,0
Номинальный выходной ток, А	2,5	16

атомных электростанций. Для выполнения этой функции в состав устройств входят резервный источник питания (обычно аккумуляторная батарея или дизель-генераторная установка), инвертор, переключающее устройство (обычно электронный контактор) и необходимые элементы управления.

При исчезновении или значительном снижении напряжения основного источника питания (промышленной сети переменного тока) устройство осуществляет быстрое (за несколько микросекунд) автоматическое подключение потребителя к блоку «резервный источник питания—инвертор». В результате потребитель электроэнергии практически без перерыва продолжает получать электроэнергию требуемых параметров в течение определенного времени. При восстановлении напряжения основного источника питания автоматически произойдет обратное подключение к нему потребителя электроэнергии.

Большинство устройств бесперебойного питания способно осуществить автоматический заряд аккумуляторной батареи и ее автоматическое отключение при глубоком разряде, а некоторые из них обеспечивают стабилизацию напряжения и его частоту.

Устройства бесперебойного питания выполняются в виде агрегатов бесперебойного питания (АБП), систем бесперебойного питания (СБП) и систем гарантированного электроснабжения (СГЭ), отличающихся конструкцией, составом функциональных блоков и набором выполняемых функций. В табл. 12.15 приведены сведения по СБП ОАО завода «Инвертор», имеющих номинальное входное трехфазное напряжение 400 В частотой 50 Гц.

Агрегаты бесперебойного питания типа АБП (ОАО «Электровыпрямитель») имеют входное трехфазное напряжение 380 В с нулевым выводом частотой 50 или 60 Гц. Агрегаты обеспечивают трехфазное напряжение на нагрузке величиной 400 В и частотой 50 (60) Гц. Технические данные этих агрегатов приведены в табл. 12.16.

Таблица 12.15

Технические данные системы бесперебойного питания типа СБП

Показатель	СБП-10	СБП-15	СБП-20	СБП-10	СБП-15	СБП-20	СБП-30
Мощность, кВт	10	15	20	10	15	20	30
Напряжение на выходе, В	230	230	230	400	400	400	400
Число фаз на выходе	1	1	1	3	3	3	3
КПД при 100 % нагрузке	88	89,3	89,7	87,8	88,9	89,7	90,6

Алматинский электромеханический колледж

Технические характеристики агрегатов бесперебойного питания

Параметр	АБП-0-16, АБП-1-16, АБП-3-16	АБП-0-31,5, АБП-1-31,5, АБП-3-31,5
Выходной ток, А	25	50
Выходная мощность, кВт·А	17,3	34,6
КПД, %	80... 82	85... 87

Стабилизаторы. Предназначены для снабжения стабилизированным напряжением потребителей с повышенными требованиями к качеству питающего напряжения (станки с ЧПУ, теле- и радиоаппаратура, вычислительные комплексы, медицинские установки, потребители на атомных электростанциях, выпускаемые в настоящее время и в силовом исполнении). К ним относятся, в частности, стабилизаторы марки СТС-3 и СТС-10 (группа компаний «РУСЭЛТ») с номинальной мощностью от 10 до 200 кВт, обеспечивающие стабилизацию напряжения 220/380 В на нагрузке с точностью до 2 %.

Электротехническая промышленность выпускает также устройства бесперебойного питания со встроенными стабилизаторами напряжения.

12.9. Выбор силовых преобразователей

Основой для выбора силовых преобразователей являются характер и данные нагрузки преобразователя и условия его работы. Выбор преобразователя осуществляется по следующим показателям и параметрам:

- величина, число фаз и частота напряжений питающей сети и нагрузки;
- величина номинальной мощности или тока нагрузки;
- диапазон регулирования выходного напряжения и (или) частоты;
- режим работы электроустановки ($S1$, $S2$, $S3$);
- допустимая перегрузка преобразователя по току;
- наличие требуемых защит, сигнализации и средств диагностики;
- степень защиты IP;
- климатическое исполнение и категория размещения, высота над уровнем моря, условия эксплуатации.

В качестве дополнительных факторов при выборе преобразователей могут учитываться КПД, массогабаритные и стоимостные показатели, показатели надежности (наработка на отказ, средний срок службы, среднее время восстановления и т.д.), уровень создаваемых помех. При учете этих факторов целесообразно использовать интегральные показатели качества и весовые коэффициенты (коэффициенты значимости) отдельных показателей преобразователей.

Полупроводниковые пусковые устройства для двигателя выбираются по тем же показателям, что и преобразователи. Дополнительно к ним должны учитываться:

- реверсивный или нереверсивный характер работы двигателя;
- способ ограничения пускового тока (целесообразный характер изменения напряжения при пуске, определяемый видом механической нагрузки двигателя);
- необходимость электрического торможения двигателя;
- способ подачи сигнала управления на пускатель — электромеханический контакт (кнопка, ключ управления) или потенциальный сигнал управления (напряженческий или токовый);
- износостойкость пускателя;
- допустимая частота включений.

Контрольные вопросы

1. Какие полупроводниковые приборы называются диодом, тиристором и транзистором?
2. Какие разновидности транзисторов вы знаете?
3. Какие разновидности тиристоров вы знаете?
4. Какие максимальные значения рабочих токов и напряжений достигнуты к настоящему времени для силовых полупроводниковых приборов?
5. Что такое силовые полупроводниковые модули? Приведите примеры их реализации.
6. Что называется выпрямителем? Какие схемы выпрямителей нашли применение на практике?
7. Что называется регулятором напряжения переменного тока?
8. Что называется преобразователем частоты и какие типы полупроводниковых преобразователей частоты существуют?
9. Что такое инвертор?
10. В чем состоит принцип действия импульсного регулятора напряжения постоянного тока?
11. Что такое агрегат бесперебойного питания?
12. Для каких целей используются стабилизаторы напряжения?

13.1. Назначение и классификация электроприводов

Электропривод — это электромеханическая система, состоящая в общем случае из взаимодействующих электрических, электромеханических и механических преобразователей, управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения с внешними электрическими, механическими, управляющими и информационными системами, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочих машин и управления этим движением в целях осуществления технологического процесса.

Структурная схема электропривода (ЭП) приведена на рис. 13.1. Назначение элементов ЭП состоит в следующем.

Электродвигатель — электромеханический преобразователь, предназначенный для преобразования электрической энергии в механическую (иногда для обратного преобразования).

Преобразователь электроэнергии — электротехническое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии одних параметров или показателей в электроэнергию других параметров или показателей.

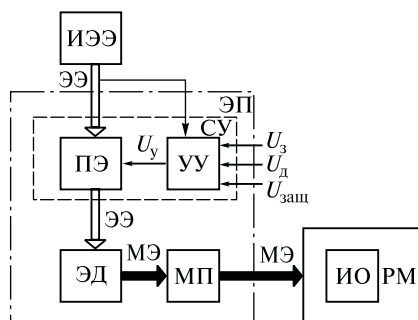


Рис. 13.1. Структурная схема электропривода:

ЭД — электродвигатель; ПЭ — преобразователь электроэнергии; УУ — управляющее устройство; СУ — система управления; МП — механическая передача; ЭП — электропривод; РМ — рабочая машина; ИО — исполнительный орган рабочей машины; ИЭЭ — источник электроэнергии; ЭЭ — электрическая энергия; МЭ — механическая энергия; U_3 , U_y , U_d , $U_{заш}$ — сигналы соответственно задания, управления, датчиков переменных и защит

Механическая передача — механический преобразователь, предназначенный для передачи механической энергии от электродвигателя к исполнительному органу рабочей машины и согласования вида и скоростей их движения.

Управляющее устройство — устройство, предназначенное для формирования управляющих воздействий в ЭП. В его состав входят информационное устройство, предназначенное для получения, преобразования, хранения, распределения и выдачи информации о переменных ЭП, технологического процесса и сопредельных систем, и устройство сопряжения — совокупность электрических и механических элементов, обеспечивающая взаимодействие ЭП с рабочей машиной и отдельных частей ЭП.

Система управления ЭП — совокупность управляющего устройства и преобразователя электроэнергии, предназначенная для управления электромеханическим преобразованием энергии в целях обеспечения заданного движения исполнительного органа рабочей машины.

Рабочая машина — машина, осуществляющая изменение формы, свойств, состояния и положения предметов труда.

Исполнительный орган рабочей машины — движущийся элемент рабочей машины, выполняющий технологическую операцию.

В табл. 13.1 приведены примеры элементов ЭП и исполнительных органов рабочих машин.

В настоящее время в электроприводах общепромышленного назначения используются главным образом двигатели постоянного тока, асинхронные и синхронные двигатели вращательного движения. Электроприводы с двигателями постоянного тока традиционно применяются в качестве регулируемого ЭП, однако за последние 20 лет их доля в числе регулируемых ЭП снизилась с 95 % до 15 %.

Вызвано это тем обстоятельством, что в связи с выпуском электротехнической промышленностью широкой номенклатуры силовых преобразователей переменного тока все более широкое применение находят регулируемый ЭП с двигателями переменного тока, которые проще в изготовлении, надежнее в эксплуатации и дешевле двигателей постоянного тока. Для регулируемого ЭП переменного тока характерно также использование синхронных двигателей специальной конструкции — индукторных, вентильно-индукторных, с постоянными магнитами для системы возбуждения.

Вместе с тем двигатели переменного тока продолжают использоваться и в традиционных видах ЭП. Для асинхронных двигателей это нерегулируемый ЭП массового назначения во всех сферах народного хозяйства. Для синхронных двигателей это высоковольтный ЭП, в котором используется положительное свойство этих двигателей компенсировать реактивную мощность в системе электроснабжения за счет регулирования их тока возбуждения.

Реализация элементов ЭП

Обозначение	Название	Возможные реализации
ЭД	Электродвигатель	Асинхронный, синхронный, постоянного тока с независимым, последовательным или смешанным возбуждением вращательного движения, вентильный, линейный, вибрационный, сферический, шаговый
ПЭ	Преобразователь	Выпрямитель, преобразователь частоты, регулятор напряжения
МП	Механическая передача	Редукторы цилиндрические и червячные, ременные и цепные передачи, электромагнитные муфты
УУ	Управляющее устройство	Релейные схемы управления, регуляторы, микропроцессорные средства управления, вычислительные устройства и устройства памяти, драйверы, интерфейсные средства
ИО	Исполнительный орган рабочей машины	Шпиндель токарного и фрезерного станков, валки прокатных станов, лента конвейера, кабина, скип или клеть подъемников, рабочее колесо насоса или вентилятора

Классификация ЭП выполняется по нескольким признакам.

1. По соотношению числа двигателей и ИО РМ различают:

- групповой ЭП, обеспечивающий движение ИО нескольких РМ или движение нескольких ИО одной РМ;
- индивидуальный ЭП, обеспечивающий движение одного ИО одной РМ;
- взаимосвязанный ЭП, состоящий из двух или более двигателей или механически связанных между собой ЭП, при работе которых поддерживается заданное соотношение их скоростей и (или) нагрузок, и (или) положения ИО РМ. При наличии механической связи между ЭП взаимосвязанный ЭП называется *многодвигательным*, при наличии электрической связи — *электрическим валом*.

2. По характеру движения различают:

- ЭП вращательного, поступательного и возвратно-поступательного движения;
- ЭП непрерывного и дискретного движения;
- реверсивные и нереверсивные ЭП.

3. По виду используемых двигателей различают ЭП постоянно-го и переменного тока, содержащие соответственно двигатели постоянного и переменного тока.

Более подробная классификация ЭП приведена в [25].

13.2. Механика электропривода

Уравнение движения ЭП. Назначение ЭП состоит в обеспечении движения ИО РМ и управлении этим движением. Для анализа характера и параметров движения подвижной части электродвигателя (ротора или якоря), элементов механической передачи или исполнительного органа рабочей машин необходимо знать уравнения, описывающие движение. Эти уравнения отражают физические законы механики и при неизменной массе (моменте инерции) движущегося материального тела имеют следующий вид:

при поступательном движении — $\sum F = m dv/dt = ma$;

при вращательном движении — $\sum M = J d\omega/dt = J\epsilon$,

где $\sum F$ и $\sum M$ — соответственно сумма действующих сил и моментов; m и J — соответственно масса и момент инерции; ω , v — соответственно угловая и линейная скорости движения; $a = dv/dt$ и $\epsilon = d\omega/dt$ — соответственно ускорения при поступательном и вращательном движении; t — время.

Если $\sum F = 0$ или $\sum M = 0$, то $dv/dt = d\omega/dt = 0$ и движение происходит с постоянной скоростью и носит название установившегося. Этому условию соответствует и частный случай состояния покоя материального тела.

При $\sum F > 0$ или $\sum M > 0$, движение будет происходить с ускорением, а при $\sum F < 0$ или $\sum M < 0$ — с замедлением.

В основном режиме работы ЭП двигатель вращательного движения, являющегося в настоящее время основным типом двигателя, создает движущий момент M , а ИО РМ — момент сопротивления движению (момент механической нагрузки) M_c . Тогда уравнение движения для вала двигателя принимает следующий вид:

$$M - M_c = J d\omega/dt.$$

Момент сопротивления M_c на валу двигателя определяется по формулам:

$$M_c = M_{\text{ИО}}/(\eta_{\text{МП}} i_{\text{МП}}), \text{ или } M_c = F_{\text{ИОРМП}}/\eta_{\text{МП}},$$

где $M_{\text{ИО}}$, $F_{\text{ИО}}$ — соответственно момент или усилие, которые создает ИО РМ при своем движении; $\eta_{\text{МП}}$ — КПД механической передачи ЭП; $i_{\text{МП}}$, $\rho_{\text{МП}}$ — соответственно передаточное число и радиус приведения механической передачи ЭП.

Момент инерции здесь определяется по формуле

$$J = J_{\text{ЭД}} + J_k/i_k^2 + m_i \rho_i^2,$$

где J_k — момент инерции k -го элемента или ИО РМ; i_k — передаточное число кинематической цепи между k -м элементом и валом двигателя; m_i — масса i -го вращающегося элемента или ИО РМ; ρ_i — радиус приведения кинематической цепи между i -м элементом и валом двигателя.

Пересчет $M_{\text{ИО}}$, $F_{\text{ИО}}$, J_k , m_i к валу двигателя называется *операцией приведения*.

Приведенное уравнение движения соответствует так называемой одномассовой расчетной схеме, которая получается в случае, когда все механические элементы ЭП и ИО РМ принимаются абсолютно жесткими, а зазоры в кинематической схеме не учитываются. При учете этих факторов получаются многомассовые расчетные схемы.

Пример 13.1. На рис. 13.2 приведена схема механической части ЭП подъемной лебедки. Выполнив операции приведения, получить одномассовую расчетную схему механической части ЭП.

Исходные данные: момент инерции ротора двигателя $J_{\text{д}} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; момент инерции барабана $J_{\text{б}} = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; масса груза $m = 2000 \text{ кг}$; скорость подъема груза $v_{\text{ИО}} = 0,8 \text{ м/с}$; радиус барабана лебедки $R_{\text{б}} = 0,4 \text{ м}$; КПД редуктора $\eta_{\text{р}} = 0,97$; КПД барабана лебедки $\eta_{\text{б}} = 0,96$; передаточное число редуктора $i = 36$; ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Допущения при расчете: моментами инерции тормозного шкива, шестерен редуктора и муфт пренебрегаем и считаем, что все элементы схемы являются абсолютно жестким и между ними отсутствуют зазоры.

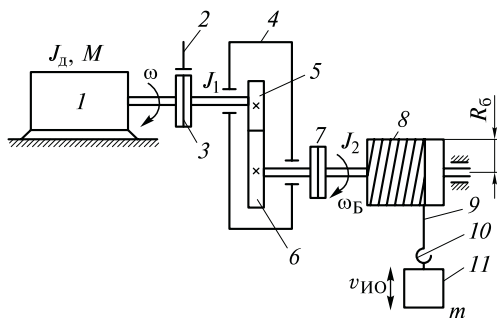


Рис. 13.2. Кинематическая схема ЭП подъемной лебедки:

1 — двигатель; 2 — тормозной шкив; 3, 7 — соединительные муфты; 4 — редуктор; 5, 6 — шестерни редуктора; 8 — барабан; 9 — трос; 10 — крюк; 11 — поднимаемый груз

Решение. 1. Определяем скорость вращения барабана:

$$\omega_6 = v_{\text{ИО}}/R_6 = 0,8/0,4 = 2 \text{ с}^{-1}.$$

2. Находим скорость вращения ротора двигателя:

$$\omega = i\omega_6 = 36 \cdot 2 = 72 \text{ с}^{-1}.$$

3. Рассчитываем радиус приведения кинематической цепи:

$$\rho = v_{\text{ИО}}/\omega = 0,8/72 = 0,011 \text{ м}.$$

4. Находим приведенный момент инерции для одностепенной расчетной схемы, которая получается при принятых допущениях:

$$J = J_d + J_6/i^2 + m\rho^2 = 0,1 + 2/36^2 + 2000 \cdot 0,011^2 = 0,34 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

5. Находим приведенный момент нагрузки, обусловленный силой притяжения земли и силами трения в редукторе и барабане лебедки:

$$M_c = (mgr)/\eta_p\eta_6 = 2000 \cdot 9,81 \cdot 0,011/0,97 \cdot 0,96 = 263 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Установившееся движение ЭП. Оно соответствует условию $M = M_c$. Проверка выполнения этого условия и определение скорости установившегося движения могут производиться аналитически или с помощью механических характеристик двигателя и ИО РМ.

Механической характеристикой двигателя называется зависимость его скорости вращения от развиваемого момента $\omega(M)$ (двигатель вращательного движения) или линейной скорости от развиваемого усилия $v(F)$ (двигатель поступательного движения). Различают естественную и искусственную характеристики двигателя.

Естественная характеристика двигателя соответствует основной (паспортной) схеме его включения и номинальным параметрам питающего напряжения. На естественной характеристике располагается точка номинального (паспортного) режима двигателя с координатами $\omega_{\text{ном}}$, $M_{\text{ном}}$.

Если двигатель включен не по основной схеме или в его электрические цепи включены какие-либо дополнительные электротехнические элементы — резисторы, реакторы, конденсаторы, или же двигатель питается напряжением с ненормальными параметрами, то двигатель будет иметь характеристики, называемые искусственными. Поскольку эти характеристики получают в целях регулирования переменных (координат) двигателя — тока, момента, скорости, положения, то они называются также регулировочными.

Механической характеристикой ИО РМ называется зависимость скорости его движения от момента или усилия на нем, т. е. $\omega_{\text{ИО}}(M_{\text{ИО}})$ при вращательном

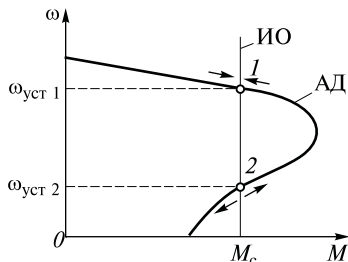


Рис. 13.3. Механические характеристики двигателя АД и исполнительного органа рабочей машины

движении ИО РМ или $v_{\text{ИО}}(F_{\text{ИО}})$ при его поступательном движении. В результате операции приведения эти характеристики преобразуются в зависимость вида $\omega(M_c)$, где ω — скорость двигателя; M_c — приведенный к его валу момент нагрузки (сопротивления).

Количественно механические характеристики двигателя и ИО РМ оцениваются жесткостью β , определяемой как

$$\beta = dM/d\omega \approx \Delta M/\Delta\omega.$$

На рис. 13.3 для примера показаны характеристика ЭД и приведенная к его валу характеристика ИО РМ, при которых установившееся движение возможно как в точке 1 со скоростью $\omega_{\text{уст}1}$, так и в точке 2 с установившейся скоростью $\omega_{\text{уст}2}$. В точке 1 имеет место устойчивое движение, так как при отклонениях скорости от $\omega_{\text{уст}1}$ система стремится восстановить эту скорость движения. В точке 2 движение неустойчивое, так как при изменении скорости $\omega_{\text{уст}2}$ ее значение уже не восстановится.

Проверка на устойчивость движения может быть выполнена аналитически, с использованием понятия жесткости характеристик. Движение будет устойчиво при выполнении условия

$$\beta - \beta_c < 0, \text{ или } \beta < \beta_c,$$

где β и β_c — соответственно жесткости механических характеристик двигателя и исполнительного органа рабочей машины.

Неустановившееся движение ЭП. Оно имеет место, когда моменты двигателя и нагрузки отличаются друг от друга, т. е. $M \neq M_c$. Неустановившееся движение в ЭП имеет место при пуске, торможении и реверсе двигателя, его переходе с одной скорости на другую в процессе ее регулирования или изменения нагрузки на валу. Неустановившееся движение называют также переходным процессом ЭП. Переходные процессы в ЭП рассмотрены в [7, 9].

Управление движением ИО РМ обеспечивается за счет регулирования скорости, ускорения или положения вала двигателя, которые часто называются переменными, или координатами, ЭП. Для ряда рабочих машин бывает необходимо регулирование величины момента или усилия на исполнительном органе, что обеспечивается регулированием момента двигателя.

Кроме того, при работе самого ЭП возникает необходимость в ограничении тепловых, механических и коммутационных нагрузок его элементов. Например, для двигателей постоянного тока требуется ограничение в переходных процессах тока якоря на уровне 2—3-кратного номинального тока. Регулирование переменных ЭП осуществляется с помощью искусственных (регулирующих) характеристик двигателей.

Структуры электропривода при регулировании переменных. В зависимости от выполняемых функций, вида и количества регулируемых переменных и степени автоматизации технологических

процессов ЭП подразделяются на неавтоматизированные и автоматизированные. В неавтоматизированном ЭП операции управления выполняет с помощью простых средств человек (оператор).

В автоматизированном ЭП большинство операций управления в соответствии с требованиями технологического процесса выполняются его системой управления. Автоматизированные ЭП подразделяются, в свою очередь, на разомкнутые и замкнутые.

В разомкнутом ЭП внешние возмущения (момент нагрузки, колебания напряжения питания и др.) влияют на его переменные, в связи с чем такой ЭП не может обеспечить высокого качества их регулирования. Разомкнутые ЭП строятся по несложным схемам и поэтому просты в наладке и эксплуатации.

В замкнутых структурах ЭП обеспечивается полное или частичное устранение влияния внешнего возмущения на регулируемые переменные (координаты) ЭП. Для этого в ЭП используются обратные связи по регулируемым координатам (принцип обратной связи или отклонения) или внешним возмущениям (принцип компенсации возмущающего воздействия). В ЭП используются все возможные виды обратных связей — положительные и отрицательные, линейные и нелинейные, жесткие и гибкие, реализуемые по виду регулируемых переменных — скорости, току, положению и т. д.

В замкнутых структурах ЭП часто осуществляется регулирование нескольких координат. В этих случаях замкнутые ЭП строятся по схеме с общим усилителем схемы с подчиненным регулированием координат.

Подробнее структуры ЭП с регулированием координат рассмотрены в [7, 9].

13.3. Электропривод с двигателями постоянного тока

В ЭП постоянного тока используются двигатели с независимым, последовательным и смешанным возбуждением, а также с возбуждением от постоянных магнитов.

Схема включения и статические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТНВ). Основная схема включения ДПТНВ представлена на рис. 13.4, где приняты следующие обозначения: I , $I_{\text{в}}$ — токи в цепях обмоток якоря и возбуждения ОВ, А; E — ЭДС якоря, В; ω — угловая скорость, с^{-1} ; M — момент двигателя, $\text{Н} \cdot \text{м}$; $R_{\text{о.я}}$ — сопротивление якоря, состоящее в общем случае из сопротивлений обмотки якоря $r_{\text{о.я}}$, добавочных полюсов $r_{\text{д.п}}$, компенсационной обмотки $r_{\text{к.о}}$ и щеточного контакта $r_{\text{щ}}$, $R_{\text{я}} = r_{\text{о.я}} + r_{\text{д.п}} + r_{\text{к.о}} + r_{\text{щ}}$, Ом; $R_{\text{ОВ}}$ — сопротивле-

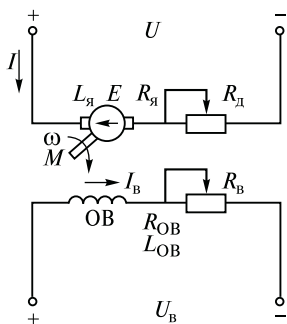


Рис. 13.4. Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения

ние обмотки возбуждения, Ом; $L_{я}$ и $L_{ОВ}$ — индуктивности обмоток якоря и возбуждения, Гн. На схеме показаны добавочные резисторы в цепях обмоток якоря $R_{д}$ и возбуждения $R_{в}$, а также источники питания обмоток якоря и возбуждения с напряжениями соответственно U и $U_{в}$.

Уравнения, описывающие работу двигателя в статике, имеют вид:

$$U = E + IR;$$

$$E = k\Phi\omega;$$

$$M = k\Phi I,$$

где U — подводимое к якорю напряжение, В; R — полное сопротивление цепи якоря, $R = R_{я} + R_{д}$, Ом; Φ — магнитный поток, Вб; k — конструктивный коэффициент двигателя, $k = pN/(2\pi a)$ (p — число пар полюсов; N — число активных проводников обмотки якоря; a — число параллельных ветвей обмотки якоря).

При допущениях, что электромагнитный момент двигателя равен моменту на его валу, а реакция якоря отсутствует, формула для его электромеханической характеристики $\omega(I)$ имеет вид

$$\omega = (U - IR)/(k\Phi).$$

Формула для механической характеристики $\omega(M)$ имеет следующий вид:

$$\omega = U/(k\Phi) - MR/(k\Phi)^2.$$

Формула $\omega_0 = U/(k\Phi)$ определяет скорость идеального холостого хода ДПТНВ, когда I и M равны нулю.

В соответствии с этими формулами электромеханическая и механическая характеристики ДПТНВ представляют собой линейные зависимости угловой скорости от тока и момента. На рис. 13.5 показаны участки естественных электромеханической (рис. 13.5, а) и механической (рис. 13.5, б) характеристик (линии l) ДПТНВ, соответствующие двигательному режиму работы. В этом режиме скорость и момент двигателя имеют одинаковое направление.

Кроме двигательного режима ДПТНВ, как электрическая машина, может работать в режиме холостого хода, в котором момент двигателя и ток якоря равны нулю; короткого замыкания (пуска), в котором двигатель развивает пусковой момент, и генератора, когда двигатель развивает тормозной момент. Генераторный режим работы ДПТНВ имеет место при его включении параллельно, последовательно с сетью и независимо от сети и ис-

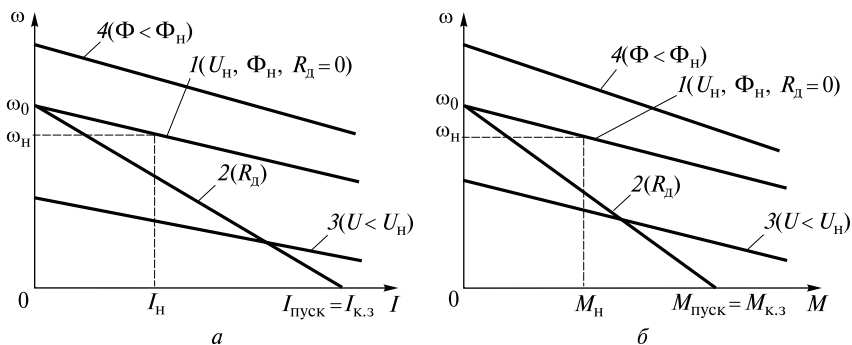


Рис. 13.5. Электромеханические (а) и механические (б) характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения:

1 — естественные; 2 — при введении добавочного резистора в цепь якоря; 3 — при изменении подаваемого на якорь напряжения; 4 — при изменении магнитного потока

пользуется для быстрой остановки движения, так как в этом режиме машина развивает на своем валу тормозной момент.

В соответствии с полученными формулами регулирования скорости ДПТНВ может осуществляться за счет включения в цепь якоря добавочного резистора R_d , изменения напряжения U на якоре и магнитного потока Φ . Получаемые при этом искусственные (регулируемые) характеристики при введении в цепь якоря добавочного резистора (характеристики 2), пониженных значениях напряжения (характеристики 3) и магнитного потока (характеристики 4) показаны на рис. 13.5. Расчеты величин сопротивления добавочных резисторов, напряжения и магнитного потока (тока возбуждения) для получения требуемых регулировочных характеристик ДПТНВ, а также техническая реализация этих способов рассмотрены в [7, 9].

Пуск ДПТНВ осуществляется подачей напряжения на якорь при предварительно подключенной к источнику питания обмотке возбуждения. При пуске ток в цепи якоря двигателей обычного исполнения должен быть ограничен на уровне $I_{\text{доп}} = (2 \dots 3) I_{\text{ном}}$, что обеспечивается включением на время пуска в цепь якоря добавочных (пусковых) резисторов или снижением напряжения якоря. Расчет пускового резистора $R_{\text{пуск}}$ осуществляется по формуле

$$R_{\text{пуск}} = U_{\text{ном}} / I_{\text{доп}} - R_{\text{я}}.$$

Пример 13.2. ДПТНВ типа 2ПН132М имеет номинальное напряжение $U_{\text{ном}} = 220$ В, ток $I_{\text{ном}} = 23$ А и суммарное сопротивление цепи якоря $R_{\text{я}} = 0,9$ Ом. Рассчитать сопротивление пускового резистора, при включении которого в цепь якоря пусковой ток будет равен $2,5 I_{\text{ном}}$.

Решение. Расчет ведем по приведенной формуле:

$$R_{\text{пуск}} = U_{\text{ном}}/I_{\text{доп}} - R_{\text{я}} = 220/(2,5 \cdot 23) - 0,9 = 2,93 \text{ Ом.}$$

Собственное сопротивление цепи якоря $R_{\text{я}}$ может быть определено по справочной литературе [24], где приводятся обобщенные зависимости относительного сопротивления якоря $R_{\text{я}}^* = R_{\text{я}}/R_{\text{ном}}$ от мощности $P_{\text{ном}}$; экспериментально путем непосредственного измерения сопротивления между щетками двигателя; по приближенной формуле для номинальных паспортных данных:

$$R_{\text{я}} = 0,5 U_{\text{ном}}(1 - \eta_{\text{ном}})/I_{\text{ном}} = 0,5 R_{\text{ном}}(1 - \eta_{\text{ном}}),$$

где $\eta_{\text{ном}}$ — номинальный КПД двигателя; $R_{\text{ном}}$ — номинальное сопротивление двигателя, $R_{\text{ном}} = U_{\text{ном}}/I_{\text{ном}}$.

Торможение ДПТНВ осуществляется переводом двигателя в один из трех видов генераторного режима. Эти три режима носят соответственно названия динамического торможения, торможения противовключением и рекуперативного торможения.

Для осуществления динамического торможения якорь двигателя замыкается на добавочный резистор торможения, для торможения противовключением производится изменение полярности напряжения на якоре, при этом цепь возбуждения остается подключенной к своему источнику питания.

При этих способах торможения также требуется ограничения тока в якоре до допустимого уровня. При использовании для этого добавочных резисторов величина их сопротивления рассчитывается по формулам:

при динамическом торможении —

$$R_{\text{д.т}} = U_{\text{ном}}/I_{\text{доп}} - R_{\text{я}};$$

при торможении противовключением —

$$R_{\text{т.п}} = 2 U_{\text{ном}}/I_{\text{доп}} - R_{\text{я}}.$$

Рекуперативное торможение, при котором запасенная в элементах ЭП и ИО РМ энергия может быть отдана (рекуперирована) в сеть, реализуется в системе «управляемый выпрямитель—двигатель», в которой якорь двигателя питается от управляемого электромашинного или полупроводникового выпрямителя. Для этого снижают подаваемое на якорь напряжение с тем, чтобы скорость якоря стала меньше скорости холостого хода двигателя, что и является условием рекуперативного торможения. Ограничение тока при этом происходит за счет выбора темпа снижения напряжения.

Реверс представляет собой изменение скорости двигателя на противоположное направление. Для этого производится изменение полярности напряжения на якоре, и реверс по существу состоит из торможения и разбега двигателя в противоположном на-

правлении. Реверс двигателя может быть осуществлен и за счет изменения направления тока в обмотке возбуждения, но этот способ используется редко.

Пример схемы пуска и динамического торможения ДПТНВ с использованием реле времени приведен на рис. 13.6.

Схема управления (рис. 13.6, а) содержит кнопки управления *SB1* (пуск) и *SB2* (останов, стоп двигателя), контактор *KM*, обеспечивающий подключение двигателя к сети, контактор ускорения *KM1* для выключения (закорачивания) пускового резистора $R_{п1}$ и контактор торможения *KM2* для включения и выключения тормозного резистора $R_{т2}$. Для автоматизации работы ЭП в схеме использовано электромагнитное реле времени *KT*.

При подключении схемы к источнику питания с напряжением *U* происходит возбуждение двигателя и срабатывает реле времени *KT*, размыкая свой размыкающий контакт в цепи катушки контактора *KM2* и подготавливая двигатель к пуску. Схема принимает исходное (подготовительное) положение.

Пуск двигателя начинается после нажатия кнопки *SB1*, в результате чего получает питание катушка контактора *KM*, который

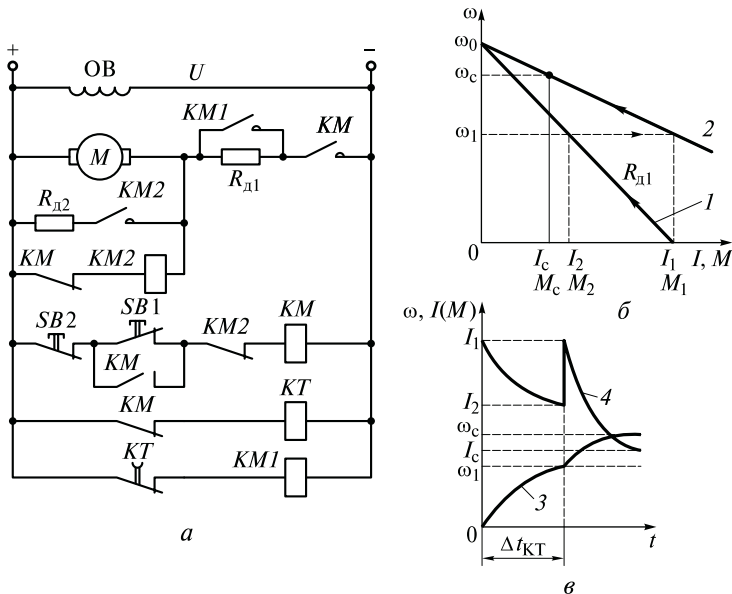


Рис. 13.6. Управление пуском и торможением двигателя постоянного тока независимого возбуждения:

а — схема управления; б — характеристики; в — кривые переходного процесса; 1 — реостатная пусковая характеристика, 2 — естественная характеристика; 3 — график скорости; 4 — график тока и момента

своим силовым контактом подключает двигатель к источнику питания. Двигатель начинает разбег по искусственной (пусковой) характеристике 1 (рис. 13.6, б) с пусковым резистором $R_{д1}$ в цепи якоря. Одновременно замыкающий блок-контакт контактора $KM1$ шунтирует кнопку $SB1$, и она может быть отпущена, а размыкающий блок-контакт $KM1$ разрывает цепь питания катушки реле времени KT .

После прекращения питания катушки реле времени KT через интервал (выдержку) времени Δt_{KT} его размыкающий контакт замкнется в цепи катушки контактора $KM2$, последний включится и главным контактом закоротит пусковой резистор $R_{д1}$ в цепи якоря. В результате двигатель перейдет со своей искусственной характеристики на свою рабочую естественную характеристику 2. Бросок тока в якоре при этом также не будет превосходить допустимого уровня, так как в якоре двигателя уже наведена противоЭДС, вызванная вращением якоря двигателя и наличием магнитного потока.

На рис. 13.6, в приведены графики изменения скорости двигателя при пуске (кривая 3) и тока в цепи якоря (кривая 4).

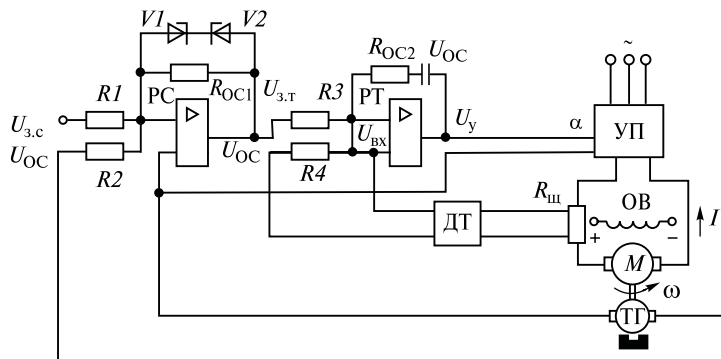
Торможение двигателя осуществляется нажатием кнопки $SB2$, что приводит к разрыву цепи питания катушки контактора KM . Контактор KM , потеряв питание, отключает двигатель от источника питания и замыкает своим контактом цепь питания катушки контактора $KM2$. Последний от действия наведенной в якоре ЭДС срабатывает и замыкает якорь двигателя M на резистор торможения $R_{д2}$, и двигатель переходит в режим динамического торможения.

Процесс динамического торможения происходит до тех пор, пока при небольшой скорости двигателя его ЭДС не станет меньше напряжения отпускания контактора $KM2$. Тот отключится, и схема вернется в исходное положение. Таким образом, и процесс торможения завершается автоматически.

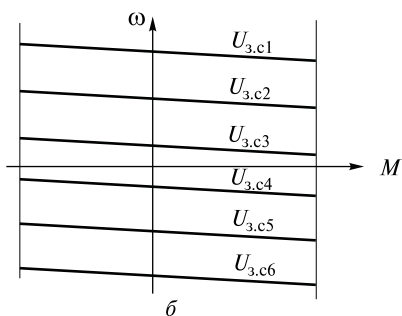
Величины сопротивления резисторов $R_{д1}$ и $R_{д2}$ рассчитываются по приведенным ранее формулам таким образом, что в моменты включения двигателя и перевода его в режим торможения ток в цепи якоря не превосходит допустимого уровня.

Замкнутая схема регулирования скорости и тока ДПТНВ, представленная на рис. 13.7, а, построена по так называемому принципу подчиненного регулирования координат. Ее особенность состоит в том, что каждая переменная имеет свой регулятор, что обеспечивает качественное их регулирование в статических и динамических режимах работы ЭП. Вследствие этого схемы с подчиненным регулированием координат нашли наибольшее распространение в ЭП с двигателями постоянного и переменного тока.

Силовая часть ЭП построена по схеме «управляемый выпрямитель — двигатель», что характерно для всех замкнутых схем ЭП.



a



б

Рис. 13.7. Схема (*a*) и механические характеристики (*б*) электропривода с подчиненным регулированием координат

Схема управления состоит из двух замкнутых контуров регулирования: тока и скорости. Контур тока (момента) содержит пропорциональный регулятор тока РТ и датчик тока ДТ, получающий сигнал от резистора (шунта) $R_{ш}$. На вход РТ подаются сигналы задания тока $U_{3.T}$ и обратной связи по току U_{OC} , а выходной сигнал регулятора тока U_Y поступает на вход управляемого преобразователя УП и управляет его работой.

Контур скорости содержит пропорционально-интегральный регулятор скорости РС и датчик скорости (тахогенератор) ТТ. На вход РС подается сигналы задания скорости $U_{3.c}$ и обратной связи по скорости U_{OC} , а его выходной сигнал $U_{3.T}$ является задающим сигналом для тока. Тем самым регулирование тока подчинено регулированию выходной координаты ЭП — его скорости ω , что и отражено в названии таких систем регулирования.

Такое построение схемы позволяет осуществлять ограничение тока и момента двигателя. Для этого в цепь обратной связи РС включены стабилитроны $V1$ и $V2$. В результате выходное напряжение РС $U_{3.T}$, являющееся уставкой тока, ограничивается, и тем самым ток и момент двигателя не могут превысить заданного уровня. Регуляторы тока и скорости выполнены на базе операционных усилителей.

На рис. 13.7, б приведены статические характеристики ЭП в этой схеме для различных задающих сигналов скорости, которые имеют вертикальный участок, обеспечивающий ограничение тока и момента на требуемом уровне, и близкие к горизонтальным характеристики, обеспечивающие качественное регулирование скорости.

Соответствующий выбор параметров РС и РТ обеспечивает оптимальный характер изменения скорости и тока в переходных процессах ЭП, характеризующийся небольшими длительностью и перерегулированием.

Электропривод с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения. Основная схема включения двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением (ДПТПВ) приведена на рис. 13.8, а. Основной особенностью этих двигателей является включение обмотки возбуждения 2 последовательно с обмоткой якоря 1, вследствие чего ток якоря I одновременно является и током возбуждения и определяет величину магнитного потока двигателя. Цифрой 3 на схеме обозначен добавочный резистор, который может быть включен в эту цепь.

Электромеханические и механические характеристики ДПТПВ описываются теми же формулами, что и характеристики ДПТНВ. Естественные характеристики ДПТПВ строятся с помощью универсальных характеристик, приведенных на рис. 13.8, б. Они представляют собой зависимости относительной скорости $\omega^* = \omega/\omega_{\text{НОМ}}$ (кривые 4) и момента $M^* = M/M_{\text{НОМ}}$ (кривая 5) от относительного тока $I^* = I/I_{\text{НОМ}}$. Для получения характеристик с большей точностью зависимость $\omega^*(I^*)$ представлена двумя кривыми: для двигателей мощностью до и свыше 10 кВт.

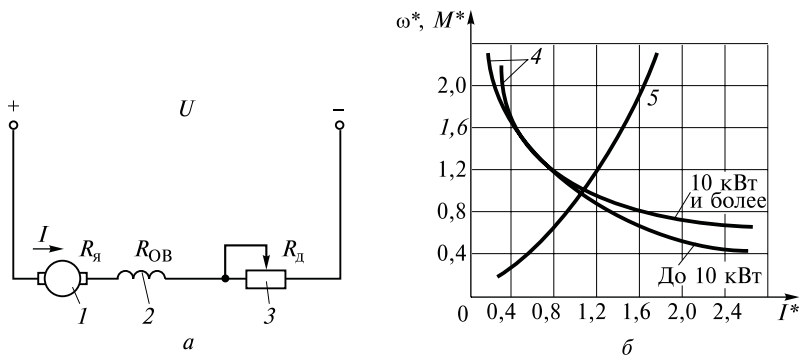
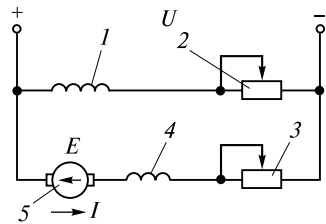


Рис. 13.8. Схема включения (а) и универсальные характеристики (б) двигателя постоянного тока последовательного возбуждения:

1 — якорь; 2 — обмотка возбуждения; 3 — добавочный резистор; 4 — электромеханические характеристики; 5 — график зависимости момента от тока

Рис. 13.9. Схема включения двигателя постоянного тока смешанного возбуждения: 1 — независимая обмотка возбуждения; 2, 3 — добавочные резисторы; 4 — последовательная обмотка возбуждения; 5 — якорь



ДПТПВ в основной схеме включения может работать во всех энергетических режимах, кроме режимов холостого хода и рекуперативного торможения, а регулирование его переменных может осуществляться с помощью добавочных резисторов в цепи якоря, изменением магнитного потока двигателя и подводимого к нему напряжения. Подробно способы регулирования переменных и торможения ДПТПВ рассмотрены в [9].

ЭП с двигателем постоянного тока смешанного возбуждения. Двигатель этого типа имеет две обмотки возбуждения: независимую 1 и последовательную 4, включаемую последовательно с обмоткой якоря 5 (рис. 13.9). Вследствие этого двигатель имеет характеристики и свойства, присущие как ДПТНВ, так и ДПТПВ. На схеме цифрами 2 и 3 обозначены добавочные резисторы, которые могут включаться в цепи двигателя.

Электромеханическая и механическая характеристики двигателя выражаются такими же формулами, а для практических расчетов используются универсальные характеристики двигателя. Двигатель может работать во всех возможных энергетических режимах, регулирование переменных ЭП с этим двигателем может осуществляться изменением напряжения, магнитного потока и сопротивления добавочного резистора в цепи якоря.

13.4. Электропривод с асинхронными двигателями

Схема включения трехфазного асинхронного двигателя с фазным и короткозамкнутым роторами приведена на рис. 13.10.

Электромеханическая характеристика $I_2'(s)$ асинхронного двигателя описывается выражением

$$I_2' = U_{\phi} / \sqrt{(R_1 + R_2' / s)^2 + x_2'^2}.$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя $M(s)$ описывается формулой

$$M = 2M_k(1 + as_k)/(s_k/s + s/s_k + 2as_k).$$

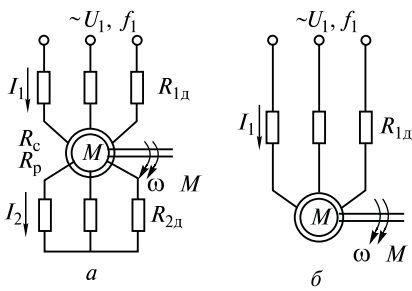


Рис. 13.10. Схемы включения асинхронных двигателей с фазным (а) и короткозамкнутым (б) роторами

На схемах и в формулах приняты следующие обозначения: U_1 , U_ϕ — действующие значения линейного и фазного напряжения сети; I_1 , I_2 — соответственно фазные токи статора и приведенный ротора; x_1 , x_2' — индуктивные сопротивления от потоков рассеяния фазы обмотки статора и приведенное фазы ротора; x_μ — индуктивное сопротивление контура намагничивания; x_k — индуктивное сопротивление короткого замыкания, $x_k = x_1 + x_2'$; R_c , $R_{1д}$, R_1 — соответственно активные фазные сопротивления обмотки статора, добавочного резистора и суммарные фазы статора, $R_1 = R_c + R_{1д}$; R_p' , $R_{2д}'$, R_2' — активные приведенные к обмотке статора фазные сопротивления обмотки ротора, добавочного резистора и суммарное фазы ротора, $R_2' = R_p' + R_{2д}'$; s — скольжение двигателя, $s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$; ω_0 — угловая скорость магнитного поля (она же скорость идеального холостого хода), $\omega_0 = 2\pi f_1/p$; f_1 — частота питающего напряжения; p — число пар полюсов; $a = R_1/R_2'$; $M_k = 3U_\phi^2/[2\omega_0(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_k^2})]$, $s_k = \pm R_2'/\sqrt{R_1^2 + x_k^2}$.

Знак «+» в этих выражениях относится к области положительного скольжения $s > 0$ (двигательный режим), а знак «-» — к $s < 0$ (генераторный режим). Значения момента M_k и скольжения s_k , соответствующие точкам экстремума момента АД, получили название критических.

Если в формулах положить $a = 0$, то выражение для механической характеристики упрощается и принимает следующий вид:

$$M = 2M_k/(s/s_k + s_k/s).$$

Из этой формулы может быть найдено соотношение, связывающее критическое и номинальное скольжения:

$$s_k = s_{ном}(\lambda_M \pm \sqrt{\lambda_M^2 - 1}),$$

где $\lambda_M = M_k/M_{ном}$.

Данное соотношение может использоваться для приближенного определения s_k по каталожным (паспортным) данным асинхронного двигателя.

Приведение переменных и параметров цепи ротора к статору осуществляется с помощью коэффициента трансформации АД:

$$k = E_1/E_2 \approx 0,95 U_{\text{ф.ном}}/E_{2к},$$

где E_1 , $E_{2к}$ — фазные ЭДС статора и ротора при неподвижном роторе.

Расчетные формулы для приведенных значений ЭДС, тока и сопротивлений ротора имеют вид:

$$E'_2 = E_2 k = E_1; I'_2 = I_2/k; R'_2 = R_2 k^2; x'_2 = x_2 k^2,$$

где штрихом обозначены приведенные значения.

Электромеханическая характеристика показана на рис. 13.11, *а*, а механическая характеристика — на рис. 13.11, *б*, при этом по вертикальной оси указаны соответствующие друг другу скорость и скольжение АД.

АД может работать во всех возможных энергетических режимах: при $s = 0$, $\omega = \omega_0$ имеет место режим идеального холостого хода; при $s = 1$, $\omega = 0$ — режим короткого замыкания; при $0 < s < 1$, $0 < \omega < \omega_0$ — двигательный режим; при $s < 0$, $\omega > \omega_0$ — генераторный режим параллельно с сетью (рекуперативное торможение); при $s > 1$, $\omega < 0$ — генераторный режим последовательно с сетью (торможение противовключением).

АД может также работать в генераторном режиме независимо от сети переменного тока, который называется также режимом динамического торможения. В этом режиме обмотка статора двигателя отключается от сети переменного тока и подключается к источнику постоянного тока, а цепь ротора замыкается накорот-

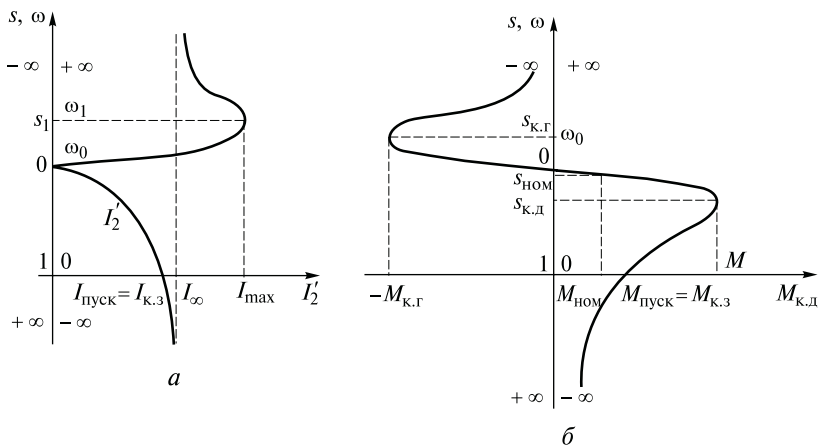


Рис. 13.11. Электромеханическая (*а*) и механическая (*б*) характеристики асинхронного двигателя

ко или на добавочные резисторы. Схема и характеристики АД в этом режиме рассмотрены в [9].

Пуск, реверс и торможение АД. При питании двигателя от сети переменного тока может быть осуществлено торможение противовключением и рекуперативное торможение.

Торможение противовключением осуществляется изменением чередования на статоре двух фаз питающего двигателя напряжения. Для ограничения тока (момента) двигателя при этом производится, как правило, включение добавочных резисторов в цепь ротора или статора.

Рекуперативное торможение является наиболее экономичным видом торможения АД. Оно осуществляется в том случае, когда скорость ротора двигателя превышает скорость магнитного поля и он работает в генераторном режиме параллельно с сетью. Такой режим возникает при переходе двухскоростного асинхронного двигателя с высокой скорости на низкую или в системе «преобразователь частоты—асинхронный двигатель» при плавном уменьшении частоты напряжения преобразователя частоты.

Динамическое торможение реализуется при отключении обмотки статора от сети переменного тока и подаче в обмотки статора постоянного тока. Схема включения и характеристики АД в этом режиме рассмотрены в [9].

Реверс АД осуществляется изменением чередования на статоре двух фаз питающего двигателя напряжения и состоит из торможения и разбега в противоположном направлении.

Управление АД. Управление осуществляется с помощью релейно-контакторных схем и в системе «преобразователь—двигатель» с различными силовыми преобразователями.

Основным элементом реверсивной релейно-контакторной схемы управления АД (рис. 13.12) является реверсивный магнитный пускатель, который включает в себя два линейных контактора *KM1*

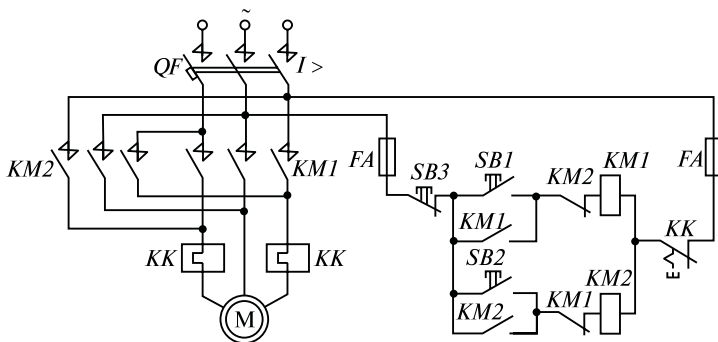


Рис. 13.12. Схема управления асинхронным двигателем с помощью реверсивного магнитного пускателя

и $KM2$ и два тепловых реле защиты KK . Схема обеспечивает прямой пуск и реверс АД, а также торможение противовключением при ручном (неавтоматическом) управлении.

В схеме предусмотрена защита от перегрузок АД (тепловое реле KK) и коротких замыканий в цепи статора (автоматический выключатель QF) управления (предохранители FA). Кроме того, в схеме обеспечивается нулевая защита от исчезновения (снижения) напряжения сети (контакты $KM1$ и $KM2$).

Пуск двигателя в условных направлениях «Вперед» или «Назад» осуществляется нажатием соответственно кнопок $SB1$ или $SB2$. Это приводит при включенном автоматическом выключателе QF к срабатыванию контактора $KM1$ или $KM2$ и подключению АД к сети.

Для реверса или торможения противовключением АД вначале нажимается кнопка $SB3$, что приводит к отключению включенного до сих пор контактора (например, $KM1$), после чего нажимается кнопка $SB2$. Это вызывает включение контактора $KM2$ и подачу на АД напряжения сети с другим порядком чередования фаз. Магнитное поле АД изменяет направление своего вращения и начинается процесс реверса, состоящий из двух этапов: торможение противовключением и разбег в противоположную сторону.

Если необходимо только затормозить АД, при достижении им нулевой скорости должна быть вновь нажата кнопка $SB3$, что приведет к отключению АД от сети и возвращению схемы в исходное положение. Если кнопка $SB3$ нажата не будет, то это приведет к разбегу АД в другую сторону, т. е. его реверсу.

В схеме используется типовая электрическая блокировка для предотвращения одновременного включения аппаратов $KM1$ и $KM2$. Она осуществлена перекрестным включением размыкающих контактов аппарата $KM1$ в цепь катушки аппарата $KM2$, и наоборот. В дополнение к ней в ряде пускателей применяется и механическая блокировка.

Другие релейно-контакторные схемы управления АД рассмотрены в [9].

Ограничение токов и, при необходимости, моментов в переходных режимах АД может быть обеспечено изменением подводимого к двигателю напряжения, а также включением на время переходных процессов добавочных резисторов в цепи статора и ротора (для АД с фазным ротором).

Когда включение добавочного резистора во все три фазы статора должно обеспечить заданную кратность пускового тока $\alpha = I_{1к.з.и} / I_{1к.з.е}$, где $I_{1к.з.и}$, $I_{1к.з.е}$ — пусковые токи АД при включении добавочного резистора и без него, расчет величины добавочного резистора $R_{1д}$ проводится по следующей формуле:

$$R_{1д} = \sqrt{(z_{к.з} / \alpha)^2 - x_{к.з}^2} - r_{к.з},$$

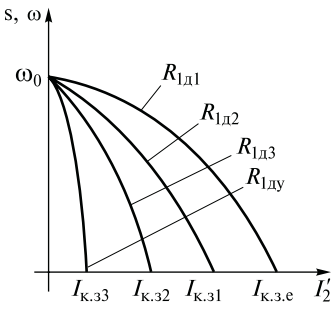


Рис. 13.13. Электромеханические характеристики асинхронного двигателя при включении дополнительных резисторов в цепь статора

где $z_{к.з}$ — полное комплексное сопротивление короткого замыкания АД, $z_{к.з} = U_{1ф} / \sqrt{3} I_{к.з.e}$; $r_{к.з}$, $x_{к.з}$ — соответственно активное и реактивное сопротивления короткого замыкания, $r_{к.з} = z_{к.з} \cos \varphi_{пуск}$, $x_{к.з} = \sqrt{z_{к.з}^2 - r_{к.з}^2}$; $\cos \varphi_{пуск}$ — коэффициент мощности асинхронного двигателя в момент его пуска.

Приближенно для серии двигателей 4А, 5А и АИР с короткозамкнутым ротором можно принять $\cos \varphi_{пуск} = 0,3 \dots 0,5$, а для АД краново-металлургической серии МТФ и МТН — $\cos \varphi_{пуск} = 0,6 \dots 0,7$.

Электромеханические характеристики АД при различных добавочных резистора в цепи статора $R_{1д}$ приведены на рис. 13.13. Из характеристик видно, что введение резистора в цепь статора снижает пусковые токи $I_{к.з}$. Включение добавочных резисторов $R_{2д}$ в цепь ротора АД с фазным ротором приводит к тому же результату.

Пример 13.3. Для асинхронного двигателя типа АИР160S4, имеющего номинальные напряжение $U_{1ном} = 380$ В, ток $I_{1ном} = 25,3$ А и кратность пускового тока $\lambda_I = I_{1пуск} / I_{1ном} = 7$, рассчитать $R_{1д}$, включение которого в три фазы двигателя уменьшит пусковой ток в 2,5 раза ($\alpha = 0,4$).

Решение. 1. Определяем пусковой ток двигателя при отсутствии резисторов в цепи статора:

$$I_{1пуск} = \lambda_1 I_{1ном} = 7 \cdot 25,3 = 177 \text{ А.}$$

2. Определяем полное сопротивление короткого замыкания:

$$z_k = U_{1ном} / (\sqrt{3} I_{1пуск}) = 380 / (1,73 \cdot 177) = 1,24 \text{ Ом.}$$

3. Принимая $\cos \varphi_{пуск} = 0,4$, определяем активную и индуктивную составляющие полного сопротивления короткого замыкания:

$$r_k = z_k \cos \varphi_{пуск} = 1,24 \cdot 0,4 = 0,5 \text{ Ом;}$$

$$x_k = \sqrt{(z_k^2 - r_k^2)} = \sqrt{1,24^2 - 0,5^2} = 1,12 \text{ Ом.}$$

4. Находим искомое сопротивление добавочного резистора:

$$R_{1д} = \sqrt{(z_k / \alpha)^2 - x_k^2} - r_k = \sqrt{(1,23 / 0,4)^2 - 1,1^2} - 0,5 = 2,36 \text{ Ом.}$$

Пусковые токи могут быть также уменьшены за счет снижения при пуске подаваемого на АД напряжения. Для этого обычно используются автотрансформаторы или тиристорные регуляторы напряжения, включаемые между сетью и статором АД. В настоящее время наибольшее применение находят ТРН, получившие название «мягких» пускателей, или «мягких» стартеров. Их применение подробно рассмотрено в [9], а технические характеристики приведены в подразд. 12.6.

Регулирование скорости АД. Регулирование скорости на практике осуществляется изменением напряжения на статоре, частоты этого напряжения и числа полюсов магнитного поля. Регулирование скорости АД с фазным ротором может осуществляться с помощью добавочных резисторов в цепи ротора и в каскадных схемах его включения.

Регулирование скорости изменением частоты напряжения и ω обеспечивает экономичное регулирование скорости АД в статических и динамических режимах с высокими показателями качества — диапазоном и плавностью регулирования скорости, точностью ее поддержания и др.

Регулирование скорости осуществляется с помощью преобразователя частоты ПЧ (рис. 13.14, а), на вход которого подается стандартное напряжение сети U_1 промышленной частоты f_1 , а с его выхода снимается переменное напряжение $U_{1рег}$ регулируемой частоты $f_{1рег}$.

Для обеспечения высоких энергетических показателей работы АД частота и напряжение на выходе ПЧ должны находиться между собой в определенных соотношениях. Так, при постоянном

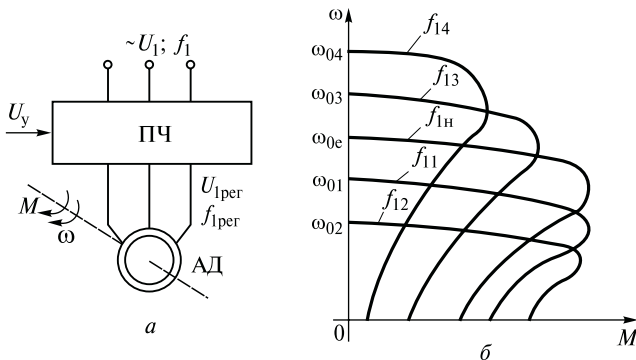


Рис. 13.14. Схема включения двигателя (а) и его механические характеристики (б) при регулировании частоты напряжения на статоре

моменте нагрузки $M_c = \text{const}$ напряжение на статоре должно регулироваться пропорционально его частоте по закону $U_1/f_1 = \text{const}$. Механические характеристики двигателя для частот $f_{14} > f_{13} > f_{1\text{ном}} > f_{11} > f_{12}$ показаны на рис. 13.14, б, из которых видно, что этот способ позволяет как уменьшать, так и увеличивать скорость АД. Подробно частотный способ регулирования скорости рассмотрен в [7, 9].

Регулирование скорости АД изменением числа пар полюсов может быть реализовано с использованием специальных АД, получивших название многоскоростных. Статорная обмотка (одна или больше) этих двигателей состоит из двух одинаковых секций (полуобмоток), за счет разных схем соединения которых может быть изменено число пар полюсов $p = 1, 2, 3, 4, \dots$ магнитного поля двигателя. Это позволяет в соответствии с формулой $\omega_0 = 2\pi f_1/p$ ступенчато изменять скорость вращения магнитного поля и ротора АД. Ротор многоскоростных двигателей выполняется короткозамкнутым. На практике применяются две схемы включения статорной обмотки многоскоростных двигателей: схема «треугольник — двойная звезда» и схема «звезда — двойная звезда». Этот способ подробнее рассмотрен в [7, 9].

Регулирование изменением напряжения при неизменной его частоте осуществляется с помощью регуляторов напряжения (обычно тиристорных), включаемых между сетью и статором АД по аналогии с ПЧ (см. схему на рис. 13.14, а).

Для получения пригодных для регулирования скорости жестких механических характеристик в этой схеме обычно используется отрицательная обратная связь по скорости АД. Важно отметить, что регулирование скорости АД с помощью регулятора напряжения (РН) характеризуется выделением в двигателе дополнительных потерь мощности, поэтому такой способ не рекомендуется для длительного регулирования скорости. Подробно этот способ рассмотрен в [7, 9].

Регулирование скорости АД с фазным ротором с помощью резисторов в цепи ротора широко применяется вследствие простоты реализации этого способа. На рис. 13.15 показаны естественная и искусственные механические характеристики при включении в ротор АД добавочных резисторов $R_{2д1}$ и $R_{2д2}$. Величина добавочного резистора, например, $R_{2д2}$ для получения требуемой искусственной характеристики может быть найдена по формуле

$$R_{2д2} = R_p(s_n/s_e - 1),$$

где s_e , s_n — скольжения двигателя соответственно на естественной и искусственной характеристиках, соответствующие моменту M_n .

Сопrotивление обмотки ротора R_p может быть найдено по следующей приближенной формуле, использующей паспортные дан-

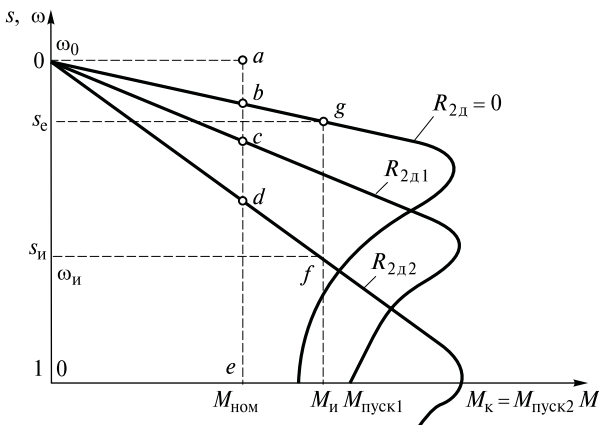


Рис. 13.15. Механические характеристики асинхронного двигателя при различных сопротивлениях цепи ротора

ные асинхронного двигателя — ЭДС $E_{2к}$, номинальные скольжения $s_{НОМ}$ и ток ротора $I_{2НОМ}$ —

$$R_p = E_{2к} s_{НОМ} / \sqrt{3} I_{2НОМ}.$$

Важно отметить, что за счет введения добавочного резистора в цепь ротора может быть увеличен пусковой момент АД вплоть до критического (максимального) M_k , что облегчает пуск АД.

Пример 13.4. АД с фазным ротором типа 4АК160S4У3 (см. табл. 8.4) имеет следующие номинальные данные: скольжение $s_{НОМ} = 0,05$; $\lambda_m = M_{max}/M_{НОМ} = 3$; ток ротора $I_{2НОМ} = 22$ А; ЭДС ротора $E_{2к} = 305$ В. Рассчитать сопротивление добавочного резистора, включение которого в ротор позволит получить при пуске момент АД, равный максимальному (критическому).

Решение. 1. Находим приближенное критическое скольжение $s_{к.е}$ на естественной характеристике:

$$s_{к.е} = s_{НОМ} (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0,05(3 + \sqrt{3^2 - 1}) = 0,29.$$

2. Рассчитываем приближенное значение сопротивления роторной обмотки двигателя:

$$R_p = E_{2к} s_{НОМ} / \sqrt{3} I_{2НОМ} = 305 \cdot 0,05 / (\sqrt{3} \cdot 22) = 0,2 \text{ Ом}.$$

3. Максимальному моменту при пуске соответствует критическое скольжение $s_{к.н} = 1$. Тогда искомое сопротивление добавочно-резистора будет равно:

$$R_{2л2} = R_p (s_{к.н} / s_{к.е} - 1) = 0,2(1/0,29 - 1) = 0,49 \text{ Ом}.$$

Регулирование скорости АД в каскадных схемах его включения позволяет полезно использовать энергию потерь мощности при регулировании его скорости. Эти схемы в основном

применяются для АД средней и большой мощностей. На практике используются две основные каскадные схемы включения [7, 9].

В электромеханическом машинно-вентильном каскаде обмотка ротора АД подключается к трехфазному неуправляемому полупроводниковому выпрямителю. К выводам выпрямителя присоединен якорь вспомогательной машины постоянного тока, якорь которой механически соединен с ротором АД. В результате мощность потерь скольжения за вычетом потерь в цепи ротора отдается рабочей машине.

В электрическом каскаде вспомогательная машина соединена одним валом с синхронным генератором, подключенным к сети переменного тока. За счет этого энергия потерь скольжения с помощью генератора отдается в сеть. Регулирование скорости АД осуществляется изменением тока возбуждения вспомогательной машины.

В каскадных схемах электромашинный агрегат «вспомогательная машина — генератор» может быть заменен на статический преобразователь частоты. Асинхронный ЭП по такой схеме получил название асинхронного вентильного каскада.

Электропривод с однофазным АД. Он применяется в случаях, когда источником электроэнергии является однофазная сеть переменного тока. Однофазные АД имеют на статоре две обмотки: основную (рабочую) и пусковую, которая используется для обеспечения его пуска (иногда пусковая обмотка является второй рабочей обмоткой). Для получения вращающегося магнитного поля пусковая обмотка укладывается на статоре двигателя со смещением ее оси на 90° по отношению к оси рабочей обмотки, а сдвиг токов обеспечивается включением в ее цепь дополнительного фазосдвигающего элемента, обычно конденсатора. Подробнее свойства и характеристики ЭП с однофазным АД рассмотрены в [9].

13.5. Электропривод с синхронными двигателями

Схема включения. Схема включения трехфазного синхронного двигателя (СД) обычного исполнения приведена на рис. 13.16, а. Статор СД 1 выполняется аналогично статору АД и имеет трехфазную обмотку, подключаемую к сети переменного тока. Эта обмотка создает вращающееся магнитное поле двигателя.

На роторе СД располагаются обмотка возбуждения и пусковая обмотка в виде беличьей клетки, предназначенная для его пуска. Конструктивно ротор синхронного двигателя может быть выполнен явнополюсным и неявнополюсным в виде цилиндра. В качестве источника для питания обмотки возбуждения используется отдельный генератор постоянного тока (возбудитель) 2, ток $I_{в.в}$ в обмотке возбуждения 4 которого может регулироваться с помощью добавочного резистора 3.

В современных схемах ЭП с СД широкое применение находят тиристорные возбудители (выпрямители), например типа В—ТПЕ (ОАО «Электровыпрямитель»). В регулируемом ЭП применение находят СД с ротором в виде постоянных магнитов или в виде зубчатого цилиндра (так называемый пассивный ротор). В этом случае СД становится полностью бесконтактным двигателем.

Рабочая механическая характеристика. Рабочая характеристика СД $\omega(M)$ (рис. 13.16, б) представляет собой горизонтальную линию с ординатой $\omega_0 = 2\pi f_1/p$, при этом участок в первом квадранте соответствует двигательному режиму, а во втором квадранте — генераторному режиму.

Угловая характеристика СД определяет зависимость развиваемого им момента от внутреннего угла двигателя θ и для неявнополюсного СД при пренебрежении активным сопротивлением статора имеет вид

$$M = 3U_{\phi}E \sin\theta/(\omega_0 x_1) = M_{\max}\sin\theta,$$

где U_{ϕ} — фазное значение напряжения сети; E — ЭДС в обмотке статора синхронного двигателя; ω_0 — скорость вращения магнитного поля; x_1 — индуктивное сопротивление фазы обмотки синхронного двигателя; θ — угол сдвига между векторами ЭДС статора E и фазного напряжения сети U_{ϕ} .

Номинальное значение угла $\theta_{\text{ном}}$ составляет обычно $25 \dots 30^\circ$, ему соответствует номинальный момент $M_{\text{ном}}$. При таком значении $\theta_{\text{ном}}$ кратность максимального момента составляет $\lambda_m = M_{\max}/M_{\text{ном}} = 2 \dots 2,5$. До значения момента нагрузки, равного M_{\max} , СД работает синх-

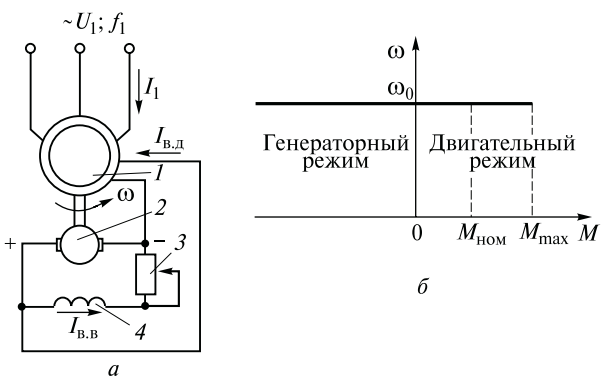


Рис. 13.16. Схема включения (а) и рабочая механическая характеристика (б) синхронного двигателя:

1 — двигатель; 2 — якорь возбудителя; 3 — добавочный резистор; 4 — обмотка возбуждения возбудителя; $I_{\text{в.д}}$ — ток возбуждения двигателя; $I_{\text{в.в}}$ — ток возбуждения возбудителя

ронно с сетью, а при превышении этого уровня выпадает из синхронизма.

Пуск и торможение СД. Пусковая характеристика СД соответствует характеристике АД на рис. 13.11, б. Пуск СД может происходить с постоянно подключенной обмоткой возбуждения или с ее подключением перед синхронизацией двигателя с сетью, а в зависимости от соотношения мощностей питающей сети и СД его пуск может происходить с ограничением пускового тока или без ограничения. Для ограничения пускового тока применяются добавочные активные или реактивные резисторы (реакторы), автотрансформаторы и тиристорные «мягкие» пускатели (см. подразд. 12.6).

При питании СД от преобразователя частоты и в схеме вентильного двигателя может быть реализован частотный пуск, при котором пуск осуществляется плавным увеличением частоты питающего напряжения. Подробнее схемы пуска СД рассмотрены в [9].

Торможение СД при необходимости осуществляется по схеме динамического торможения, при котором обмотка статора отключается от сети переменного тока и замыкается на добавочный резистор.

СД обладают очень ценным свойством, состоящим в возможности работать в качестве компенсатора реактивной мощности в системе электроснабжения. Это достигается соответствующим регулированием его тока возбуждения.

Регулирование скорости. Регулирование скорости СД осуществляется чаще всего в структурах вентильного двигателя и ЭП с шаговыми двигателями.

Электропривод с СД по схеме вентильного двигателя. Вентильный двигатель (рис. 13.17) представляет собой ЭП, состоящий из СД, датчика положения его ротора ДП и электронного коммутатора ЭК, имеющего силовую часть СЧ, выполненную по схеме трехфазного инвертора.

Силовые полупроводниковые ключи коммутатора (тиристоры или транзисторы) управляются датчиком положения ДП ротора,

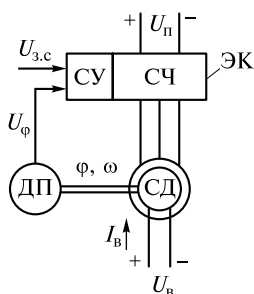


Рис. 13.17. Схема вентильного двигателя:
СД — синхронный двигатель; ДП — датчик положения ротора СД; ЭК — электронный коммутатор; СЧ — силовая часть ЭК; СУ — схема управления ЭК

установленным на валу двигателя. Датчик положения ротора генерирует периодические сигналы, которые вместе с сигналом задания скорости $U_{з.с}$ поступают на систему управления СУ коммутатора.

Электронный коммутатор вместе с датчиком положения аналогичны по своему действию коллекторно-щеточному узлу двигателей постоянного тока, вследствие чего вентильный двигатель имеет характеристики и свойства этих двигателей.

Если такой ЭП питается от сети переменного тока, то напряжение постоянного тока $U_{п}$ получается за счет использования выпрямителя, включаемого между сетью и коммутатором ЭК.

Преимущество вентильного двигателя по сравнению с двигателем постоянного тока состоит в том, что у него нет механического коллекторно-щеточного узла и поэтому он является полностью бесконтактным двигателем при возбуждении от постоянных магнитов или имеет два контактных кольца при использовании обмотки возбуждения. По этой же причине вентильные двигатели часто называют бесконтактными двигателями постоянного тока.

Регулирование скорости и других переменных вентильного двигателя может осуществляться, как и для двигателей постоянного тока, за счет регулирования подаваемого на статор двигателя напряжения или изменения тока возбуждения $I_{в}$. Регулирование напряжения в схеме на рис. 13.17 осуществляется методом широтно-импульсного управления полупроводниковыми ключами коммутатора ЭК или, при использовании управляемого выпрямителя, его выходным напряжением. Получаемые регулировочные характеристики и показатели регулирования скорости аналогичны таковым для двигателя постоянного тока.

Вентильно-индукторный ЭП выполняется по структуре вентильного двигателя. Его особенность состоит в применении индукторного двигателя с неодинаковым количеством полюсов статора и зубцов ротора, что позволяет получать нужные свойства и характеристики ЭП.

Электропривод с шаговым двигателем. Шаговый двигатель по принципу своего действия является СД, в котором магнитное поле перемещается (вращается) не непрерывно, а дискретно, шагами. Это достигается за счет импульсного возбуждения обмоток шагового двигателя с помощью электронного коммутатора.

Эти типы ЭП рассмотрены в [9, 24].

Нерегулируемые по скорости ЭП с СД имеют в основном релейно-контакторные схемы управления. На рис. 13.18 для примера приведена схема управления низковольтным СД, которая обеспечивает прямой (без токоограничения) пуск с глухоподключенным возбудителем G и форсировку возбуждения при снижении уровня питающего напряжения. В схеме предусмотрены защиты: тепловая (реле KK и трансформаторы тока $TA1$ и $TA2$), токовая

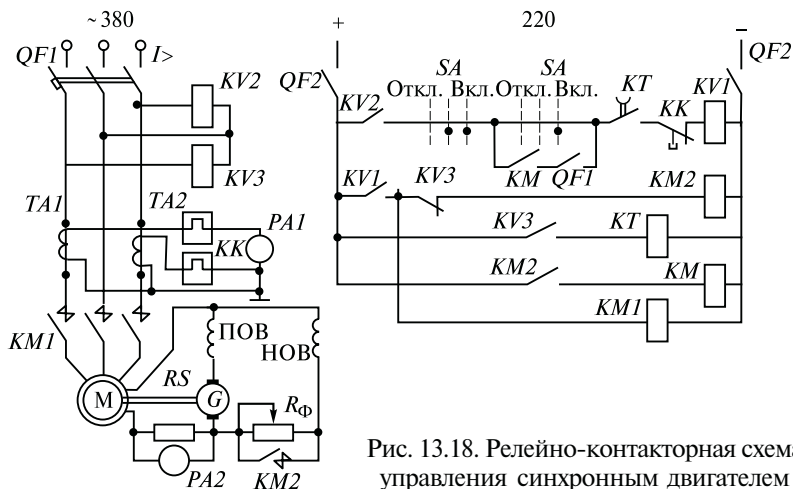


Рис. 13.18. Релейно-контакторная схема управления синхронным двигателем

(автоматы $QF1$ и $QF2$), от снижения напряжения сети переменного тока (реле $KV2$, $KV3$) и постоянного тока (реле $KV1$).

Пуск СД может быть осуществлен только при нормальных уровнях питающих схему напряжений постоянного и переменного тока. В этом случае, если рукоятка командоконтроллера SA находится в среднем положении и включены автоматы $QF1$ и $QF2$, срабатывают реле напряжения $KV2$, $KV3$ и реле времени KT , что подготавливает схему к пуску СД.

При переводе рукоятки SA в положение «Вкл.» срабатывает реле $KV1$ и катушка линейного контактора $KM1$ подключается к источнику, к обмотке статора СД подводится напряжение переменного тока и тот начинает разбег. При подсинхронной скорости происходит возбуждение возбудителя G и соответственно СД, который после этого втягивается в синхронизм.

О включении контактора форсировки $KM2$ сигнализирует указательное реле KN . Для контроля тока статора СД в схеме предусмотрен амперметр $PA1$, для контроля тока возбуждения СД — амперметр $PA2$, питаемый от шунта RS .

13.6. Расчет энергетических показателей электроприводов

К энергетическим показателям относятся потери мощности ΔP и энергии ΔA , коэффициент полезного действия (КПД), коэффициент мощности ($\cos\varphi$).

Потери мощности и энергии. Потери мощности и энергии в ЭП складываются из потерь в электродвигателе, силовом преобразо-

вателе, системе управления и механической передаче (см. рис. 13.1). Основную долю потерь в ЭП составляют потери в электродвигателе, которые далее рассматриваются более подробно.

Потери мощности ΔP в электродвигателе обычно представляют суммой двух составляющих: постоянных K и переменных V потерь:

$$\Delta P = K + V.$$

К постоянным относятся потери мощности, не зависящие от нагрузки двигателя, — потери в стали магнитопровода, механические потери от трения в подшипниках и вентиляционные потери. Для ДПТНВ и СД к постоянным потерям обычно относятся и потери в обмотках возбуждения.

К переменным относятся потери, которые выделяются в обмотках двигателей при протекании по ним токов и зависят от механической нагрузки ЭП. Переменные потери мощности в двигателе могут быть определены через электрические или механические данные.

Для двигателя постоянного тока переменные потери мощности V в установившемся режиме определяются по формуле

$$V = I^2 R = M \omega_0 s,$$

где I , R — соответственно ток и сопротивление цепи двигателя, по которому протекает этот ток; M , ω_0 — соответственно момент и скорость идеального холостого хода; s — относительная скорость двигателя постоянного тока и скольжение АД, $s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$.

Для трехфазных АД полные переменные потери мощности

$$V = V_1 + V_2 = 3I_1^2 R_1 + 3I_2^2 R_2' = 3I_1^2 R_1 + M \omega_0 s,$$

где V_1 , V_2 — потери мощности соответственно в цепях обмоток статора и ротора. При использовании упрощенной П-образной схемы замещения АД потери в статоре будут выражаться как

$$V_1 = 3I_2^2 R_1 = 3I_2^2 R_1 R_2' / R_2' = V_2 R_1 / R_2',$$

а полные переменные потери в АД:

$$V = 3I_2^2 (R_1 + R_2') = M \omega_0 s (1 + R_1 / R_2').$$

Для синхронных двигателей

$$V_1 = 3I_1^2 R_1.$$

Постоянные потери мощности находятся как

$$K = \Delta P_{\text{ном}} - V_{\text{ном}}.$$

Полные потери мощности в номинальном режиме $\Delta P_{\text{ном}}$, входящие в эту формулу, определяются по номинальным КПД $\eta_{\text{ном}}$ и мощности двигателя $P_{\text{ном}}$:

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}}(1 - \eta_{\text{НОМ}})/\eta_{\text{НОМ}}$$

Эти же потери могут быть найдены для АД и СД из соотношения

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{\text{IНОМ}} - P_{\text{НОМ}} = 3U_{\phi}I_{\text{НОМ}}\cos\varphi_{\text{НОМ}} - P_{\text{НОМ}},$$

где $P_{\text{IНОМ}}$ — потребляемая из сети активная мощность.

За время работы t_p двигателя с постоянной нагрузкой полные потери энергии, обусловленные K и V , составят

$$\Delta A = \Delta P t_p.$$

При работе двигателя с циклически изменяющейся нагрузкой полные потери энергии за весь цикл составят

$$\Delta A \approx \sum_{i=1}^m \Delta P_i t_i,$$

где ΔP_i , t_i — потери мощности и время работы на i -м участке цикла;

m — число отдельных участков цикла; $\sum_{i=1}^m t_i = t_{\text{ц}}$ — время цикла.

При использовании для управления двигателями полупроводниковых преобразователей потери мощности и энергии в преобразователе складываются из потерь в вентилях, трансформаторах, сглаживающих и уравнивательных реакторах, фильтрах и элементах устройств искусственной коммутации. Потери в полупроводниковых элементах преобразователей обычно относительно малы (несколько процентов от номинальной мощности).

При расчете потерь в трансформаторах и реакторах берется сопротивление их обмоток или используется эквивалентное сопротивление преобразователя. При использовании электромашинных преобразователей потери в них определяются рассмотренными в этом подразделе способами.

Потери мощности в системе управления обычно не превышают нескольких десятков ватт и принимаются во внимание только при выполнении точных энергетических расчетов.

Потери мощности в механической передаче определяются главным образом трением в ее движущихся частях и зависят от передаваемого момента. Потери в механической передаче обычно оцениваются с помощью КПД, значение которого для разных ее видов и нагрузок приводятся в [24].

Потери энергии ΔA_k в переходных режимах, определяемые постоянными потерями мощности K и временем переходного процесса $t_{п.п.}$, находятся как

$$\Delta A_k = K t_{п.п.}$$

Потери энергии ΔA_v , определяемые переменными потерями мощности V , могут быть найдены через механические перемен-

ные и параметры. При работе ЭП без нагрузки ($M_c = 0$) переменные потери энергии в якоре двигателя постоянного тока и роторе АД определяются формулой

$$\Delta A_{V0} = \Delta A_{20} = J\omega_0^2(s_{\text{нач}}^2 - s_{\text{кон}}^2)/2,$$

где J — суммарный момент ЭП; $s_{\text{нач}}$, $s_{\text{кон}}$ — соответственно начальное и конечное значения скольжения двигателя.

Потери энергии при работе ЭП с нагрузкой ($M_c \neq 0$) могут быть рассчитаны по следующей приближенной формуле:

$$\Delta A_{\text{н}} = \Delta A_0 M_{\text{ср}} / (M_{\text{ср}} \pm M_c),$$

где $\Delta A_{\text{н}}$, ΔA_0 — соответственно потери энергии под нагрузкой и холостую; $M_{\text{ср}}$ — средний, принимаемый неизменным за время переходного процесса момент двигателя; знак « \leftarrow » соответствует пуску, а знак « \rightarrow » — торможению двигателя.

Коэффициент полезного действия ЭП. КПД ЭП как электромеханической системы определяется главным образом КПД его силовой части как произведение КПД силового преобразователя $\eta_{\text{с.п.}}$, электродвигателя η и механической передачи $\eta_{\text{м.п.}}$:

$$\eta_{\text{ЭП}} = \eta_{\text{с.п.}} \eta \eta_{\text{м.п.}}$$

Наиболее значимым в этом выражении является КПД двигателя. При работе ЭП в некотором цикле, с различными скоростями или нагрузками на валу как в установившемся, так и переходном режимах КПД двигателя определяется выражением

$$\eta_{\text{ц}} = A_{\text{пол}} / A_{\text{потр}} = A_{\text{пол}} / (A_{\text{пол}} + \Delta A) = \frac{\sum_1^n P_{\text{пол}i} t_i}{\left(\sum_1^n P_{\text{пол}i} t_i + \sum_1^n \Delta P_i t_i \right)},$$

где $A_{\text{пол}}$, $A_{\text{потр}}$ — полезная механическая и потребленная электрическая энергии; ΔA — потери энергии; $P_{\text{пол}i}$ — полезная (механическая) мощность на i -м участке цикла; ΔP_i — потери мощности на i -м участке цикла; n — число участков работы ЭП.

Рассчитанный по этому выражению КПД называют *цикловым*, или *средневзвешенным*.

Если ЭП работает в установившемся режиме, то эта формула упрощается и принимает вид

$$\eta = P_{\text{пол}} / (P_{\text{пол}} + \Delta P).$$

Коэффициент мощности ЭП. Электропривод, подключаемый к сети переменного тока, потребляет из нее активную P и реактивную Q мощности. Если ЭП работает в цикле при различных нагрузках или скоростях в установившемся и переходном режимах, то он как потребитель реактивной энергии характеризуется *средневзвешенным*, или *цикловым*, *коэффициентом мощности*, который определяется отношением потребленной активной энергии за цикл

A_a к полной, или кажущейся, энергии A_n в соответствии с формулой

$$\cos \varphi_n = A_a / A_n = \sum_1^n P_i t_i / \sum_1^n S_i t_i,$$

где S_i — полная (кажущаяся) мощность, $S_i = \sqrt{P_i^2 + Q_i^2}$.

При работе ЭП в установившемся режиме эта формула упрощается и принимает вид

$$\cos \varphi = P / S = P / \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Коэффициент мощности АД рассчитывается для установившегося режима его работы с помощью следующих формул:

$$P_1 = P_{\text{мех}} + \Delta P = M\omega + K + V_1 + V_2;$$

$$Q = 3I_{\mu}^2 x_{\mu} + 3I_1^2 x_1 + 3I_2^2 x_2'.$$

Для системы ЭП «управляемый выпрямитель — двигатель постоянного тока» коэффициент мощности может быть оценен с помощью следующего приближенного выражения:

$$\cos \varphi_p \approx \cos \alpha,$$

где α — угол регулирования (управления) вентилей преобразователя.

Пример 13.5. Двигатель постоянного тока независимого возбуждения типа 2ПФ—132 имеет следующие номинальные данные: $P_{\text{ном}} = 5,5$ кВт; $U_{\text{ном}} = 110$ В; $I_{\text{ном}} = 63$ А; $n_{\text{ном}} = 1500$ об/мин; $\eta_{\text{ном}} = 79\%$; $R_{\text{я}} = 0,146$ Ом. Определить потери энергии в двигателе за цикл работы, в котором он в течение времени $t_1 = 600$ с работает с моментом нагрузки $M_{c1} = 0,6M_{\text{ном}}$, в течение времени $t_2 = 180$ с работает с номинальной нагрузкой $M_{c2} = M_{\text{ном}}$ и в течение времени $t_3 = 900$ с работает с моментом $M_{c3} = 0,8M_{\text{ном}}$. Ток возбуждения двигателя в цикле не изменяется и равен номинальному.

Решение. 1. Поскольку магнитный поток двигателя не изменяется, то кратность момента равна кратности тока в цепи якоря. Отсюда ток якоря на участках цикла составляет:

$$I_{c1} = I_{\text{ном}} M_{c1} / M_{\text{ном}} = 63 \cdot 0,6 = 37,8 \text{ А}; I_{c2} = I_{\text{ном}} = 63 \text{ А}; I_{c3} = 0,8 I_{\text{ном}} = 50,4 \text{ А}.$$

2. Полные номинальные потери мощности в двигателе равны:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} (1 - \eta_{\text{ном}}) / \eta_{\text{ном}} = 5500(1 - 0,79) / 0,79 = 1462 \text{ Вт}.$$

3. Номинальные переменные потери мощности составляют:

$$V_{\text{ном}} = I_{\text{ном}}^2 R_{\text{я}} = 63^2 \cdot 0,146 = 580 \text{ Вт}.$$

4. Постоянные потери мощности в двигателе найдем:

$$K = \Delta P_{\text{ном}} - V_{\text{ном}} = 1462 - 580 = 882 \text{ Вт}.$$

5. Потери энергии в двигателе находим как сумму потерь энергии от постоянных и переменных потерь мощности:

$$\Delta A = \Delta A_K + \Delta A_V = K(t_1 + t_2 + t_3) + \sum_1^3 V_i t_i = K(t_1 + t_2 + t_3) + \sum_1^3 I_i^2 R_i t_i =$$

$$= 882(600 + 180 + 900) + 0,146(37,8^2 \cdot 600 + 63^2 \cdot 180 + 50,4^2 \cdot 900) =$$

$$= 2045 \text{ кДж.}$$

Пример 13.6. Асинхронный двигатель типа 4АН160S4 имеет номинальную мощность $P_{\text{ном}} = 18,5 \text{ кВт}$; скорость $n_{\text{ном}} = 1450 \text{ об/мин}$; $\eta_{\text{ном}} = 88 \%$.

Рассчитать потери мощности в асинхронном двигателе и КПД при его работе с моментом $M_c = 0,9 M_{\text{ном}}$ на естественной характеристике, если соотношение $R_1/R_2' = 1,8$.

Решение. 1. Определяем скорости двигателя в номинальном режиме и при холостом ходе:

$$\omega_{\text{ном}} = 2\pi n_{\text{ном}}/60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1450/30 = 152 \text{ с}^{-1};$$

$$\omega_0 = 2\pi f_1/p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50/2 = 157 \text{ с}^{-1}.$$

2. Определяем номинальные скольжение и момент двигателя:

$$s_{\text{ном}} = (\omega_0 - \omega_{\text{ном}})/\omega_0 = (157 - 152)/157 = 0,033;$$

$$M_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}/\omega_{\text{ном}} = 18500/152 = 122 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3. Принимая рабочий участок механической характеристики двигателя линейным, при $M_c = 0,9 M_{\text{ном}} = 0,9 \cdot 122 = 110 \text{ Н} \cdot \text{м}$ находим скольжение и скорость при данном моменте нагрузки:

$$s_c = s_{\text{ном}} M_c/M_{\text{ном}} = 0,033 \cdot 0,9 = 0,03;$$

$$\omega_0(1 - s_c) = 157(1 - 0,03) = 152 \text{ с}^{-1}.$$

4. Для получения постоянных потерь мощности находим полные потери в асинхронном двигателе в номинальном режиме:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}(1 - \eta_{\text{ном}})/\eta_{\text{ном}} = 18500(1 - 0,88)/0,88 = 2523 \text{ Вт}.$$

5. Переменные потери в номинальном режиме составляют:

$$V_{\text{ном}} = M_{\text{ном}} \omega_0 s_{\text{ном}} (1 + R_1/R_2') = 122 \cdot 157 \cdot 0,033 (1 + 1,8) = 1770 \text{ Вт}.$$

6. Постоянные потери мощности в асинхронном двигателе:

$$K = \Delta P_{\text{ном}} - V_{\text{ном}} = 2523 - 1770 = 753 \text{ Вт}.$$

7. Определяем переменные и полные потери мощности в заданной точке:

$$V_c = V_1 + V_2 = M_c \omega_0 s_c (1 + R_1/R_2') = 110 \cdot 157 \cdot 0,03 (1 + 1,8) = 1450 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_c = K + V_c = 753 + 1450 = 2203 \text{ Вт}.$$

8. Находим КПД двигателя при работе с данной нагрузкой как отношение мощности на валу к потребляемой активной мощности:

$$\eta_c = M_c \omega_c / (M_c \omega_c + \Delta P_c) = 110 \cdot 152 / (110 \cdot 152 + 2203) = 0,88.$$

13.7. Проверка двигателей по нагреву

Проверка двигателя по нагреву состоит в сопоставлении допустимой для него температуры с той, которую он имеет при работе. В двигателях применяются несколько классов изоляции, допу-

стимая (нормативная) температура нагрева которой составляет: для класса А — 105 °С, Е — до 120 °С, В — до 130 °С, F — до 155 °С, Н — до 180 °С, С — свыше 180 °С. Основными применяемыми в настоящее время классами изоляции являются классы В, F и Н.

При проверке двигателя по нагреву обычно оценивается не абсолютная его температура, а перегрев τ , который представляет собой разность температур двигателя t , °С, и окружающей среды $t_{0,c} = 40$ °С:

$$\tau = t - t_{0,c}.$$

Двигатель будет работать в допустимом тепловом режиме при выполнении условия

$$\tau_{\text{раб}} < \tau_{\text{доп}},$$

где $\tau_{\text{раб}}$ — перегрев при работе двигателя, в качестве которого при проверке выбирается средний или максимальный перегрев за время (цикл) работы двигателя; $\tau_{\text{доп}}$ — допустимый (нормативный) перегрев двигателя, определяемый классом его изоляции.

Проверка этого условия может быть выполнена прямым или косвенными методами.

Прямой метод. Использование прямого метода предусматривает получение зависимости изменения перегрева двигателя во времени при его работе. При использовании одноступенчатой теории (модели) нагрева двигатель рассматривается как однородное тело, имеющее бесконечно большую теплопроводность и одинаковую температуру во всех своих точках; теплоотдача во внешнюю среду принимается пропорциональной первой степени разности температур двигателя и окружающей среды; окружающая среда обладает бесконечно большой теплоемкостью, а теплоемкость двигателя и его теплоотдача не зависят от температуры.

При этих условиях изменение перегрева двигателя происходит по экспоненциальному закону в соответствии с выражением

$$\tau = (\tau_{\text{нач}} - \tau_{\text{уст}})e^{-t/T_T} + \tau_{\text{уст}},$$

где $\tau_{\text{нач}}$ — начальный перегрев двигателя, °С; $\tau_{\text{уст}}$ — установившееся превышение температуры двигателя, °С, $\tau_{\text{уст}} = \Delta P/A$; ΔP — потери мощности в двигателе, Вт; A — теплоотдача двигателя, Дж/(с·°С); T_T — тепловая постоянная времени нагрева или охлаждения двигателя, с, $T_T = C/A$ (где C — теплоемкость двигателя, Дж/°С).

Обычно тепловая постоянная времени двигателей лежит в пределах от нескольких минут до нескольких часов. Прямой метод применяется редко из-за отсутствия в справочниках тепловых параметров двигателя C и A .

Косвенные методы. Косвенные методы проверки двигателей по нагреву не требуют построения графика $\tau(t)$ и предусматривают

оценку теплового режима двигателя по косвенным показателям — средним потерям или эквивалентным величинам.

Сущность метода средних потерь заключается в определении средних потерь мощности ΔP_{cp} за цикл работы двигателя и сопоставлении их с номинальными потерями мощности $\Delta P_{\text{ном}}$. При выполнении условия

$$\Delta P_{\text{cp}} \leq \Delta P_{\text{ном}}$$

средний перегрев двигателя не превысит допустимый.

Средние потери мощности определяются по формуле

$$\Delta P_{\text{cp}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \sum_1^n \Delta P_i t_i,$$

где $t_{\text{ц}}$ — время цикла; n — число участков в цикле; ΔP_i — потери мощности двигателя на i -м участке рабочего цикла; t_i — длительность i -го участка рабочего цикла.

Методы эквивалентных величин — тока, момента и мощности — основываются на методе средних потерь.

Проверка двигателя по нагреву методом эквивалентного тока производится по формуле

$$\sqrt{\sum_1^n (I_i^2 t_i) / t_{\text{ц}}} = I_{\text{экр}} \leq I_{\text{ном}},$$

где I_i — ток на i -м участке рабочего цикла.

Метод эквивалентного тока также применяется для проверки работающих двигателей по нагреву.

Проверка двигателей по нагреву методами эквивалентных момента и мощности производится по выражениям:

$$\sqrt{\sum_1^n (M_i^2 t_i) / t_{\text{ц}}} = M_{\text{экр}} \leq M_{\text{ном}};$$

$$\sqrt{\sum_1^n (P_i^2 t_i) / t_{\text{ц}}} = M_{\text{экр}} \omega_{\text{ном}} = P_{\text{экр}} \leq P_{\text{ном}},$$

где M_i , P_i — соответственно момент и механическая мощность двигателя на i -м участке рабочего цикла.

Особенности проверки двигателей по нагреву для различных режимов его работы рассмотрены в [9].

Пример 13.7. Асинхронный двигатель типа RA132M8 имеет номинальный ток статора $I_{1\text{ном}} = 8\text{ А}$ и работает в течение 5 мин с током статора 7 А, с током статора 9,5 А в течение 3 мин и с током статора 7,5 А в течение 4 мин. Определить, является ли в этом цикле нагрев двигателя допустимым.

Решение. Для проверки используем формулу эквивалентного тока:

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{\sum_1^n (I_i^2 t_i) / t_{\text{ц}}} = \sqrt{(7^2 \cdot 5 + 9,5^2 \cdot 3 + 7,5^2 \cdot 4) / (5 + 3 + 4)} = 7,86 \text{ А.}$$

Так как эквивалентный ток $I_{\text{экв}} = 7,86 < I_{\text{ном}} = 8 \text{ А}$, то средний нагрев двигателя не превышает допустимый уровень.

13.8. Комплектные и интегрированные электроприводы

Комплектный ЭП (КЭП) представляет собой ЭП, в который входят все его функциональные элементы (см. рис. 13.1), согласованные по всем своим характеристикам и параметрам уже на стадии проектирования, конструирования и изготовления. Это сокращает сроки поставки оборудования, упрощает и ускоряет монтаж и наладку ЭП.

КЭП различаются по напряжению питающей сети, числу двигателей (одно-, двух- или многодвигательные), виду и номинальным параметрам силового преобразователя, наличию трансформатора, коммутационной и защитной аппаратуры и ряду других признаков.

Комплектный ЭП с двигателями постоянного тока. В его состав входят двигатель постоянного тока с тахогенератором и (или) датчиком положения, тиристорные преобразователи для питания обмоток возбуждения и якоря, силовой трансформатор или реактор, сглаживающий реактор, коммутационная и защитная аппаратура (автоматические выключатели, линейные контакторы, рубильники), устройство динамического торможения (при необходимости), схема управления ЭП, блоки питания обмотки возбуждения тахогенератора и электромагнитного тормоза, шкаф высоковольтного ввода (при необходимости) и комплект аппаратов, приборов и устройств для управления и контроля состояния ЭП.

Датчики технологических параметров рабочих машин и механизмов, а также управляющие и сигнальные устройства, монтируемые на пультах управления, ввиду их специфичности в комплект поставки обычно не входят.

Примером комплектного электропривода постоянного тока могут служить ЭП серии КТЭУ, которые обладают широким спектром своих функциональных возможностей. Они выпускаются в однодвигательном и многодвигательном вариантах реверсивного и нереверсивного исполнения как с динамическим торможением, так и без него. КТЭУ мощностью до 2 000 кВт обеспечивают регулирование скорости, положения, ЭДС, мощности и натяжения, а КТЭУ на мощности до 12 000 кВт — только регулирование

скорости и мощности. На основе этих КЭП могут быть реализованы ЭП и со специальными характеристиками.

Комплектные электроприводы серий ЭКТ и КТЭ мощностью соответственно до 2 000 и 1 000 кВт имеют примерно те же функциональные возможности, что и серия КТЭУ, и отличаются набором и исполнением отдельных блоков. Они могут применяться в различных ЭП, требующих регулирования скорости, положения и натяжения.

Большая группа КЭП разработана и широко применяется для привода механизмов станков, роботов, манипуляторов и ряда других подобных рабочих машин и механизмов. К их числу относятся КЭП серий ЭТУ 3601, ЭТЗ, ЭТ6, ЭТРП, ЭПУ1, ЭПУ2, ПРП, ЭШИР-1. В этих КЭП применяются высокомоментные двигатели типов ПБСТ, ПГТ, 2П, ПБВ, ДК1, обеспечивающие высокие динамические показатели работы привода. Эти двигатели имеют встроенные тахогенераторы, с помощью которых реализуется обратная связь по скорости. В состав этих КЭП кроме двигателя с тахогенератором входят силовой преобразователь, устройство управления, автоматический выключатель, трансформатор питания, сглаживающий реактор, аппараты защиты и сигнализации. Некоторые из этих КЭП (ЭТУ3601, ЭТЗ) имеют блоки связи с системами ЧПУ станков.

Большинство указанных КЭП имеют силовые тиристорные преобразователи, построенные по однофазным или трехфазным, мостовым и нулевым, нереверсивным и реверсивным схемам. В КЭП типов ПРП и ЭШИР-1 используется транзисторный преобразователь с широтно-импульсной модуляцией напряжения (ШИМ).

Схемы управления большинства станочных КЭП построены по принципам подчиненного регулирования координат с П- и ПИ-регуляторами тока и скорости, что обеспечивает большие диапазоны регулирования скорости, лежащие в пределах одной тысячи и более. В КЭП для главных движений станка (ЭТЗ, ЭТРП, ЭПУ1 и др.) предусматривается управление током возбуждения двигателя с помощью тиристорных преобразователей (возбудителей), чем достигается увеличение диапазона регулирования скорости.

Мощность станочных КЭП составляет единицы и десятки киловатт.

Комплектный электропривод с двигателями переменного тока. Вследствие широкого применения регулируемых ЭП с двигателями переменного тока выпускается широкая номенклатура КЭП с преобразователями частоты. В состав таких КЭП могут входить двигатель переменного тока с необходимыми датчиками переменных ЭП, преобразователь частоты или регулятор напряжения, коммутационная аппаратура и тормозной резистор.

К первым сериям КЭП относятся серийные ЭП типа ЭКТ и ЭКТ2 и типа «Размер 2М», нашедшие применение в станках с ЧПУ. Примерами современных КЭП с асинхронными двигателями служат ЭП типов АП-140, ЭПА и ЭТА.

Во многих отраслях промышленности применение находят КЭП с синхронными двигателями. К таким приводам можно отнести все виды вентильных двигателей, в состав которых входят электронный коммутатор (преобразователь частоты) и датчик положения ротора.

В станкостроении и робототехнике применяются специализированные ЭП типа ЭПБ, ЭПБ-2 и ЭПБ-3, выполненные по схеме вентильного двигателя. Они находят применение для приводов станков, роботов и манипуляторов и ряда других установок.

На предприятиях промышленности и жилищно-коммунального хозяйства применение находят станции группового управления несколькими двигателями. К ним, в частности, относятся станции для управления электроприводами нескольких насосных установок, устройства пуска нескольких однотипных двигателей от «мягкого» пускателя и ряд других.

Интегрированный ЭП. В последние годы для привода некоторых станков и специальных механизмов стали разрабатываться и применяться ЭП с объединением в единую конструкцию двигателя, механической передачи, датчиков координат, а в некоторых случаях — и силового преобразователя. Такой электромеханический модуль, называемый иногда мехатронным, позволяет в ряде случаев получать более высокие технико-экономические показатели работы ЭП и технологического оборудования.

Контрольные вопросы

1. Что называется электрическим приводом?
2. Какие компоненты входят в состав электропривода? Назовите примеры их реализации.
3. По каким признакам классифицируются электроприводы?
4. Для чего требуется регулировать переменные электропривода?
5. Как выглядит схема включения ДПТНВ?
6. Какими способами можно получить регулировочные характеристики ДПТНВ?
7. Какие особенности имеет пуск ДПТНВ?
8. Как выглядят схема включения АД?
9. Какими способами можно ограничивать пусковой ток АД?
10. Какими способами можно быстро затормозить АД?
11. Какие существуют способы для регулирования скорости АД?
12. Как выглядят схема включения и рабочая характеристика СД?
13. Какими методами можно проверить двигатели по нагреву?

14.1. Осветительные приборы

Осветительные приборы по способу излучения ими светового потока делятся на тепловые и люминесцентные. Первую группу составляют лампы накаливания (ЛН), а вторую — разрядные лампы (РЛ), в которых световое излучение образуется в результате электрического разряда в газах, парах металла или их смесях.

Основными параметрами источников света являются номинальная мощность; световая отдача, лм/Вт; напряжение питающей сети; пусковой и рабочий ток; номинальный световой поток; срок службы.

Лампы накаливания. Принцип действия ламп накаливания основывается на свечении обтекаемой электрическим током спирали, помещенной в стеклянную колбу с инертным газом. Лампы накаливания общего назначения В (вакуумные), Б, БК, Г (газонаполненные со спиральным телом накаливания), НВ, местного освещения МО и с отражающим слоем ЗШ, ЗС и ЗК выпускаются на напряжения от нескольких единиц до сотен вольт, мощности до полутора киловатт и имеют срок службы от 1 000 до 2 500 ч. КПД ламп накаливания составляет примерно 6 %, а их удельная световая отдача лежит в пределах 10...20 лм/Вт. В табл. 14.1 приведены данные некоторых типов ламп накаливания.

Люминесцентные лампы низкого давления. Принцип действия люминесцентных ламп (ЛЛ) низкого давления основан на дуговом разряде в парах ртути низкого давления. На практике нашли применение ЛЛ типов ЛД (ЛЛ дневного света); ЛДЦ (ЛЛ дневного света улучшенной светопередачи); ЛБ (ЛЛ белого света); ЛХБ (ЛЛ холодного белого света); ЛТБ (ЛЛ теплого белого света).

После обозначения цветности в маркировку ЛЛ входят буквы, обозначающие особенности конструкции: Р — рефлекторная; У — U-образная; К — кольцевая; Б — быстрого пуска; А — амальгамная; Т — с трехполосным спектром излучения. Цифры, стоящие после букв, обозначают мощность лампы, Вт.

Люминесцентные лампы имеют по сравнению с лампами накаливания более высокий КПД — до 17 % и удельную световую отдачу — 40...60 лм/Вт и более. Средняя продолжительность горения ЛЛ низкого давления не должна быть менее 12 000 ч.

В табл. 14.2 приведены данные люминесцентных ламп низкого давления.

Спиральные компактные люминесцентные лампы с цоколем E27 могут быть использованы для замены ламп накаливания. В табл. 14.3 приведены данные ламп типа СКЛ производства АО «Московский электроламповый завод». Лампы типа СКЛ выпускаются на напряжения постоянного тока 12 В и переменного тока 127 и 220 В.

Люминесцентные лампы высокого давления. При повышении давления в лампе разряд в ней становится более интенсивным по излучению. К современным типам ламп этого типа относятся металлогалогенные лампы (МГЛ), в колбу которых вводятся добавки в виде галогенидов различных металлов. Это позволяет получить у таких ламп более высокую световую отдачу по сравнению с ртутными ЛЛ. Их срок службы составляет 3 000... 10 000 ч.

Маркировка ЛЛ высокого давления имеет следующий вид: ДРЛ — дуговая ртутная лампа высокого давления; ДРИ (МГЛ) — дуговая ртутная лампа высокого давления с иодидными добавками; ДНаТ — дуговая натриевая лампа высокого давления. В обозначении ламп цифры после букв соответствуют мощности ламп, Вт, далее в скобках красное отношение (световой поток лампы в красной части спектра, выраженный в процентах ко всему световому потоку).

В табл. 14.4 приведены данные некоторых ЛЛ высокого давления.

Натриевые лампы по сравнению с ртутными характеризуются пониженным расходом электроэнергии и улучшенной цветопередачей.

Особенностью газоразрядных ламп является необходимость использования для их включения специальных устройств, называемых стартерными пускорегулирующими аппаратами (ПРА). ПРА обеспечивают быстрый разогрев электродов лампы до температуры термоэлектронной эмиссии и последующий переход на основную схему питания лампы. Пускорегулирующие аппараты по своим характеристикам и принципу действия подразделяются на стартерные ПРА и ПРА быстрого и мгновенного зажигания.

Расшифровка обозначений ПРА: 1-я цифра — число ламп, включаемых через аппарат; УБ — стартерное зажигание; АБ — безстартерное зажигание; И, Е, К — соответственно индуктивный, емкостной и компенсированный по коэффициенту мощности ПРА; цифры дробью — мощность ламп/напряжение сети; А — антистробоскопический; В — встроенный в светильник; Н — независимой установки; П — с пониженным уровнем шума и радиопомех.

На рис. 14.1 для примера приведены схема включения и конструкция стартерного ПРА для ЛЛ низкого давления [14]. В схему ПРА (рис. 14.1, а) входят стартер VL и дроссель LL , необходи-

Технические характеристики ламп накаливания

Тип	Номинальная мощность, Вт	Световой поток, лм	Тип	Номинальная мощность, Вт	Световой поток, лм
В	15	105	Г	150	2 000
	25	220		200	2 920
Б	40	415		300	4 610
	60	715		500	8 300
	75	950		750... 1 000	13 100... 18 600
	100	1 350		200	2 920
БК	40	460		300	4 610
	60	790		500	8 300
	75	1 020		750... 1 000	13 100... 18 600
	100	1 450			
МО12-15	15	200	МО24-100	100	1 740
МО12-60	60	1 000	МО36-60	60	760
МО24-60	60	950	МО36-100	100	1 590

Примечание. Напряжение ламп, кроме ламп МО, составляет 220 В. Напряжение ламп МО обозначено первыми двумя цифрами после букв и составляет 12...36 В.

Технические характеристики люминесцентных ламп низкого давления

Тип	Мощность, Вт	Ток лампы, А	Световой поток, лм
ЛДЦ	40	0,43	2 100
	80	0,86	3 610
ЛД	40	0,43	2 340
	80	0,86	4 070
ЛХБ	40	0,43	2 780
	80	0,86	4 600
ЛТБ	40	0,43	2 780
	80	0,86	4 720
ЛБ	40	0,43	3 000
	80	0,86	5 220

мый для стабилизации режимов лампы *EL*. Стартер (рис. 14.1, б) представляет собой стеклянную колбу 5 с инертным газом, в которой находятся металлический 4 и биметаллический 1 электроды с контактами 3, выведенными через цоколь 2.

При подаче напряжения на схему между электродами стартера образуется тлеющий разряд с током 0,01...0,04 А. Теплота, выделяемая при протекании этого тока через стартер, нагревает стартер. Он через 0,2...0,4 с выгибается в сторону второго электрода и происходит замыкание контактов 3.

Технические характеристики компактных ламп СКЛ ЭН

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, ч	Габаритные размеры, мм	Эквивалентная мощность лампы накаливания, %
СКЛ ЭН 7А	7	400	8 000	125×60	40
СКЛ ЭН 11А	11	600	8 000	140×60	60
СКЛ ЭН 15А	15	900	8 000	150×60	75
СКЛ ЭН 20А	20	1 200	8 000	155×60	100

По цепи лампы начинает протекать пусковой ток, значение которого определяется напряжением сети, сопротивлениями дросселя и электродов лампы. Этого тока и соответственно выделяемой теплоты недостаточно для сохранения замкнутого состояния контактов 3, биметаллический электрод разгибается и разрывает цепь пускового тока.

Благодаря наличию в цепи дросселя при размыкании контактов 3 в цепи возникает короткий импульс напряжения длительностью 1...2 мкс, который зажигает ЛЛ. Для повышения надежности включения лампы параллельно контактам стартера может быть включен конденсатор емкостью 5...10 пФ, что увеличивает длительность импульса напряжения. Общая длительность пускового режима зажигания лампы может составлять 5...15 с.

Технические данные некоторых ПРА для газоразрядных ламп приведены в табл. 14.5.

Таблица 14.4

Технические характеристики дуговых ламп высокого давления

Тип	Номинальная мощность, Вт	Ток лампы, А	Световой поток, лм	Срок службы, тыс. ч
ДРЛ 80	80	—	2,3	6
ДРЛ 125	125	—	3,7	6
ДРЛ 250	250	—	8,2	8
ДРЛ 400	400	—	14,4	10
ДРЛ 700	700	—	25,9	10
ДРЛ 1000	1 000	—	37,4	10
ДРИ 250	250	2,5	18,7	4,5
ДРИ 400	400	3,5	32	4,5
ДРИ 700	700	5,6	59,5	3
ДРИ 1000	1 000	9,5	90	1
ДРИ 1000	1 000	9,5	80	1
ДРИ 2000	2 000	10,8	190	1
ДРИ 3500	3 500	18,8	300	1
ДНаТ 250	250	2,5	25	10
ДНаТ 400	400	3,5	40	10

Примечание. Лампы ДРИ 2000 и ДРИ 3500 выпускаются на напряжение 380 В, остальные — на 220 В.

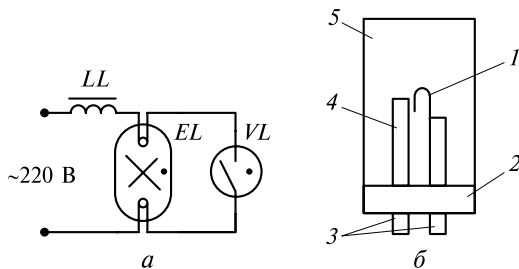


Рис. 14.1. Электрическая схема пускорегулирующего аппарата (а) и его конструкция (б):

1 — биметаллический электрод; 2 — цоколь; 3 — контакты; 4 — металлический электрод; 5 — колба

Светильники — это световые приборы, в состав которых входят один или несколько источников света, оптические устройства отражающего, преломляющего или рассеивающего света, ПРА, расположенные в корпусе с необходимыми установочными и другими узлами. Разновидностью светильников являются прожекторы, предназначенные для освещения отдаленных объектов.

Светильники для внутреннего освещения типа НСП-17, НСП-19 и НСП-22 снабжены ЛН мощностью 200, 500 или 1000 Вт, типа РСП-05 и РСП-18 — лампами ДРЛ мощностью 250... 1000 Вт, типа ГСП-18 — лампами ДРИ мощностью 250... 1000 Вт.

Светильники для наружного освещения типа ЖКУ01-400.002-УХЛ1 снабжены лампами ДНаТ мощностью 400 Вт, типа РКУ-03 — лампами ДРЛ мощностью 250 или 400 Вт, типа РТУ-01, 04-125 — лампами ДРЛ мощностью 125 Вт. Более подробные сведения о светильниках содержатся в [24].

14.2. Осветительные системы

Наилучшие условия освещения создаются при использовании осветительных систем. До недавнего времени в промышленности создавались и использовались в основном световые системы общего равномерного или комбинированного освещения с применением местного освещения в дополнение к общему. Степень освещенности при этом устанавливается единой для всего помещения, в том числе и для вспомогательных площадей, в соответствии с разрядами зрительных работ.

Более эффективными при несимметричном расположении технологического оборудования являются локальные системы общего освещения, в которых приборы освещения располагаются в соответствии с местами расположения технологического оборудо-

дования. При необходимости получения на рабочих местах высоких (50...4000 лк) уровней освещенностей с ними сочетается индивидуальное освещение. Экономия электроэнергии при таком комбинированном освещении может достигать 40 %.

Ряд производственных помещений не имеет естественного освещения или оно недостаточно по своему уровню. В этих случаях важной задачей является введение и распределение в таких помещениях солнечного излучения. Одним из вариантов ее решения является использование световодов, в которые свет вводится от специальных концентраторов солнечной энергии — гелиостатов, располагаемых вне зданий.

Улучшение условий освещенности объектов с одновременной экономией энергии дает применение средств регулирования и автоматики, регулирующих степень искусственного освещения в зависимости от уровня естественного освещения.

В осветительных системах для управления осветительными приборами все более широкое применение находят полупроводнико-

Таблица 14.5

Технические характеристики пускорегулирующих аппаратов

Тип ПРА	Мощность лампы, Вт	Пусковой ток, А	Рабочий ток, А
<i>Стартерные ПРА</i>			
1УБИ-20К/220-ВП-09	20	0,6	0,35
1УБИ-20К/220-ВП-20	20	0,6	0,35
1УБИ-40К/220-ВП-05	40	0,75	0,43
1УБИ-20К/220-ВП-20	40	0,75	0,43
1УБИ-80К/220-ВП-06	80	1,7	0,86
<i>ПРА для ламп ДРЛ</i>			
ДБИ-125 ДРЛ/220-В	125	2,7	1,15
ДБИ-250 ДРЛ/220-В	250	2,5	2,15
ДБИ-400 ДРЛ/220-В	400	7,15	3,25
ДБИ-125 ДРЛ/220-Н	125	2,4	1,15
ДБИ-400 ДРЛ/220-Н	400	7,25	3,25
ДБИ-700 ДРЛ/220-Н	7 000	12	5,45

вые выключатели, регуляторы светового потока и стабилизаторы напряжения.

Устройство трехфазное типа ППТТ предназначено для использования в системах электроосвещения с лампами накаливания, типа ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКСТ и люминесцентным лампами. Оно способно обеспечить поддержание напряжения питания осветительных приборов, их автоматическое включение и выключение, а также регулирование освещенности объектов. Номинальное напряжение питающей сети 220 В, номинальные токи нагрузки 63, 100 и 160 А.

Преобразователи типа ПН-ТТЕ (ОАО «Электровыпрямитель», г. Саранск) обеспечивают оптимальные режимы включения ламп накаливания или газоразрядных ламп типа ДРЛ и ДНаТ по заданной программе, стабилизацию напряжения питания ламп на заданном уровне и его снижение до уровня 175 или 195 В для обеспечения экономичной работы светильников. Микропроцессорная система управления обеспечивает также контроль, защиту и сигнализацию с отображением информации на встроенном дисплее и ее передачу на диспетчерский пульт.

Блок ограничителя напряжения БОН-220-40 предназначен для ограничения напряжения на заданном уровне в цепях освещения и для уменьшения броска тока при включении этих цепей. Напряжение питания 220 (+22, -33) В частотой 50 Гц, ток нагрузки 40 А, диапазон регулирования уровня ограничения выходного напряжения 170...200 В.

Стабилизатор-ограничитель напряжения типа ТОН-3 предназначен для поддержания напряжения в осветительных сетях с лампами накаливания, люминесцентными лампами, лампами типа ДРЛ, ДРИ и КИ-220 при повышении напряжения до 30 % относительно номинального и может быть использован как бесконтактный выключатель осветительной нагрузки. Его номинальные ток 63 и 100 А и напряжение 380/220 В, срок службы 10 лет, ресурс 10 000 ч.

Пускатели типа ПБЗ предназначены для включения питания сетей наружного освещения и содержат в одном корпусе три самостоятельных однофазных пускателя. Напряжение сети 3×380 В с нулевым проводом, номинальные токи 63...240 А, степень защиты IP44, срок службы 15 лет.

Контрольные вопросы

1. Опишите принцип действия ламп накаливания.
2. Опишите принцип действия газоразрядных ламп.
3. Для чего применяются пусковые устройства газоразрядных ламп?
4. Назовите новые типы осветительных приборов.
5. Что представляет собой светильник как световой прибор?

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**15.1. Назначение и классификация электротехнологических установок**

Электротехнологией называется совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката, осуществляемых с использованием электрической энергии. Электротехнология реализуется с помощью электротехнологических установок (ЭТУ). По своему назначению и принципу действия ЭТУ подразделяются на следующие виды.

Электротермические установки, предназначенные для тепловой обработки и изготовления материалов и изделий. Они подразделяются на печи сопротивления, дуговые и индукционные; установки диэлектрического, электронно-лучевого, плазменного нагрева и др.

Электросварочные установки, предназначенные для сваривания металлических изделий с помощью электрического тока.

Электролизные установки, предназначенные для получения веществ, нанесения металлических покрытий (гальваностегия), воспроизведения формы предметов (гальванопластика) за счет процессов электрохимического окисления-восстановления, происходящих на погруженных в электролит электродах при прохождении электрического тока.

Электрофизические установки, предназначенные для обработки поверхностей материалов и изделий шлифованием, полированием и упрочнением за счет локализованного нагрева с помощью искры, дугового разряда, электронного луча или контактного сопротивления.

Электрохимические установки предназначены для размерной обработки и отделки поверхностей за счет окисления материала анода.

Установки аэрозольной технологии, предназначенные для обработки материалов и изделий на основе взаимодействия электрического поля и электрически заряженных диспергированных веществ в электрическом поле.

15.2. Электротермические установки

В электрических печах сопротивления (ЭПС) технологический процесс осуществляется за счет тепла, выделяемого в специальных нагревателях (ЭПС косвенного нагрева) или в

самом обрабатываемом веществе, материале или изделии (ЭПС прямого действия) при протекании электрического тока.

Электрические печи сопротивления косвенного действия бывают низкотемпературными (температура до 700 °С), среднетемпературными (до 1 250 °С) и высокотемпературными (свыше 1250 °С). Электрические печи сопротивления косвенного нагрева питаются от одно- или трехфазных сетей переменного тока напряжением 220 В и 380 В, имеют мощность от 50 до 10 000 кВт и коэффициент мощности в пределах от 0,75 до 0,95.

Электрические печи сопротивления прямого действия имеют мощности до 15 000 кВт, питаются от сетей с напряжением 0,38, 10(6) кВ и имеют коэффициент мощности 0,8...0,9.

По способу загрузки и характеру работы во времени печи сопротивления подразделяются на печи периодического действия (садочные печи) и печи непрерывного действия (методические печи). Обозначение типовых печей сопротивления: первая буква (С) обозначает метод нагрева сопротивлением. Вторая буква определяет конструкцию электропечи: Н — камерная; Ш — шахтная; К — конвейерная; Б — барабанная; Т — толкательная; Р — рольганговая; В — ванна; П — протяжная; Э — элеваторная и т.д. Третья буква обозначает характер среды: О — окислительная (обычная атмосфера); З — защитная; Ц — цементационный газ; С — соль и щелочь; Р — агрессивная среда; К — компрессия (повышенное давление в печи).

Цифры в числителе после буквенного обозначения дают размеры рабочего пространства печи в дециметрах, а в знаменателе — максимальную температуру печи.

Электрические печи сопротивления питаются от специальных понизительных трансформаторов однофазных типа ТПО и ТПО-У или трехфазных типа ТПТ, или непосредственно от электросетей с напряжением 380 В и 220 В. Для их управления используются щиты управления типов ИР, ИЗР и ИЗРП, включающие в себя автоматический выключатель, контактор, устройства теплового контроля, управления и сигнализации.

Дуговые печи (ДП) предназначены главным образом для плавки различных металлов за счет тепловой энергии, выделяемой при горении одной или нескольких дуг внутри печи. В ДП прямого действия дуга горит между электродами и металлом, в ДП косвенного действия дуга горит между электродами. Наибольшее распространение получили сталеплавильные ДП (ДСП), руднотермические и вакуумные ДП для плавки тугоплавких металлов. Мощность ДП лежит в пределах от 630 до 50 000 кВт, напряжение питающих сетей 6(10) и 35 кВ. К ДП относятся и установки электрошлакового переплава, позволяющие получать высококачественный металл с заданным химическим составом и улучшенной структурой.

В индукционных печах (ИП) нагрев или закалка токопроводящих веществ или изделий осуществляется за счет возбуждения в них электрических токов в результате воздействия на них переменного электромагнитного поля. Частота этого поля может быть низкой (50 Гц), средней (до 10 кГц) и высокой (более 10 кГц).

В канальных ИП нагрев металла осуществляется в каналах футеровки, представляющих вторичную обмотку трансформатора. Мощность канальных ИП может составлять 18...4 000 кВт, напряжение питающих сетей 0,38, 10(6) кВ. В промышленности используются печи для плавки меди и ее сплавов типа ИЛК и ИЛКМ вместимостью 1...25 т, алюминия и его сплавов типа ИАК вместимостью 0,4...60 т, цинка типа ИЦК вместимостью 25, 40 и 60 т и для плавки, выдержки и перегрева чугуна типа ИЧК, ИЧКМ и ИЧКР вместимостью 6...60 т.

В тигельных ИП нагрев металла (обычно стали) осуществляется в тигле, вмонтированном в индуктор. Индуктор питается током промышленной частоты или повышенной частоты величиной 500...10 000 Гц. Мощность таких печей составляет от 170 до

Таблица 15.1

Технические характеристики преобразователей частоты серии ПЧ

Тип	Номинальная мощность, кВт	Номинальное напряжение сети, В	Номинальное выходное напряжение, В	Номинальная выходная частота, кГц	Масса, кг
ТПЧ3-22	3	380	220	22	150
ТПЧ10-10	10	380	220	10	150
ТПЧ50-10	50	380	400...800	10	400
ТПЧ63-2,4	63	380	До 800	2,4	400
ТПЧ100-10	100	380	До 800	10	500
ТПЧ160-2,4	160	380; 660	До 800	2,4	530
ТПЧ200-10	200	380; 660	До 800	10	550
ТПЧ250-2,4	250	380; 660	До 800	2,4	550
ТПЧ320-1	320	380; 660	До 800	1	700
ТПЧ320-2,4	320	380; 660	До 800	2,4	700
ТПЧ630-1	630	660	800	1	700
ТПЧ630-2,4	630	660	800	2,4	700

18 000 кВт, напряжение их питания — 0,38, 10(6) кВ. В промышленности используются тигельные печи серий ИСТ, ИАТ, ИЧТ, ИЛТ открытого исполнения и серии ИСВ — вакуумные для плавки особо чистых или токсичных металлов.

Нагревательные ИП используются для закалки изделий или для их нагрева перед осуществлением горячей деформации —ковки, штамповки или гибки. Мощности нагревательных ИП доходят до 32 000 кВт, напряжение питания составляет 0,38, 10(6) кВ, а коэффициент мощности лежит в пределах 0,6... 0,8. В промышленности используются индукционные установки сквозного нагрева непрерывного действия серии ИНМ промышленной частоты на мощности от 500 до 5 000 кВт, серии КИН повышенной частоты 1 000 и 2400 Гц на мощности 250, 500 и 750 кВт и универсальные закалочные установки типа И31 и И32 на мощности от 30 до 200 кВт с рабочими частотами 2 400 и 8 000 Гц.

Источниками тока повышенной частоты являются машинные генераторы и статические полупроводниковые преобразователи частоты. В табл. 15.1 приведены данные преобразователей частоты серии ТПЧ, предназначенных для питания напряжением средней и повышенной частоты установок индукционного нагрева и плавки металлов. Преобразователи частоты питаются от трехфазной сети с частотой 50 Гц, а на выходе имеют однофазное напряжение высокой частоты. Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69 — УХЛ4.

Для использования в установках индукционного нагрева используются преобразователи частоты серии «Параллель» ППЧ. Они обеспечивают преобразование напряжения трехфазного напряжения частотой 50 и 60 Гц в однофазное напряжение с номинальной частотой 1 000, 2 000, 4 000, 8 000, 10 000, 22 000 и 44 000 Гц. Номинальная выходная мощность ППЧ составляет 30, 63, 100, 160, 250 и 320 кВт, климатическое исполнение и категория размещения УХЛ4.

15.3. Сварочные электротехнологические установки

Сваркой называется процесс получения неразъемного соединения деталей машин и конструкций посредством установления между ними межатомных связей при их нагреве, пластической деформации или при совместном действии того и другого. По способу нагрева свариваемых объектов сварочные ЭТУ отличаются большим многообразием. Они бывают дуговыми, контактными, индукционными (высокочастотными), плазменными, электронно-лучевыми и лазерными, при этом каждый вид сварки подразделяется, в свою очередь, на подвиды. Так, контактная сварка,

реализуемая нагревом или расплавлением свариваемых металлических объектов при прохождении электрического тока в месте их соединения, может быть точечной, шовной или стыковой.

Сварочное оборудование имеет следующую систему обозначений:

- первая позиция — наименование оборудования (А — агрегат, В — выпрямитель, И — источник питания, П — преобразователь, Т — трансформатор);
- вторая позиция — вид сварки (Д — дуговая, П — плазменная);
- третья позиция — способ сварки (О — открытой дугой, Ф — под флюсом, Г — в защитном газе, М — для многопостовой сварки, И — импульсный, Б — с бензиновым двигателем, Д — с дизельным двигателем);
- четвертая позиция — одна или две цифры — номинальный сварочный ток, А;
- пятая позиция — две цифры — регистрационный номер;
- шестая позиция — климатическое исполнение (У — умеренный климат, Т — тропический, ХЛ — холодный) и категория размещения.

Источники питания для сварки различаются:

- *по роду тока* — источники переменного и постоянного тока, в качестве которых применяются трансформаторы, генераторы и полупроводниковые преобразователи;
- *по виду внешних характеристик* — с падающей, жесткой или возрастающей;
- *по способу установки* — стационарные и передвижные;
- *по назначению* — одно- и многопостовые; универсальные и специализированные; для ручной, автоматической и полуавтоматической дуговой сварки плавящимся и неплавящимся электродом в защитных, инертных газах и под флюсом; плазменно-дуговой сварки и резки и электрошлаковой сварки;
- *по схеме подключения* — одно- и трехфазные.

Данные некоторых сварочных трансформаторов приведены в табл. 15.2.

Регулирование сварочного тока в трансформаторах типа СТЭ осуществляется с помощью отдельного дросселя; в трансформаторах типа СТАН-0, ОСТА-350, СТШ-250, СТШ-500, СТШ-500-80 — подвижным магнитным шунтом; типа ТДФ-1001 и ТДФ-2001 — с помощью неподвижного магнитного шунта; типа ТСД, ТСК и ТД — за счет перемещения подвижных вторичных обмоток.

Трансформаторы типа ТСД и СТН сочетают в себе свойства трансформаторов типа СТЭ и ТДФ. Трансформаторы однофазные и трехфазные типа ТШС имеют секционированные первичные и вторичные обмотки для регулирования вторичного напряжения.

Технические характеристики сварочных трансформаторов

Тип	Номинальная мощность, кВ · А	Вторичное напряжение холостого хода, В	Пределы регулирования сварочного тока, А	Номинальный КПД, %	Масса трансформатора и дросселя, кг
СТЭ-24У	23	60	100 ... 500	83	130/90
СТЭ-34У	—	60	150 ... 700	86	160/100
СТН-500-1	32	60	150 ... 700	85	275
СТН-700	43,5	60	200 ... 900	85	380
ТСД-500-1	42	80	200 ... 600	87	450
ТСД-1000-4	78	70	400 ... 1 200	90	510
ТСД-2000-2	162	72...84	800 ... 2 200	90	675
ТД-102	11,4	80	55 ... 175	72	38
ТД-306	19,4	80	90 ... 300	72	71
ТД-300	20	61...79	60 ... 385	88	137
ТД-500	32	60...76	90 ... 650	85	210
ТД-502	26,5	60...76	100 ... 560	85	240
ТДФ-1001	82	68...71	400 ... 1 200	87	720
ТДФ-1601	170	74...79	600 ... 1 800	88	1 000

В качестве источников питания сварочных установок постоянным током используются электромашинные преобразователи и сварочные выпрямители.

Электромашинные преобразователи типа ПСО, ПС, ПД и ПСГ состоят из асинхронного двигателя и генератора постоянного тока типа ГС или ГСО. Мощность преобразователей составляет от 4 до 45 кВ · А, напряжение холостого хода от 40 до 90 В; они обеспечивают номинальные сварочные токи в пределах от 120 до 1 200 А с их регулированием в 4—10-кратном диапазоне.

Сварочные агрегаты типа АДД и АСДП имеют привод генератора от дизеля и обеспечивают сварочный ток в пределах 15... 300 А, а агрегаты типа АДБ — привод генератора от бензиновых двигателей при тех же пределах сварочного тока

Для реализации сварочных процессов используются различные машины и автоматы, устройство и характеристики которых подробно рассмотрены в [24].

Контрольные вопросы

1. Какие процессы называются электротехнологическим?
2. Какие виды электротехнологических установок вы знаете?
3. Какие существуют виды электрической сварки?

1. *Алиев И. И.* Электротехнический справочник / И. И. Алиев. — 3-е изд., испр. и доп. — М. : ИП РадиоСофт, 2000. — 384 с.
2. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник / [А. Э. Кравчик и др.] — М. : Энергоатомиздат, 1982. — 504 с.
3. *Беляев А. В.* Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ / А. В. Беляев. — Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние. 1988. — 176 с.
4. Выбор электрических аппаратов для электропривода, электрического транспорта и электроснабжения промышленных предприятий / [Е. Г. Акимов, Ю. С. Коробков, А. В. Савельев и др.] ; под ред. А. А. Чунихина, Ю. С. Коробкова. — М. : Изд-во МЭИ, 1992. — 123 с.
5. Выбор электрических аппаратов для электротехнических промышленных устройств / под ред. Ю. С. Коробкова. — М. : Изд-во МЭИ, 1992. — 123 с.
6. *Дьяков В. И.* Типовые расчеты по электрооборудованию / В. И. Дьяков. — 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 1976. — 144 с.
7. *Ильинский Н. Ф.* Основы электропривода : учеб. пособие для вузов / Н. Ф. Ильинский. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Изд-во МЭИ, 2003. — 224 с.
8. *Конюхова Е. А.* Проектирование электроснабжения промышленных предприятий / Е. А. Конюхова ; под ред. Е. А. Панкратовой. — М. : Изд-во МЭИ, 2000. — 36 с.
9. *Москаленко В. В.* Электрический привод : учеб. пособие для сред. проф. образования / В. В. Москаленко. — 2-е изд., стер. — М. : Изд. центр «Академия», 2004. — 368 с.
10. *Перельман Б. Л.* Полупроводниковые приборы. Справочник / Б. Л. Перельман. — М. : Солон, Микротех, 1996. — 176 с.
11. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры. Справочник / под ред. Н. Н. Горюнова. — 2-е изд. — М. : Энергоатомиздат, 1984. — 744 с.
12. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 160 с.
13. Правила устройства электроустановок. Раздел 1. Общие правила. Электрооборудование специальных установок. — 7-е изд. — М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. — 184 с.
14. *Соколова Е. М.* Электрическое и электромеханическое оборудование. Общепромышленные механизмы и бытовая техника : учеб. пособие для студ. сред. проф. образования / Е. М. Соколова. — М. : Мастерство, 2001. — 224 с.

15. Справочная книга электрика / под ред. В. И. Григорьева. — М. : Колос, 2004. — 746 с.
16. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Ю. Г. Барыбина и др. — М. : Энергоатомиздат, 1991. — 464 с.
17. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. / под ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова. — М. : Энергоатомиздат. — Т. 1. — 1988. — 456 с.; Т. 2. — 1989. — 688 с.
18. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения / под ред. И. А. Баумштейна, С. А. Бажанова. — 3-е изд. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 768 с.
19. Унифицированная серия асинхронных двигателей Интерэлектро / под ред. В. И. Радина. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 416 с.
20. Электрические и электронные аппараты : учебник для вузов / под ред. Ю. К. Розанова. — М. : Энергоатомиздат, 1998. — 752 с.
21. Электрические кабели, провода и шнуры. Справочник / под ред. Н. И. Белоруссова. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 536 с.
22. Электротехнический справочник : в 4 т. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / под ред. проф. МЭИ В. Г. Герасимова и др. — 8-е изд. — М. : Изд. МЭИ, 1995. — 440 с.
23. Электротехнический справочник : в 4 т. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / под ред. проф. МЭИ В. Г. Герасимова и др. — 8-е изд. — М. : Изд-во МЭИ, 1998. — 518 с.
24. Электротехнический справочник : в 4 т. Т. 4. Использование электрической энергии / под ред. проф. МЭИ В. Г. Герасимова и др. — 8-е изд. — М. : Изд-во МЭИ, 1998. — 518 с.
25. ГОСТ Р 50369—92. Электроприводы. Термины и определения. — М. : Изд-во стандартов, 1993. — 14 с.

Введение	3
Глава 1. Основные сведения по электротехнике	4
1.1. Электротехнические величины, их обозначения и единицы измерения	4
1.2. Основные понятия электротехники и электрооборудования	8
1.3. Основные законы электротехники	11
1.4. Цепи постоянного тока	14
1.5. Цепи переменного тока	17
1.6. Магнитные цепи	20
1.7. Категории электротехнических помещений и оборудования	21
Глава 2. Электротехнические материалы	27
2.1. Диэлектрические материалы (диэлектрики)	27
2.2. Полупроводниковые материалы	32
2.3. Проводниковые материалы	33
2.4. Магнитные материалы	37
Глава 3. Проводниковые изделия	41
3.1. Проволока и провода	41
3.2. Шины	54
3.3. Кабели	55
3.4. Расчет сечений и выбор проводов, кабелей и шин	77
Глава 4. Электрические аппараты и устройства низкого напряжения	84
4.1. Классификация электрических аппаратов	84
4.2. Аппараты управления	85
4.3. Силовые коммутационные аппараты с ручным управлением	87
4.4. Автоматические выключатели	90
4.5. Электромагнитные контакторы и пускатели	94
4.6. Реле	102
4.7. Низковольтные комплектные устройства	107
4.8. Выбор электрических аппаратов	108
Глава 5. Коммутационные электрические аппараты и устройства высокого напряжения	112
5.1. Выключатели	112
5.2. Разъединители, отделители и короткозамыкатели	117
5.3. Комплектные высоковольтные установки	121
Глава 6. Трансформаторы	127
6.1. Назначение и типы трансформаторов	127

6.2. Силовые трансформаторы	128
6.3. Автотрансформаторы	135
6.4. Измерительные трансформаторы тока и напряжения	137
Глава 7. Синхронные электрические машины	141
7.1. Общая характеристика синхронных машин	141
7.2. Генераторы	141
7.3. Двигатели	150
7.4. Специальные синхронные двигатели	155
7.5. Синхронные компенсаторы	159
Глава 8. Асинхронные двигатели	161
8.1. Общая характеристика асинхронных двигателей	161
8.2. Двигатели серии 4А	164
8.3. Асинхронные двигатели большой мощности	182
8.4. Двигатели серии АИ	186
8.5. Двигатели серий РА, 5А и 6А	194
8.6. Краново-металлургические двигатели	201
8.7. Двигатели малой мощности	207
Глава 9. Электрические машины постоянного тока	212
9.1. Общая характеристика машин постоянного тока	212
9.2. Двигатели общего назначения	216
9.3. Генераторы	237
9.4. Универсальные коллекторные двигатели	241
9.5. Тахогенераторы	242
Глава 10. Силовые предохранители, резисторы, конденсаторы и реакторы	244
10.1. Предохранители	244
10.2. Конденсаторы и конденсаторные установки	247
10.3. Резисторы и блоки резисторов	255
10.4. Реакторы	262
10.5. Расчет и выбор предохранителей, конденсаторных батарей и резисторов	264
Глава 11. Полупроводниковые элементы и устройства схем автоматики	267
11.1. Аналоговые элементы и устройства	267
11.2. Дискретные элементы и устройства	268
11.3. Микропроцессорные средства управления	272
11.4. Программируемые контроллеры	275
11.5. Оптоэлектронные приборы	278
Глава 12. Силовые полупроводниковые преобразователи	281
12.1. Общая характеристика преобразователей	281
12.2. Силовые полупроводниковые приборы и модули	282
12.3. Выпрямители	291
12.4. Регуляторы напряжения переменного тока	294
12.5. Преобразователи частоты	296
12.6. Пускатели и полупроводниковые контакторы	299
12.7. Регуляторы напряжения постоянного тока	305

12.8. Инверторы, устройства бесперебойного питания и стабилизаторы	306
12.9. Выбор силовых преобразователей	308
Глава 13. Электропривод рабочих машин и механизмов	310
13.1. Назначение и классификация электроприводов	310
13.2. Механика электропривода	313
13.3. Электропривод с двигателями постоянного тока	317
13.4. Электропривод с асинхронными двигателями	325
13.5. Электропривод с синхронными двигателями	334
13.6. Расчет энергетических показателей электроприводов	338
13.7. Проверка двигателей по нагреву	343
13.8. Комплектные и интегрированные электроприводы	346
Глава 14. Электрическое освещение	349
14.1. Осветительные приборы	349
14.2. Осветительные системы	354
Глава 15. Электротехнологические установки	357
15.1. Назначение и классификация электротехнологических установок	357
15.2. Электротермические установки	357
15.3. Сварочные электротехнологические установки	360
Список литературы	364