



Учебное пособие



Профессиональное
образование

Электротехника

В. В. Москаленко

Справочник электромонтера



Рецензент — директор ГОУ ПУ-12 *Н. П. Лешков*

Москаленко В. В.

М 82 Справочник электромонтера: Справочник / Владимир Валентинович Москаленко. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 288 с.

ISBN 5-7695-1424-8

Рассмотрены назначение и технические характеристики основных элементов и устройств систем электрооборудования, а также кабельные и электроизоляционные изделия, электрические аппараты, трансформаторы, электрические машины, полупроводниковые приборы, преобразователи и осветительные устройства. Приведены основные сведения по электротехнике, расчетные соотношения для выбора и проверки электрооборудования; затронуты вопросы электросбережения и электробезопасности.

Для учащихся учреждений начального профессионального образования.

УДК 621.3
ББК 31.2

Учебное издание

Москаленко Владимир Валентинович

Справочник электромонтера

Справочник

Редактор *Н. М. Пилипенко*

Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*

Компьютерная верстка: *В. Г. Верховзин*

Корректор *И. Н. Волкова*

Разработка серийного оформления: *И. В. Соловьев*

Диапозитивы предоставлены издательством

Изд. № А-831-1/2. Подписано в печать 02.06.2004. Формат 60×90/16.
Печать офсетная. Бумага тип. № 2. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 18,0.
Тираж 30 000 экз. (2-й завод 10 001—20 000 экз.). Заказ № 13370.

Лицензия ИД № 02025 от 13.06.2000. Издательский центр «Академия».
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.003903.06.03 от 05.06.2003.
117342, Москва, ул. Бутлерова, 17-Б, к. 328. Тел./факс: (095) 334-8337, 330-1092.

Отпечатано на Саратовском полиграфическом комбинате.
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.

© Москаленко В. В., 2002
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2002
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2003

ISBN 5-7695-1424-8

ВВЕДЕНИЕ

Выработка, передача, распределение, преобразование и использование электрической энергии осуществляются с помощью самого разнообразного электротехнического оборудования. Его совершенствование происходит непрерывно за счет применения новых конструктивных решений, материалов, элементов и технологий 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 персонала, который занимается монтажом, наладкой, эксплуатацией, ремонтом и модернизацией электрооборудования.

Настоящее справочное пособие призвано помочь учащимся средних профессиональных учебных заведений освоить непростые, но интересные и перспективные специальности электрика или электромеханика. В нем наряду с традиционным и давно применяемым рассмотрено новое электрооборудование, в том числе полупроводниковые устройства автоматики, силовые преобразователи электроэнергии и микропроцессорные средства управления. Для лучшего понимания работы элементов и устройств электрооборудования в справочнике, кроме технических характеристик, в краткой форме излагаются их назначение и принципы действия. Краткие сведения по электротехнике и приведенные в соответствующих разделах аналитические выражения помогут при выборе электрооборудования и проверке его технических параметров. Для проверки усвоения материала каждой главы приведены контрольные вопросы.

Особенностью справочника является и то, что в нем рассматривается отечественное электрооборудование как новых, так и находящихся в эксплуатации типов. Небольшой объем пособия не позволил рассмотреть все виды применяемого электрооборудования. Для более подробного ознакомления с тем или иным видом электрооборудования читатель отсылается к специализированной технической литературе, указанной в конце справочника.

Глава 1

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

1.1. Электротехнические величины, их обозначения и единицы измерения

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

метр (м, m) — единица длины, равная расстоянию, которое проходит свет в вакууме за $1/299792458$ 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. Ампер равен силе неизменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого 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 (обозначается через t). Градус Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) равен градусу Кельвина (К), их связь определяется соотношением: $t = T - T_0$, где $T_0 = 273,15$ 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, вырезающему на сфере площадь, описанной вокруг

вершины угла, поверхность которой равна квадрату радиуса сферы.

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

Таблица 1.1

Единицы электрических величин

Величина	Единица	Выражение через основные единицы СИ	Условное обозначение
Электрический ток	ампер	A	I
Количество электричества, электрический заряд	кулон	$A \cdot c$	q
Электрический потенциал, напряжение, ЭДС	вольт	$1 \text{ В} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А} \cdot \text{с}^3)$	U
Напряженность электрического поля	вольт на метр	$1 \text{ В/м} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м} / (\text{А} \cdot \text{с}^3)$	H
Электрическая емкость	фарада	$1 \text{ А}^2 \cdot \text{с}^4 / (\text{кг} \cdot \text{м}^2) = 1 \text{ с/Ом}$	C
Электрическое сопротивление	ом	$1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^3) = 1 \text{ В/А} = 1 \text{ Ом}$	R
Полная мощность	вольт-ампер	$\text{В} \cdot \text{А}$	S
Активная мощность	ватт	$\text{В} \cdot \text{А}$	P
Реактивная мощность	вар	$\text{В} \cdot \text{А}$	Q
Энергия (работа)	вольт-ампер-с = джоуль	$\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$	W

Таблица 1.2

Единицы магнитных величин

Величина	Единица	Выражение через основные единицы СИ	Условное обозначение
Магнитный поток	вебер	$1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А} \cdot \text{с}^2) = 1 \text{ В} \cdot \text{с} = 1 \text{ Вб}$	Φ
Магнитная индукция	тесла	$1 \text{ кг} / (\text{А} \cdot \text{с}^2) = 1 \text{ Тл}$	B
Абсолютная магнитная проницаемость	генри на метр	$1 \text{ кг} \cdot \text{м} / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^2) = 1 \text{ Гн/м}$	μ
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	А/м	H_m
Индуктивность, взаимная индуктивность	генри	$1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^2) = 1 \text{ В} \cdot \text{с/А} = 1 \text{ Вб/А} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{с} = 1 \text{ Гн}$	L
Магнитодвижущая сила, разность магнитных потенциалов	ампер	А	F_m
Магнитное сопротивление	ампер на вебер	$1 \text{ с}^2 \cdot \text{А}^2 / (\text{м}^2 \cdot \text{кг}) = 1 \text{ А/Вб} = 1 \text{ Гн}^{-1}$	R_m
Магнитная проводимость	вебер на ампер	$1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} / (\text{с}^2 \cdot \text{А}^2) = 1 \text{ Гн} = 1 \text{ Вб/А}$	g_m

Таблица 1.3

Единицы механических величин

Величина	Единица	Выражение через единицы СИ	Условное обозначение
Длина	метр	м	L
Масса	килограмм	кг	m
Время	секунда	с	t
Площадь	кв. метр	m^2	S
Объем	куб. метр	m^3	V
Сила	ньютон	$1 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2 = 1 \text{ Н}$	F
Плотность	килограмм на куб. метр	$\text{кг}/\text{м}^3$	g
Момент силы	ньютон-метр	$1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2 = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$	M
Работа, энергия	джоуль	$1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2 = 1 \text{ Дж}$	W
Мощность	ватт	$1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^3 = 1 \text{ Дж}/\text{с} = 1 \text{ Вт}$	P
Давление	паскаль	$1 \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2) = 1 \text{ Н}/\text{м}^2 = 1 \text{ Па}$	P
Момент инерции (динамический)	килограмм-метр в квадрате	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	J
Скорость	метр в секунду	$\text{м}/\text{с}$	V
Ускорение	метр на секунду в квадрате	$\text{м}/\text{с}^2$	a
Угловая скорость	радиан в секунду	$\text{рад}/\text{с}$	ω
Угловое ускорение	радиан на секунду в квадрате	$\text{рад}/\text{с}^2$	ε
Период	секунда	с	T
Частота периодического процесса	герц	$1 \text{ с}^{-1} = 1 \text{ Гц}$	f

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

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	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.	736	0,736	75	1	0,176
1 ккал/с	$4,19 \cdot 10^3$	4,19	427	5,69	1

В некоторых областях науки и техники применяются другие частные системы единиц, например МКС, МКСА, СГС и др. Соотношения единиц этих систем и системы СИ приведены в [1, 38].

Важнейшими физическими постоянными являются:
 ускорение свободного падения $g_0 = 9,80665 \text{ м}/\text{с}^2$;
 заряд электрона $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$;
 масса покоя электрона $m_e = 9,109 \cdot 10^{-28} \text{ г}$;
 магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн}/\text{м}$;
 электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 1/\mu_0 c^2 = 8,86 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}/\text{м}$, где $c = 299\,792\,458 \text{ м}/\text{с}$ — 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 $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}/\text{К}$;
 универсальная газовая постоянная $R = 8,314 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$;
 температурный коэффициент объемного расширения идеальных газов $\alpha = 0,00366 \text{ К}^{-1}$;
 число Авогадро $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ молекул}/\text{моль}$;
 число Фарадея $F = 96\,485 \text{ Кл}/\text{моль}$.

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* — это предприятие, организация, цех, строительная площадка, квартира, приемники электроэнергии которых присоединены к электрической сети и используют электрическую энергию. Примеры приемников: электропривод рабочих машин и

механизмов, электротехнологические установки, вычислительные машины, электроосветительные приборы.

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.

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

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), т. е. полностью укомплектованная, собранная и готовая 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 — РУ, предназначенное 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 управления, регулирования, защиты и сигнализации. Конструк-

тивно 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. К понятию «электрическое хозяйство» относятся также людские, вещественные и энергетические ресурсы и информационное обеспечение, которые необходимы для его функционирования. Электрическое хозяйство — это и 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 характеризующегося 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 представляются 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, которое 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 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 представляются 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 ($1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$). Электрическая мощность в цепях 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 ($1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$).

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 (В), наводимая в контуре из проводников, пропорциональна скорости изменения во времени потокосцепления ψ контура, взятой со знаком минус:*

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

где $\psi = \Phi \cdot w$ — потокосцепление; Φ — магнитный поток; w — число проводников в контуре.

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

$$e_L = -L di/dt,$$

и ЭДС взаимной индукции e_n (В), наводимой в одном из двух магнитно связанных контуров, если в другом происходит изменение величины тока i :

$$e_n = \pm M_{12} di/dt,$$

где M_{12} — коэффициент взаимной индукции, Гн. Знак (+) ставят при встречных направлениях магнитных потоков, знак (−) — при одинаковых направлениях.

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

$$e = BLV \sin \alpha,$$

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:*

$$Q = I^2 R t, \text{ Дж} \quad \text{или} \quad Q = 0,24 I^2 R t, \text{ кал.}$$

4. **Закон электромагнитных сил Ампера.** *Сила F (Н), 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:*

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

где α — угол между векторами магнитной индукции и тока.

Сила взаимодействия $F(H)$ двух длинных проводов с одинаковой длиной L , расположенных параллельно друг другу на расстоянии a , определяется по следующей формуле:

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

где μ_r и μ_0 — соответственно относительная и абсолютная магнитная 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 вещество массой M (кг), пропорциональной току и времени:

$$M = kIt,$$

где k — электрохимический эквивалент выделяемого вещества.

6. Закон электростатики Кулона. Сила F (Н) 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:

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

где ϵ_r и ϵ_0 — относительная и абсолютная электрические постоянные.

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. Первый закон Кирхгофа. Алгебраическая сумма сил токов в узле электрической цепи равна нулю.

10. Второй закон 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 первый и второй законы 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 с линейной изотропной средой эти уравнения имеют вид:

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{E} + \epsilon_r \epsilon_0 d\mathbf{E}/dt \text{ — закон полного тока;}$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\mu_r \mu_0 d\mathbf{H}/dt \text{ — закон электромагнитной индукции;}$$

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

где \mathbf{H} — вектор напряженности магнитного поля; \mathbf{E} — вектор напряженности электрического поля; \mathbf{B} — вектор магнитной индукции; \mathbf{D} — вектор тока смещения; μ_r и μ_0 — относительная и абсолютная магнитные проницаемости; ϵ_r и ϵ_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 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 не зависят от действующих в них токов и напряжений, в то время как для нелинейных цепей такие зависимости могут иметь место. В дальнейшем изложении рассматриваются линейные цепи, а расчеты нелинейных цепей приводятся в [30].

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

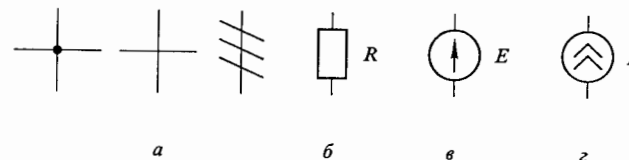


Рис. 1.1. Условные изображения:
а — электрических линий; б — активного резистора; в — источника ЭДС;
г — источника тока

Для примера на рис. 1.2 приведена электрическая схема цепи постоянного тока, включающая в себя источник электроэнергии с

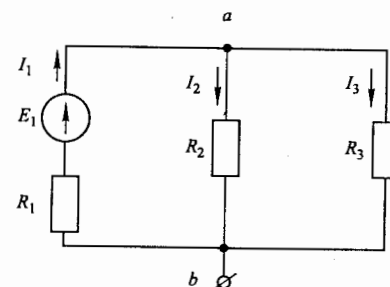


Рис. 1.2. Пример электрической схемы

ЭДС E_1 и активные 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, их на рисунке два — a и b . Если ветвь содержит источник электроэнергии, то она называется активной, если нет — то пассивной. На рис. 1.2 ветвь с источником ЭДС является активной, а остальные ветви — пассивными.

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

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

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

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

$$R_{\text{экв}} = \sum R_i,$$

а при их параллельном соединении — в соответствии с формулой

$$1/R_{\text{экв}} = \sum (1/R_i).$$

Активная проводимость проводника g (См) есть величина, обратная сопротивлению, и определяется по формуле

$$g = 1/R.$$

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. В идеале его внешняя характеристика, представляющая собой зависимость выходного напряжения от тока, является горизонтальной линией, как показано на рис. 1.3, а. Идеальный *источник тока* имеет внешнюю характеристику в виде вертикальной линии (рис. 1.3, б), что определяет не-

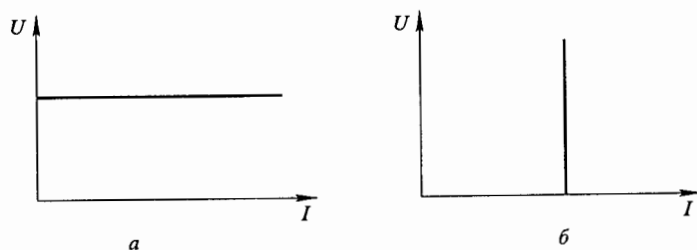


Рис. 1.3. Внешние характеристики:
а — источника напряжения; б — источника тока

зависимость отдаваемого им тока от выходного напряжения. Источники тока обладают большим внутренним сопротивлением.

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

Закон Ома для участка цепи постоянного тока выражается формулой

$$I = U/R,$$

а для замкнутой неразветвленной цепи постоянного тока — формулой

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

Первый и второй законы Кирхгофа для цепей постоянного тока имеют соответственно 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 следующие методы: контурных токов, двух узлов, наложения, эквивалентного генератора. Применение этих методов расчета рассматривается в [30].

1.5. Цепи переменного тока

В промышленных и других электроустановках основное применение находят однофазный и трехфазный переменные синусоидальные напряжение и ток.

Мгновенное значение синусоидального переменного напряжения изменяется во времени по следующему периодическому закону:

$$u = U_{\text{max}} \sin \omega t,$$

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

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

$$i = I_{\text{max}} \sin \omega t,$$

где I_{max} — 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 среднеквадратичные за период T значения соответственно тока и напряжения, определяемые по формулам

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

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

Средние значения тока и напряжения определяются выражениями

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

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

В цепях переменного тока кроме активных сопротивлений могут присутствовать реактивные сопротивления — индуктивное и емкостное, а также полное, которое определяется активным и реактивным сопротивлениями.

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

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

Индуктивностью L и, следовательно, индуктивным сопротивлением обладают обмотки трансформаторов и электрических машин, катушки электрических аппаратов, реакторы, дроссели, кабели и т. д. В цепях



Рис. 1.4. Условные изображения:
а — индуктивного элемента;
б — емкостного элемента

постоянного тока индуктивное сопротивление проявляется лишь в переходных процессах, когда имеет место изменение тока и тем самым магнитного поля. Условное изображение индуктивного элемента (реактора, дросселя, катушки и др.) представлено на рис. 1.4, а.

Реактивная мощность Q_L (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 x_C (Ом) определяется по формуле

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

Основным элементом, создающим емкостное сопротивление, является конденсатор. Емкостным сопротивлением обладают и проводники воздушных и кабельных линий по отношению друг к другу и к земле, а также 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 Q_C (вар), запасенная в емкостном сопротивлении в установившемся режиме, определяется по формуле

$$Q_C = I^2 x_C.$$

Полное комплексное сопротивление элемента z (Ом) с активным R и реактивным x сопротивлением вычисляется 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 одному из следующих соотношений:

$$\cos \varphi = P/S = U_A/U = I_A/I = R/Z,$$

где U_A , I_A — активные составляющие полного напряжения U и тока I .

Мощность трехфазного переменного тока вычисляется по формулам:

активная (Вт)

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

реактивная (вар)

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

полная (кажущаяся) (В·А)

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

где U_ϕ , I_ϕ — соответственно фазные напряжение и ток.

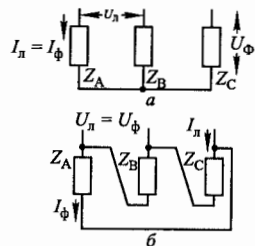


Рис. 1.5. Схемы соединения электроприемников:
а — в звезду; б — в треугольник

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

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

а при соединении треугольником (рис. 1.5, б)

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

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

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 F_m (А) катушки определяется по формуле

$$F_m = wI,$$

где w — число витков катушки; I — ее ток, А.

Магнитное напряжение U_m (А) для участка цепи длиной L

$$U_m = HL = \Phi R_m,$$

где $H = B/\mu_r\mu_0$ — напряженность магнитного поля; $R_m = L/\mu_r\mu_0 S$ — магнитное сопротивление участка, 1/Гн; S — поперечное сечение участка, м².

Магнитная индукция B (Тл) для участка цепи

$$B = \Phi/S,$$

где Φ — магнитный поток.

Энергия W (Дж) магнитного поля, сосредоточенная в объеме V магнитного поля,

$$W = HBV/2.$$

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

Первый закон Кирхгофа для магнитной цепи. Сумма магнитных потоков, сходящихся в узле магнитной цепи, равна нулю:

$$\sum \Phi = 0.$$

Второй закон 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» [18], «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» [17]. Приведем некоторые основные положения этих документов, касающиеся исполнения электрооборудования и категории помещений, в которых оно располагается.

Электрооборудование (электроустановки). Электроустановки по условиям безопасности разделяются на электроустановки напряжением до и свыше 1000 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, а также безопасность для обслуживающего персонала. Это обеспечивается выбором номинальных паспортных данных электроустановок — мощности, напряжения и тока — и их исполнением, которые должны соответствовать условиям эксплуатации.

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

Таблица 1.6

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 выше 42 В

Защитные характеристики оболочек электроустановок и изделий обозначаются кодом IP (первые буквы английских слов 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 1000 В приведена в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Характеристика степеней защиты оболочек электрооборудования напряжением до 1000 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
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

Окончание табл. 1.7

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

Способ охлаждения электрических машин обозначается кодом IC (первые буквы английских слов International Cooling, означающих охлаждение по международным нормам) и набором цифр. 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 ее перемещается ротором или дополнительным внутренним вентилятором.

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

Категория *мест размещения электрооборудования* обозначается следующими цифрами:

- 1 — на открытом воздухе;
- 2 — помещения, в которых отсутствует прямое воздействие атмосферных осадков и солнечных лучей;
- 3 — закрытые помещения с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий;
- 4 — помещения с искусственно регулируемым климатическими условиями;
- 5 — помещения с повышенной влажностью.

Приведем 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 котором предусмотрены конструктивные меры по устранению или затруднению возможного воспламенения окружающей взрывоопасной среды. Группы взрывозащищенного электрооборудования по области его применения рассмотрены в [13].

Электротехнические помещения. В зависимости от условий среды электротехнические помещения 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 оборудование и проникающая внутрь него токопроводящая или нетокопроводящая пыль) и 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 делятся на помещения:

- 1) 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 соединение с землей конструкциям, технологическому оборудованию и т. д., с одной стороны, и к корпусам электрооборудования, с другой;

- 2) без повышенной опасности;

- 3) особо опасные, в которых:

- имеет место особая сырость;
- существует химически активная или органическая среда;

- одновременно наличествуют два условия для помещений с повышенной опасностью.

Кроме этого, 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 которых имеются или могут образовываться взрывчатые смеси газов, горючей пыли или волокон. Классы пожароопасных и взрывоопасных зон рассмотрены в [18].

Контрольные вопросы

1. Какие основные и дополнительные единицы измерения физических величин использованы в международной системе единиц СИ?
2. Какие другие единицы электрических, магнитных и механических величин применяются в электротехнике и как они выражаются через основные и дополнительные единицы системы СИ?
3. Что такое электрическая установка и электрическая сеть? Какие примеры электрических установок вы можете назвать?
4. Какие основные законы электротехники вам известны и для чего они применяются?
5. Что такое постоянный и переменный электрический ток?
6. Что такое разность потенциалов в электрической цепи?
7. Какие виды источников электроэнергии вы знаете? Назовите их характерные признаки.
8. Какие типовые электротехнические элементы цепей постоянного и переменного тока вы знаете?
9. Как рассчитывается мощность электрической цепи?
10. Как выглядят схемы соединения трехфазной нагрузки в треугольник и звезду, а также каковы соотношения между линейными и фазными значениями напряжения и тока в этих схемах?
11. Какие аналогичные по своему характеру величины магнитных и электрических цепей вы можете назвать?
12. Какие степени защиты имеют оболочки электрооборудования напряжением до 1000 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. Какие помещения являются взрывоопасными и пожароопасными?

Глава 2

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

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

2.1. Диэлектрические материалы (диэлектрики)

Диэлектрическими называются электротехнические материалы с большим сопротивлением прохождению тока, *электроизоляционными* — 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 делятся на 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 делятся на естественные (природные) и синтетические (искусственные), которые получают путем химической переработки природного сырья. К наиболее распространенным диэлектрическим материалам относятся:

- а) волокнистые (картон, бумага, ткани, лакокраски);
- б) слоистые и слюдяные (текстолит, гетинакс, миканит, слюдит, стеклотекстолит);
- в) керамические (электрофарфор, термokonды, тиконды, стеалит);
- г) жидкие (минеральные и растительные масла, синтетические жидкости);
- д) электроизоляционные лаки и эмали (лаки и краски масляные, кремнийорганические, глифталцево-масляные).

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

Таблица 2.1

Группы электроизоляционных материалов

Класс нагревостойкости	Температура, °C	Характеристика основных групп электроизоляционных материалов, соответствующих данному классу нагревостойкости
Y	90	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и натурального шелка, не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал
A	105	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка или натурального шелка, искусственного и синтетического шелка, пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал
E	120	Синтетические органические материалы или простые их сочетания
B	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
H	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры
C	Свыше 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

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

Таблица 2.2

Свойства диэлектрических материалов

Материал	Плотность, кг/м³	Электрическая прочность при 20 °C, кВ/мм	Влагопоглощаемость за 24 ч, %	Нормируемая температура, °C
Асбест	2100 ... 2800	2,4 ... 4,6	2 ... 4	500 ... 600 (допустимая)
Асбестоцемент	1600 ... 1800	2 ... 3	15 ... 20	250 (нагревостойкость)

Окончание табл. 2.2

Материал	Плотность, кг/м ³	Электрическая прочность при 20 °С, кВ/мм	Влагопоглощаемость за 24 ч, %	Нормируемая температура, °С
Битумы	1000	15 ... 20	—	30 ... 130 (размягчение)
Вазелин	820 ... 840	20 ... 25	—	—
Бумага	700 ... 870	5 ... 10	7 ... 10	110 (нагревостойкость)
Гетинакс	1300 ... 1400	20 ... 22	2	150 ... 180 (нагревостойкость)
Лакоткань	900 ... 1200	20 ... 70	3,6 ... 8	105 (нагревостойкость)
Миканит	1500 ... 2600	—	—	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	Размер листов, мм
2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 8; 10	1000 ... 1300	900 × 900; 900 × 1000; 1000 × 1000

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
ЛСЭ-105/120	0,12; 0,15; 0,17; 0,2; 0,24	Для работы на воздухе при повышенной влажности (относительная влажность 95 % при $t = 20$ °С)

Таблица 2.5

Картон электроизоляционный

Марка	Толщина, мм	Плотность, кг/м ³	Электрическая прочность при 50 Гц, МВ/м
ЭВ	0,1 ... 3	950 ... 1150	8 ... 12
ЭВС	0,2 ... 0,4	1250	10 ... 12
ЭВП	0,1 ... 0,2	1250	9 ... 12
ЭВТ	0,1 ... 0,5	1150	9 ... 13

Таблица 2.6

Ленты из поливинилового пластика

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

Таблица 2.8

Электроизоляционные лаки и эмали

Марка	Режим высухания		Разбавитель	Область применения
	Температура сушки, °С	Время сушки, ч		
Битумно-масляный лак				
БТ-987	105	6	Бензин, толуол, скипидар, бензин-растворитель	Пропитка обмоток
БТ-988	105	3	То же	То же
Глифталевый-масляный лак				
ГФ-95	105	1 ... 2	Ксилол, скипидар, сольвентнафта и их смеси	Пропитка и покрытие обмоток масляных трансформаторов
Алкидно-меламиновый лак				
МЛ-92	105	1	Смесь толуола с бензином-растворителем	Пропитка обмоток статоров и роторов асинхронных электродвигателей мощностью до 100 кВт

Марка	Режим высухания		Разбавитель	Область применения
	Температура сушки °С	Время сушки, ч		
Эпоксидная эмаль				
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
Кремнийорганические эмали				
КО-935	120	1 ... 2	Толуол	Покрытие лобовых частей, секций, катушек и других деталей электрических машин и аппаратов, длительно работающих при температуре 180 °С
КО-911	20	20 ... 24	То же	Ремонтная, для лобовых частей секций, катушек и других узлов электрических машин и аппаратов. Отделка различных изоляционных деталей
КО-936	200	2 ... 3	То же	Покрытие обмоток секций, катушек и других частей электрических машин
Эмаль на основе глифталевых и карбамидных смол				
У-416	105	10,5 ... 1	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 полупроводников используется свойство выпрямляющего *p-n*-перехода, за счет которого 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 [30].

2.3. Проводниковые материалы

Проводниковыми материалами (проводниками) называются вещества, в которых при появлении электрического поля возникает электрический ток. Ими могут быть 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 делятся на материалы высокой проводимости и высокого сопротивления. Первые из них характеризуются небольшими потерями электроэнергии при прохождении по ним электрического тока и используются поэтому для изготовления проводов, кабелей и шин. В табл. 2.9 приведены основные свойства металлов, применяемых в электротехнике.

Таблица 2.9

Свойства металлов при 300 К

Металл	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Плотность, т/м³	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	13,6	138	10	61	0,958	9
Цезий	28,5	700	1,87	234	—	95	0,210	48
Галлий	29,7	2070	5,91	381	—	18	0,560	—
Калий	63,7	775	0,87	753	92	80	0,069	58
Натрий	97,8	883	0,97	1260	125	70	0,046	50
Индий	156	2075	7,28	243	25	25	0,090	47
Литий	186	1220	0,53	3620	71	—	—	—
Олово	232	2260	7,31	226	65	23	0,120	44
Кадмий	321	767	8,65	230	93	30	0,076	42

Окончание табл. 2.9

Металл	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Плотность, т/м³	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
Свинец	327	1620	11,40	130	35	29	0,210	37
Цинк	420	907	7,14	390	111	31	0,059	—
Магний	651	1103	1,74	1040	167	26	0,045	42
Алюминий	657	1800	2,70	922	209	24	0,028	42
Барий	710	1637	3,50	268	—	17	0,500	25
Серебро	961	1950	10,50	234	415	19	0,016	40
Золото	1063	2600	19,30	126	293	14	0,024	38
Медь	1083	2300	8,94	385	390	16	0,017	43
Бериллий	1284	2500	1,85	200	167	13	0,040	60
Никель	1455	2900	8,90	444	95	13	0,073	65
Кобальт	1492	2900	8,71	435	79	12	0,062	60
Железо	1535	3000	7,87	452	73	11	0,098	60
Палладий	1554	2200	12,10	243	72	12	0,110	—
Титан	1725	2800	4,50	577	15	8,1	0,480	33
Хром	1850	2430	7,10	—	—	6,5	0,210	—
Платина	1770	4240	21,40	134	71	9	0,105	—
Торий	1850	3500	11,50	113	—	11,2	0,186	23
Цирконий	1860	4900	6,50	276	17	5,4	0,410	45
Иридий	2350	4800	22,50	—	—	—	—	—
Ниобий	2410	3300	8,57	272	50	7,2	0,140	30
Молибден	2620	3700	10,20	264	151	5,1	0,057	46
Тантал	2850	4200	16,70	142	54	6,5	0,135	38
Рений	3180	—	20,50	138	71	4,7	0,210	32
Вольфрам	3380	5500	19,30	218	168	4,4	0,055	46

Материалы с высоким сопротивлением (табл. 2.10) используются при изготовлении резисторов, а также в различных тепловых установках для получения тепловой энергии.

В табл. 2.11 приведены характеристики припоев и области их применения.

Т а б л и ц а 2.10

Свойства сплавов с высоким сопротивлением

Сплав	Плотность, кг/м³	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, МПа	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, мкОм·м	Температурный коэффициент, 1 · 10 ⁻³ °С ⁻¹		Наибольшая рабочая температура, °С	Термод.ДС в паре с медью, мкВ/°С	Область применения
					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 алюминиевой или копельевой 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 (нематнитный)	7400	1205	220	1,45	95	1,15	650	—	Для изготовления резисторов, наружных реостатов, станин электрических машин, фланцев проходных изоляторов и др.

Таблица 2.11

Свойства и области применения припоев

Марка	Химический состав, % по массе	Температура плавления, °C	Температура пайки, °C	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
ПОС-Су95-5	Олово — 95, сурьма — 5	240	290	Пайка коллекторов, якорных секций, бандажей, токопроводящих соединений электрических машин и деталей электрооборудования

Окончание табл. 2.11

Марка	Химический состав, % по массе	Температура плавления, °C	Температура пайки, °C	Область применения
ПОС-Су40-2	Олово — 40, сурьма — 0,5, свинец — остальное	235	285	Пайка бандажей коллекторов и секций электрических машин, приборов, жестяных деталей
ПОС-Су30-2	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
ПОСК 50-18	Олово — 51, кадмий — 19, свинец — остальное	145	185	Пайка деталей из меди и ее сплавов

2.3. Магнитные материалы

Магнитными называются материалы, способные выполнять роль концентраторов, проводников и источников магнитного поля. Эти материалы широко применяются при производстве электрических машин и аппаратов, трансформаторов, электромагнитов и постоянных магнитов, дросселей, элементов автоматики и вычислительной техники. Магнитные материалы делятся 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 определя-

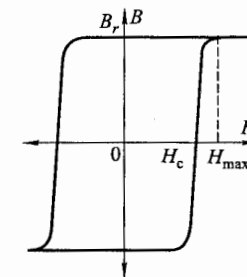


Рис. 2.1. Характеристика намагничивания

ются основные параметры магнитных материалов: индукция насыщения 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 величинах 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 соединение железа с другими веществами, наличие которых позволяет получить желаемые свойства и характеристики магнитных материалов. Например, наиболее распространенная электротехническая сталь, обладающая большими удельными электрическим сопротивлением и магнитной проницаемостью, получена добавлением к железу кремния.

Марки электротехнической стали расшифровываются 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 — при $B = 1,5$ Тл, 50 Гц; 2 — при $B = 1$ 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 мм характеризуются H_c в пределах 30... 90 А/м, потерями мощности от 0,5 до 10 Вт/кг, индукцией насыщения B_s в пределах 1,5... 1,8 Тл.

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 ампер на метр 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 и т. д., в которых первые две цифры показывают процентное содержание никеля, буква 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 неметаллические 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 марганцово-цинковые — НМ. Для ферритов значение H_c составляет 0,1... 1 А/м, а $B_r = 0,05... 0,3$ Тл.

Магнитотвердые материалы для создания постоянных магнитов изготавливаются 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 [30].

Контрольные вопросы

1. Что называется диэлектриком?
2. Какие виды диэлектриков вы знаете?
3. Перечислите основные параметры, характеризующие диэлектрики.
4. Какие классы нагревостойкости имеют электроизоляционные материалы?
5. Каково основное отличительное свойство полупроводниковых материалов?
6. Какие полупроводниковые материалы применяются чаще всего?
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. Какие вещества чаще всего применяются в качестве диэлектриков?
11. Какие материалы называются магнитными?
12. Какие виды магнитных материалов вы знаете?
13. Что представляет собой характеристический магнитный материал и какими параметрами она характеризуется?
14. Что такое электротехническая сталь?



Глава 3

ПРОВОДНИКОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ

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

3.1. Провода и проволока

Проволока. Основой для изготовления проводов и кабелей служит медная и алюминиевая проволока 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) диаметрами от 0,02 до 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 мм и шириной 2 ... 30 мм.

Круглая алюминиевая проволока изготавливается твердой (марка АТ), полутвердой (марка АПТ) и мягкой (марка АМ) диаметром от 0,1 до 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. Делятся на неизолированные, монтажные, силовые и обмоточные.

Неизолированные провода (табл. 3.1) применяются в основном в воздушных линиях электропередачи и изготавливаются из меди, алюминия, бронзы, а также комбинированными, у которых вокруг стального сердечника накладываются один или несколько навитов алюминиевой проволоки.

Таблица 3.1
Марки и области применения неизолированных проводов

Марка	Конструкция	Преимущественные области применения
М	Провод, состоящий из одной или нескольких медных проволок	В атмосфере воздуха типов II и III, на суше и в 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 в море всех микроклиматических 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 микроклиматических районов по ГОСТ 15150–69, кроме районов ТВ
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

Окончание табл. 3.1

Марка	Конструкция	Преимущественные области применения
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.

Сталеалюминиевые провода находят наиболее широкое применение для сооружения высоковольтных ЛЭП с большими пролетами, сложными климатическими условиями (гололед, снеговые

Таблица 3.2

Расчетные характеристики медных проводов марки М

Номинальное сечение, мм ²	Сечение, мм ²	Диаметр, мм	Сопротивление постоянному току при 20 °С, не более, Ом/км	Разрывное усилие провода, не менее, Н		Масса, кг/км
				медной проволоки МТ I-й категории качества	медной проволоки МТ высшего качества	
4	3,94	2,2	4,60092	1520	1630	35
6	5,85	2,7	3,07019	2290	2430	52
10	9,89	3,6	1,81978	3630	3820	88
16	15,90	5,1	1,15730	5600	6020	142
25	24,90	6,4	0,73367	8830	3490	224
35	34,61	7,5	0,52386	12 300	13 220	311
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	1058
150	148,0	15,8	0,12388	50 500	54 100	1338
185	183,0	17,6	0,10015	67 110	72 140	1659
240	234,0	19,9	0,07809	86 070	92 530	2124
300	288,0	22,1	0,06379	100 090	105 360	2614
350	346,0	24,2	0,05309	120 270	126 600	3135
400	389,0	25,5	0,04713	135 490	142 620	3528

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, не более, Ом/км	Разрывное усилие провода не менее, Н		Масса, кг/км (без смазки)	Масса смазки для проводов марки АКП, кг
				из алюминиевой проволоки марки АТ	из алюминиевой проволоки марки АПТ		
16	15,9	5,1	1,83763	—	2670	43	—
25	24,9	6,4	1,16496	—	4040	68	—
35	34,3	7,5	0,85013	—	—	94	—
50	49,5	9,0	0,58798	7060	7620	135	—
70	69,2	10,7	0,42098	9110	10 460	189	—
95	92,4	12,3	0,31465	10 140	13 500	252	—
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	1072	73
450	442,0	27,3	0,06655	66 980	69 000	1217	83
500	500,0	29,1	0,05870	73 130	77 700	1378	94
550	544,0	30,3	0,05400	77 790	82 490	1500	117
600	587,0	31,5	0,05032	83 480	88 540	1618	126
650	641,0	32,9	0,04597	91 380	96 920	1769	138
700	691,0	34,2	0,04261	98 590	104 560	1907	149
750	747,0	35,6	0,03935	106 610	109 840	2061	161
800	805,0	36,9	0,03654	111 460	118 430	2220	173

нагрузки, ветер) и т.д. Провода АС (сталеалюминиевые), АСКС (сталеалюминиевые с заполнением промежутков между стальными и медными жилами специальной термостойкой смазкой), АСК (то же, что и АСКС, но с изолированным стальным сердечником) и другие состоят из стальных жил или тросов, оплетенных алюминиевыми жилами.

Значения длительных допустимых токовых нагрузок на неизолированные провода приведены в табл. 3.4, при этом для сталеалюминиевых проводов в числителе указано сечение алюминия, а в знаменателе — сечение стали.

В табл. 3.5 приведены свойства неизолированных алюминиевых проводов.

Таблица 3.4

Допустимые токовые нагрузки неизолированных проводов

Сечение, мм ²	Марка провода	Вне помещений, А	Внутри помещений, А	Сечение, мм ²	Марка провода	Вне помещений, А	Внутри помещений, А
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	1050	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	1050	920
150/24	АС	450	365	600	А	1100	955
150/34	АС	450	—	700/86	АС	1180	1040
150	М	570	465				

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, пластикада и фторопласта. Некоторые монтажные провода выпускаются с

Таблица 3.5
Расчетные характеристики неизолированных алюминиевых проводов марок АС, АСКС, АСКП, АСК

Номинальное сечение, алюминий/сталь, мм ²	Сечение, мм	Диаметр, мм	Сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом/км	Разрывное усилие провода, Н, не менее		Масса без смазки, кг/км
				из алюминиевой проволоки марки АТ	из алюминиевой проволоки марки АПТ	
10/1,8	10,6	1,77	2,76630	—	3790	43
16/2,7	16,1	2,69	1,80934	—	5810	65
25/4,2	24,9	6,15	1,17590	—	8730	100
35/6,2	36,9	6,15	0,78970	—	12720	148
50/8,0	48,2	8,04	0,60298	15710	16140	195
70/11	68,0	11,3	0,42859	22170	22770	276
70/72	68,4	72,2	0,42760	—	90180	755
95/16	95,4	15,9	0,30599	30690	31530	385
120/19	118,0	18,8	0,24917	—	40520	471
95/141	91,2	141,0	0,32108	—	168050	1357
120/27	114,0	26,6	0,25293	—	48680	528
150/19	148,0	18,6	0,19919	—	45060	554
150/24	149,0	24,2	0,19798	—	50960	559
185/24	187,0	24,2	0,15701	54950	56750	705
185/29	181,0	29,0	0,16218	58370	60640	728
185/43	185,0	43,1	0,15954	—	76020	846
185/128	187,0	128,0	0,15762	—	171610	1525
205/27	205,0	26,6	0,14294	60380	62350	774
240/32	244,0	31,7	0,12060	70940	73280	921
240/39	236,0	38,6	0,12428	76880	79260	952
240/56	241,0	56,3	0,12182	94090	96410	1106

Номинальное сечение, алюминий/сталь, мм ²	Сечение, мм		Диаметр, мм провода	Диаметр, мм стального сердечника	Сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом/км	Разрывное усилие провода, Н, не менее		Масса без смазки, кг/км
	алюминий	сталь				из алюминиевой проволоки марки АТ	из алюминиевой проволоки марки АПТ	
300/39	301,0	38,6	24,0	8,0	0,09747	87 280	88 730	1132
300/48	295,0	47,8	24,1	8,9	0,09983	95 720	98 550	1186
300/66	288,0	65,8	24,5	10,5	0,10226	116 460	119 240	1313
300/67	288,0	67,3	24,5	10,5	0,10226	112 460	115 230	1317
300/204	298,0	204,0	29,2	18,6	0,09934	—	266 830	2428
300/27	319,0	26,6	24,2	6,6	0,09387	—	86 310	1106
330/43	332,0	43,1	25,2	8,4	0,08888	—	101 540	1255
400/22	394,0	22,0	26,6	6,0	0,07501	—	92 740	1261
400/51	394,0	51,1	27,5	9,2	0,07477	113 200	118 130	1490
400/64	390,0	63,5	27,7	10,2	0,07528	123 100	126 850	1572
400/93	406,0	93,2	29,1	12,5	0,07247	160 760	164 660	1851
400/56	434,0	56,3	28,8	9,6	0,06786	124 720	128 900	1640
500/27	481,0	26,6	29,4	6,67	0,06129	104 000	110 010	1537
500/64	490,0	63,5	30,6	10,2	0,06005	140 960	145 680	1852
500/204	496,0	204,0	34,5	18,6	0,06025	293 960	301 100	2979
500/336	490,0	336,0	37,5	23,9	0,06040	433 120	437 845	4005
550/71	549,0	71,2	32,4	10,8	0,05381	157 700	162 965	2076
600/72	580,0	72,2	33,2	11,0	0,05091	169 750	175 314	2170
650/79	634,0	78,9	34,7	11,5	0,04655	183 500	191 411	2372
700/86	687,0	85,9	36,2	12,0	0,04289	199 550	208 140	2575
750/93	748,0	93,2	37,7	12,5	0,03839	217 030	224 230	2800
800/105	821,0	105,0	39,7	13,3	0,03586	241 030	248 940	3092
1000/56	1002,9	56,3	42,4	9,6	0,02936	210 100	219 740	3062

изоляция на основе стекловолокна, волокон лавсана и капрона, наложенной методом обмотки, с поверхностным лаковым покрытием. Монтажные провода изготавливаются также с прямоугольным сечением.

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

Таблица 3.6

Допустимые длительные токовые нагрузки неизолированных проводов

Сечение, мм ²	Марка провода	Вне помещений, А	Внутри помещений, А	Марка провода			
				М		А	
				Вне помещений, А		Внутри помещений, А	
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
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	1050	815	895	690
400	АС-400/51	825	705	1050	815	895	690
400	АС-400/64	860	—	1050	815	895	690
500	АС-500/27	960	830	—	980	—	820
600	АС-600/72	1050	920	—	1100	—	955
700	АС-700/86	1180	1040	—	—	—	—

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 установлены следующие размеры сечений жил кабелей и проводов, мм²: 0,03; 0,05; 0,08; 0,12; 0,20; 0,35; 0,50; 0,5; 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; 1000; 1200; 1600; 2000.

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 константана. В качестве изоляции применяются эмалевые покрытия на основе эмалевых лаков, пропитанные 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 параметры обмоточных эмалированных и эмалево-волоконистых проводов.

Таблица 3.7

Технические характеристики эмалированных проводов

Марка	Номинальный диаметр токопроводящей жилы, мм	Минимальная толщина изоляции, мм	Температура, °C
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
ПЭВТЛН-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

Окончание табл. 3.7

Марка	Номинальный диаметр токопроводящей жилы, мм	Минимальная толщина изоляции, мм	Температура, °C
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
ПНЭТ	0,30 ... 2,50	0,003 ... 0,05	240

Таблица 3.8

Технические характеристики эмалево-волоконистых проводов

Марка	Номинальные размеры проволоки*, мм	Удвоенная толщина изоляции, мм	Температура, °C
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

* Круглая — диаметры, прямоугольная — размеры сторон.

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) со-

ставляет от 4 до 30 мм, а по ширине (наибольшей стороне) — от 16 до 120 мм.

Неизолированные *алюминиевые шины* прямоугольного сечения марки ШАТ выпускаются по ТУ 16-705.002—77 с размерами от 10 до 120 мм по широкой стороне и от 3 до 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 от 4 до 37 медных или алюминиевых жил сечением от 0,75 до 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. Они делятся 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, с изоляцией из полиэтилена или фторопласта. Поверх изоляции накладываются внешний проводник и защитная оболочка из полиэтилена или пластика.

Указанные виды кабельной продукции составляют лишь часть выпускаемой электротехнической промышленностью кабельных изделий, число которых достигает нескольких тысяч наименований [35, 38]. В дальнейшем изложении рассматриваются лишь ка-

бели, применяемые в электроэнергетике, системах электроснабжения и электротехнических устройствах. Расшифровка буквенных обозначений кабелей приведена ниже:

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 — маслonaполненный;

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 черточку) — обедненно-пропитанная бумажная изоляция;

Ц — бумажная изоляция, пропитанная нестекающим составом, содержащим церезин;

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 выпрессованной 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. 3.9 приведены сведения о трехжильных кабелях на напряжение 1 ... 10 кВ.

Таблица 3.9

Технические характеристики трехжильных кабелей

Марка	Число жил	Номинальное сечение жил, мм ²			
		при номинальном напряжении кабелей, кВ			
		до 1	до 3	до 6	до 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
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, ОСБн, 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, ААБл-В, АСБГ-В, СБГ-В	3	185 ... 240	—	—	—
ААПл-В, ААПлГ-В, АСП-В, СП-В, АСПл-В, АСПлн-В, СПлн-В, АСП2л-В, СП2л-В	3	25 ... 150	25 ... 150	16 ... 120	—
АСПГ-В, СПГ-В, АСП2л-В, СП2лГ-В	3	185 ... 240	—	—	—

В табл. 3.10 содержатся данные о четырехжильных силовых кабелях на напряжение 1 кВ. Четвертая (нулевая) жила может иметь одинаковое с фазными жилами сечение для кабелей сечениями до 120 мм².

Таблица 3.10

Четырехжильные силовые кабели на напряжение 1 кВ

Марка	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. 3.11 приведены марки кабелей, рекомендуемых для прокладки в земле и траншеях, а в табл. 3.12 — марки кабелей, рекомендуемых для прокладки в воздухе.

Допустимые токовые нагрузки кабелей при различных способах прокладки приведены в табл. 3.13 ... 3.20.

В табл. 3.21 содержатся сведения об основных типах контрольных кабелей.

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 1000 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 у них могут быть броневые (Б) и защитные покровы.

Таблица 3.11

Кабели для прокладки в земле и траншеях

Область применения	Кабель прокладывается на трассе	Тип и марки кабелей		
		С бумажной пропитанной изоляцией		С пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой
		В процессе эксплуатации не подвергаются растягивающим усилиям	В процессе эксплуатации подвергаются значительным растягивающим усилиям	В процессе эксплуатации не подвергаются растягивающим усилиям
В земле (траншеях) с низкой коррозионной активностью	Без блуждающих токов	ААШв, ААШп, АЛБл, АСБ	ААПл, АСПл	АВВ, АПсВГ, АПаВГ
	С наличием блуждающих токов	ААШв, ААШп, ААБ2л, АСБ	ААП2л, АСПл	АПВГ, АБВБ, АПВБ, АПсВБ,
В земле (траншеях) со средней коррозионной активностью	Без блуждающих токов	ААШв, ААШп, ААБл, ААБ2л, АСБ, АСБл	ААПл, АСПл	АППБ, АПвВБ, АПБ6Шв,
	С наличием блуждающих токов	ААШп, ААШв, ААБ2л, ААБв, АСБл, АСБ2л	ААП2л, АСПл	АПвБ6Шв, АВВ6Шп,
В земле (траншеях) с высокой коррозионной активностью	Без блуждающих токов	ААШп, ААШв, ААБ2л, ААП2лШв, АСБ2л, ААБ2лШп, АСП2л, ААБ2лШв, ААБв, АСБл		АПсБ6Шв, АВГБ, АНРБ,
	С наличием блуждающих токов	ААШп, ААБв, АСБ2л, АСБ2лШв	ААП2лШв, АСП2л	АВАБл, АПАБл

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.

Таблица 3.12

Кабели для прокладки в воздухе

Область применения	С бумажной пропитанной изоляцией в металлической оболочке			С пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой		
	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, ААШБ	ААШв	ААБлГ, ААБлГ	АВВГ, АВРГ, АНРГ, АПвВГ, АПВГ, АПсВГ, АПсВБ	АВВБГ, АВРБГ, АВБ6Шв, АПвВБП, АПАШв, АВАШв, АПБ6Шв, АПсБ6Шв, АПсВБГ, АПБП, АНРБГ	АВВБГ, АВБ6Шв, АПсБ6Шв, АПсВБГ, АВРБГ, АСРБГ
Прокладка в помещениях (туннелях), в каналах, кабельных полужазах, шахтах, коллекторах, производственных помещениях: а) сухих б) сырых, частично затопляемых при наличии среды со слабой коррозионной активностью в) сырых, частично затопляемых при наличии среды со средней и высокой коррозионностью			ААБлГ, ААБлГ, АСБлГ, АСБ2лГ, АСБ2лШв			
	ААШв, АСШв		ААБлГ, ААБлГ, АСБлГ, АСБ2лГ, АСБ2лШв			
Прокладка в пожароопасных помещениях	ААГ, ААШв		ААБлГ, ААБлГ, АСБлГ	АВВГ, АВРГ, АПсВГ, АНРГ, АСРГ, АПсВБГ		АВВБГ, АВБ6Шв, АПсБ6Шв, АПсВБГ, АСРБГ

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

Таблица 3.13

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

Сечение жилы, мм ²	Токовая нагрузка кабелей, А					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных			четырёхжильных 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	1000	—	—	—	—	—
400	1220	—	—	—	—	—
500	1400	—	—	—	—	—
625	1520	—	—	—	—	—
800	1700	—	—	—	—	—

Таблица 3.14

Токовые нагрузки кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной маслостойкой и нестекающей массой изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемых в воздухе

Сечение жилы, мм ²	Токовая нагрузка кабелей, А					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных			четырёхжильных 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

Окончание табл. 3.14

Сечение жилы, мм ²	Токовая нагрузка кабелей, А					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных			четырёхжильных до 1 кВ
			до 3 кВ	до 6 кВ	10 кВ	
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	1020	—	—	—	—	—
625	1180	—	—	—	—	—
800	1400	—	—	—	—	—

Таблица 3.15

Токовые нагрузки кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной маслосканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемых в воде

Сечение жилы, мм ²	Токовая нагрузка кабелей, А			
	трехжильных			четырёхжильных 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 3.16

Токовые нагрузки 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	Токовые нагрузки кабелей и проводов, А				
	одножильных в воздухе	двухжильных		трехжильных	
		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
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 3.17

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

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Допустимые токовые нагрузки кабелей, А			
	трехжильных при напряжении			четырёхжильных 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

Окончание табл. 3.17

Сечение токо- проводящей жилы, мм ²	Допустимые токовые нагрузки кабелей, А			
	трехжильных при напряжении			четырёхжильных 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 3.18

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

Сечение жилы, мм ²	Допустимые токовые нагрузки кабелей, А		
	одножильных	двухжильных	трехжильных
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	—	—

Таблица 3.19

Токовые нагрузки проводов и шнуров с резиновой и пластмассовой изоляцией с медными жилами

Сечение жилы, мм ²	Токовая нагрузка, А					
	Провода проложены открыто	Провода проложены в одной трубе				
		два одно- жильных	три одно- жильных	четыре од- ножильных	один двух- жильный	один трех- жильный
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14

Окончание табл. 3.19

Сечение жилы, мм ²	Токовая нагрузка, А					
	Провода проложены открыто	Провода проложены в одной трубе				
		два одно- жильных	три одно- жильных	четыре од- ножильных	один двух- жильный	один трех- жильный
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 3.20

Допустимые длительные токовые нагрузки проводов с алюминиевыми жилами с резиновой полихлорвиниловой изоляцией

Сечение токо- проводящей жилы, мм ²	Допустимая токовая нагрузка, А			
	Провода, проложенные открыто	Провода, проложенные в трубе		
		два одножильных	три одножильных	четыре одножильных
2	21	19	18	15
2,5	24	20	19	19
3	27	24	22	21
4	32	28	28	23
4	36	32	30	27
6	39	36	32	30
8	46	43	40	37
10	60	50	47	39
16	75	60	60	55
25	105	85	80	70
35	130	100	95	85
50	165	140	130	120
70	210	175	165	140
95	255	215	200	175
120	295	245	220	200

Таблица 3.21

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	М, А	2,5	4; 5; 7; 10; 14; 19; 27; 37
КРВБ6Г, АКРВБ6Г, КРНГ, АКРНГ, КРНБ, АКРНБ, КРНБГ, АКРНБГ, КРНБГц, АКРНБГц, КРНБ6г, АКРНБ6г	М, А А	4; 6; 10 10	4; 7; 10 4; 7; 10
<i>Кабели с поливинилхлоридной изоляцией</i>			
КВВГ, КВВГЭ, АКВВГ, АКВВГЭ	М	0,75; 1,0; 1,5	4; 5; 7; 10; 14; 19; 27; 37; 52; 61
КВВБ, АКВВБ, КВВБГ, АКВВБГ	М, А	2,5	4; 5; 7; 10; 14; 19; 27; 37
КВВБГц, АКВВБГц, КВВБ6Г, АКВВБ6Г, КВБ6Шв, АКВБ6Шв, КВП6Шв, КВСтШв, АКВСтШв	М, А А	4; 6 10	4; 7; 10 4; 7; 10
<i>Кабели с полиэтиленовой изоляцией</i>			
КПВГ, АКПВГ, КПВБ, АКПВБ	М	0,75; 1,0; 1,5	4; 5; 7; 10; 14; 19; 27; 37; 52; 61
КПВБГ, АКПВБГ, КПВБ6Г, АКПВБ6Г	М, А	2,5	4; 5; 7; 10; 14; 19; 27; 37
КПБ6Шв, АКПБ6Шв, КПП6Шв, КПСтШв, АКПСтШв, КПсВГ, АКПсВГ, КПсВГЭ, АКПсВГЭ, КПсВБ, АКПсВБ, КПсВБГ, АКПсВБГ, КПсВБ6Г, АКПсВБ6Г, КПсБ6Шв, АКПсБ6Шв, КПсП6Шв	М, А А	4; 6 10	4; 7; 10 4; 7; 10

Кабели управления (табл. 3.22) предназначены для передачи сигналов малой мощности при переменном напряжении до 1000 В частотой до 5 кГц или постоянном напряжении до 1400 В. Отличием кабелей управления от контрольных, неподвижно устанавливаемых, является подвижное присоединение. Кабели имеют, как правило, медные жилы сечением от 0,03 до 2,5 мм², число которых

Таблица 3.22

Технические характеристики кабелей управления

Марка	Сечение жил, мм ²	Число жил (число экранированных жил)	Расчетная масса, кг/км	Примечание
КРШУ	1,0	4 ... 37	200 ... 1180	Изоляция — резина и прорезиненная тканевая лента, экран — медная луженая проволока, обмотка — прорезиненная тканевая лента, обмотка — резина, панцирная броня: 1 — стальная оцинкованная проволока; 2 — нержавеющая стальная проволока; 3 — медная луженая проволока
КРШУЭ	1,0	4 ... 37	300 ... 1940	
КУШГПВ	0,35	7 ... 108	68 ... 810	
КУШГПВ-П(1)	0,5	7 ... 108	78,7 ... 965	
КУШГПВ-Пн(2)				Изоляция — полиэтилен (ПЭ), обмотка — полиамидная пленка, прорезиненная тканевая пленка, оболочка — резина, панцирная броня — стальная оцинкованная проволока, нержавеющая стальная проволока, медная луженая проволока
КУШГПВ-Пм(3)				
КУШГПР	0,35	4 ... 108	58 ... 879	
КУШГПР-П	0,5	4 ... 108	64,8 ... 1031	
КУШГПР-Пн	0,75	4 ... 37	92 ... 643	
КУШГПР-Пм	1,0	4 ... 37	103 ... 760	
	1,5	4 ... 37	134 ... 1016	

Марка	Сечение жил, мм ²	Число жил (число экранированных жил)	Расчетная масса, кг/км	Примечание
КЭРШ, КЭРШ-П	0,35	16 ... 115	237 ... 1310	Изоляция – ПЭ, экран – медная луженая проволока, обмотка – полиамидная пленка, панцирная броня – стальная оцинкованная проволока, нержавеющая стальная проволока, медная луженая проволока, оболочка – резина
КЭРШ-Пн КЭРШ-Пм	0,5	9 ... 63 16 ... 115	263 ... 1481 106 ... 1006	
	0,35	9 ... 63	113 ... 1090	
	0,5	4 ... 52	130 ... 565	
	0,15	4 ... 52	154 ... 706	
КПКР, КПКР-П	0,5 0,75	12 4 7	209 ... 295 119 ... 185 170 ... 244	Изоляция – ПЭ, оболочка – капрон толщиной 0,1 мм, обмотка – полиамидная пленка ПК-4, панцирная броня – нержавеющая стальная проволока
КУПКР	0,5 1,0	12 37 27	182 400 502	Изоляция – ПЭ, оболочка – капрон толщиной 0,1 мм, обмотка – полиамидная пленка ПК-4, панцирная броня – нержавеющая стальная проволока
КФШР, КФЭШР	0,5 0,2 0,35 0,2 0,35	10 ... 48 24(7) 45(7) 10 19	155 ... 529 233 511 170 282	Изоляция – фторопласт-40Ш, экран в КФШР отсутствует, в КФЭШР – медная луженая проволока, обмотка – ориентированная пленка Ф-4, оболочка – резиновая

Марка	Сечение жил, мм ²	Число жил (число экранированных жил)	Расчетная масса, кг/км	Примечание
КБФРТ	0,5 0,75	12 14 4 7	282 434 147 192	Изоляция – фторопласт 40Ш, две обмотки – ориентированная пленка Ф-4, экран – медная луженая проволока, оболочка – резина ШНН-45Л
КДФР КДФЭР	0,20 0,35 1,0 1,5 0,2 0,35 0,2 0,35	3 ... 52 3 ... 52 61 3 ... 52 3 ... 52 3 ... 52 9 ... 32 7 ... 17	82,1 ... 349 94 ... 540 1268 167 ... 1467 107 ... 522 162 ... 679 198 ... 543 132 ... 322	Изоляция – фторопласт 40Ш, обмотка – ориентированная пленка Ф-4, экран в КДФГ отсутствует, в КДФЭР – ориентированная пленка Ф-4, оболочка – резина ШНН-45Л, оплетка – шелк, лавсан
КУС	0,5 0,12	1 7	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 фенольным 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

составляет от 3 до 108. Кабели могут быть неэкранированными, иметь часть экранированных жил, со всеми экранированными жилами, с двойным экраном. 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.

3.4. Расчет сечений и выбор проводов, кабелей и шин

Сечение проводов, кабелей и шин выбирается с учетом следующих требований:

1) провода, кабели и шины не должны нагреваться сверх допустимой температуры при протекании по ним расчетного тока нагрузки;

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

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

4) отклонения напряжения из-за кратковременного отклонения (наброса или сброса) нагрузки должны соответствовать значениям, установленным ГОСТ 13109-67;

5) аппараты защиты должны обеспечивать защиту всех участков сети от коротких замыканий;

6) для некоторых видов сетей в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) [24] выбор сечения проводов осуществляется по экономической плотности тока.

Расчетная максимальная токовая нагрузка проводников I_{\max} (А) определяется следующим образом:

а) для трехфазной четырехпроводной и трехпроводной сети

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

б) для двухфазной сети с нулевым проводом

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

в) для однофазной сети

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

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

При укладке кабелей в траншеях вводится коэффициент снижения нагрузки $K_n = 0,75 \dots 0,9$, а существенные отклонения температуры окружающей среды от определенных ГОСТом учитываются дополнительным коэффициентом K_T , определяемым ПУЭ.

Таким образом, длительно допустимая токовая нагрузка I_d и расчетная максимальная I_{\max} связаны соотношением

$$I_d \geq I_{\max} / (K_n K_T).$$

Значения допустимой токовой нагрузки I_d приведены в таблицах этой главы, по которым выбирают стандартные сечения проводов, кабелей и шин.

Сечение S (мм²) проводника по нормированной (экономической) плотности тока определяется по формуле

$$S = I_{\max} / J_{\text{эк}},$$

где $J_{\text{эк}}$ — экономическая плотность тока, А/мм².

Расчет и выбор сечения (мм²) по заданному уровню потери напряжения $\Delta U (\%)$ для линий напряжением менее 1000 В выполняются по упрощенной формуле

$$S = 10^5 \sum P_k L_k / (\Delta U U_{\text{н.л}}^2 \gamma),$$

где P_k — мощность приемника, присоединенного к сети длиной L на участке длиной L_k ($L_k = L_1 + L_2 + \dots + L_n$), кВт; L_n — длина участка сети между точками присоединения ($k - 1$) и k -го приемников, м; γ — удельная проводимость, (Ом · м)⁻¹.

Далее выбранные провода, кабели и шины проверяют по термической устойчивости.

Контрольные вопросы

1. Какие виды проводниковых и электроизоляционных материалов применяются в проводниковых изделиях?
2. На какие виды делятся 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 вам известны?
6. Какие способы прокладки кабелей применяются и как способ прокладки отражается на выборе типа кабеля?
7. Какие факторы должны учитываться при расчете сечений и выборе проводниковых изделий?
8. Как рассчитывается сечение проводников по токовой нагрузке?
9. Как рассчитывается сечение проводников по экономической плотности тока?
10. Как рассчитывается сечение проводников по потере напряжения?

Глава 4

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ 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 делятся 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 исполнению электрические аппараты подразделяются на *электрохимические, статические и гибридные*. Основным признаком *электрохимических аппаратов* является наличие в них подвижных частей, например контактной системы у коммутационных аппаратов.

Статические аппараты создаются с использованием полупроводниковых и магнитных элементов и устройств (диодов, транзисторов, тиристоров и других полупроводниковых приборов, магнитных усилителей, дросселей насыщения и др.).

Гибридные аппараты представляют собой комбинацию электрохимических и статических аппаратов.

Электрические аппараты классифицируются также:
по значению рабочих токов на аппараты *слаботочные* (до 5 А) и *сильноточные* (свыше 5 А);
по роду тока на аппараты *постоянного* и *переменного тока*;
по частоте рабочего напряжения на аппараты с *нормальной* (до 50 Гц) и *повышенной* (от 400 до 10000 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 команд управления на различные электротехнические объекты.

Кнопки управления различаются по размерам — нормальные и малогабаритные, по числу замыкающих и размыкающих контактов, по форме толкателя, по величине и роду тока и напряжения, по 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 (кнопка SB2) контактами. Контакты кнопок и других электрических аппаратов на схемах изображаются в так называемом нормальном 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 кнопочных 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 — 1200 циклов, коммутационная износостойкость различных исполнений выключателей — от 0,1 до 10 млн циклов.

Структура условного обозначения выключателей КУ:

$$\text{КУ } X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 - X_7,$$

где КУ — серия;

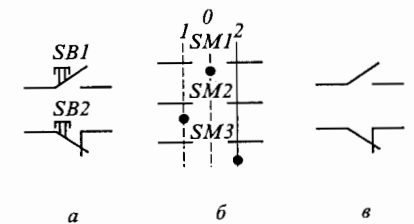


Рис. 4.1. Условные изображения: а — кнопки управления; б — ключи управления; в — контакты электрических аппаратов

X_1X_2 — количество замыкающих (З) и размыкающих (Р) контактов;

X_3 — тип толкателя: 0 — другой вид приводного устройства; 1 — цилиндрический толкатель; 2 — грибовидный толкатель; 3 — грибовидный фиксируемый;

X_4 — цвет толкателя: 1 — черный; 2 — красный; 3 — зеленый; 4 — желтый; 5 — синий; 6 — белый;

X_5 — 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_6 — исполнение выключателей со степенью защиты со стороны управляющего элемента: 1 — IP40; 2 — IP54;

X_7 — климатическое исполнение (У, УХЛ, Т) по ГОСТ 15150—69.

Пример обозначения: КУ131101 — выключатель, имеющий один замыкающий и три размыкающих контакта, цилиндрический толкатель, черного цвета, без специальных устройств, степень защиты IP40.

Кнопки и кнопочные станции типа КУ120 и КЕ предназначены для работы в цепях переменного тока при напряжении до 380 В и постоянного тока при напряжении до 220 В и номинальные токи до 4 А.

Ключи управления (универсальные переключатели) 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) контакт *SM1* замкнут, что обозначается точкой на схеме, а контакты *SM2* и *SM3* разомкнуты. В положении 1 ключа замыкается контакт *SM2* и размыкается контакт *SM1*, в положении 2 — наоборот.

Ключи управления серии ПЕ выпускаются на те же напряжения и токи, что и кнопки управления КЕ. Универсальные переключатели серий УП5300, УП5400 и ПКУЗ 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 восьми положений (позиций) рукоятки управления.

Командоконтроллеры (командоаппараты) представляют собой аппараты для коммутации нескольких маломощных (ток нагрузки до 16 А) электрических цепей с управлением от рукоятки или педали с несколькими положениями (табл. 4.1). Их электрическая схема аналогична схеме ключей управления и переключателей.

Таблица 4.1

Основные технические характеристики и назначение 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
КА11	30	0,5	На герметичных контактах для металлургических установок
КА401А	500	До 16	Кулачковый для управления электроприводами
КА-4000	440, 500	До 15	То же

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 5000 А. Они различаются по величине коммутируемого тока, количеству полюсов (коммутируемых цепей), виду привода рукоятки и числу ее положений (два или три). Рубильники серий Р и РА выпускаются на токи 100 ... 600 А, напряжения 220 ... 660 В и имеют 1 ... 3 полюса.

Пакетные выключатели являются разновидностью рубильников, отличающихся 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.

Промышленностью выпускаются пакетные выключатели типа ПВМ, ППМ, ПУ, УП, ОКП, ПВП11, 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 параметры рубильников серии Р на номинальное напряжение 500 В и пакетных выключателей серии ПВМ на напряжения 220 В постоянного тока на напряжение 380 В переменного тока.

Разновидностью рубильников являются переключатели-разъединители с различными приводами: рычажным типа ППЦ, с центральной рукояткой, от маховика или штанги типа П2000/2. Они выпускаются на те же номинальные напряжения и числа полюсов и на токи от 100 до 5000 А.

Контроллеры являются многопозиционными электрическими аппаратами с ручным или ножным приводом для непосредствен-

Таблица 4.2

Технические характеристики рубильников и пакетных выключателей

Тип	Номинальный постоянный ток, А	Номинальный переменный ток, А	Число полюсов
P2124/2	800	800	2
P2344/2	1500	1500	2
P2523/2	300	2500	2
P2723/2	5000	4000	2
P2126/2	800	800	3
P2326/2	1500	1500	3
P2525/2	3000	2500	3
P2725/2	5000	4000	3
ПВМ1-10	6,3	4	1
ПВМ2-10	10	6,3	2
ПВМ2-25	25	16	2
ПВМ2-60	60	40	2
ПВМ2-100	100	63	2
ПВМ2-150	250	160	2
ПВМ2-400	400	250	2
ПВМ3-10	10	6,3	3
ПВМ3-25	25	16	3
ПВМ3-100	100	63	3
ПВМ3-60	63	40	3
ПВМ3-250	250	160	3
ПВМ3-400	400	250	3

ной коммутации силовых цепей и 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 КВ100 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 (маховичка) — до шести в каждую сторону от среднего (нулевого) положения.

Магнитные контроллеры представляют собой коммутационные устройства, в состав которых входят командоконтроллер и силовые электромагнитные аппараты — контакторы. Командоконтроллер управляет катушками контакторов, которые 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 — контроллеры типов ТА на токи до 160 А и ТСА на токи до 250 А.

Главная цепь контроллеров рассчитана на напряжение 220 и 380 В переменного тока, а цепи управления — на напряжение 220 В постоянного тока (К и КС) и на переменные напряжения силовой цепи (ТА и ТСА).

4.4. Автоматические выключатели

Автоматические выключатели (автоматы) низкого напряжения представляют собой многоцелевые электрические аппараты для автоматической защиты электрических цепей и оборудования от аварийных режимов — токов короткого замыкания и перегрузки, снижения или исчезновения напряжения, изменения направления тока и др., а также для нечастой коммутации электрических цепей. 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.

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.

Автоматические выключатели серии АЗ000 (табл. 4.3) имеют несколько исполнений и широко используются в различных установках.

Автоматические выключатели серии «Электрон» (табл. 4.4) применяются в установках с напряжением постоянного тока до 440 В и переменного тока до 660 В. Они могут

Технические характеристики автоматических выключателей серии АЗ000

Тип	Ток, А	Напряжение, В	Число полюсов	Возможность исполнения с расцепителем		Ток установки расцепителя, А	Предельный ток отключения, кА		Время отключения, с
				тепловым	электромагнитным		постоянный	переменный	
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	100 ... 200	20	18	—
A3130	200	220	2, 3	Нет	Есть	250 ... 600	17 ... 28	14 ... 25	0,015
A3140	600	220	2, 3	Нет	Есть	—	25 ... 50	32 ... 40	0,03
A3710Б—A3740Б	160 ... 630	440, 660	2, 3	Есть	Есть	—	110	40 ... 60	—
A3710Ф—A3730Ф	160 ... 630	220, 380	2, 3	Есть	Есть	—	25 ... 50	25 ... 50	—

Таблица 4.4

Технические характеристики автоматических выключателей серии «Электрон»

Параметр	Тип автомата		
	Э06	Э10	Э16
Номинальный ток, А	630	1000	1600
Коммутационная способность, кА	50	84	84
			Э40
			5000
			160

иметь два или три силовых контакта и по четыре размыкающих и замыкающих вспомогательных контакта.

Автоматические выключатели серий АЕ-1000, АЕ-2000 (табл. 4.5) имеют электромагнитные и комбинированные расцепители и допускают частоту оперативных переключений до 30 в час.

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	
AK-63	63	200 ... 400	2, 3	1	1	Есть
AK-50	50	320 ... 400	2, 3	1, 2	1, 2	—
АП-50	50	220 ... 500	2, 3	—	—	Есть
A-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	—	—	—
AB-45/1000	6000	500	1	—	—	—
АСТ-2/3	25	380	2, 3	—	—	—

Автоматические выключатели серий АП-50, АК-50 обеспечивают защиту от токов короткого замыкания и перегрузок и могут использоваться для подключения асинхронных двигателей соответствующей мощности (см. табл. 4.5).

Автоматические выключатели серии А-63 имеют однополюсное исполнение и допускают 50 000 циклов «включено — отключено», из них 6000 циклов при номинальных токе и напряжении (см. табл. 4.5).

Автоматический выключатель АВ-45/1000 предназначен для защиты мощных сетей постоянного тока и имеет коммутационную способность до 200 кА при напряжении 5000 В (см. табл. 4.5).

Автоматические выключатели серии АС-25 имеют морское и тропическое исполнение и могут работать в передвижных установках при тряске и вибрациях (см. табл. 4.5).

Автоматические выключатели серий ВА50 и ВА75 предназначены для замены автоматов серий АЕ2000, АЗ700 и «Электрон» и рассчитаны на токи от 25 до 4000 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). Автоматы ВА47-38 и ВА47-43 являются быстродействующими и предназна-

чены 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 мс.

4.5. Контакторы и пускатели

Контакторы. 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); по количеству главных контактов (одно-, двух- и многополюсные); по роду тока цепи катушки (с управлением напряжением постоянного и переменного токов); по номинальному току и напряжению коммутируемых цепей; по конструктивному исполнению (с механическими контактами и бесконтактные) и другим признакам.

Конструктивная схема электромагнитного однополюсного контактора постоянного тока показана на рис. 4.2, 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 притя-

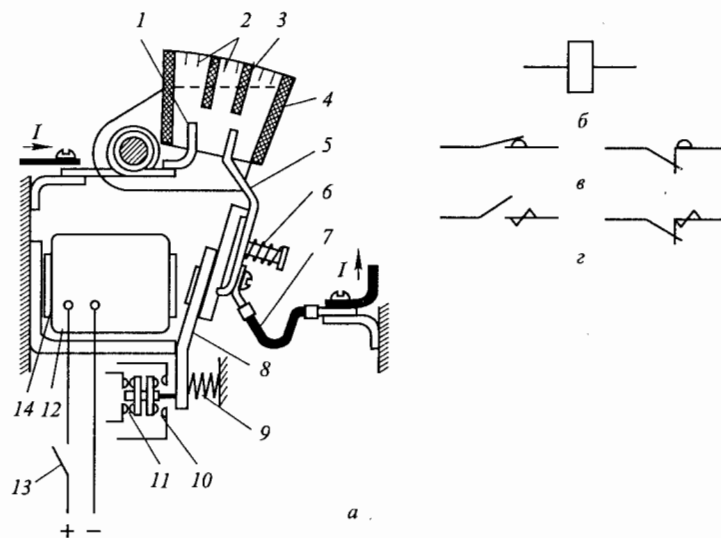


Рис. 4.2. Контактор:

а — устройство; б — обозначение катушки; в, з — обозначения силовых контактов

гивается 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.

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. Блок-контакты 10 и 11 замыкаются 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, изготовляемой 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 2500 А. Главные контакты способны отключать токи перегрузки до 7...10-кратных от номинального тока. Катушки контакторов постоянного тока имеют большое количество витков и обладают 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. 4.2, б–з показаны условные обозначения элементов контактора: соответственно втягивающей катушки; замыкающих и размыкающих главных контактов без дугогашения и с дугогашением. В табл. 4.6 приведены параметры основных типов контакторов постоянного тока.

Для тяжелых условий работы, в частности крановых электроприводов, предназначены контакторы серий КПВ600 и КПВ620 на токи от 100 до 630 А с одним главным контактом. Для применения в электроприводах постоянного тока общепромышленного назначения выпускаются контакторы серий КП и КПД на токи от 25 до 250 А с одним или двумя главными контактами. Контакторы имеют магнитную систему клапанного типа, главные контакты пальцевого типа и вспомогательные контакты мостикового типа. Контакторы снабжены дугогасительной системой.

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	
Контакторы постоянного тока									
КП1	220	20, 40, 75	110	20	0,1	0,04	—	—	1200
КП2	220	20, 40, 75	220	180	0,2 ... 0,3	0,1	—	—	240
КП7	660	2500	110, 220	180	0,25	0,07	—	—	240
КП207	600	2500	110, 220	30 ... 70	0,2	0,25	10 ⁷	—	300 ... 1200
КПВ600	220	63, 100, 160, 250, 630	110, 220	180	0,2 ... 0,3	0,1	—	—	240
КМВ621	220	50	40 ... 220	—	0,05	—	—	—	—
КПД100	220	25 ... 250	110 ... 440	35	—	—	10 ⁷	10 ⁶	1200
Контакторы постоянного и переменного тока									
МК1	220, 500	40	24 ... 200	38	0,06	0,04	10 ⁷	—	—
КМ200	220, 380	До 600	До 380	50	—	—	—	—	600
КМ3-0	220, 380	40	127 ... 220	—	—	—	10 ⁶	—	—
РПК1	440, 500	10	До 500	—	—	—	10 ⁷	—	—
КН100-КН400	200	25 ... 200	До 320	10 ... 50	0,15	0,03	—	—	—

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 повышению тока в катушке при срабатывании, который в несколько раз превышает 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 ноль.

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

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

Таблица 4.7

Технические характеристики контакторов переменного тока

Тип	Номинальные		Число полюсов	Допустимая частота включений в час
	напряжение, В	ток, А		
КТ6000	380, 660	100, 160, 250, 400, 630, 1000	2, 3, 4, 5	1200
КТ7000	380, 660	100, 160	2, 3, 4, 5	600
КВДК630	660	630	3	3800
КТД121	500	40	3	1200
КТПВ600	380	63, 100, 160 ... 250	2	1200
КТП6000	380, 660	100, 160, 250, 400, 630	2, 3, 4	1200
К1000	1600	400 (без охлаждения водой), 800 (с охлаждением водой при частоте 800 Гц)	2, 3	—

Контакторы переменного тока серий КТ6000, КТ7000, КТП600 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 КТ64, КТП64, КТ65 и КТП65 являются модификацией контакторов серий КТ6000, КТ7000 и КТП600. В них осуществляется бездуговая коммутация контактов путем шунтирования главных контактов тиристорами во время их размыкания. Отсутствие дуги при отключении контакторов повышает их надежность, износо-

стойкость главных контактов и взрывобезопасность. Это позволяет, в частности, увеличить допустимое число их включений в час до 2000.

К универсальным контакторам, позволяющим коммутировать силовые цепи как постоянного, так и переменного тока, относятся контакторы серии МК (табл. 4.8). 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.

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	—	—	—	—

Структура условного обозначения контакторов МК:

МК X₁-X₂ X₃ X₄ X₅,

где МК — серия;

X₁ — номинальный ток главной цепи: 1 — 40 А, 2 — 63 А, 3 — 100 А, 4 — 160 А;

X₂ — количество замыкающих контактов;

X₃ — количество размыкающих контактов;

X₄ — модификация контактора: Б — для привода высоковольтных выключателей; Д — для лифтов; М — для подвижного состава;

X₅ — климатическое исполнение (У, УХЛ, Т).

Бесконтактные полупроводниковые контакторы (прерыватели) создаются на базе силовых полупроводниковых приборов — тиристоров и (реже) транзисторов — и отличаются широкими функциональными возможностями, высокой степенью износостойкости и большим быстродействием. Отечественной промышленностью разработаны тиристорные контакторы на номинальное напряжение 380 В с естественной коммутацией типов ТКЕО-250/380 на номинальный ток 250 А для коммутаций линий нагрузки и ТКЕП-100/380 на ток 100 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.

Гибридные, или комбинированные, контакторы используют в своем составе электромеханические и полупроводниковые компоненты. В них коммутация осуществляется силовыми полупроводниковыми приборами, а после включения ток проходит через электромеханические контакты. За счет этого повышаются скорость и управляемость процесса коммутации и частично или полностью исключается появление электрической дуги, а во включенном состоянии уменьшаются потери энергии в аппарате за счет шунтирования полупроводниковых приборов металлическими контактами с малым контактным сопротивлением. В табл. 4.9 приведены параметры гибридных контакторов переменного, а в табл. 4.10 — постоянного тока.

Магнитный пускатель. 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. Магнитные пускатели различаются между собой по назначению (неревверсивные 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. 4.11 приведены основные технические 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 3600, а для пускателей шестого и седьмого габаритов — 2400.

Пускатели серии ПМС предназначены для управления асинхронными двигателями и имеют шесть типоразмеров на

Технические характеристики гибридных контакторов переменного тока

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Частота включений в час, не более	Износостойкость, млн циклов		Размеры, мм			Масса, кг	Ток короткого замыкания, кА	Время отключения, мс
				механическая	коммутационная	ширина	высота	глубина			
КТ64-33	380	160	1200	10	5	380	275	330	17,9	8	12
КТ65-33	660					380	280	345	19,4	9	
КТ64-35	380	250	1200	10	5	480	295	395	36	13	12
КТ65-35	660										
КТ64-37	380	400	600	5	5	580	330	445	72	9	20
КТ65-37	660										
КТ64-39	380	630	600	5	5	580	407	460	94	20	20
КТ65-39	660										
КТП64-33	380	160	2000	16	5	380	275	330	21,6	8	12
КТП65-33	660					380	280	345	23,0	9	
КТП64-35	380	250	2000	10	5	480	295	395	41,5	13	12
КТП65-35	660										
КТП64-37	380	400	1200	10	5	580	330	445	72	19	20
КТП65-37	660										
КТП64-39	380	630	1200	10	5	580	407	460	102	20	20
КТП65-39	660										

Таблица 4.10

Технические характеристики гибридных контакторов постоянного тока

Тип	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Размеры, мм			Масса, кг	
			ширина	высота	глубина	контактора	блока
КП81-33	160	220	390	473	256	29	20
КП81-35	250	220	480	555	303	41,5	20
КП81-37	400	220	503	480	435	60	28
КП81-39	630	220	565	580	465	90	34

Таблица 4.11

Технические характеристики пускателей серий ПМЕ и ПАЕ

Тип	Номинальный ток при напряжении 380/500 В, А	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

токи от 10 до 160 А. В качестве встраиваемых элементов они могут иметь разделительный трансформатор, кнопки управления, амперметр, сигнальную лампу. Механическая износостойкость находится 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.

Бесконтактные пускатели представляют собой полупроводниковые (или гибридные) устройства, обычно тиристорные, которые предназначены для управления двигателями (чаще всего асинхронными и синхронными) и отличаются теми же положительными свойствами, что и бесконтактные (гибридные) контакторы. Некоторые типы таких пускателей позволяют ограничивать пусковые токи двигателей или их моменты при пуске, поэтому они получили название «мягкие» пускатели, или «мягкие» стартеры. В табл. 4.12 ... 4.15 представлены параметры отечественных бесконтактных пускателей.

Таблица 4.12

**Технические характеристики пускателей серии ПБН и ПБР
(ГПО «УМЗ», Ульяновск)**

Модель*	Мощность двигателя, кВт	Номинальный ток нагрузки, А	Исполнение	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
4	2	4	IP44	160 × 150 × 150	1,5
10	4	10	IP44	170 × 200 × 110	4,5
25	7,5 ... 11	25	IP44	190 × 180 × 265	7,5
40	18,5	40	IP44	170 × 275 × 170	12,5
63	30	63	IP00	215 × 255 × 360	17,5
100	45	100	IP00	360 × 265 × 560	29
160	100	160	IP00	180 × 530 × 680	34

* Напряжение 3 × 220, 380, 440 В; частота 50/60 Гц; исполнение — IP00 по требованию.

Таблица 4.13

**Технические характеристики пускателей серии ИРБИ-61
(ИРБИС, Новосибирск)**

Модель*	Мощность двигателя, кВт	Номинальный ток нагрузки, А	Исполнение	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
110	110	200	IP20	500 × 300 × 590	47
200	200	400	IP20	600 × 400 × 590	65
315	315	555	IP20	600 × 400 × 590	65

* Напряжение 3 × 380 В; частота 50 Гц; исполнение — IP00 по требованию.

Таблица 4.14

**Технические характеристики пускателей серии КЭП
(АО «ЗВИ», Москва)**

Модель*	Мощность двигателя, кВт	Номинальный ток нагрузки, А	Исполнение	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
МРМ-М	45 ... 250	До 450	IP31, IP00	588/380 × 542/145 × 317/217**	42/12**
УПТ-2	45 ... 250	До 450	IP54	660 × 235 × 815	55
БУ АЭК	45 ... 350	До 600	IP54, IP00	555 × 230 × 700	50

* Напряжение 3 × 380 В; частота 50/60 Гц.

** Силовой блок/блок управления.

Таблица 4.15

**Технические характеристики пускателей серии УПР1
(ОАО «ЧЭАЗ», Чебоксары)**

Модель*	Мощность двигателя, кВт	Номинальный ток нагрузки, А	Исполнение	Габаритные размеры, мм
1	7,5	25	IP00	242 × 268 × 280
2	30	63	IP00	242 × 480 × 370
3	100	160	IP00	242 × 500 × 360
4	200	400	IP00	400 × 1000 × 370

* Напряжение 3 × 380 В; частота 50/60 Гц.

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. Область применения реле очень широкая. 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 делятся на электромагнитные (контактные), полупроводниковые (бесконтактные) и герметичные.

Электромагнитное реле по принципу своего действия не отличается от контактора и работает следующим образом (рис. 4.3). На сердечнике 2 магнитной системы реле находится катушка 1, на которую подается входной электрический сигнал. Когда ток (напряжение) в

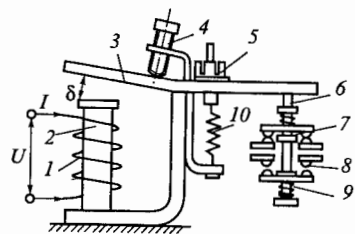


Рис. 4.3. Схема устройства электромагнитного реле

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 traversa 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 вернутся 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 называется коэффициентом 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.

Поскольку контакты реле коммутируют небольшие (до 5 ... 10 А) токи, в них обычно не используются дугогасительные камеры, а конструкции контактов простые.

Промежуточные электромагнитные реле применяются в основном для коммутации электрических цепей и размножения контактов других электрических аппаратов. В табл. 4.16 приведены параметры некоторых промежуточных реле, при этом буквой р обозначены размыкающие контакты, а буквой з — замыкающие.

Электромагнитные реле постоянного тока серии РЭВ-800 применяются в схемах управления в качестве реле тока, напряжения, времени и промежуточных, а РЭВ-810 — в качестве 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 типов 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.

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

Таблица 4.16

Технические характеристики промежуточных реле

Тип	Число контактов	Номинальное напряжение, В		Длительный ток контактов, А	Износостойкость, число срабатываний	
		постоянное	переменное		коммутационная	механическая
ПЭ-20	4р + 4з	—	12 ... 240	5	$(1 ... 2) \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$
ПЭ-21	4 ... 8	12 ... 200	12 ... 380	5	До $3 \cdot 10^6$	$(3 ... 5) \cdot 10^6$
ПЭ-23	3з + 3р	12 ... 110	12 ... 240	4	$(1 ... 3) \cdot 10^6$	$(5 ... 10) \cdot 10^6$
РП-23	5	12 ... 220	—	—	—	—
РП-41, РП-42	8, 4	12 ... 220	—	10	10^6	10^7
ЭП-41В	3 ... 6	—	36 ... 500	16	10^6	—
РП-8, РП-9, РП-11, РП-12	1 ... 7	24 ... 220	24 ... 220	—	—	—
РПШ-0	4 ... 12	—	12 ... 50	12	$3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$
МКУ-48	2 ... 8	12 ... 220	24 ... 380	5	$25 \cdot 10^6$	—

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. 4.17 приведены параметры электромагнитных реле времени типов РЭВ-80, РЭВ-800 и РЭВ-810.

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

Технические характеристики выпускаемых моторных реле времени типов Е-510 и РВ-4 приведены в табл. 4.17. Реле типа РВМ-12 способно обеспечить выдержку времени в пределах 0,5 ... 4 с, а реле типа РВМ-13 — 1 ... 10 с.

Таблица 4.17

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, 6 ... 600	—	—	—	—	—
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	—	—

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, происходит замыкание контактной системы, что и определяет конец отсчета времени. Параметры анкерных реле времени типов ЭВ-100 и ЭВ-200 даны в табл. 4.17.

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.

В схемах *электронных реле времени* обычно используют различные полупроводниковые элементы (чаще всего транзисторные) и конденсаторы, время разряда или заряда которых и определяет выдержку времени. Их выходной каскад реализуется на обычном электромагнитном реле. Характеристики полупроводниковых реле времени типов ВЛ-23 и ВЛ-37 приведены в табл. 4.17.

Электронные реле времени типа ВЛ-43 обеспечивают выдержку времени от 0,1 до 200 с, реле типа ВЛ-48 — от 0,1 до 100 с,

имеют номинальный ток 4 А, номинальное напряжение питания 110 и 220 В и могут коммутировать мощность нагрузки до 160 ВА.

Реле времени с герметичными контактами имеют ту особенность, что их контакты герметизированы и являются одновременно и 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. 4.17 приведены параметры реле времени с герконами типов 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 способны 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 типов 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 1200 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 $(0,7 \dots 3)I_{ном}$ (РЭВ-570) и $(0,7 \dots 2)I_{ном}$ (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. К наиболее употребляемым в схемах электроснабжения, автоматики и защиты относятся:

реле направления мощности РБМ-170/270, обеспечивающие 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 мощности, 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 [5, 6, 31].

4.7. Выбор электрических аппаратов

Выбор электрических аппаратов представляет собой задачу, при решении которой должны учитываться:

- 1) коммутируемые аппаратом токи, напряжения и мощности;
- 2) параметры нагрузки — активная, индуктивная, емкостная, низкоомная, высокоомная и др.;
- 3) число коммутируемых цепей;
- 4) напряжение и токи цепей управления;
- 5) режим работы аппарата — кратковременный, длительный, повторно-кратковременный;
- 6) условия работы аппарата — температура, влажность, давление, наличие вибрации и др.;
- 7) способы крепления аппарата;
- 8) экономические и массо-габаритные показатели;
- 9) удобство сопряжения и электромагнитная совместимость с другими устройствами и аппаратами;
- 10) стойкость к электрическим, механическим и термическим перегрузкам.

Предельной коммутационной способностью электрического аппарата называют 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 [1].

Автоматические выключатели 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, собственному времени включения. Все параметры автоматов должны соответствовать их работе как в обычном, так и аварийном режиме, 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.

Уставки тепловой и максимальной токовой защиты электродвигателей должны соответствовать уровням соответствующих токов двигателя. Максимальная токовая защита не должна срабатывать при пуске двигателя, для чего ее ток уставки $I_{y,m}$ выбирается по соотношению

$$I_{y,m} \geq k_n I_{пуск},$$

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

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

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

К числу показателей контакторов, реле и магнитных пускателей, 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.

Добавим, что реле, выполняющие функции управления и защиты, выбираются по роду входной воздействующей величины

(ток, напряжение, мощность), выдержке времени (реле времени), коэффициенту возврата, времени срабатывания и отпущения.

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

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются электрические аппараты?
2. Какие аппараты относятся к аппаратам управления?
3. Какие виды силовых коммутационных аппаратов ручного управления применяются в электрических установках?
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. Какое назначение имеют «мягкие» пускатели?
10. Перечислите основные виды электромагнитных реле.
11. Каковы конструкция и принцип действия электромагнитного реле?
12. Какие основные типы реле времени вы знаете?
13. Какие условия должны учитываться при выборе электрических аппаратов?
14. По каким основным электрическим параметрам проверяются и выбираются электрические аппараты?
15. Что такое предельная коммутационная способность, электродинамическая и термическая стойкости электрического аппарата?

Глава 5

КОММУТАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И УСТРОЙСТВА ВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ

В настоящей главе рассмотрены высоковольтные выключатели, разъединители, короткозамыкатели, отделители и комплектные распределительные устройства. Защитные и измерительные высоковольтные аппараты и устройства — трансформаторы тока и напряжения, предохранители, токоограничивающие реакторы, разрядники и др. — будут рассмотрены в соответствующих главах.

5.1. Выключатели

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

номинальный ток, который выключатель способен длительно проводить при заданных напряжении, 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;

время отключения и включения выключателя с приводом, характеризующее быстродействие выключателя;

цикл операций, определяющий перечень коммутационных операций, который должен быть способен совершить выключатель.

Масляные выключатели (табл. 5.1) характеризуются тем, что гашение возникающей при разрыве электрической цепи дуги происходит путем ее эффективного охлаждения в потоке газопаровой смеси, вырабатываемой дугой в результате

Технические характеристики масляных выключателей

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	4-секундная 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 1000	20	20	—	140 145	ПЭ-11 ПП-67
ВМГП-10	10	630 1000	20	20	—	140 145	ППВ-10
ВМПЭ-10	10	630 1000 1600	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 1000 1600	20 31,5	20 31,5	0,07	150 180	То же
МГГ-10-3200-45	10	3200 4000 5000	45	45	0,15	—	ПЭ-21, ПЭ-21А
МГГ-10-5000-63	10	5000	64	63	0,15	—	ПЭ-21, ПЭ-21А

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

разложения и испарения масла. Выключатели этого типа делятся на баковые (многообъемные), в которых масло используется для гашения дуги и изоляции токоведущих частей от бака, и малообъемные (маломасляные), в которых масло используется только для гашения дуги и изоляции контактов одного полюса.

Электромагнитные выключатели (табл. 5.2) отключают цепи путем их размыкания сначала главными, а затем дугогасительными контактами, имеющими дугогасительные камеры. Для гашения дуги применяется так называемое магнитное дутье.

Таблица 5.2
Технические характеристики электромагнитных выключателей

Тип	4-секундная 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	1000
ВЭМ-6-3200/40-125	40	0,06	0,08	0,35	1236
ВЭМ-10Э-1000/12,5	20 (5 с)	0,05	—	0,4	610
ВЭМ-10Э-1250/12,5	20 (5 с)	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 (табл. 5.3) характеризуются тем, что гашение дуги происходит в вакууме [до $1,3 \cdot (10^{-2} \dots 10^{-5})$ Па].

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 — при напряжении 6 кВ и выше, генераторных — при напряжении 6 ... 27 кВ, выключателей для

Таблица 5.3

Технические характеристики вакуумных выключателей

Тип	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	630 ... 1000	52	3	0,05	20 000	На тележке
ВВЭ-10-20У3	630 ... 1600	52	3	0,055	20 000	»
ВВЭ-10-31,5У3	630 ... 3150	80	3	0,055	2000	»
ВВЭ-10-20Т3	630 ... 1250	52	3	0,055	20 000	»
ВВЭ-10-31,5Т3	630 ... 2500	80	3	0,055	20 000	»
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.

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, представляющий собой шестифтористую серу (SF₆) и обладающий более высокой электрической прочностью. В табл. 5.4 приведены технические параметры некоторых типов воздушных выключателей.

Таблица 5.4

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; 3,2	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

Окончание табл. 5.4

Тип	Номинальный ток, кА	Ток термической стойкости, кА; для времени, с	Номинальный ток отключения, кА	Время включения, с	Время отключения, с
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.

5.2. Разъединители, отделители и короткозамыкатели

Разъединители 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 установки.

Разъединители для внутренней установки типов РВО, РВФ и РВЗ предназначены для работы при напряжении 6 кВ и токах от 400 до 2000 А, разъединители для наружной установки выпускаются на токи от 200 до 5000 А. Расшифровка буквенных обозначений разъединителей: Р — разъединитель; В — внутренней установки; 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 параметры разъединителей внутренней установки, а в табл. 5.6 — параметры разъединителей наружной установки.

Таблица 5.5

Технические характеристики разъединителей внутренней установки

Тип	Предельный сквозной ток короткого замыкания, кА		4-секундный ток термической стойкости, кА	Масса разъединителя и одного полюса (полюсное исполнение), кг
	амплитудный	действующий		
PBO-6/400	50	29	16	5,9
PBO-6/630	60	35	20	6,3
PBO-6/1000	120	71	40	12,5
PB-6/400	50	29	16	24
PB-6/630	60	35	20	27
PB-6/1000	120	71	40	42
PB3-6/400	50	29	16	28
PB3-6/630	60	35	20	29
PB3-6/1000	81	47	40	46
PBФ-6/400	50	29	16	35
PBФ-6/630	60	35	20	38
PBФ-6/1000	81	47	40	67
PBO-10/400	50	29	16	5,9
PBO-10/630	60	35	20	6,3
PBO-10/1000	120	71	40	12,5
PB-10/400	50	29	16	26
PB-10/630	60	35	20	28
PB-10/1000	120	71	40	44
PB3-10/400	50	29	16	30
PB3-10/630	60	35	20	32
PB3-10/1000	81	47	40	48
PBФ-10/400	50	29	16	41
PBФ-10/630	60	35	20	45
PBФ-10/1000	81	47	40	83
РЛВОМ-10/1000	81	47	40	16,19
PBP-III-10/2000	85	—	31,5	82
PBP3-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.

Таблица 5.6

Технические характеристики разъединителей наружной установки

Тип	Амплитуда предельного сквозного тока короткого замыкания, кА	Ток термической стойкости, кА		Масса, кг
		главных контактов (4 с)	заземляющих ножей (1 с)	
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	3510
РНД (3)-500/3200	160	63	63	4250
РПД-500/3200	160	63	—	6100
РПД-750/3200	160	63	—	9370
РНВ (3)-750П/4000	—	63	—	8769
РНЗ-1150/4000	100	40	—	13 370

Примечание. Числитель — номинальное напряжение, кВ; знаменатель — номинальный ток, А.

Отделители (табл. 5.7) служат для отключения обесточенной цепи высокого напряжения за небольшое — не более 0,1 с — время, для чего они снабжаются быстродействующим приводом.

Короткозамыкатели (табл. 5.8) служат для создания искусственного короткого замыкания в цепи высокого напряжения. По своей конструкции они подобны заземляющему устройству разъединителя, но снабжены быстродействующим приводом.

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

Таблица 5.7

Технические характеристики отделителей

Показатель	Тип отделителя				
	ОД-35 ОДЗ-35	ОД-110	ОД-110 ОДЗ-110	ОД-150 ОД-150У	ОД-220
Номинальный ток, А	630	800	1000	1000	1000
Полное время отключения (без гололеда), с	0,45	0,32	0,38	0,38	0,5

Примечания: 1. Буквы З в обозначении — наличие заземляющих пожей, У — усиленная изоляция.

2. Цифровая часть обозначения — номинальное напряжение, кВ.

3. Предельный сквозной ток — 80 кА.

Таблица 5.8

Технические характеристики короткозамыкателей

Показатель	Тип короткозамыкателя			
	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.

5.3. Комплектные трансформаторные подстанции

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) высокого напряжения осуществляют преобразование высокого напряжения в низкое и распределение этого напряжения между потребителями электроэнергии. В табл. 5.9 приведены параметры КТП на первичное напряжение 10 кВ для наружной установки, а в табл. 5.10 — для внутренней установки.

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?

Таблица 5.9

Технические характеристики КТП наружной установки

Показатель	Тип КТП					
	КТП-25-(10)/0,4 КТП-40-(10)/0,4 КТП-63-(10)/0,4	КТП-100-6(10)/0,4 КТП-160-6(10)/0,4	КТП-250-6(10)/0,4 КТП-400-6(10)/0,4	КТП-400У1	КТП-630У1 КТП-1000У1 2КТП-630У1 2КТП-1000У1	КТП-630У1 КТП-1000У1 2КТП-630У1 2КТП-1000У1
Номинальная мощность, кВ·А	25; 40; 63	100; 160	250	400	630; 1000; 2 × 630; 2 × 1000	630; 1000; 2 × 630; 2 × 1000
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)	ТМЗ-630/6 (10); ТМЗ-1000/6 (10)
Тип коммутационного аппарата на стороне ВН	РВ-10-250; ПК-6(10)	РВ-10-250; ПК-6(10)	РВ-10-250; ПК-6(10)	ВНПЗ-17 с приводом типа ВВН-1); ПК-6(10)	ВНПЗ-17 с приводом ПРА-17 (в шкафу типа ВВН-1); ПК-6(10)	ВНПЗ-17 с приводом ПРА-17 (в шкафу типа ВВН-1); ПК-6(10)
Тип коммутационного аппарата на стороне НН:	АЗ124 (40 и 60 А)	АЗ134 (200А)	АЗ144 (400А)	АВМ-ЮСВ (в шкафу типа КБН-1); 2 шт. БПВ-2 4 шт. БПВ-1 (в шкафу КБН-1)	АВМ-20СВ (в шкафу типа КНН-1 или КНН-2)	АВМ-4В, АВМ-10В или АВМ-20В (в шкафах типа КНН-4 или КНН-5), АВМ-20СВ (в шкафу типа КНН-3)
на вводах	3 + 1 (осв.)	3 + 1 (осв.)	4 + 1 (осв.)	5 или 6	7 ... 9	7 ... 9
на линиях	1300 1150 2740	1300 1150 2740	1500 2100 2900	4060 1220 2000	Определяется заказом 1185; 1255; 2000	Определяется заказом 1185; 1255; 2000
Количество отходящих линий	3 + 1 (осв.)	3 + 1 (осв.)	4 + 1 (осв.)	5 или 6	7 ... 9	7 ... 9
Габариты, мм:						
ширина (длина)	1300	1300	1500	4060	Определяется заказом 1185; 1255; 2000	Определяется заказом 1185; 1255; 2000
глубина	1150	1150	2100	1220	Определяется заказом 1185; 1255; 2000	Определяется заказом 1185; 1255; 2000
высота	2740	2740	2900	2000	Определяется заказом 1185; 1255; 2000	Определяется заказом 1185; 1255; 2000
Масса, кг	740 ... 995	1110 ... 1385	1850	2880	Определяется заказом	Определяется заказом

Технические характеристики КТП внутренней установки

Показатель	Тип КТП				
	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; 1000	400	1000; 1600	2500
Номинальное напряжение, кВ	6(10)/0,4 ... 0,23	6(10)/0,4 ... 0,2 3	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 ВН: тип шкафа	ШВВ-3	Кабельная ко- робка	ВВ-1; ВВ-2	ШВВ-3; ШВВ-5	ШВВ-3; ШВВ-5
тип коммутационного аппарата	ВН-11	Глухой ввод	ВНПЗ-17; ПК-6(10)	ВН-11	ВН-11
Шкафы НН: ввода	ШВ-А	4ШН; 5ШН	КБ-1; КБ-2;	ШНВ-2М; ШНВ-3М	ШНВ-2К
секционные линейные	— ШЛ-а	4ШН; 6ШН 5ШН-600	КБ-4 КБ-5а; КБ-5б	ШНС-2М ШНЛ-1М; ШНЛ-2М	ШНС-3К ШНЛ-2К; ШНЛ-3К
Типы коммутационных аппаратов: на вводах и секционные на отходящих линиях	А3744С А3712Б; А3722Б; А3734С; А3744С	Э-16В; Р-2515 А3710-А3740	АВМ-10СВ БПВ-1; БПВ-2	Э-40В; Э-25В Э-16В; Э-0,6В	Э-40В; Э-25В Э-25В

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 делятся 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. Данные трансформаторы обеспечивают при этом также и гальваническую развязку силовых и измерительных цепей.

В двухобмоточном трансформаторе различают обмотку высшего напряжения (ВН), присоединяемую к сети более высокого напряжения, и обмотку низшего 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 (рис. 6.1, а) начало и конец обмотки высокого напряжения (ВН) обозначаются соответственно прописными латинскими буквами А и Х, а обмотки низкого напряжения (НН) — строчными латинскими буквами а

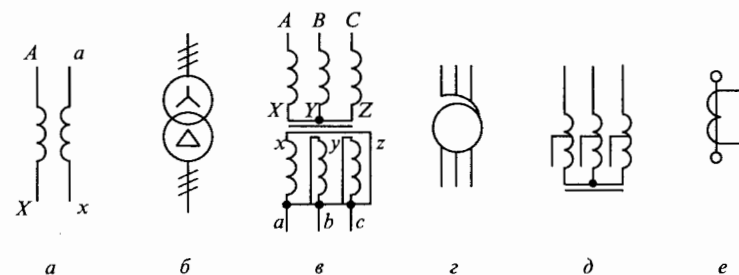


Рис. 6.1. Условные изображения:

а — однофазного трансформатора; б, в — трехфазного трансформатора; г, д — авто-трансформатора; е — трансформатора тока

и х. В трехфазном трансформаторе (рис. 6.1, б, в) начала и концы обмоток ВН обозначаются соответственно А, В, С и Х, У, Z, а обмоток НН — а, б, с и х, у, 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, в), что обозначается русской буквой Д, и зигзаг (латинская буква Z в обозначении). Отвод (ответвление) от нейтрали у схем звезда и зигзаг обозначается через О.

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 делятся на трансформаторы с естественным воздушным охлаждением (сухие трансформаторы), не имеющие специальной системы охлаждения, и с масляным охлаждением.

В табл. 6.1 приведены параметры трехфазных трансформаторов серий ТМ и ТСЗ. В таблице приняты следующие обозначения: $U_{1н}$, $U_{2н}$ — номинальные первичное и вторичное напряжения; u_k — на-

Таблица 6.1

Технические характеристики трехфазных трансформаторов серий ТМ и ТСЗ

Тип	Мощность, кВт	$U_{1н}$, кВ	$U_{2н}$, кВ	u_k , %	Мощность потерь, кВт		i_0 , %
					P_x	P_k	
ТМ-25/10	25	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,135	0,6	3,2
ТМ-40/10	40	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,19	0,88	3
ТМ-63/10	63	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,265	1,28	2,8

Окончание табл. 6.1

Тип	Мощность, кВт	$U_{1н}$, кВ	$U_{2н}$, кВ	u_k , %	Мощность потерь, кВт		i_0 , %
					P_x	P_k	
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	0,82	3,7	2,3
ТМ-400/10	400	10; 6	0,4; 0,69	4,5	1,05	5,5	2,1
ТМ-630/10	630	10; 6	0,4; 0,69	5,5	1,56	7,6	2
ТМ-1000/10	1000	10	0,4	5,5	2,45	12,2	1,4
ТМ-1600/10	1600	10	0,4	5,5	3,3	18	1,3
ТМ-2500/10	2500	10	0,4	5,5	4,6	25	1
ТМ-4000/10	4000	10	0,4	5,5	6,4	33,5	0,9
ТМ-6300/10	6300	10	0,4	6,5	9,0	46,5	0,8
ТСЗ-160/10	160	10	0,4	5,5	0,7	2,7	4
ТСЗ-250/10	250	10	0,4	5,5	1,0	3,8	3,5
ТСЗ-400/10	400	10	0,4	5,5	1,3	5,4	3
ТСЗ-630/10	630	10	0,4	5,5	2,0	1,3	1,5
ТСЗ-1000/10	1000	10	0,4	5,5	3,0	11,2	1,5
ТСЗ-1600/10	1600	10	0,4	5,5	4,2	16,0	1,5

пряжение короткого замыкания в % от номинального; P_x , P_k — мощность потерь соответственно холостого хода и короткого замыкания; i_0 — ток холостого хода в % от номинального. В обозначениях трансформаторов: ТМ — трехфазный масляный трансформатор; 25/10 — мощность 25 кВ·А, первичное напряжение 10 кВ; ТСЗ — трехфазный трансформатор сухой защищенного исполнения.

В табл. 6.2 содержатся параметры трансформаторов серий ТМ, ТДЦ и ТРДНЦ (расшифровка буквенных обозначений: ДЦ — с циркуляционным охлаждением масла; Н — с возможностью регулирования напряжения).

Таблица 6.2

Технические характеристики трансформаторов серий ТМ, ТДЦ, ТРДНЦ

Тип	u_k , %	Потери, кВт		i_0 , %	Масса, т		Размеры, мм		
		P_x	P_k		полная	масла	высота	длина	ширина
ТМ-100/35	6,5	0,465	1,97	2,6	1,3	—	2200	1330	900
ТМ-160/35	6,5	0,700	2,65	2,4	1,7	—	2260	1400	1000
ТМ-250/35	6,5	1,000	3,70	2,3	2,0	—	2320	1500	1250
ТМ-400/35	6,5	1,35	5,50	2,1	2,7	—	2500	1650	1350
ТМ-630/35	6,5	1,90	7,60	2,0	3,5	—	2750	2100	1450

Окончание табл. 6.2

Тип	u_k , %	Потери, кВт		i_0 , %	Масса, т		Размеры, мм		
		P_x	P_k		полная	масла	высота	длина	ширина
ТМ-1000/35	6,5	2,75	12,2	1,5	6,0	2,02	3150	2700	1570
ТМ-1600/35	6,5	3,65	18,0	1,4	7,1	2,43	3400	2650	2300
ТМ-2500/35	6,5	5,1	25,0	1,1	9,6	2,70	3800	3800	2450
ТМ-4000/35	7,5	6,7	33,5	1,0	13,2	4,10	3900	3900	3650
ТМ-6300/35	7,5	9,4	46,5	0,9	17,4	4,80	4050	4300	3700
ТМ-10000/35	7,5	14,5	65,0	0,8	21,8	5,20	4350	3000	3760
ТД-16000/35	8,0	21,0	90,0	0,6	31,3	8,20	4860	3950	3970
ТД-40000/35	8,5	36,0	165,0	0,4	52,3	—	5700	5300	4400
ТДЦ-80000/35	9,5	60,0	280,0	0,3	78,6	11,9	6100	5950	4550
ТМН-2500/110	10,5	6,5	22,0	1,50	24,5	10,15	4090	5150	3540
ТМН-6300/110	10,5	11,5	48,0	0,80	37,3	14,7	5150	6080	3170
ТДН-10000/110	10,5	15,5	60,0	0,70	38,0	12,9	5380	5900	4270
ТДН-16000/110	10,5	24,0	85,0	0,70	54,5	19,7	6300	6910	4470
ТРДН-25000/110	10,5	30,0	120,0	0,70	67,2	20,0	5820	6580	4650
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	6190	6930	4850
ТРДЦН-63000/110	10,5	70,0	245,0	0,60	107,2	28,5	6500	8300	4400
ТРДЦН-80000/110	10,5	85,0	310,0	0,60	—	—	—	—	—
ТРДЦН-125000/110	10,5	120,0	400,0	0,55	—	—	—	—	—

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

Таблица 6.3

Технические характеристики трансформаторов серии ТСЗ

Тип	Мощность, кВт·А	u_k , %	Потери, Вт		i_0 , %	Масса, кг	Размеры, мм		
			P_x	P_k			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	1090	3,3	440	920	970	580
ТСЗ-100/0,66	100	4,5	500	1500	2,7	580	980	1060	620
ТСЗ-160/0,66	160	4,5	710	2060	2,3	800	1150	1150	680

Параметры сухих трансформаторов с литой изоляцией типа TSE приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Технические характеристики трансформаторов серии TSE

Показатель	TSE 772/10	TSE 792/10
Номинальная мощность, кВт·А	630	1000
Напряжение ВН/НН, кВ	6 ... 10/0,4/0,231	6 ... 10/0,4/0,231
Напряжение короткого замыкания, %	6	6
Потери короткого замыкания, Вт	6500	8750
Потери холостого хода, Вт	1300	1700
Группы соединений	Д/Y ₀ -11	Д/Y ₀ -11
Температура окружающей среды, °С	-45 ... +40	-45 ... +40

Трансформаторы двухобмоточные с переключением ответвлений на стороне ВН (кроме ТДЦ) без возбуждения (ПБВ) типов ТМ-2500/110 – ТМ-6300/110; ТД-10 000/110 – 40000/110; ТДЦ-80 000/110 – ТДЦ-400 000/110 имеют класс напряжения 110 и 150 кВ, схему соединения обмоток Y/Д-11 и систему НН уровней 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 18 и 20 кВ.

В табл. 6.5 приведены параметры некоторых типов однофазных трансформаторов.

Таблица 6.5

Технические характеристики однофазных трансформаторов

Тип	S_n , кВт·А	U_{1n} , В	U_{2n} , В	i_0 , %	u_k , %
ОСМ-0,063	0,063		12; 24	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 сухие для питания электропечей и установок электронагрева серий ОС, ОСЗ, ОСЗК и ОСКР выпускаются мощностью от 8,34 до 250 кВт·А, ВН 220 или 380 В и допускают ступенчатое регулирование напряжения.

Для судов выпускаются трансформаторы в открытом исполнении типа ОСМ мощностью от 0,063 до 1 кВт·А, водозащищенные типа ОСВМ мощностью от 0,25 до 4 кВт·А и каплезащищенные типа ОСЗМ мощностью от 6,3 до 25 кВт·А. Транс-

форматоры этих серий выпускаются также трехфазными и на частоту 400 Гц.

Более подробные сведения о силовых трансформаторах можно найти в [30].

6.3. Автотрансформаторы

Автотрансформаторы имеют в своем обозначении букву А. Параметры трехфазных трехобмоточных автотрансформаторов приведены в табл. 6.6, однофазных — в табл. 6.7, а их условные изображения приведены на рис. 6.1, з, д.

Таблица 6.6

Технические характеристики трехфазных автотрансформаторов

Тип	Номинальная мощность, кВ·А		Напряжение, кВ		
	автотрансформатора	обмотки 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 6.7

Технические характеристики однофазных автотрансформаторов

Тип	Номинальная мощность, кВ·А		Напряжение, кВ		
	автотрансформатора	обмотки 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
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.

Трансформаторы тока (табл. 6.8) преобразуют измеряемый первичный ток во вторичный, для чего их первичная обмотка включается в цепь измеряемого тока, а ко вторичной подключаются измерительный прибор или средства защиты электроустановки. Трансформаторы тока по своему исполнению должны

Таблица 6.8

Технические характеристики трансформаторов тока

Тип	U_n , кВ	I_n , А	S_n обмоток, В·А	
			измерительной	защитной
ТШ-0,5	0,5	14 000	—	—
ТНШ-0,66	0,66	1600; 2500	—	—
ТНШЛ-0,66	0,66	800; 1000; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000	20	—
ТШН-0,66	0,66	100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000	5	—
ТЛМ-6	6	300; 400; 600; 800; 1000; 1500	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; 1000; 1500	10	15
ТОЛ-10	10	30; 50; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500	10	15
ТЛ-10	10	50; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500; 2000; 3000	10	15
ТПЛ-10К	10	10; 15; 30; 50; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500	10	15
ТВГ-24	24	6000	30	30
ТВ-10	10	6000	20	—
ТВТ-10	10	5000; 6000; 12 000	30	—
ТВТ-110	110	300; 600; 1000; 2000	30 ... 50	10 ... 50
ТФЗМ35А	35	15 ... 600	50	20
ТФРМ330Б	330	10/2000; 1500/3000	30	40
ТФУМ330А	330	500/1000/2000	50	50

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 составляет 1 ... 5 А. Условное изображение трансформатора тока приведено на рис. 6.1, е.

Буквы в обозначении трансформаторов тока характеризуют их конструкцию, а именно: 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 в киловольтах.

Трансформаторы напряжения (табл. 6.9) служат для преобразования высокого напряжения в низкое стандартного значения (100 или $100/\sqrt{3}$ В) и изоляции (потенциальной развязки)

Таблица 6.9

Технические характеристики трансформаторов напряжения

Тип	U_n , В		S_n , В·А (при классе точности)		S_{max} , В·А
	ВН	НН	1	0,5	
НОС-0,5	380; 500	100	50	25	100
НОМ-6	3000; 6000	100; 100	50; 75	30; 50	240; 400
НОМЭ-6	6000	100	75	50	400
НТМК-10	10 000	100	200	120	960
НТМИ-10-66	10 000	100; 100/3	200	120	960
НОЛ-08-10	10 000; 11 000	100; 110	150	75	640
ЗНОЛ 06-10	$10\,000/\sqrt{3}$; $11\,000/\sqrt{3}$	100/3; 100	150	75	640
НОМ-15	13 800	100	150	75	640
	15 750;				
	18 000				
ЗНОМ-15-63	$6000/\sqrt{3}$	100/3	75	50	400
	$10\,000/\sqrt{3}$; $15\,750/\sqrt{3}$				
ЗНОГ 110-79	$100\,000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	600	400	2500
НКФ-330-73	$330\,000/\sqrt{3}$	$110/\sqrt{3}$	600	400	2000
НДЕ-500-72	$500\,000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	500	300	1200

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 — трансформаторы классов 1,0 и 3,0. Трансформаторы напряжения могут использоваться и как обычные трансформаторы, при этом мощность их нагрузки не должна превышать паспортного значения.

Трансформаторы напряжения (буква Н в обозначении) имеют следующие обозначения:

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.

Контрольные вопросы

1. Что такое трансформатор?
2. Что такое автотрансформатор?
3. Какие типы трансформаторов по способу охлаждения их обмоток вы знаете?
4. Как выглядят схемы включения обмоток трансформаторов в звезду и треугольник?
5. Для чего служат трансформаторы тока и напряжения?

Глава 7

СИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

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

Синхронные машины небольшой мощности иногда изготавливаются в обращенном 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 делятся на генераторы, двигатели и синхронные компенсаторы. Начала и концы обмоток статора имеют обозначения $C1 - C4$, $C2 - C5$, $C3 - C6$, а обмотки возбуждения $I1 - I2$. Условное изображение трехфазной синхронной машины приведено на рис. 7.1.

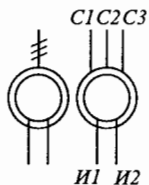


Рис. 7.1. Условное изображение синхронной электрической машины

7.1. Генераторы

Генератором называется электрическая машина, преобразующая подводимую к ее валу механическую энергию в электрическую. Синхронные генераторы являются основным видом генераторов, применяемых на электрических станциях для выработки электрической энергии. Если приводом генератора является гидравлическая турбина, он называется гидрогенератором, если приводным двигателем является турбина, то такой генератор называется турбогенератором. На электростанциях небольшой мощно-

сти, например передвижных, в качестве двигателей генераторов используются дизели и двигатели внутреннего сгорания.

Гидрогенераторы выполняются, как правило, явнополюсными, с вертикальной осью вращения, мощностью до 700 МВ·А и частотами вращения от 50 до 500 об/мин (иногда до 1000 об/мин) и применяются на гидравлических электростанциях. В табл. 7.1 приведены параметры основных типов гидрогенераторов. Через S_n , n_n и U_n обозначены соответственно номинальные полная мощность, частота вращения и напряжение.

Таблица 7.1
Технические характеристики основных типов гидрогенераторов

Тип	S_n , МВ·А	n_n , об/мин	U_n , кВ	Особенности исполнения
СГГ	0,63 ... 3,125	600; 750	6,3	Горизонтальные, для высоконапорных гидроэлектростанций, защищенные, с вентиляцией по разомкнутому циклу; прямая электромашинная система возбуждения
СГК	5,67 ... 23,3	78,9 ... 150	1,45 ... 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	28,75 ... 306	57,7 ... 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 ГЭС) 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
ВГС	3,0 ... 282	50 ... 600	6,3 ... 15,75	Вертикальные, индивидуального исполнения, с косвенным воздушным охлаждением

Окончание табл. 7.1

Тип	S_n , МВ·А	n_n , об/мин	U_n , кВ	Особенности исполнения
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 характеристики некоторых типов гидрогенераторов. Через $\cos \varphi_n$ и η_n обозначены номинальные коэффициенты мощности и полезного действия.

Таблица 7.2

Технические параметры гидрогенераторов

Тип	S_n , МВ·А	U_n , кВ	n_n , об/мин	$\cos \varphi_n$	η_n , %	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	1050	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	2400	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	1200	204
ВГСФ930/233-30	294	15,75	200	0,85	98,1	1880	308
ВГСВФ940/235/30	353	15,75	200	0,85	98,2	2450	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	1300	191
ВГС1190/215-48	282,5	15,75	125	0,85	98,4	1500	370
ВТС1260/147-68	97	13,8	88,25	0,85	97,5	1435	355
СВФ1285/275-2	711	15,75	142,8	0,9	98,3	3500	530
СВ1500/200-8	127,8	13,8	68,2	0,9	97,6	1820	380
ВГС1525/135-120	67,3	10,5	50	0,85	97,2	1300	480
СВФ1690/175-64	590	15,75	93,8	0,85	98,2	3680	615

Турбогенераторы имеют, как правило, горизонтальное расположение вала, выпускаются мощностью до 1200 МВ·А и имеют скорость вращения 3000 об/мин, которой соответствует частота генерируемого напряжения 50 Гц при одной паре полюсов статорной обмотки. Параметры основных типов турбогенераторов содержатся в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Технические характеристики турбогенераторов

Тип	P_n , МВт	n_n , об/мин	U_n , кВ	Особенности исполнения
Т	2,5; 4; 6; 12; 20	3000	3,15; 6,3; 10,5	Исполнение закрытое. Охлаждение воздушное по замкнутому циклу
ВС	32	3000	6,3; 10,5	Исполнение закрытое. Косвенное водородное охлаждение
ТВФ	55; 63; 120	3000	6,3; 10,5	Косвенное охлаждение обмотки и сердечника статора, непосредственное охлаждение обмотки ротора водородом
ТВВ	160; 200; 300; 500; 800; 1200	3000	18; 24	Непосредственное охлаждение обмотки статора водой, а обмотки ротора водородом при избыточном давлении, заполнение корпуса статора водородом
ТГВ	200; 300	3000	15,75; 20	Непосредственное охлаждение обмотки статора и ротора водородом
ТГВ200М	200	3000	15,75	Непосредственное охлаждение обмотки статора водой, а обмотки ротора и активной стали водородом
ТГВ	500	1500; 3000	20	Непосредственное охлаждение обмотки и сердечников статора и ротора водородом
ТВМ	300; 500	3000	20; 36,75	Непосредственное охлаждение обмотки и сердечника статора изоляционным маслом, а ротора водой

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

Таблица 7.4

Технические характеристики турбогенераторов серии Т

Тип	P_n , МВт	U_n , кВ	$\cos \varphi_n$	η_n , %	Возбуждение		Масса, кг
					$U_{вн}$, В	I_n , А	
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

Таблица 7.5

Технические характеристики турбогенераторов серии ТВВ

Тип	P_n , МВт	$\cos \varphi_n$	U_n , кВ	I_n , кА	$U_{вн}$, В	I_n , А	η_n , %
ТВВ-160-2Е	160	0,85	18	6,04	360	2300	98,5
ТВВ-200-2А	200	0,85	15,75	8,625	300	2540	98,6
ТВВ-320-2	300	0,85	20	10,2	447	2900	98,6
ТВВ-500-2	500	0,85	20	17	474	3530	98,7
ТВВ-800-2	800	0,9	24	21,4	612	3790	98,75
ТВВ-1000-2	1000	0,9	24	26,73	427	7550	98,75
ТВВ-1200-2	1200	0,9	24	16,05	517	7500	98,8
ТВВ-1000-Д	1000	0,9	24	26,73	467	6990	98,7

Генераторы общего назначения выполняются мощностью от единиц до нескольких десятков тысяч киловатт и имеют скорость вращения от 100 до 1500 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 напряжения высокой частоты (до 10 000 Гц и более), необходимого, в частности, для работы высокочастотных электротехнологических установок.

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

Таблица 7.6

Технические характеристики генераторов общего назначения

Тип	P_n , кВт	n_n , об/мин	U_n , В	Особенности исполнения
ЕСС	5 ... 50	1500	230; 400	Защищенные, с возбуждением от полупроводниковых выпрямителей
ЕСС5	8 ... 75	1000; 1500	230; 400	Защищенные, с аксиальной вытяжной вентиляцией
СГ2	125 ... 315	500; 600; 1000	400	Защищенные, с радиальной самовентиляцией. Возбуждение от тиристорного возбудителя, питающегося от отдельной обмотки
СГД (10-й габарит)	75 ... 200	750; 1000; 1500	230; 400	Горизонтальные, защищенные, с аксиальной вытяжной вентиляцией, с приводом от дизеля
СГД2	400 ... 800	375	400; 6300	Горизонтальные, с приводом от дизеля, с самовентиляцией, со статической системой возбуждения
СГДС	1000 ... 1250	750	10500; 6300	Закрытые, с принудительной вентиляцией по замкнутому циклу, с электромашинным возбудителем
ОС	5 ... 125	1500	230; 400	Общепромышленное применение
ГМС	200 ... 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	3000 3000	220 80	Трехфазные индукторные генераторы. ГИМ-1 — вертикальные, обдуваемые, ГИС-2 — горизонтальные, закрытые. Предназначены для питания нагрузок напряжением повышенной частоты (300, 400, 600, 800, 1200, 1600, 2400 Гц)
ГСПМ	37,5	3000	230; 400	Горизонтальные, защищенные, с постоянными магнитами, 400 Гц
ГПЧ	12; 75	1500	230	Горизонтальные, закрытые, 400 Гц

Таблица 7.7

Технические характеристики генераторов серий ЕСС и СГ

Тип	S_n , кВ·А	n_n , об/мин	η_n , %	Масса, кг	Высота оси, мм	Возбуждение	
						U_n , В	I_n , А
ЕСС-52-4	6,25	1500	80,2	125	180	—	—
ЕСС-62-4	15,0	1500	86	238	200	—	—
ЕСС-81-4	25,0	1500	87	349	250	—	—
ЕСС-82-4	31,5	1500	88	420	250	—	—
ЕСС-91-4	62,5	1500	90	590	315	—	—
ЕСС5-61-4	10	1500	84,7	160	200	—	—
ЕСС5-62-4	15	1500	85,0	189	200	—	—
ЕСС5-81-4	25	1500	86,0	300	250	—	—
ЕСС5-81-6	25	1000	86,0	300	250	—	—
ЕСС5-82-4	37,5	1500	88,2	340	250	—	—
ЕСС5-83-6	37,5	1000	88,2	360	250	—	—
ЕСС5-91-4	62,5	1500	89,3	490	315	—	—
ЕСС5-92-6	62,5	1000	89,6	540	315	—	—
ЕСС5-92-4	75,0	1500	90,5	540	315	—	—
ЕСС5-93-4	93,7	1500	91,0	605	315	—	—
СГД102-8	93,7	750	89	1070	375	—	118,5
СГД103-4	250	1500	92,3	1550	375	—	129
СГ2-85/18-12	156	500	90,5	1670	500	27	145
СГ2-85/18-10	200	600	91,3	1640	500	29	156
СГ2-85/29-12	250	500	91,9	2120	500	36	147
СГ2-74/25-6	313	1000	93	1600	450	31	179
СГ2-85/29-10	313	600	92,6	2140	500	38	153
СГ2-85/45-12	394	500	92,7	2750	500	49	147
СГД2-17-24-16	500	375	92	4400	315	41	216
СГД2-17-29-16	625	375	92,6	4950	315	50	236
СГД2-17-36-16	790	375	93,5	5450	315	55	222
СГД2-17-44-16	1000	375	94	6200	315	61	241
СГД2-15-30-8	1250	375	94,3	7300	—	50	323
СГД2-15-54-8	2000	375	95	11 600	—	69	320
СГД2-15-74-8	2500	375	95	13 700	—	70	306

Примечание. Генераторы серий ЕСС и ЕСС5 имеют напряжение 230 или 400 В, генераторы серии СГД2 — 400 или 6300 В, генераторы серии СГДС — 6300 В.

Таблица 7.8

Технические характеристики генераторов серий ОС и ГСФ

Тип	S_n , кВ·А	P_n , кВт	I_n , А	η_n , %
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	P_n , кВт	U_n , В	I_n , 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
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	3

7.2. 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 мощностью от 100 до нескольких десятков тысяч киловатт и имеют скорость вращения от 100 до 3000 об/мин. Они изготавливаются с обмоткой возбуждения на явнополюсном или неявнополюсном роторе и с роторами в виде постоянных магнитов или в виде зубчатого цилиндра.

В табл. 7.10 содержится общая характеристика различных серий синхронных двигателей.

Таблица 7.10

Технические характеристики синхронных двигателей

Тип	P_n , МВт	n_n , об/мин	U_n , кВ	Особенности исполнения и назначение
СД2	0,132 ... 1,0	500; 600; 750; 1000; 1500	0,38; 6	Горизонтальные, защищенные, с самовентиляцией; тиристорное возбуждение; общего назначения
СДН2, СДН3-2	0,315 ... 4,0	300; 375; 500; 600; 750; 1000	6	Горизонтальные, на стояковых подшипниках, открытые (СДН-2) и закрытые (СДН3-2), тиристорное возбуждение; общего назначения
СД3	0,16 ... 1,0	500; 600; 750; 1000; 1500	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); бесщеточная система возбуждения; для привода компрессоров
ВДС, ВДС2	4,0 ... 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)	0,63 ... 3,2	375; 500; 600; 750	6	Подвесные, защищенные, с самовентиляцией по разомкнутому циклу; статическая вентильная система возбуждения; для приводов вертикальных гидравлических насосов
ДС3 (21-го габарита)	12,5 ... 22	375	6; 10	Закрытые, с самовентиляцией по замкнутому циклу; вентильная система возбуждения; для привода агрегатов прокатного стана
СДКП2	0,315 ... 0,63	375; 500; 600	3; 6	Защищенные; тиристорное возбуждение; для привода поршневых компрессоров
СДМ3	0,315 ... 5,0	300; 375; 500; 600	3; 6; 10	Взрывозащищенные, продуваемые

Окончание табл. 7.10

Тип	P_n , МВт	n_n , об/мин	U_n , кВ	Особенности исполнения и назначение
СДСЭ	0,63 ... 3,2	100; 150	6	Закрытые, с принудительной вентиляцией по замкнутому циклу; тиристорное возбуждение; для привода мельниц
МС213, МС325	0,63 ... 19,5 3,2 ... 10,9	300; 375; 500; 750	6; 10; 10,5	Горизонтальные, на стояковых подшипниках, закрытые, с принудительной вентиляцией; для прокатного оборудования
СДСП	0,86 ... 2,0	250; 300; 375	6	Взрывозащищенные; для привода поршневых компрессоров
СДЭ-2	0,5 ... 2,5	1000	6; 10	Защищенные, с самовентиляцией; тиристорное возбуждение; для привода экскаваторных агрегатов
СТД	0,63 ... 5,0	3000	6; 10	Закрытые, для работы в невзрывоопасной среде; бесщеточная система возбуждения; для привода быстросходных механизмов
СТДП	0,63 ... 12,5	3000	6; 10	Взрывозащищенные, продуваемые
СД3-2	0,25 ... 1,0	600; 750; 1000; 1500	6	Закрытые, с самовентиляцией; тиристорное возбуждение; для привода дисковых мельниц

В табл. 7.11 приведены параметры синхронных двигателей серий СД2, СДН2 и СДН32 (50 Гц, $\cos \varphi = 0,9$ при перевозбуждении), а в табл. 7.12 — параметры двигателей серий СТД и ТДС.

Таблица 7.11

Технические характеристики синхронных двигателей серий СД2, СДН2, СДН32

Тип	P_n , кВт	U_n , кВ	η_n , %	M_{max}/M_n	Пусковые данные		Возбуждение		J , кг·м ²	Масса, т
					I_p/I_n	M_p/M_n	U_B , В	I_B , 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

Тип	P_n , кВт	U_n , кВ	η_n , %	M_{max}/M_n	Пусковые данные		Возбуждение		J , кг·м ²	Мас-са, т
					I_n/I_n	M_n/M_n	U_n , В	I_n , А		
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
17-31-20	400	6	91,7	2,7	4,5	0,75	46	296	318	5,5
СДН32-20-49-20	3200	6	96,0	1,8	4,5	0,7	118	302	5500	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	1600	6	95,3	2,1	6,5	0,9	77	230	2100	16,5
17-31-12	800	6	94,3	1,9	4,7	1,0	46	298	310	5,6
СДН2-18-64-12	2500	6	96,2	1,8	6,5	1,5	77	260	1750	17,0
16-56-10	1000	6	95,3	1,9	5,4	0,8	44	274	223	6,5
16-59-8	1250	6	95,7	1,7	5,8	1,0	44	291	203	6,7
17-71-6	3150	6	96,9	1,7	6,6	1,3	58	281	435	10,9
17-89-6	4000	6	97,1	1,7	7,0	1,4	65	279	525	12,7

Таблица 7.12

Технические характеристики синхронных двигателей серий СТД и ТДС

Тип	P_n , кВт	S_n , кВ·А	КПД, %, при напряжении, кВ		Масса, т	
			6	10	при замкнутом цикле вентиляции	при разомкнутом цикле вентиляции
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	1000	1160	96,3	96	5,56	5
СТД-1000-23У5	1000	1160	96,3	96	5,56	—
СТД-1250-2УХЛ4	1250	1450	96,8	96,5	6,98	6,49
СТД-1600-2УХЛ4	1600	1850	96,9	96,6	7,58	6,7
СТД-1600-23У5	1600	1850	96,9	96,6	7,58	—
СТД-2000-2УХЛ4	2000	2300	96,9	96,8	7,88	7
СТД-2500-2УХЛ4	2500	2870	97,2	97	11,1	10
СТД-3150-2УХЛ4	3150	3680	97,3	97,2	12,3	11,06
СТД-4000-2УХЛ4	4000	4580	97,5	97,4	12,92	11,58
СТД-5000-2УХЛ4	5000	5740	97,6	97,5	154,7	13,7
СТД-6300-2УХЛ4	6300	7240	97,6	97,5	31,3	—
СТД-8000-2УХЛ4	8000	9130	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	—

7.3. Специальные синхронные двигатели

К специальным относят двигатели, которые предназначены для использования в регулируемых электроприводах рабочих машин и производственных механизмов. Это шаговые двигатели, вентильные двигатели (бесконтактные двигатели постоянного тока), гистерезисные двигатели, двигатели с электромагнитной редукцией (понижением) скорости вращения, двигатели с волновым и катящимся ротором и др.

Шаговые двигатели 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.

Параметры некоторых серий шаговых двигателей приведены в табл. 7.13, в которой через $\alpha_{ш}$ обозначен единичный шаг двигателя, а через f_n — частота приемистости двигателя, т.е. та предельная частота управляющих импульсов, при которой двигатель не выпадает из синхронизма.

Таблица 7.13

Шаговые двигатели

Тип	U_n , В	I_n , А	M_n , мН·м	$\alpha_{ш}$, град	f_n , шаг/с	J , 10 ⁻⁷ кг·м ²	Масса, кг
<i>Активный ротор с постоянными магнитами</i>							
ШДА	14 ... 28	0,27 ... 3	1 ... 100	22,5	100 ... 400	3 ... 150	0,13 ... 1,5
ДША	13,5	0,8 ... 7	2,5 ... 100	22,5	70 ... 280	2,5 ... 412	0,25 ... 3,3
ДШ	27	0,3 ... 8,7	2,5 ... 160	22,5	230 ... 430	0,4 ... 60	0,21 ... 2,5
<i>Пассивный ротор индукторного типа</i>							
ДШИ	27	1,3	28	3	300	30	0,45
ШДР	10 ... 27	0,85 ... 6,5	1 ... 30	2,14 ... 9	400 ... 700	0,1 ... 280	0,21 ... 0,6
ДШ	27	1,3 ... 6,4	4 ... 160	1 ... 5	550 ... 1000	0,16 ... 100	0,36 ... 2,3
<i>Ротор волнового типа</i>							
ДВШ	12	1,15 ... 5,3	40 ... 600	0,225 ... 0,5	250 ... 600	—	0,55 ... 1,7

Вентильные двигатели представляет собой систему, состоящую из синхронного двигателя, обмотка статора которого питается от электронного вентильного коммутатора напряжения. Необходимым элементом вентильного двигателя является датчик положения ротора, который осуществляет коммутацию вентилей электронного коммутатора в зависимости от его положения. Сочетание электронного коммутатора с датчиком положения ротора по своему дей-

ствию эквивалентно коллекторно-щеточному узлу обычного двигателя постоянного тока, в результате чего вентильный двигатель имеет характеристики такого двигателя и иногда называется 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.

Вентильные двигатели серии ВД (табл. 7.14) предназначены для привода главного движения станков с 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 1000, имеют встроенный тахогенератор, климатическое исполнение и категорию размещения УХЛ4 по ГОСТ 15150—69. Питание обмоток статора двигателя осуществляется от преобразователя частоты типа ЭТУ7801.

Таблица 7.14

Технические характеристики вентильных двигателей серии ВД

Тип	P_n , кВт	n_n , об/мин	I_n , А	η_n , %
ВД225Г	15	500	39	78,9
ВД250Г	22,4		59,4	80,2
ВД280Г	45		115	81,8
ВД315Г	67		170	84
ВД225Г	22,4	750	58,5	82,3
ВД250Г	33,5		89	83,6
ВД280Г	67		173	85,4
ВД315Г	100		258	87,2
ВД225Г	30	1000 (основное исполнение)	78	86,3
ВД250Г	45		119	87,5
ВД280Г	90		230	89,4
ВД315Г	132	1500	340	90,5
ВД225Г	45		118	90
ВД250Г	67		178	90,8
ВД280Г	132		345	91,5
ВД315Г	200		575	92,5

В табл. 7.15 приведена шкала мощностей в киловаттах вентильных низкоскоростных двигателей серии ВД, предназначенных для работы в регулируемых электроприводах химического и мельничного оборудования, буровых установок, насосов, вентиляторов и др.

Они позволяют регулировать скорость в диапазоне 10, при максимальной скорости их КПД и коэффициент мощности равны 0,9.

Таблица 7.15

Мощности низкоскоростных вентильных двигателей, кВт

Тип	Максимальная скорость вращения, об/мин						
	100	200	300	400	500	750	1000
ВД800	—	—	—	200	250	400	500
	—	—	200	250	315	500	630
	—	200	250	315	400	630	800
ВД1000	—	250	315	400	500	800	1000
	—	315	400	500	630	1000	1250
	—	400	500	630	800	1250	1600
ВД1250	200	500	630	800	1000	1600	2000
	250	630	800	1000	1250	2000	2500
	315	800	1000	1250	1600	2500	3150
ВД1600	400	1000	1250	1600	2000	3150	—
	500	1250	1600	2000	2500	—	—
	630	1600	2000	2500	3150	—	—

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 мощностью от 2 до 20 МВт и напряжением 6 и 10 кВ. Они обеспечивают пуск 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 от 2000 до 6000 об/мин и моментов от 0,05 до 170 Н·м. Конструкция двигателей этой серии по способу монтажа IM3081 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 об этих и других специальных синхронных двигателях содержатся в [30].

7.4. Синхронные компенсаторы

Синхронные электрические машины, предназначенные для генерирования реактивной мощности в питающую сеть, называются синхронными компенсаторами. Они выпускаются мощностью от 15 до 160 МВ·А при скорости вращения 750 или 1000 об/мин и обычно имеют явнополюсный ротор и водородное охлаждение (буква В в обозначении). В табл. 7.16 приведены параметры синхронных компенсаторов серий КС и КСВ.

Таблица 7.16

Технические характеристики синхронных компенсаторов серий КС и КСВ

Тип	S_n , МВ·А	U_n , кВ	n_n , об/мин	Возбуждение		Масса, т	Потери, кВт
				U_n , В	I_n , А		
КС 16-6	16	6,3	1000	110	590	49,7	360
КС16-11	16	10,5	1000	110	580	50,2	370
КСВ50-11	50	11	750	160	1160	144,5	800
КСВ100-11	100	11	750	230	1350	220	1350
КСВ160-15	160	15,75	750	380	1600	303	1750

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

Контрольные вопросы

1. Какие основные части имеет синхронная машина?
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 как выглядит его схема?
8. Что такое шаговый двигатель и в чем особенности его работы?

Глава 8

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

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, при этом ее выводы подключаются к контактным 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 в настоящем справочнике не рассматриваются.

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

АД малой, средней и большой мощности 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. Начала и концы обмоток статора обозначаются $C1 - C4$, $C2 - C5$, $C3 - C6$, 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 обозначается $C1 - C2$, а пусковая — $\Pi1 - \Pi2$.

Параметры основных серий трехфазных АД приведены в табл. 8.1.

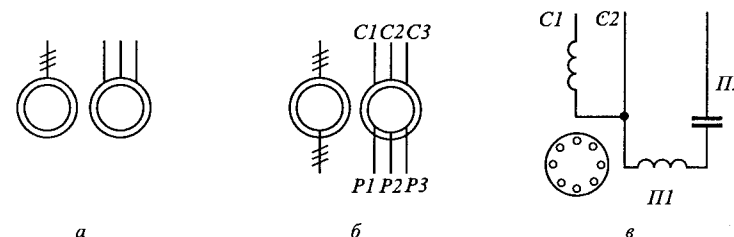


Рис. 8.1. Условное изображение асинхронного двигателя:
а — трехфазного с короткозамкнутым ротором; б — трехфазного с фазным ротором;
в — однофазного

Технические характеристики трехфазных асинхронных двигателей

Серия, высота оси вращения	Номинальная мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Номинальное напряжение, В	Исполнение, область применения
<i>Двигатели с короткозамкнутым ротором общего применения</i>				
РА (71 ... 280 мм) 6А (315 мм)	0,37 ... 100 90 ... 200	750; 1000; 1500; 3000 750; 1000; 1500; 3000	220/380 220/380; 380/660	Защищенные и закрытые, обдуваемые, широкого применения Закрытые, обдуваемые, широкого применения
5А (5АН) (71 ... 335 мм) АИР (50 ... 355 мм)	0,37 ... 400 0,19 ... 315	750; 1000; 1500; 3000 750; 1000; 1500; 3000	220/380; 380/660 220/380; 380/660; 220; 380; 660	Защищенные и закрытые, обдуваемые, широкого применения Открытые, защищенные, закрытые, обдуваемые, продуваемые, широкого применения
4А (56 ... 355 мм) 4АР	0,06 ... 400 15 ... 45	500; 600; 750; 1000; 1500; 3000 750; 1000; 1500	220/380; 380/660; 220; 380 380/660; 220/380	Защищенные и закрытые, обдуваемые, широкого применения Закрытые, обдуваемые, с повышенным пусковым моментом
4АС ДАЗО	0,3 ... 63 при ПВ = 40 % 315 ... 2000	750; 1000; 1500; 3000 500; 600; 750; 1000; 1500	220; 380; 220/380; 380/660 6000; 10 000	Закрытые, обдуваемые, с повышенным скольжением Закрытые, обдуваемые
АН-2 (15 - 17-й габариты) АТД2, АТД4	500 ... 2000 500 ... 8000	370; 500; 600; 750; 1000 3000	6000 6000	Защищенные, для регулируемых по скорости электроприводов Для привода быстроходных механизмов

Окончание табл. 8.1

Серия, высота оси вращения	Номинальная мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Номинальное напряжение, В	Исполнение, область применения
<i>Краново-металлургические двигатели</i>				
МТКФ	1,4 ... 22 при ПВ = 40 %	750; 1000	380/220; 500	Характеризуются повышенными перегрузочной способностью и пусковыми моментами, для привода крановых механизмов
МТКН	3 ... 37 при ПВ = 40 %	750; 1000	380/220; 500	То же, для приводов металлургического производства
<i>Двигатели с фазным ротором</i>				
4АНК, 4АК	15 ... 400	750; 1000; 1500	220/380; 380/660	Защищенные (4АНК) или закрытые (4АК), общего назначения
5АНК	45 ... 400	600; 750; 1000; 1500	220/380; 380/660	Защищенные или закрытые, общего назначения
АКП	55 ... 125	1000; 1500	220/380; 380/660	Защищенные, для привода прессов, работающих в закрытых помещениях
АКН2 (15 - 19-й габариты)	315 ... 2000	250; 300; 375; 500; 600; 750; 1000	6000	Для привода механизмов с частыми или тяжелыми условиями пуска
МТФ, МТН	1,4 ... 30; 3 ... 118	600; 750; 1000	220/380; 240/415; 400; 500	Защищенные, с независимой вентиляцией, для привода крановых механизмов (МТФ) и механизмов металлургического производства (МТН)

Технические характеристики двигателей серии 4А (IP44, ICA0141)

Примеры расшифровки обозначений АД:

двигатель типа 4А160М6УЗ: 4 — номер серии; А — асинхронный двигатель (4АН — защищенного исполнения); 160 — высота оси вращения; М — средняя длина статора (S — малая длина, L — большая длина); 6 — число полюсов двигателя (синхронная скорость вращения 1000 об/мин); УЗ — климатическое исполнение (У — умеренный климат) и категория размещения;

двигатели серий 5А и 6А, где 5 и 6 — номера серий; серий РА — 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).

8.1. 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 от 0,06 до 0,37 кВт выпускаются на напряжение 220 и 380 В, мощностью от 0,55 до 11 кВт — на напряжение 220, 380 и 660 В, мощностью от 132 до 400 кВт — на напряжение 380/660 В.

Технические 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 таблицах приняты следующие обозначения: P_n , I_n , M_n , n_n , η_n , $\cos \varphi_n$ — соответственно номинальные мощность, ток, момент, частота вращения, КПД и коэффициент мощности; M_{\max} , M_n , M_{\min} — максимальный (критический), пусковой и минимальный моменты АД; I_n — пусковой ток; J — момент инерции ротора.

АД с фазным ротором серий 4АК и 4АКН выпускаются мощностью от 5,5 до 400 кВт закрытыми обдуваемыми (степень защиты IP44) и защищенными (степень защиты IP23). Обмотка ротора

Тип	P_n , кВт	При номинальном режиме			M_{\max}/M_n	M_n/M_n	M_{\min}/M_n	I_n/I_n	J , кг·м ²
		n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$					
Синхронная частота вращения 3000 об/мин									
4AA50A2Y3	0,09	2740	60	0,7	2,2	2,0	1,2	5,0	$0,24 \cdot 10^{-4}$
4AA50B2Y3	0,12	2710	63	0,7	2,2	2,0	1,2	5,0	$0,27 \cdot 10^{-4}$
4AA56A2Y3	0,18	2800	66	0,76	2,2	2,0	1,2	5,0	$4,15 \cdot 10^{-4}$
4AA56B2Y3	0,25	2770	68	0,77	2,2	2,0	1,2	5,0	$4,65 \cdot 10^{-4}$
4A63A2Y3	0,37	2750	70	0,86	2,2	2,0	1,2	5,0	$7,63 \cdot 10^{-4}$
4A63B2Y3	0,55	2740	73	0,86	2,2	2,0	1,2	5,0	$9 \cdot 10^{-4}$
4A71A2Y3	0,75	2840	77	0,87	2,2	2,0	1,2	5,5	$9,75 \cdot 10^{-4}$
4A71B2Y3	1,1	2810	77,5	0,87	2,2	2,0	1,2	5,5	$10,5 \cdot 10^{-4}$
4A80A2Y3	1,5	2850	81	0,85	2,2	2,0	1,2	6,5	$18,3 \cdot 10^{-4}$
4A80B2Y3	2,2	2850	83	0,87	2,2	2,0	1,2	6,5	$21,3 \cdot 10^{-4}$
4A90L2Y3	3	2840	84,5	0,88	2,2	2,0	1,2	6,5	$35,3 \cdot 10^{-4}$
4A100S2Y3	4	2880	86,5	0,89	2,2	2,0	1,2	7,5	$59,3 \cdot 10^{-4}$
4A100L2Y3	5,5	2880	87,5	0,91	2,2	2,0	1,2	7,5	$75 \cdot 10^{-4}$
4A112M2Y3	7,5	2900	87,5	0,88	2,2	2,0	1,0	7,5	$1,0 \cdot 10^{-2}$
4A132M2Y3	11	2900	88	0,9	2,2	1,6	1,0	7,5	$2,25 \cdot 10^{-2}$
4A160S2Y3	15	2940	88	0,91	2,2	1,4	1,0	7,5	$4,75 \cdot 10^{-2}$
4A160M2Y3	18,5	2940	88,5	0,92	2,2	1,4	1,0	7,5	$5,25 \cdot 10^{-2}$
4A180S2Y3	22	2940	88,5	0,91	2,2	1,4	1,0	7,5	$7,0 \cdot 10^{-2}$
4A180M2Y3	30	2945	90,5	0,9	2,2	1,4	1,0	7,5	$8,5 \cdot 10^{-2}$
4A200M2Y3	37	2945	90	0,89	2,2	1,4	1,0	7,5	$14,5 \cdot 10^{-2}$
4A200L2Y3	45	2945	91	0,9	2,2	1,4	1,0	7,5	$16,8 \cdot 10^{-2}$
4A225M2Y3	55	2945	91	0,92	2,2	1,2	1,0	7,5	$25 \cdot 10^{-2}$
4A250S2Y3	75	2960	91	0,89	2,2	1,2	1,0	7,5	$46 \cdot 10^{-2}$
4A250M2Y3	90	2960	92	0,9	2,2	1,2	1,0	7,5	$52 \cdot 10^{-2}$
4A280S2Y3	110	2970	91	0,89	2,2	1,2	1,0	7,0	1,09
4A280M2Y3	132	2970	91,5	0,89	2,2	1,2	1,0	7,0	1,19
4A315S2Y3	160	2970	92	0,9	0,9	1,0	0,9	7,0	1,4
4A315M2Y3	200	2970	92,5	0,9	0,9	1,0	0,9	7,0	1,63
4A355S2Y3	250	2970	92,5	0,9	0,9	1,0	0,9	7,0	2,85
4A355M2Y3	315	2970	93	0,91	0,9	1,0	0,9	7,0	3,23
Синхронная частота вращения 1500 об/мин									
4AA50A4Y3	0,06	1389	50	0,6	2,2	2,0	1,2	5,0	$0,29 \cdot 10^{-4}$
4AA50B4Y3	0,09	1370	55	0,6	2,2	2,0	1,2	5,0	$0,33 \cdot 10^{-4}$

Продолжение табл. 8.2

Тип	P_n , кВт	При номинальном режиме			M_{\max}/M_n	$M_{\text{из}}/M_n$	M_{\min}/M_n	$I_{\text{из}}/I_n$	J , кг·м ²
		n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$					
4AA56A4Y3	0,12	1375	63	0,66	2,2	2,0	1,2	5,0	$7 \cdot 10^{-4}$
4AA56B4Y3	0,18	1365	64	0,64	2,2	2,0	1,2	5,0	$7,88 \cdot 10^{-4}$
4AA63A4Y3	0,25	1380	68	0,65	2,2	2,0	1,2	5,0	$12,4 \cdot 10^{-4}$
4AA63B4Y3	0,37	1365	68	0,69	2,2	2,0	1,2	5,0	$13 \cdot 10^{-4}$
4A71A4Y3	0,55	1390	70,5	0,7	2,2	2,0	1,6	4,5	$13,8 \cdot 10^{-4}$
4A71B4Y3	0,75	1390	72	0,73	2,2	2,0	1,6	4,5	$14,3 \cdot 10^{-4}$
4A80A4Y3	1,1	1420	75	0,81	2,2	2,0	1,6	5,0	$32,3 \cdot 10^{-4}$
4A80B4Y3	1,5	1415	77	0,83	2,2	2,0	1,6	5,0	$33,3 \cdot 10^{-4}$
4A90L4Y3	2,2	1425	80	0,83	2,2	2,0	1,6	6,0	$56 \cdot 10^{-4}$
4A100S4Y3	3,0	1435	82	0,83	2,4	2,0	1,6	6,0	$86,8 \cdot 10^{-4}$
4A100L4Y3	4,0	1430	84	0,84	2,4	2,0	1,6	6,0	$1,13 \cdot 10^{-2}$
4A112M4Y3	5,5	1445	85,5	0,85	2,2	2,0	1,6	7,0	$1,75 \cdot 10^{-2}$
4A132S4Y3	7,5	1455	87,5	0,86	3,0	2,2	1,7	7,5	$2,75 \cdot 10^{-2}$
4A132M4Y3	11	1460	84,5	0,87	3,0	2,2	1,7	7,5	$4 \cdot 10^{-2}$
4A160S4Y3	15	1465	88,5	0,88	2,3	1,4	1,0	7,0	$10,3 \cdot 10^{-2}$
4A160M4Y3	18,5	1465	89,5	0,88	2,3	1,4	1,0	7,0	$12,8 \cdot 10^{-2}$
4A180S4Y3	22	1470	90	0,9	2,3	1,4	1,0	6,5	$19 \cdot 10^{-2}$
4A180M4Y3	30	1470	91	0,9	2,3	1,4	1,0	6,5	$23,3 \cdot 10^{-2}$
4A200M4Y3	37	1475	91	0,9	2,5	1,4	1,0	7,0	$36,8 \cdot 10^{-2}$
4A200L4Y3	45	1475	92	0,9	2,5	1,4	1,0	7,0	$44,5 \cdot 10^{-2}$
4A225M4Y3	55	148	92,5	0,9	2,5	1,3	1,0	7,0	$64 \cdot 10^{-2}$
4A250S4Y3	75,0	1480	93,0	0,90	2,3	1,2	1,0	7,0	1,02
4A250M4Y3	90,0	1480	93,0	0,91	2,3	1,2	1,0	7,0	1,17
4A280S4Y3	110,0	1470	92,5	0,90	2,0	1,2	1,0	5,5	2,3
4A280M4Y3	132,0	1480	93,0	0,90	2,0	1,3	1,0	5,5	2,48
4A315S4Y3	160,0	1480	93,5	0,91	2,2	1,3	0,9	6,0	3,08
4A315M4Y3	200,0	1480	94,0	0,92	2,2	1,3	0,9	6,0	3,63
4A355S4Y3	250,0	1485	94,5	0,92	2,0	1,2	0,9	7,0	6,0
4A355M4Y3	315,0	1485	94,5	0,92	2,0	1,2	0,9	7,0	7,05
Синхронная частота вращения 1000 об/мин									
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	$46 \cdot 10^{-4}$

Продолжение табл. 8.2

Тип	P_n , кВт	При номинальном режиме			M_{\max}/M_n	$M_{\text{из}}/M_n$	M_{\min}/M_n	$I_{\text{из}}/I_n$	J , кг·м ²
		n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$					
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	$4,0 \cdot 10^{-2}$
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	110,0	985	93,0	0,90	2,2	1,4	0,9	6,5	4,0
4A315M6Y3	132,0	985	93,5	0,90	2,2	1,4	0,9	6,5	4,5
4A355S6Y3	160,0	985	93,5	0,90	2,2	1,4	0,9	6,5	7,33
4A355M6Y3	200,0	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	1,0	6,0	$13,8 \cdot 10^{-2}$
4A160M8Y3	11	730	87	0,75	2,2	1,4	1,0	6,0	$18 \cdot 10^{-2}$
4A180M8Y3	15	730	87	0,82	2,0	1,2	1,0	6,0	$25 \cdot 10^{-2}$
4A200M8Y3	18,5	735	88,5	0,84	2,2	1,2	1,0	5,5	$40 \cdot 10^{-2}$

Окончание табл. 8.2

Тип	P_n , кВт	При номинальном режиме			M_{\max}/M_n	$M_{\text{из}}/M_n$	M_{\min}/M_n	$I_{\text{из}}/I_n$	J , кг·м ²
		n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$					
4A200L8Y3	22	730	88,5	0,84	2,0	1,2	1,0	5,5	$45,3 \cdot 10^{-2}$
4A225M8Y3	30	735	90	0,81	2,1	1,3	1,0	6,0	$73,8 \cdot 10^{-2}$
4A250S8Y3	37	735	90	0,83	2,0	1,2	1,0	6,0	1,16
4A250M8Y3	45	740	91	0,84	2,0	1,2	1,0	6,0	1,36
4A280S8Y3	55	735	92	0,84	2,0	1,2	1,0	5,5	3,18
4A280M8Y3	75	735	92,5	0,85	2,0	1,2	1,0	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
Синхронная частота вращения 600 об/мин									
4A250S10Y3	30	590	88	0,81	1,9	1,2	1,0	6,0	1,36
4A250M10Y3	37	590	89	0,81	1,9	1,2	1,0	6,0	1,61
4A280MS10Y	37	590	91	1,78	1,8	1,0	1,0	6,0	3,6
4A280M10Y3	45	590	91,5	0,78	1,8	1,0	1,0	6,0	3,78
4A315S10Y3	55	590	92	0,79	1,8	1,0	0,9	6,0	5,25
4A315M10Y3	75	590	92	0,8	1,8	1,0	0,9	6,0	6,18
4A355S10Y3	90	590	92,5	0,83	1,8	1,0	0,9	6,0	9,33
4A355M10Y3	110	590	93	0,83	1,8	1,0	0,9	6,0	10,9
Синхронная частота вращения 500 об/мин									
4A315S12Y3	45	490	90,5	0,75	1,8	1,0	0,9	6,0	5,25
4A315M12Y3	55	490	91	0,75	1,8	1,0	0,9	6,0	6,18
4A355S12Y3	75	490	91,5	0,76	1,8	1,0	0,9	6,0	9,33
4A355M12Y3	90	495	92	0,76	1,8	1,0	0,9	6,0	10,9

Таблица 8.3

Технические характеристики двигателей серии 4A (IP23, ICA01)

Тип	P_n , кВт	В номинальном режиме			M_{\max}/M_n	$M_{\text{из}}/M_n$	M_{\min}/M_n	$I_{\text{из}}/I_n$	J , кг·м ²
		n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$					
Синхронная частота вращения 3000 об/мин									
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	$8,0 \cdot 10^{-2}$
4АН180M2Y3	45,0	2945	91,0	0,91	2,2	1,3	1,0	7,0	$9,25 \cdot 10^{-2}$

Продолжение табл. 8.3

Тип	P_n , кВт	В номинальном режиме			M_{\max}/M_n	$M_{\text{из}}/M_n$	M_{\min}/M_n	$I_{\text{из}}/I_n$	J , кг·м ²
		n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$					
4AH200M2Y3	55,0	2940	91,0	0,90	2,5	1,3	1,0	7,0	$16,0 \cdot 10^{-2}$
4AH200L2Y3	75,0	2940	92,0	0,90	2,5	1,3	1,0	7,0	$19,0 \cdot 10^{-2}$
4AH225M2Y3	90,0	2945	92,0	0,88	2,2	1,2	1,0	7,0	$23,8 \cdot 10^{-2}$
4AH250S2Y3	110,0	2950	93,0	0,86	2,2	1,2	1,0	7,0	$44,3 \cdot 10^{-2}$
4AH250M2Y3	132,0	2945	93,0	0,88	2,2	1,2	1,0	7,0	$49,5 \cdot 10^{-2}$
4AH280S2Y3	160,0	2960	94,0	0,90	2,2	1,2	1,0	6,5	$77,5 \cdot 10^{-2}$
4AH280M2Y3	200,0	2960	94,5	0,90	2,2	1,2	1,0	6,5	1,03
4AH315M2Y3	250,0	2970	94,5	0,91	2,1	1,0	0,9	6,0	1,7
4AH355S2Y3	315	2970	94,5	0,92	2,1	1,0	0,9	7,0	2,38
4AH355M2Y3	400	2970	95	0,92	2,1	1,0	0,9	7,0	2,85
Синхронная частота вращения 1500 об/мин									
4AH160S4Y3	18,5	1450	88,5	0,87	2,1	1,3	1,0	6,5	$9,25 \cdot 10^{-2}$
4AH160M4Y3	22	1458	90	0,88	2,1	1,3	1,0	6,5	$11,8 \cdot 10^{-2}$
4AH180S4Y3	30	1465	90	0,84	2,2	1,2	1,0	6,5	$17,8 \cdot 10^{-2}$
4AH180M4Y3	37	1470	90,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5	$21,8 \cdot 10^{-2}$
4AH200M4Y3	45	1475	91	0,89	2,5	1,3	1,0	6,5	$34,5 \cdot 10^{-2}$
4AH200L4Y3	55	1475	92	0,89	2,5	1,3	1,0	6,5	$42,3 \cdot 10^{-2}$
4AH225M4Y3	75	1475	92,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5	$61,8 \cdot 10^{-2}$
4AH250S4Y3	90	1480	93,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5	$88,3 \cdot 10^{-2}$
4AH250M4Y3	110	1475	93,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5	$95,8 \cdot 10^{-2}$
4AH280S4Y3	132	1470	93	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	1,83
4AH280M4Y3	160	1470	93,5	0,9	2,0	1,2	1,0	6,0	2,13
4AH315S4Y3	200	1475	94	0,91	2,0	1,2	0,9	6,0	3,15
4AH315M4Y3	250	1475	94	0,91	2,0	1,2	0,9	6,0	3,7
4AH355S4Y3	315	1485	94,5	0,91	2,0	1,0	0,9	7,0	5,75
4AH355M4Y3	400	1485	94,5	0,91	2,0	1,0	0,9	7,0	7
Синхронная частота вращения 1000 об/мин									
4AH180S6Y3	18,5	975	87	0,85	2,0	1,2	1,0	6,0	$18,8 \cdot 10^{-2}$
4AH180M6Y3	22	975	88,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,0	$23,5 \cdot 10^{-2}$
4AH200M6Y3	30	975	90	0,88	2,1	1,3	1,0	6,0	$37,7 \cdot 10^{-2}$
4AH200L6Y3	37	980	90,5	0,88	2,1	1,3	1,0	6,5	$43,0 \cdot 10^{-2}$
4AH225M6Y3	45	980	91	0,87	2,0	1,2	1,0	6,5	$70,3 \cdot 10^{-2}$
4AH250S6Y3	55	985	92,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,5	1,09
4AH280S6Y3	90,0	980	92,5	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	2,5
4AH280M6Y3	110,0	980	92,5	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	2,88

Тип	P_n , кВт	В номинальном режиме			M_{max}/M_n	M_d/M_n	M_{min}/M_n	I_d/I_n	J , кг·м ²
		n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$					
4АН280S6Y3	132,0	985	93,0	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	4,45
4АН280M6Y3	160,0	985	93,5	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	5,13
4АН280S6Y3	200,0	985	94,0	0,90	2,0	1,2	1,0	6,0	7,8
4АН280M6Y3	250,0	985	94,0	0,90	2,0	1,2	1,0	6,0	9,5
<i>Синхронная частота вращения 750 об/мин</i>									
4АН180S8Y3	15,0	730	86,0	0,80	1,9	1,2	1,0	5,5	$23,5 \cdot 10^{-2}$
4АН180M8Y3	18,5	730	87,5	0,80	1,9	1,2	1,0	5,5	$29,8 \cdot 10^{-2}$
4АН200M8Y3	22,0	730	89,0	0,84	2,0	1,2	1,0	5,5	$49,0 \cdot 10^{-2}$
4АН200L8Y3	30,0	730	89,5	0,82	2,0	1,2	1,0	5,5	$58,3 \cdot 10^{-2}$
4АН225M8Y3	37,0	735	90,0	0,81	1,9	1,2	1,0	5,5	$82,5 \cdot 10^{-2}$
4АН250S8Y3	45,0	740	91,0	0,81	1,9	1,2	1,0	5,5	1,19
4АН250M8Y3	55,0	735	92,0	0,81	1,9	1,2	1,0	6,0	1,4
4АН280S8Y3	75,0	735	92,0	0,85	1,9	1,2	1,0	5,5	3,0
4АН280M8Y3	90,0	735	92,5	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	3,38
4АН315S8Y3	110,0	735	93,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	6,08
4АН315M8Y3	132,0	735	93,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,0	7,0
4АН355S8Y3	160,0	740	93,5	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	9,75
4АН355M8Y3	200,0	740	94,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	11,9
<i>Синхронная частота вращения 600 об/мин</i>									
4АН280S10Y3	45,0	585	90,0	0,81	1,8	1,0	1,0	5,5	3,23
4АН280M10Y3	55,0	585	90,5	0,81	1,8	1,0	1,0	5,5	3,75
4АН315S10Y3	75,0	590	91,0	0,82	1,8	1,0	0,9	5,5	5,63
4АН315M10Y3	90,0	590	91,5	0,82	1,8	1,0	0,9	5,5	6,63
4АН355S10Y3	110,0	590	92,0	0,83	1,8	1,0	0,9	5,5	6,68
4АН355M10Y3	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>									
4АН315S12Y3	55,0	490	90,5	0,78	1,8	1,0	0,9	5,5	5,63
4АН315M12Y3	75,0	490	91,0	0,78	1,8	1,0	0,9	5,5	6,63
4АН355S12Y3	90,0	490	91,5	0,77	1,8	1,0	0,9	5,5	9,68
4АН355M12Y3	110,0	490	92,0	0,77	1,8	1,0	0,9	5,5	11,0

соединена в звезду и выведена на контактные кольца. Параметры АД с контактными кольцами приведены в табл. 8.4, где через s_n обозначено номинальное скольжение АД.

Технические характеристики асинхронных двигателей
с контактными кольцами

Тип	P_n , кВт	η_n , %	$\cos \varphi_n$	s_n , %	M_{max}/M_n	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Масса, кг
<i>Синхронная частота вращения 1500 об/мин</i>								
4AK160S4Y3	11	86,5	0,86	5,0	3,0	22	305	160
4AK160M4Y3	14	88,5	0,87	4,0	3,5	29	300	185
4AK180M4Y3	18	89	0,88	3,5	4,0	38	295	250
4AK200M4Y3	22	90	0,87	2,5	4,0	45	340	305
4AK200L4Y3	30	90,5	0,87	2,5	4,0	55	350	325
4AK225M4Y3	37	90	0,87	3,5	3,0	160	160	415
4AK250SA4Y3	45	91	0,88	3,0	3,0	170	230	555
4AK250B4Y3	55	90,5	0,9	3,0	3,0	170	200	595
4AK250M4Y3	71	91,5	0,86	2,5	3,0	170	250	640
<i>Синхронная частота вращения 1000 об/мин</i>								
4AK160S6Y3	7,5	82,5	0,77	5,0	3,5	18	300	170
4AK160M6Y3	10	84,5	0,76	4,5	3,8	20	310	200
4AK180M6Y3	13	85,5	0,8	4,5	4,0	25	325	240
4AK200M6Y3	18,5	88	0,81	3,5	3,5	35	360	300
4AK200L6Y3	22	88	0,8	3,5	3,5	45	330	315
4AK225M6Y3	30	89	0,85	3,5	2,5	150	140	405
4AK250S6Y3	37	89	0,84	3,5	2,5	165	150	540
4AK250M6Y3	45	90,5	0,87	3,0	2,5	160	180	600
<i>Синхронная частота вращения 750 об/мин</i>								
4AK160S8Y3	5,5	80	0,7	6,5	2,5	14	300	170
4AK160M8Y3	7,5	82	0,7	6,0	3,0	16	290	200
4AK180M8Y3	11	85,5	0,72	4,0	3,5	25	270	260
4AK200M8Y3	15	86	0,7	3,5	3,0	28	360	300
4AK200L8Y3	18,5	86	0,73	3,5	3,0	40	300	320
4AK225M8Y3	22	87	0,82	4,5	2,2	140	102	400
4AK250S8Y3	30	88,5	0,81	4,0	2,2	155	125	540
4AK250M8Y3	37	89	0,8	3,5	2,2	155	148	595
<i>Синхронная частота вращения 1500 об/мин</i>								
4АНK160S4Y3	14	86,5	0,85	5,0	3,0	27	330	140
4АНK160M4Y3	17	88	0,87	5,0	3,5	34	315	160
4АНK180S4Y3	22	87	0,86	5,5	3,2	43	300	190
4АНK180M4Y3	30	88	0,81	4,5	3,3	63	290	220
4АНK200M4Y3	37	90	0,88	3,0	3,0	62	360	290

Продолжение табл. 8.4

Тип	P_n , кВт	η_n , %	$\cos \varphi_n$	s_n , %	M_{\max}/M_n	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Масса, кг
4АНК200L4Y3	45	90	0,88	3,5	3,0	75	375	315
4АНК225M4Y3	55	89,5	0,87	4,0	2,5	200	170	405
4АНК250SA4Y3	75	90	0,88	4,5	2,3	250	180	500
4АНК250SB4Y3	90	91,5	0,87	4,0	2,5	260	220	540
4АНК250M4Y3	110	92	0,9	3,5	2,5	260	250	585
4АНК280S4Y3	132	92	0,88	2,9	2,0	330	251	725
4АНК280M4Y3	160	92,5	0,88	2,6	2,0	330	300	775
4АНК315S4Y3	200	93	0,89	2,5	2,0	396	312	910
4АНК315M4Y3	250	93	0,9	2,5	2,0	425	360	990
4АНК355S4Y3	315	93,5	0,9	2,2	2,0	460	420	1240
4АНК355M4Y3	400	94	0,9	2,0	2,0	485	505	1380
Синхронная частота вращения 1000 об/мин								
4АНК180S6Y3	13	83,5	0,81	7,0	3,0	42	205	180
4АНК180M6Y3	17	85	0,82	6,0	3,0	32,5	335	200
4АНК200M6Y3	22	88	0,81	3,5	3,0	37	380	285
4АНК200L6Y3	30	88,5	0,82	4,0	3,0	46	375	315
4АНК225M6Y3	37	89	0,86	4,0	1,9	180	140	400
4АНК250SA6Y3	45	89,5	0,86	4,0	2,3	200	155	470
4АНК250SB6Y3	55	91	0,88	3,5	2,5	185	190	510
4АНК250M6Y3	75	91,5	0,85	3,0	2,5	200	250	585
4АНК280S6Y3	90	90	0,88	3,6	1,9	277	202	685
4АНК280M6Y3	110	91,5	0,87	3,6	1,9	297	230	735
4АНК315S6Y3	132	92	0,88	3,0	1,9	320	257	845
4АНК315M6Y3	160	92,5	0,88	3,0	1,9	352	291	910
4АНК355S6Y3	200	93	0,89	2,5	1,8	411	304	1180
4АНК355M6Y3	250	93	0,89	2,5	1,8	401	380	1305
Синхронная частота вращения 750 об/мин								
4АНК180S8Y3	11	85	0,72	5,0	3,2	22,5	315	195
4АНК180M8Y3	14	86,5	0,69	4,5	3,5	28	310	225
4АНК200M8Y3	18,5	86	0,78	4,5	2,5	30	380	285
4АНК200L8Y3	22	87	0,79	4,5	2,5	40	330	315
4АНК225M8Y3	30	86,5	0,8	5,0	1,8	165	120	400
4АНК250SA8Y3	37	87,5	0,8	5,5	2,2	190	115	475
4АНК250SB8Y3	45	89	0,82	4,0	2,2	190	140	515
4АНК250M8Y3	55	89,5	0,83	3,5	2,2	185	190	575
4АНК280S8Y3	75	90,5	0,84	4,0	1,9	257	190	700

Окончание табл. 8.4

Тип	P_n , кВт	η_n , %	$\cos \varphi_n$	s_n , %	M_{\max}/M_n	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Масса, кг
4АНК280M8Y3	90	90,5	0,84	4,0	1,9	267	214	755
4АНК315S8Y3	110	91,5	0,84	3,5	1,9	311	225	910
4АНК315M8Y3	132	92	0,84	3,5	1,9	364	247	980
4АНК355S8Y3	160	92,5	0,86	2,7	1,7	353	285	1215
4АНК355M8Y3	200	92,5	0,86	2,7	1,7	359	350	1360
Синхронная частота вращения 600 об/мин								
4АНК280S10Y3	45	89	0,78	5,0	1,8	178	162	625
4АНК280M10Y3	55	89,5	0,79	4,5	1,8	180	185	675
4АНК315S10Y3	75	90	0,8	4,5	1,8	221	217	845
4АНК315M10Y3	90	90,5	0,81	4,2	1,8	223	260	920
4АНК355S10Y3	110	90,5	0,81	3,8	1,7	242	283	1180
4АНК355M10Y3	132	91	0,81	3,6	1,7	257	330	1260
Синхронная частота вращения 500 об/мин								
4АНК315S12Y3	55	89	0,75	5,0	1,8	235	165	845
4АНК315M12Y3	75	90	0,75	5,0	1,8	221	207	920
4АНК355S12Y3	90	89,5	0,73	4,0	1,7	259	222	1160
4АНК355M12Y3	110	90	0,73	4,0	1,7	265	265	1245

8.2. Асинхронные двигатели большой мощности

К двигателям большой мощности относятся АД с мощностью от 200 до 8000 кВт. Такие АД выпускаются в составе серий АД4, А4, ДА304, АДО, ВАН (с короткозамкнутым ротором), АК4, ВАКЗ, АОК, АКСБ (с фазным ротором) и ряде других серий.

Асинхронные турбодвигатели АД4 основного исполнения выпускаются мощностью от 500 до 8000 кВт на напряжение 6 и 10 кВ и выдерживают в течение срока службы до 10 000 пусков.

Двигатели серии А4 имеют мощность от 200 до 1000 кВт, серии ДА304 — от 200 до 800 кВт предназначены для работы при напряжении 6 кВ и имеют синхронные частоты вращения от 500 до 1500 об/мин.

АД серии АДО предназначены для работы при напряжении 6 кВ, имеют мощность от 1250 до 3150 кВт и синхронные частоты вращения 600, 750, 1000 об/мин.

АД для вертикальной установки серии ВАН предназначены для работы при номинальном напряжении 6 кВ, имеют мощность от 315 до 2500 кВт и синхронные частоты вращения 375, 500, 600, 750 и 1000 об/мин.

Двигатели с фазным ротором защищенного исполнения АК4 предназначены для работы при напряжении 6 кВ, имеют

мощность 250...1000 кВт и синхронные частоты вращения 750, 1000, 1500 об/мин.

АД типа АКСБ с фазным ротором рассчитаны на напряжение 6 кВ, имеют мощность 600, 800 и 1000 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 1000 об/мин. Они допускают регулирование скорости в диапазонах 250...990 и 100...990 об/мин.

Параметры двигателей большой мощности приведены в табл. 8.5.

Таблица 8.5

Технические характеристики АД большой мощности

P_n , кВт	I_n , А	η_n , %	$\cos \varphi_n$	M_n/M_n	I_n/I_n	Масса, кг
<i>Серия АД4</i>						
500	56,5	95,7	0,89	0,9	5,1	1930
630	72	95,7	0,88	1,0	5,3	2660
800	90	96	0,89	1,0	5,3	2820
1000	112,5	96,1	0,89	1,0	5,3	3030
1250	140	96,4	0,89	0,95	5,5	3970
1600	179	96,6	0,89	0,9	5,2	4270
2000	226	96,7	0,89	0,77	4,7	5560
2500	279	97	0,89	0,85	5,0	6160
3150	346	97,2	0,9	0,9	5,3	7010
4000	444	97,3	0,89	0,9	5,7	10 100
5000	548	97,5	0,9	0,9	5,7	11 000
6300	690	97,6	0,9	0,95	5,9	12 300
8000	876	97,6	0,9	0,95	6,0	12 320
<i>Серия А4</i>						
<i>Синхронная частота вращения 1500 об/мин</i>						
400	47	94,2	0,87	1,0	5,7	—
500	58	94,7	0,88	1,0	5,7	—
630	72,5	95,1	0,88	1,2	5,7	—
800	92	95,2	0,88	1,0	5,7	—
1000	113	95,2	0,89	1,0	5,7	—
<i>Синхронная частота вращения 1000 об/мин</i>						
315	38	93,6	0,85	1,0	5,3	—
400	47	94	0,86	1,0	5,3	—
500	59,5	94,4	0,86	1,0	5,3	—
630	74,5	94,7	0,86	1,0	5,3	—
800	94,5	95	0,86	1,0	5,3	—

Окончание табл. 8.5

P_n , кВт	I_n , А	η_n , %	$\cos \varphi_n$	M_n/M_n	I_n/I_n	Масса, кг
<i>Синхронная частота вращения 750 об/мин</i>						
250	32	93	0,81	1,0	4,8	—
315	39,5	93,4	0,82	1,0	4,8	—
400	50	93,8	0,82	1,0	4,8	—
500	61,5	94,2	0,83	1,0	4,8	—
630	77,5	95,5	0,83	1,0	4,8	—
<i>Серия АДО</i>						
1250	168,1	95,4	0,75	1,3	6,0	—
1600	194,7	95,3	0,83	0,8	5,5	—
2500	285,7	95,7	0,88	0,8	5,7	—
3100	354,8	96	0,89	1,0	6,5	—

8.3. 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).

Выпускаются следующие модификации двигателей: с фазным ротором (в обозначении стоит буква К); с повышенными скольжением (С) и пусковым моментом (R); однофазные (V, E); много-скоростные; для электроприводов с частотным регулированием скорости; на частоту 60 Гц; с фазным ротором (Ф).

По климатическому исполнению различают тропические, влагоморозостойкие, химостойкие, водостойкие АД этой серии.

В табл. 8.6 приводятся параметры двигателей серии АИР основного исполнения.

Таблица 8.6

Технические характеристики двигателей серии АИР

Тип	P_n , кВт	η_n , %	$\cos \varphi_n$	S_n , %	M_n/M_n	M_{max}/M_n	M_{min}/M_n	I_n/I_n	J , кг·м ²	Масса, кг
<i>Синхронная частота вращения 3000 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	9,0	2,2	2,2	1,8	5,0	$4,2 \cdot 10^{-4}$	3,4

Продолжение табл. 8.6

Тип	P_n , кВт	η_n , %	$\cos \varphi_n$	S_n , %	M_n/M_n	M_{\max}/M_n	M_{\min}/M_n	I_n/I_n	J , кг·м ²	Масса, кг
АИР56В2	0,25	69	0,79	9,0	2,2	2,2	1,8	5,0	$4,7 \cdot 10^{-4}$	3,9
АИР63А2	0,37	72	0,86	9,0	2,2	2,2	1,8	5,0	$7,6 \cdot 10^{-4}$	4,7
АИР63В2	0,55	75	0,85	9,0	2,2	2,2	1,8	5,0	$9 \cdot 10^{-4}$	5,45
АИР71А2	0,75	78,5	0,83	6,0	2,1	2,2	1,6	6,0	$9,7 \cdot 10^{-4}$	6,5
АИР71В2	1,1	79	0,83	6,5	2,1	2,2	1,6	6,0	$11 \cdot 10^{-4}$	8,8
АИР80А2	1,5	81	0,85	5,0	2,1	2,2	1,6	7,0	$18 \cdot 10^{-4}$	9,8
АИР80В2	2,2	83	0,87	5,0	2,0	2,2	1,6	7,0	$21 \cdot 10^{-4}$	13,2
АИР90L2	3,0	84,5	0,88	5,0	2,0	2,2	1,6	7,0	0,0035	16,7
АИР100S2	4,0	87	0,88	5,0	2,0	2,2	1,6	7,5	0,0059	21,6
АИР100L2	5,5	88	0,89	5,0	2,0	2,2	1,6	7,5	0,0075	27,4
АИР112M2	7,5	87,5	0,88	3,5	2,0	2,2	1,6	7,5	0,01	41
АИР132M2	11	88	0,9	3,0	1,6	2,2	1,2	7,5	0,023	64
АИР160S2	15	90	0,89	3,0	1,8	2,7	1,7	7,0	0,039	100
АИР160M2	18,5	90,5	0,9	3,0	2,0	2,7	1,8	7,0	0,043	110
АИР180S2	22	90,5	0,89	2,7	2,0	2,7	1,9	7,0	0,057	160
АИР180M2	30	91,5	0,9	2,5	2,2	3,0	1,9	7,5	0,07	180
АИР200M2	37	91,5	0,87	2,0	1,6	2,8	1,5	7,0	0,13	220
АИР200S2	45	92	0,88	2,0	1,8	2,8	1,5	7,5	0,14	240
АИР225M2	55	92,5	0,91	2,0	1,8	2,6	1,5	7,5	0,22	320
АИР250S2	75	93	0,9	2,0	1,8	3,0	1,6	7,5	0,41	425
АИР250M2	90	93	0,92	2,0	1,8	3,0	1,6	7,5	0,46	455
Синхронная частота вращения 1500 об/мин										
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	0,0007	3,35
АИР56В4	0,18	64	0,68	10	2,3	2,2	1,8	5,0	0,00079	3,9
АИР63А4	0,25	68	0,67	12	2,3	2,2	1,8	5,0	0,0012	4,7
АИР63В4	0,37	68	0,7	12	2,3	2,2	1,8	5,0	0,0014	5,6
АИР71А4	0,55	70,5	0,7	9,5	2,3	2,2	1,8	5,0	0,0013	7,8
АИР71В4	0,75	73	0,76	10	2,2	2,2	1,6	5,0	0,0014	8,8
АИР80А4	1,1	75	0,81	7,0	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0032	9,9
АИР80В4	1,5	78	0,83	7,0	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0033	12,1
АИР90L4	2,2	81	0,83	7,0	2,1	2,2	1,6	6,5	0,0056	17
АИР100S4	3,0	82	0,83	6,0	2,0	2,2	1,6	7,0	0,0087	21,6
АИР100L4	4,0	85	0,84	6,0	2,0	2,2	1,6	7,0	0,011	27,3
АИР112M4	5,5	85,5	0,86	4,5	2,0	2,5	1,6	7,0	0,017	41

Продолжение табл. 8.6

Тип	P_n , кВт	η_n , %	$\cos \varphi_n$	S_n , %	M_n/M_n	M_{\max}/M_n	M_{\min}/M_n	I_n/I_n	J , кг·м ²	Масса, кг
АИР132S4	7,5	87,5	0,86	4,0	2,0	2,5	1,6	7,5	0,028	58
АИР132M4	11	87,5	0,87	3,5	2,0	2,7	1,6	7,5	0,04	70
АИР160S4	15	90	0,89	3,0	1,9	2,9	1,8	7,0	0,078	100
АИР160M4	18,5	90,5	0,89	3,0	1,9	2,9	1,8	7,0	0,1	110
АИР180S4	22	90,5	0,87	2,5	1,7	2,4	1,5	7,0	0,15	170
АИР180M4	30	92	0,87	2,0	1,7	2,7	1,5	7,0	0,19	190
АИР200M4	37	92,5	0,89	2,0	1,7	2,7	1,6	7,5	0,28	245
АИР200S4	45	92,5	0,89	2,0	1,7	2,7	1,6	7,5	0,34	270
АИР225M4	55	93	0,89	2,0	1,7	2,6	1,6	7,0	0,51	335
АИР250S4	75	94	0,88	1,5	1,7	2,5	1,4	7,5	0,89	450
АИР250M4	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	1,0	6,5	2,3	594
АИР280M4	132	94	0,93	2,2	1,6	2,2	1,0	6,5	2,5	752
АИР315S4	160	93,5	0,91	2,0	1,4	2,0	1,0	5,5	3,1	896
АИР315M4	200	94	0,92	2,0	1,4	2,0	0,9	5,5	3,6	1000
АИР355S4	250	94,5	0,92	2,0	1,4	2,0	0,9	7,0	6,0	1275
АИР355M4	315	94,5	0,92	2,0	1,4	2,0	0,9	7,0	7,0	1480
Синхронная частота вращения 1000 об/мин										
АИР63А6	0,19	56	0,62	14	2,0	2,2	1,6	4,0	0,0018	4,65
АИР63В6	0,25	59	0,62	14	2,0	2,2	1,6	4,0	0,0022	5,6
АИР71А6	0,37	65	0,65	8,5	2,0	2,2	1,6	4,5	0,0017	7,8
АИР71В6	1,1	74	0,74	8,0	2,0	2,2	1,6	4,5	0,0046	13,4
АИР90L6	1,5	76	0,72	7,5	2,0	2,2	1,6	6,0	0,0073	16,9
АИР100L6	2,2	81	0,74	5,5	2,0	2,2	1,6	6,0	0,013	22,8
АИР112МА6	3,0	81	0,76	5,0	2,0	2,2	1,6	6,0	0,017	35
АИР112МВ6	4,0	82	0,81	5,0	2,0	2,2	1,6	6,0	0,021	40,4
АИР132S6	5,5	85	0,8	4,0	2,0	2,2	1,6	7,0	0,04	57
АИР132M6	7,5	85,5	0,81	4,0	2,0	2,2	1,6	7,0	0,058	68
АИР160S6	11	88	0,83	3,0	2,0	2,7	1,6	6,5	0,12	100
АИР160M6	15	88	0,85	3,0	2,0	2,7	1,6	6,5	0,15	120
АИР180M6	18,5	89,5	0,85	2,0	1,8	2,4	1,6	6,5	0,2	180
АИР200M6	22	90	0,83	2,0	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
АИР225M6	37	91	0,85	2,0	1,5	2,3	1,4	6,5	0,61	305
АИР250S6	45	92,5	0,85	2,0	1,5	2,3	1,4	6,5	1,0	390
АИР250M6	55	92,5	0,86	2,0	1,5	2,3	1,4	6,5	1,1	430

Окончание табл. 8.6

Тип	P_n , кВт	η_n , %	$\cos \varphi_n$	S_n , %	M_n/M_n	M_{\max}/M_n	M_{\min}/M_n	I_n/I_n	J , кг·м ²	Масса, кг
АИР280S6	75	92,5	0,9	2,2	1,3	2,2	1,0	6,5	2,9	637
АИР280M6	90	93	0,9	2,2	1,4	2,4	1,0	6,5	3,4	702
АИР315S6	110	93	0,92	2,3	1,4	2,3	1,0	6,0	4,0	847
АИР315M6	132	93,5	0,9	2,3	1,4	2,3	1,0	6,5	4,5	950
АИР355S6	160	94	0,9	2,2	1,6	2,0	1,0	7,0	7,3	1136
АИР355M6	200	94,5	0,9	2,2	1,6	2,0	0,9	7,0	8,8	1280
Синхронная частота вращения 750 об/мин										
АИР71B8	0,25	56	0,65	8,0	1,8	1,9	1,4	4,0	0,0019	7,8
АИР80A8	0,37	60	0,61	6,5	1,8	1,9	1,4	4,0	0,0034	13,8
АИР80B8	0,55	64	0,63	6,5	1,8	1,9	1,4	4,0	0,0041	13,5
АИР90LA8	0,75	70	0,66	7,0	1,6	1,7	1,2	3,5	0,0067	19,7
АИР90LB8	1,1	72	0,7	7,0	1,6	1,7	1,2	3,5	0,0086	22,3
АИР100L8	1,5	76	0,73	6,0	1,6	1,7	1,2	5,5	0,013	31,3
АИР112MA8	2,2	76,5	0,71	5,5	1,8	2,2	1,4	6,0	0,017	36
АИР112MB8	3,0	79	0,74	5,5	1,8	2,2	1,4	6,0	0,025	41
АИР132S8	4,0	83	0,7	4,5	1,8	2,2	1,4	6,0	0,042	56
АИР132M8	5,5	83	0,74	5,0	1,8	2,2	1,4	6,0	0,057	70
АИР160S8	7,5	87	0,75	3,0	1,6	2,4	1,4	5,5	0,12	100
АИР160M8	11	87,5	0,75	3,0	1,6	2,4	1,4	6,0	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	0,36	225
АИР200L8	22	90	0,81	2,5	1,6	2,3	1,4	6,0	0,4	250
АИР225M8	30	90,5	0,81	2,5	1,4	2,3	1,3	6,0	0,61	305
АИР250S8	37	92,5	0,78	2,0	1,5	2,3	1,4	6,0	1,1	400
АИР250M8	45	92,5	0,79	2,0	1,4	2,2	1,3	6,0	1,2	430
АИР280S8	55	92	0,86	3,0	1,3	2,2	1,0	6,0	3,2	643
АИР280M8	75	93	0,87	3,0	1,4	2,2	1,0	6,0	4,1	735
АИР315S8	90	93	0,85	1,5	1,2	2,2	1,0	6,0	4,9	927
АИР315M8	110	93	0,86	1,5	1,1	2,2	0,9	6,0	5,8	1001
АИР355S8	132	93,5	0,85	2,0	1,2	2,0	0,9	6,5	9,0	1175
АИР355M8	160	93,5	0,85	2,0	1,2	2,0	0,9	6,5	10	1280

8.4. Двигатели серий RA, 5A и 6A

Двигатели серии RA (Российская асинхронная), разработанные в середине 90-х годов XX в. на Ярославском электромашиностроительном заводе (ныне ОАО «ELOIN»,

предназначены для использования во всех отраслях промышленности, сельского и коммунального хозяйства и соответствуют российским и международным стандартам (табл. 8.7). В состав этой серии входят двигатели мощностью от 0,37 до 90 кВт с высьотами осей вращения от 71 до 280 мм.

Таблица 8.7
Технические характеристики двигателей серии RA

Тип	P_n , кВт	Масса, кг	n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$	I_n , А	I_n/I_n	M_n/M_n	M_{\max}/M_n	J , кг·м ²
RA71A2	0,37	5	2800	71	0,81	1,5	5,0	2,3	2,4	0,0004
RA71B2	0,55	6	2850	74	0,84	1,8	6,5	2,3	2,4	0,0005
RA71A4	0,25	5	1325	62	0,78	1	3,2	1,7	1,7	0,0006
RA71B4	0,37	6	1375	66	0,76	1	3,7	2,0	2,0	0,0008
RA71A6	0,18	6	835	48	0,69	1	2,3	2,5	2,0	0,0006
RA71B6	0,25	6	860	56	0,72	1	3,0	2,2	2,0	0,0009
RA80A2	0,75	9	2820	74	0,83	2	5,3	2,5	2,7	0,0008
RA80B2	1,1	11	2800	77	0,86	2	5,2	2,6	2,8	0,0012
RA80A4	0,55	8	1400	71	0,80	1	5,0	2,3	2,8	0,0018
RA80B4	0,75	10	1400	74	0,80	2	5,0	2,5	2,8	0,0023
RA80A6	0,37	8	910	62	0,72	1	3,3	2,0	2,5	0,0027
RA80B6	0,55	11	915	63	0,72	1	3,3	2,0	2,5	0,0030
RA90S2	1,5	13	2835	79	0,87	3	6,5	2,8	3,0	0,0010
RA90L2	2,2	15	2820	82	0,87	4	6,5	2,9	3,4	0,0015
RA90S4	1,1	13,5	1420	77	0,80	3	5,5	2,3	2,6	0,0034
RA90L4	1,5	15,5	1420	78,5	0,80	4	5,5	2,3	2,8	0,0042
RA90S6	0,75	13	935	70	0,72	2	4,0	2,2	2,5	0,0040
RA90L6	1,1	15	925	72	0,72	2	4,0	2,2	3,0	0,0052
RA100L2	3,0	20	2895	83	0,86	6	7,0	2,4	2,6	0,0038
RA100LA4	2,2	22	1420	79	0,82	5	6,0	2,2	2,6	0,0048
RA100LB4	3,0	24	1420	81	0,81	7	6,2	2,2	2,6	0,0058
RA100L6	1,5	22	925	76	0,76	4	4,5	2,0	2,1	0,0063
RA112M2	4,0	41	2895	84	0,87	9	6,8	2,2	3,3	0,0082
RA112M4	4,0	37	1430	85,5	0,84	9	6,5	2,2	2,9	0,0103
RA112M6	2,2	36	960	78	0,74	5	5,5	1,9	2,5	0,0185
RA112M8	1,5	36	700	73	0,70	5	4,5	1,7	2,1	0,0225
RA132SA2	5,5	43	2880	89	0,89	11	6,5	2,4	3,0	0,0155
RA132SB2	7,5	49	2890	89	0,89	15	7,0	2,5	3,2	0,0185
RA132S4	5,5	45	1450	85	0,85	11	7,0	2,4	3,0	0,0229
RA132M4	7,5	52	1455	83	0,83	15	7,0	2,8	3,2	0,0277
RA132S6	3,0	41	960	79	0,79	7	5,9	2,2	2,6	0,0252
RA132MA6	4,0	50	960	80	0,80	9	6,0	2,2	2,6	0,0368
RA132MB6	5,5	56	950	82	0,82	12	6,0	2,2	2,5	0,0434

Окончание табл. 8.7

Тип	P_n , кВт	Масса, кг	n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$	I_n , А	I_u/I_n	M_u/M_n	M_{max}/M_n	J , кг·м ²
RA132S8	2,2	65	720	70	0,70	6	5,0	1,7	2,1	0,0530
RA132M8	3,0	73	715	70	0,70	8	6,0	1,8	2,4	0,0625
RA160MA2	11	112	2940	87,5	0,89	22	6,8	2,0	3,3	0,0438
RA160MB2	15	116	2940	90	0,86	29	7,5	2,0	3,2	0,0470
RA160L2	18,5	133	2940	90	0,88	35	7,5	2,0	3,2	0,0533
RA160MA4	11	110	1460	88,5	0,86	22	6,5	1,8	2,8	0,0613
RA160ML4	15	129	1460	90	0,87	29	7,0	1,9	2,9	0,0862
RA160M6	7,5	110	970	87	0,80	16	6,0	2,0	2,8	0,0916
RA160ML6	11	133	970	88,5	0,82	23	6,5	2,2	2,9	0,1232
RA160MA8	4	107	730	84	0,71	10	4,8	1,8	2,2	0,1031
RA160MB8	5,5	112	730	84	0,71	14	4,8	1,8	2,2	0,1156
RA160L8	7,5	131	730	85	0,73	18	5,5	1,8	2,4	0,1443
RA180M2	22	147	2940	90,5	0,89	42	7,5	2,1	3,5	0,0604
RA180M4	18,5	149	1460	90,5	0,89	35	7,0	1,9	2,9	0,1038
RA180L4	22	157	1460	91	0,88	42	7,0	2,1	2,9	0,1131
RA180L6	15	155	970	89	0,82	31	7,0	2,3	3,0	0,1512
RA180L8	11	145	730	87	0,75	26	5,5	1,8	2,4	0,1897
RA200LA2	30	170	2950	92	0,89	55	7,5	2,4	3,0	0,1164
RA200LB2	37	230	2950	92	0,89	68	7,5	2,4	3,0	0,1326
RA200L4	30	200	1475	91	0,86	59	7,7	2,7	3,2	0,3200
RA200LA6	18,5	182	970	87	0,82	38	5,5	1,8	2,7	0,3100
RA200LB6	22	202	970	87	0,84	45	6,0	2,0	2,5	0,3600
RA200L8	15	202	730	88	0,80	34	5,7	2,0	2,5	0,3600

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

Условные обозначения двигателей этой серии соответствуют обозначениям двигателей серии 4А.

Двигатели серии 5А (5АН, 5АНК), выпускаемые Владимирским электромоторным заводом (ОАО ВЭМЗ) и Московским электромеханическим заводом им. Владимира Ильича («Электро-ЗВИ»), взаимозаменяемы с АД серий 4А и АИ и соответствуют российским и международным нормам (табл. 8.8).

Таблица 8.8

Технические характеристики двигателей серии 5А

Тип	P_n , кВт	n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$	Масса, кг
5AM315M2	200	2960	95,6	0,93	1110
5AM315S2	160	2960	95	0,92	970
5AM280M2	132	2960	94,7	0,93	770

Продолжение табл. 8.8

Тип	P_n , кВт	n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$	Масса, кг
5AM280S2	110	2960	94,3	0,93	720
5AM250M2	90	2940	93	0,92	505
5AM250S2	75	2940	93	0,91	475
5A225M2	55	2940	93,5	0,91	340
5A200L2	45	2940	93,4	0,90	255
5A200M2	37	2940	93	0,90	235
5A160M2	18,5	2925	91	0,90	138
5A160S2	15	2925	90,5	0,89	126
5ABOMB2	2,2	2850	82,5	0,86	15,5
5A80MA2	1,5	2850	81,5	0,94	14
5AM315M4	200	1480	96	0,89	1150
5AM315S4	160	1480	96	0,89	1110
5AM280M4	132	1480	95,5	0,88	885
5AM280S4	110	1480	95,3	0,87	780
5AM250M4	90	1478	94	0,88	515
5AM250S4	75	1478	94	0,87	480
5A225M4	55	1470	93,3	0,85	345
5A200L4	45	1465	92,5	0,85	270
5A200M4	37	1465	92	0,86	245
5A160M4	18,5	1455	90	0,86	140
5A160S4	15	1450	89	0,86	127
5A80MB4	1,5	1410	77	0,82	14,7
5A80MA4	1,1	1410	75	0,80	13
5AM315M6	132	985	95	0,88	1010
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

Окончание табл. 8.8

Тип	P_n , кВт	n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$	Масса, кг
5AM280M8	75	740	93,9	0,84	790
5AM280S8	55	740	93,8	0,85	725
5AM250M8	45	735	92,5	0,76	460
5AM250S8	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
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

В табл. 8.9 приведены параметры АД серии 5А с фазным ротором.

Таблица 8.9
Технические характеристики двигателей серии 5А с фазным ротором

Тип	P_n , кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$
5АНК280А4	132	1500	92,5	0,89
5АНК280В4	160	1500	92,5	0,89
5АНК280А6	90	1000	91	0,88
5АНК280В6	110	1000	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	1500	93	0,89
5АНК315В4	250	1500	93	0,90
5АНК315А6	132	1000	92	0,88
5АНК315В6	160	1000	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	1500	93,5	0,90
5АНК355В4	400	1500	94	0,90
5АНК355А6	200	1000	93	0,90
5АНК355В6	250	1000	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

Двигатели серии 6А выпускаются «Электро-ЗВИ» с высотой оси вращения 315 мм, степенью защиты IP54 и IP44 и имеют монтажное исполнение IM1001 и климатическое исполнение УЗ (табл. 8.10).

Таблица 8.10

Технические характеристики двигателей серии 6А

Тип	P_n , кВт	U_n , В	n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_n$
6A315S2	160	380/660	3000	93,5	0,91
6A315M2	200	380/660	3000	93,7	0,91
6A315S4	160	380/660	1500	93,7	0,91
6A315M4	200	380/660	1500	94,2	0,92
6A315S6	110	220/380; 380/660	1000	93,2	0,90
6A315M6	132	380/660	1000	93,7	0,91
6A315S8	90	220/380; 380/660	750	93,2	0,83
6A315M8	110	220/380; 380/660	750	92,2	0,83

8.5. Краново-металлургические двигатели

Краново-металлургические двигатели серии МТК (с короткозамкнутым ротором) и МТ (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 1000 об/мин. В табл. 8.11 приведены параметры АД этой серии с короткозамкнутым ротором, а в табл. 8.12 — с фазным ротором. Примеры расшифровки обозначения двигателей:

МТКН412-8: МТ — серия; К — короткозамкнутый ротор; Н — класс изоляции; 412 — условный габарит двигателя; 8 — число полюсов двигателя;

МТФ211-6: МТ — серия; F — класс изоляции; 211 — габарит; 6 — число полюсов.

Таблица 8.11

Технические характеристики краново-металлургических двигателей МТКФ и МТКН

Тип	P_n , при ПВ = 40 %, кВт	n_n , об/мин	$\cos \varphi_n$	η_n , %	M_{\max} , Н·м	M_n , Н·м	I_n , при 380В, А	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	5,0	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
МТКФ311-6	11	910	0,76	77,5	390	380	130	0,213	155

Окончание табл. 8.11

Тип	P_n , при ПВ = 40 %, кВт	n_n , об/мин	$\cos \varphi_n$	η_n , %	M_{\max} , Н·м	M_n , Н·м	I_n , при 380В, А	J , кг·м ²	Масса, кг
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	1000	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
МТК412-8	22	700	0,69	80,5	1000	950	295	0,75	315
МТКН111-6	3,0	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	7,0	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	1000	950	380	0,638	315
МТКН311-8	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	1000	950	295	0,75	315
МТКН511-8	28	695	0,77	83	1150	1150	336	1,075	440
МТКН512-8	37	695	0,78	83	1500	1420	460	1,425	540

Таблица 8.12

Технические характеристики краново-металлургических двигателей МТФ и МТН

Тип	P_n , при ПВ = 40 %, кВт	n_n , об/мин	$\cos \varphi_n$	η_n , %	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	5,0	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

Тип	P_n , при ПВ = = 40 %, кВт	n_n , об/мин	$\cos \varphi_n$	η_n , %	M_{\max} , Н·м	J , кг·м ²	Масса, кг
МТФ412-8	22	720	0,63	82	900	0,75	345
МТН111-6	3,0	895	0,67	65	85	0,0488	76
МТН112-6	4,5	910	0,71	69	120	0,0675	88
МТН211-6	7,0	920	0,64	73	200	0,115	120
МТН311-6	11	940	0,69	78	320	0,225	170
МТН312-6	15	950	0,73	81	480	0,313	210
МТН411-6	22	960	0,73	82,5	650	0,5	280
МТН412-6	30	965	0,71	84,5	950	0,675	345
МТН512-6	55	960	0,79	88	1660	1,018	—
МТН611-6	75	950	0,85	87	2660	3,275	—
МТН612-6	95	960	0,85	88	3650	4,125	—
МТН613-6	118	965	0,84	90	4750	5,1	—
МТН311-8	7,5	690	0,68	71,5	270	0,275	170
МТН312-8	11	700	0,69	78	430	0,313	210
МТН411-8	15	705	0,67	79	580	0,538	280
МТН412-8	22	715	0,63	80,5	900	0,75	345
МТН511-8	28	705	0,72	83	1020	1,075	470
МТН512-8	37	705	0,74	85	1400	1,425	570
МТН611-10	45	570	0,72	84	2360	4,25	900
МТН612-10	60	565	0,78	85	3200	5,25	1070
МТН613-10	75	575	0,72	88	4200	6,25	1240
МТН711-10	100	584	0,69	89,5	4650	10,25	1550
МТН712-10	125	585	0,7	90,3	5800	12,75	1700

8.6. Двигатели малой мощности

Двигатели малой мощности, называемые иногда микродвигателями, по числу фаз питающего напряжения делятся 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. Параметры АД этих серий приведены в табл. 8.13.

Технические характеристики трехфазных двигателей малой мощности

Серия	U_n , В	P_n , кВт	n_n , об/мин	I_n , А	η_n	$\cos \varphi_n$	Масса, кг
АОЛ	127... 380	50... 600	1,39... 2,8	0,28... 4,3	43... 75	0,62... 0,85	3... 9,2
АПН	220... 380	50... 600	1,39... 2,83	0,29... 2,15	42... 70	0,58... 0,75	3,9... 9
АВО	127... 380	18... 600	1,3... 2,8	0,12... 4,1	34... 78	0,56... 0,87	1,4... 8,4
ДАТ	127... 380	4... 90	1,28... 2,75	0,16... 0,95	20... 68	0,6... 0,88	0,45... 2,2
УАД	220	1,2... 70	1,28... 2,7	0,05... 0,4	9... 65	0,5... 0,5	0,25... 1,9
АДВ	220... 380	6... 25	1,37... 1,38	0,05... 0,24	38... 50	—	1,1... 1,9
ДАТ	36... 220	1,6... 750	4,8... 11,5	0,15... 5,3	13... 84	0,4... 0,82	0,12... 5,8
АОЛП	220... 380	180... 600	3,75... 4,6	1... 3,9	63... 74	0,45... 0,54	5,1... 8,4

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. Однофазные двигатели имеют более низкие показатели по сравнению с трехфазными. Основные технические данные однофазных двигателей приведены в табл. 8.14, где через k_1 , k_n и k_m обозначены соответственно кратности пускового тока, пускового и максимального момента.

Технические характеристики однофазных двигателей

Серия	P_n , кВт	$n_n \cdot 10^3$, об/мин	k_1	k_n	k_m	η_n , %	$\cos \varphi_n$
АОЛБ	18... 600	1,37... 2,94	6,5... 9	1... 1,2	1,4... 2,2	22... 69	0,52... 0,72
4АЕ	25... 550	1,34... 2,84	7,5... 8,5	0,8... 1	1,5... 1,7	37... 52	0,65... 0,83
ДХМ	60... 150	1,44... 2,91	5,7... 8,5	1,7... 2,2	2,2... 3,1	50... 70	0,56... 0,72
ДГ	70... 200	1,43... 2,85	7,5... 9,3	1,1... 2,3	1,9... 2,9	60... 71	0,54... 0,72
АОЛГ	18... 600	1,37... 2,94	3... 5,5	2... 2,5	1,5... 1,9	22... 69	0,68... 0,72
4АЧ	40... 550	1,34... 2,84	4... 5,5	1,6... 1,8	1,5... 1,7	37... 62	0,65... 0,82
АВЕ	10... 400	1,4... 2,8	2,5... 4,5	0,4... 0,7	1,5... 1,8	30... 72	0,86... 0,95
4АТ	40... 750	1,32... 2,82	2,5... 5	0,4... 0,6	1,5... 1,7	45... 68	0,82... 0,95
КД	25... 60	1,35... 2,8	1,4... 3,3	0,4... 1,3	1,4... 2,5	15... 60	0,8... 0,95
УАД	1... 50	1,28... 2,75	1,5... 5	0,1... 0,5	1,5... 2	9... 60	0,7... 0,8
АОЛД	30... 1000	1,43... 2,94	2,5... 5	1... 1,2	1,6... 2	33... 70	0,88... 0,98
4АУТ	40... 750	1,32... 2,82	2,5... 5,5	1,5... 2	1,5... 1,7	45... 68	0,82... 0,95
АДЕ	2,5... 25	1,28... 1,33	—	0,1... 0,6	1,4... 1,7	11... 24	0,5... 0,6
ДВЛВ	0,6... 10	1,28... 2,7	1,3... 1,6	0,2... 0,8	1,2... 1,6	7... 25	0,4... 0,6
ДАО	1,6... 16	2,35... 2,68	1,3... 1,5	0,1... 0,6	1,2... 1,5	9... 23	0,4... 0,6

В двигателях серий АОЛГ и 4АЧ используются пусковые конденсаторы емкостью соответственно 5 ... 90 и 10 ... 100 мкФ, двигателях АВЕ, 4АТ, КД и УАД — рабочие конденсаторы емкостью соответственно 0,75 ... 8, 6 ... 82, 1 ... 8 и 0,5 ... 5 мкФ, а двигателях 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 двигатели АДЕ, ДВЛВ и ДАО — экранированные полюса и не требуют включения дополнительных конденсаторов или резисторов.

Универсальные двигатели выполняются трехфазными 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. 8.15 приведены параметры двигателей серии УАД в трехфазном и однофазном режимах.

Таблица 8.15

Технические характеристики двигателей серии УАД

Тип	P_n , кВт	n_n , об/мин	I_n , А	η_n , %	M_{max}/M_n	M_p/M_n	I_p/I_n
<i>В трехфазном режиме</i>							
УАД-12	1,5	2700	0,055	14	2,5	2,5	2,0
УАД-22	4,0	2700	0,08	28	2,0	1,5	2,0
УАД-32	7,0	2700	0,11	30	2,0	2,0	2,5
УАД-42	13	2700	0,13	45	2,0	2,0	3,2
УАД-52	20	2700	0,17	55	2,0	2,0	4,5
УАД-62	40	2700	0,25	60	1,5	1,5	6,0
УАД-72	70	2700	0,40	65	1,5	1,5	6,0
УАД-24	1,2	1280	0,05	9	1,5	1,5	1,5
УАД-34	2,5	1250	0,09	11	1,5	1,5	1,5
УАД-44	6,0	1280	0,13	20	1,5	1,5	2,0
УАД-54	9,0	1280	0,17	25	1,5	1,5	2,5
УАД-64	20	1280	0,23	40	1,5	1,5	3,0
УАД-74	30	1280	0,30	50	1,5	1,5	3,5
<i>В однофазном режиме</i>							
УАД-12	1,0	2750	0,055	10	2,0	0,5	2,0
УАД-22	3,0	2750	0,08	20	2,0	0,5	2,0
УАД-32	5,0	2750	0,11	25	1,5	0,3	2,5
УАД-42	10	2750	0,13	44	1,5	0,3	3,0
УАД-52	18	2750	0,19	50	1,5	0,3	3,5
УАД-62	30	2750	0,30	54	1,5	0,2	4,0
УАД-72	50	2750	0,42	60	1,5	0,1	5,0
УАД-24	1,0	1280	0,055	9	1,5	0,5	1,5

Окончание табл. 8.15

Тип	P_n , кВт	n_n , об/мин	I_n , А	η_n , %	M_{max}/M_n	M_p/M_n	I_p/I_n
УАД-34	2,0	1280	0,09	11	1,5	0,5	1,5
УАД-44	4,0	1300	0,14	14	1,5	0,5	1,5
УАД-54	8,0	1300	0,16	25	1,5	0,5	2,0
УАД-64	15	1300	0,23	35	1,5	0,3	2,5
УАД-74	55	1300	0,30	45	1,5	0,2	3,0

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 народного хозяйства?
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?

Глава 9

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Машиной постоянного тока (МПТ) 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 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. Условное изображение якоря МПТ приведено на рис. 9.1, а.

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

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

МПТ могут иметь также и дополнительные (вспомогательные) обмотки, выводы которых обозначают *К1* и *К2* для компенсационной обмотки и *Д1-Д2* для обмотки добавочных полюсов.

МПТ применяются в качестве генераторов для питания потребителей постоянного тока — электролизных и сварочных установок, двигателей в регулируемых по скорости электроприводах рабочих машин и

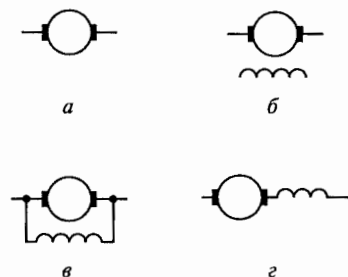


Рис. 9.1. Условные обозначения машины постоянного тока: а — якоря; б — с обмоткой независимого возбуждения; в — с обмоткой параллельного возбуждения; г — с последовательной обмоткой возбуждения

электрического транспорта. Для этих применений выпускаются серии машин специализированного назначения — тяговые, краново-металлургические, судовые и др. Генераторы постоянного тока малой мощности широко используются в качестве датчиков скорости вращения.

В табл. 9.1 содержатся основные сведения о машинах постоянного тока.

Таблица 9.1

Технические характеристики машин постоянного тока

Серия	$P_{ном}$, кВт	$n_{ном}$, об/мин	$U_{ном}$, В	Краткая характеристика
<i>Двигатели</i>				
4П	0,18 ... 250	750 ... 3000	110, 220, 440	Общего назначения, для замены двигателей серии 2П
2П	0,37 ... 200	600 ... 3000	110, 220, 340, 440	Общего назначения, для замены двигателей П 1–11-го габаритов
П2	315 ... 10 000	25 ... 500	440, 750, 930	Закрытые, с независимым возбуждением и принудительной вентиляцией, для замены двигателей серии П 18–22-го габаритов
П (1–11-го габаритов)	0,2 ... 200	600 ... 3000	110, 220, 440	Общепромышленного и специализированного назначения
П (12–22-го габаритов)	100 ... 6300	100 ... 1500	220 ... 1000	То же
Д	2,5 ... 185 при ПВ = 100 %	410 ... 1460	220, 440	Повышенные пусковые моменты и широкий диапазон регулирования скорости, для привода крановых, металлургических и других механизмов
ПБВ	0,75 ... 5,5	1000	60 ... 110	Закрытые, с возбуждением от постоянных магнитов, для привода станков с ЧПУ
ПГ, ПГТ ПС, ПСТ ПБС, ПБСТ	0,9 ... 9 0,12 ... 1,1 0,4 ... 11,3	3000 1000 ... 3000 1000 ... 3000	60 ... 220 110, 220 110, 220, 340, 440	Закрытые, с естественным охлаждением (ПГ, ПГТ), защищенные с принудительной вентиляцией (остальные), реверсивные, общего назначения

Серия	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$U_{\text{ном}}$, В	Краткая характеристика
ДПМ	2,8 ... 60 при ПВ = 25 %	675 ... 1700	110, 220	Водозащищенные, с естественным охлаждением и широким диапазоном регулирования скорости, для судовых механизмов
МП	1000 ... 6300	32/80 ... 63/80	440, 930	Закрытые, с принудительной вентиляцией, для привода прокатных станов
МПС	45 630 11 500	50/100 63/80 750/1000	220 600 930	Специальные двигатели для металлургической промышленности
2МП	2000 ... 12 600	50/100 ... 300/500	930	Закрытые, с принудительной вентиляцией, двухъякорные, для привода прокатных станов
МИ	0,1-0,37	1000, 2000, 3000	60, 110	Закрытые (водозащищенные), для работы в системах автоматики
МПБ	21 ... 600 в режиме двигателя, 25 ... 800 в режиме генератора	1250 ... 3100 1500 ... 3200	220 ... 580 230 ... 700	Балансирные машины для работы в качестве тормозного генератора или двигателя на испытательных стендах
<i>Генераторы</i>				
П (1-11-го габаритов)	1,1 ... 190	970 ... 2850	115, 230, 460, 110/160, 220/320	Общего назначения, защищенные, со смешанным возбуждением, со стабильным и регулируемым напряжением
П (18-22-го габаритов)	1000 ... 6300	375, 500, 750	630-1000	Закрытые, с принудительной вентиляцией
ГП2	5700, 4200	375	725, 950	Для работы в преобразовательных агрегатах
ГП	630 ... 9500	375 ... 1250	400 ... 930	Для питания двигателей главных приводов прокатных станов

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

9.1. Двигатели общего назначения серий 2П и 4П

В табл. 9.2 приведены параметры 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 (за-

Таблица 9.2

Технические характеристики двигателей серии 2ПН

ВОВ, мм	P_n , кВт	U_n , В	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин	η_n , %	R_n , Ом	$R_{\text{д.п.}}$, Ом
90М	0,17	110	750	3000	47,5	5,84	4,40
		220	750	1500	48,5	27,2	16,2
	0,25	110	1060	4000	56	3,99	2,55
		220	1120	2000	57	15,47	11,2
	0,37	110	1500	3000	61,5	2,52	1,47
		220	1500	2250	61,5	10,61	6,66
	0,71	110	2360	4000	69,5	1	0,54
		220	2360	3540	70	3,99	2,55
	1	110	3000	4000	71,5	0,6	0,35
		220	3000	4000	72,5	2,52	1,47
100М	0,37	110	750	3000	60	2,69	1,62
		220	750	1500	59,5	11,78	6,7
	0,5	110	1000	4000	65	1,79	0,93
		220	1000	2000	66	7,05	4,62
	0,75	110	1500	4000	71	0,805	0,57
		220	1500	4300	71,5	3,4	2,05
	1,2	110	2120	4000	75	0,436	0,355
		220	2200	4000	76,5	1,792	0,93
	2	110	3000	4000	78,5	0,201	0,135
		220	3000	4000	79	0,805	0,57
112М	0,6	110	800	3000	59	1,29	1,12
		220	800	2500	60,5	5,07	4,5
	0,85	110	1060	4000	63	0,788	0,682
		220	950	3500	64	3,85	3,08
	1,5	110	1500	4000	70	0,42	0,355
		220	1500	4000	70	1,77	1,55
	2,5	110	2120	4000	76	0,196	1,134
		220	2200	4000	76	0,788	0,682
	3,6	110	3150	4000	78,5	0,084	0,089
		220	3000	4000	79	0,42	0,356

Продолжение табл. 9.2

ВОВ, мм	P_n , кВт	U_n , В	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин	η_n , %	R_n , Ом	$R_{л.п.}$, Ом
132М	1,6	110	750	3000	68	0,472	0,308
		220	750	2500	68,5	1,88	1,39
	2,5	110	1000	4000	72	0,271	0,204
		220	1000	3000	73,5	1,08	0,763
		440	1000	25 000	73	4,54	3,26
	4	110	1500	4000	77,5	0,14	0,094
		220	1500	4000	79	0,564	0,336
		440	1500	3750	79	2,28	1,44
	7	110	2200	4000	81	0,067	0,049
		220	2240	4000	83	0,226	0,166
		440	2240	4000	83	0,906	0,692
	10,5	220	3000	4000	84	0,14	0,094
		440	3000	4000	85	0,564	0,366
160М	3	110	750	3000	75,5	0,138	0,135
		220	750	2500	76,5	0,732	0,485
		440	750	1850	76	3,15	2,21
	4,5	110	950	4000	78,5	0,11	0,078
		220	1000	3000	79,5	0,411	0,304
		440	950	2500	79	1,78	1,44
	7,5	110	1600	4000	83	0,037	0,024
		220	1500	4000	83	0,183	0,135
		440	1500	3750	84	0,732	0,485
	13	220	2120	4000	85,5	0,081	0,056
		440	2360	4000	86,5	0,279	0,175
	18	220	3150	4000	87	0,037	0,024
		440	3150	4000	87,5	0,145	0,101
180М	5,6	110	750	3000	78,5	0,084	0,056
		220	750	3500	79	0,338	0,221
		440	750	1850	79,5	1,5	0,825
	8	110	1000	3500	81,5	0,058	0,037
		220	1060	3000	83	0,181	0,122
		440	1000	2500	82	0,902	0,54
	15	110	1500	3500	85,5	—	—
		220	1500	4000	85,5	0,084	0,056
		440	1500	3500	86	0,338	0,221
	26	220	2240	3500	88	0,038	0,025
		440	2240	3500	89	0,15	0,092
	37	220	3000	3500	89,5	0,022	0,015
		440	3150	3500	79,5	0,084	0,056

Продолжение табл. 9.2

ВОВ, мм	P_n , кВт	U_n , В	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин	η_n , %	R_n , Ом	$R_{л.п.}$, Ом
200М	8,5	110	800	3000	81	0,047	0,029
		220	800	2500	82	0,188	0,116
		440	800	1850	82	0,796	0,506
	13	110	1120	3500	84	0,026	0,016
		220	1120	3000	85	0,106	0,061
		440	1000	2500	84,5	0,485	0,303
	22	220	1500	3500	87,5	0,047	0,029
		440	1500	3500	87,5	0,246	0,13
		220	2200	3500	88,5	0,026	0,016
	36	440	2200	3500	—	0,106	0,061
		440	3150	3500	90,5	0,047	0,029
225М	7,5	220	1500	1800	77	0,350	0,1010
	11	220	600	2100	79,5	0,202	0,0688
	15	220	750	2500	80,5	0,146	0,0637
	22	220	1000	2500	82	0,086	0,0429
	37	220	1500	3000	86,5	0,0366	0,0159
250М	15	440	1500	1850	86,5	0,168	0,0678
		220	530	1500	80	0,142	0,078
		220	630	2100	80,5	0,11	0,054
		440	600	2800	80,5	0,57	0,25
		220	750	2000	81	0,074	0,039
	22	440	850	2400	81	0,235	0,096
		220	1060	2500	85	0,035	0,019
		440	1060	2500	85	0,152	0,078
	37	440	1500	1800	87	0,11	0,054
		220	1500	2800	87	0,0185	0,0098
	50	440	1700	2800	87	0,059	0,026
280М	22	220	530	1250	83	0,062	0,033
	30	220	600	1500	84,5	0,046	0,022
		440	600	1500	84,5	0,185	0,0817
	45	220	750	2000	86	0,034	0,015
		440	750	1200	86,5	0,137	0,0618
	75	220	1000	2250	88,5	0,016	0,0083
		440	1180	2400	88,5	0,046	0,0022
	90	440	1500	1500	89	—	—
	110	220	1500	2600	89,5	0,0075	0,0038
		440	1500	2250	89,5	0,034	0,0154

Окончание табл. 9.2

ВОВ, мм	P_n , кВт	U_n , В	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин	η_n , %	R_n , Ом	$R_{д.п.}$, Ом
315M	45	220	600	1500	85,5	0,03	0,014
		440	600	1500	85,5	0,12	0,058
	55	440	750	1800	87	0,068	0,028
	100	440	1000	2250	88	0,04	0,024
	110	220	1000	2250	89	0,0082	0,0045
	160	220	1500	2400	90	0,004	0,0025
		440	1900	2400	90	0,0116	0,0071

Примечания: 1. Данные в таблице приведены для двигателей с длиной сердечника якоря М, климатическим исполнением УХ, категорией размещения 4.

2. Обозначения: n_{max} — максимальная скорость двигателя; R_n , $R_{д.п.}$ — активные сопротивления соответственно обмоток якоря и дополнительных полюсов.

Таблица 9.3

Технические характеристики двигателей серии 2ПФ

ВОВ, мм	P_n , кВт	U_n , В	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин	η_n , %	R_n , Ом	$R_{д.п.}$, Ом
132L	2,8	110	750	3750	66,5	0,269	0,22
		220	750	2500	67	1,08	0,915
		440	750	1850	69	4,05	2,92
	4,2	110	950	4000	72	0,167	0,124
		220	1000	3000	73	0,67	0,445
		440	1000	2500	73	2,8	1,96
	5,5	110	1500	4200	79	0,08	0,066
		220	1600	4200	80,5	0,269	0,22
		440	1600	3750	80,5	1,08	0,915
	7,5	110	2200	4000	83	0,055	0,039
		220	2120	4000	83,5	0,167	0,124
		440	2200	4000	86	0,67	0,445
160M	11	220	3000	4000	85,5	0,08	0,066
		440	3150	4000	86,5	0,322	0,27
	4,2	110	800	3750	74,5	0,11	0,087
		220	750	2500	73	0,516	0,407
		440	750	1850	73	2,06	1,785
	6	110	1000	4000	78	0,081	0,056
		220	1000	3000	79	0,326	0,208
		440	1000	2500	79	1,304	1,05
	7,5	220	1500	4200	83	0,145	0,101
		440	1600	3750	83,5	0,516	0,407
	13	220	2240	4000	87	0,081	0,056
		440	2240	4000	87	0,278	0,175

Продолжение табл. 9.3

ВОВ, мм	P_n , кВт	U_n , В	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин	η_n , %	R_n , Ом	$R_{д.п.}$, Ом
160M	16	220	3150	4000	87	0,037	0,024
		440	3150	4000	88	0,145	0,101
180L	10	110	750	3300	77,5	0,065	0,044
		220	750	2500	79	0,203	0,145
		440	750	1850	78	0,99	0,644
	14	220	1000	3300	82	0,136	0,084
		440	1000	2500	83	0,585	0,462
	18,5	220	1500	3500	87	0,065	0,044
		440	1500	3500	87	0,26	0,183
	25	220	2120	3500	89	0,042	0,03
		440	2200	3500	89,5	0,136	0,084
	32	440	3150	3500	90,5	0,065	0,044
		110	750	3300	82	0,031	0,02
	200L	220	750	2500	82,5	0,125	0,08
		440	800	1850	83,5	0,5	0,264
	20	220	1000	3300	85,5	0,083	0,053
		440	1000	2500	85,5	0,286	0,168
	30	220	1500	3500	88,5	0,031	0,02
		440	1500	3500	88,5	0,125	0,08
	42	440	2360	3500	90,5	0,055	0,037
		55	440	3150	91	0,031	0,02
225L	15	220	500	1800	77,5	0,196	0,079
		220	600	2100	83	0,161	0,074
	18,5	440	750	1500	83	0,473	0,208
		220	750	2500	83,2	0,095	0,05
	22	220	1060	2500	85	0,049	0,02
		440	1060	2250	85	0,196	0,08
	250L	220	500	1500	78	0,122	0,064
		26,5	440	600	81,5	0,38	0,195
	20,8	220	600	2100	82,2	0,082	0,047
		30	220	750	84,3	0,05	0,031
250L	30	440	750	2000	84,3	0,261	0,115
		220	750	2000	83,2	0,051	0,031
		340	750	2000	83,2	0,122	0,064
		45	220	1000	86	0,03	0,016
	37	340	1180	2500	86	0,065	0,031
		440	1000	1500	86	0,122	0,064
	45	440	1500	2800	88,5	0,65	0,031
		75	220	1500	89	0,0128	0,0077

Окончание табл. 9.3

ВОВ, мм	P_n , кВт	U_n , В	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин	η_n , %	R_x , Ом	$R_{д.л.}$, Ом
280L	37	220	500	1250	83,2	0,05	0,025
		440	500	1250	83,2	0,2	0,092
	45	220	600	1500	85,5	0,037	0,017
		440	600	1200	85,5	0,15	0,06
	55	220	750	1900	87,5	0,025	0,012
		440	750	1000	87,5	0,0992	0,052
	85	440	1000	2250	88,7	0,05	0,025
	132	220	1500	2600	91	0,006	0,034
		440	1500	1900	91	0,025	0,012
315M	45	440	500	1250	86	0,162	0,073
	55	220	600	1500	87	0,029	0,004
		440	600	1500	87	0,12	0,057
	75	220	750	1700	88,5	0,014	0,0083
		440	750	1800	88,5	0,068	0,0082
	100	440	1000	2200	88	0,04	0,0024
	110	220	1000	2250	89	0,0082	0,0045
	160	220	1500	2400	90	0,004	0,0025
		440	1900	2400	90	0,012	0,0071

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

Таблица 9.4
Технические характеристики двигателей серии 4ПО

Тип	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин
4ПО80А1	0,18	110	3,5	1000	2000
		220	1,6		
	0,25	110; 220	4,1; 1,7	1500	3000
	0,55	110	7,9	3000	4000
		220	3,8		
4ПО80А2	0,25	110	4,0	1000	2000
		220	1,8		
	0,37	110	5,8	1500	4000
		220	2,1		
	0,55	110	8,0	2200	4000
		220	3,5		
	0,75	110	10,7	3000	4000
		220	4,9		

Продолжение табл. 9.4

Тип	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин
4ПО80В1	0,37	110	4,8		
		220	2,4	1000	4000
		50	14,5		2000
	0,55	75	10,2		—
		110	7,7	1500	—
		220	3		
	0,75	110	10,2		4000
		220	5	2200	4000
	1,1	50	31,2		4000
		75	21,1	3000	
		110	15,2		4000
		220	7,1		
4ПО100S1	0,37	110	5,7	750	3000
		220	2,7		1500
	0,55	110	8,4	1000	4000
		220	3,9		2000
	0,75	110	10,4		
		220	5,1	1500	4000
	1,1	110	14		4000
		220	6,7	2200	
	1,5	110	20		4000
		220	9,7	3000	4000
4ПО100S2	0,55	110	8,6		3000
		220	3,8	750	1500
	0,75	110	10,4		4000
		220	4,8	1000	2000
	0,55	75	11,9	1000	—
		110	13,8		
	1,1	220	6,1	1500	4000
		110	19,3		
	1,5	220	9,5	2200	4000
		110	26,2		
4ПО100L	0,75	220	13,4	3000	4000
		110	11		3000
	1,1	220	5,2	750	1500
		110	15,4		4000
	1,5	220	7,2	1000	2000
		110	19	1500	4000
		220	9,3		

Окончание табл. 9.4

Тип	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин
4ПО100L	2,2	110	28	2200	4000
		220	13,9		
	3	110	37,2	3000	4000
		220	18,4		
4ПО112M1	1,5	110	19	1000	2000
		220	9		
	2,2	110	26	1500	3000
		220	12,8		
	3	110	34,7	2200	4000
		220	17		
	4	110	44,8	3000	4000
		220	22		
4ПО112M2	1,5	110	19,1	750	1500
		220	9,6		
		110	27,9		
	2,2	220	13,6	1000	2000
		110	33,8		
	3	220	16,6	1500	3000
		110	45		
	4	220	22	2200	4000
		110	60		
	5,5	220	30	3000	4000

Таблица 9.5

Технические характеристики двигателей серии 4ПБ

Тип	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин
4ПБ80A1	0,14	110	2,8	1000	2500
		220	1,2		
	0,18	110	2,9	1500	4000
		220	1,3		
	0,37	110	5,9	3000	4000
		220	2,8		
4ПБ80A2	0,18	110	2,9	1000	4000
		220	1,3		
	0,25	110	3,7	1500	4000
		220	1,6		
	0,37	110	5,0	2200	4000
		220	2,4		
	0,55	110	8,1	3000	4000
		220	3,8		

Продолжение табл. 9.5

Тип	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин
4ПБ80B1	0,25	110	3,8	1000	2500
		220	1,8		
	0,37	110	5,1	1500	4000
		220	2,4		
	0,55	110	7,3	2200	4000
		220	3,5		
	0,75	110	9,3	3000	4000
		220	4,5		
4ПБ100S1	0,25	110	4,2	750	4000
		220	1,9		
	0,4	110	6,1	1000	2500
		220	2,8		
	0,55	110	7,7	1500	4000
		220	3,6		
	0,75	110	9,6	2200	4000
		220	4,6		
	1,1	110	13,9	3000	4000
		220	6,7		
4ПБ100S2	0,37	110	5,4	750	3000
		220	2,6		
	0,5	110	7	1000	2000
		220	3,3		
	0,75	110	9,3	1500	4000
		220	4,5		
	1,1	110	13,3	2200	4000
		220	6,5		
	1,5	110	17,8	3000	4000
		220	8,7		
4ПБ100L1	0,4	110	6	750	3000
		220	3,1		
	0,6	110	8	1000	2000
		220	3,8		
	0,9	110	10,6	1500	2500
		220	5,2		
	1,3	110	15,3	1500	4000
		220	7,4		
	1,8	110	20,7	2200	4000
		220	10		

Окончание табл. 9.5

Тип	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин
4ПБ112М1	0,5	110	8	750	2500
		220	3,9		2000
	0,75	110	10,5	1000	3000
		220	5		2500
	1,1	110	14	1500	4000
		220	6,7		
	1,5	110	18,3	2200	4000
		220	9,1		
	2,2	110	25,6	3000	4000
		220	12,5		
4ПБ112М2	1	110	13		2500
		220	6,4	1000	
		110	17,6	1500	4000
	1,5	220	8,8		
	2,2	220			
		110	25,3	2200	4000

Таблица 9.6

Технические характеристики двигателей серии 4ПФ

Тип	P_n , кВт	I_n , А	η_n , %	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин
Номинальное напряжение 220 В					
4ПФ112S	4	24	72,3	900	5000
	3,15	19,8	69,3	750	
	2	14,5	57,6	450	
4ПФ112М	4,25	26,4	68	730	5000
	3	20,1	60,3	475	
4ПФ112L	3,55	24,5	60,1	425	
4ПФ132S	15	85,4	77,9	1400	4500
	7,5	43,6	76	1000	
	6	32,7	74	875	
	4,25	26,9	65	580	
4ПФ132М	11	61,5	78,5	1060	4500
	8,5	48,6	76	875	
4ПФ132L	8	47,3	68	600	4500
	11	62,8	76	800	
	8,5	54,4	68	515	
4ПФ160S	15	79,6	80,7	850	4000
	11	66,2	70,5	530	
4ПФ160М	15	85,6	75,3	580	

Продолжение табл. 9.6

Тип	P_n , кВт	I_n , А	η_n , %	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин
4ПФ180	17	99,4	73	500	3800
4ПФ180М	20	114,5	75	475	
Номинальное напряжение 440 В					
4ПФ1128	7,5	19,2	87,1	2120	5000
	5,5	14,9	81,4	1450	
	4,25	12,6	74	975	
4ПФ112М	3,14	9,9	69	730	
	7,5	19,6	82,5	1450	
	5,5	16,6	74,1	900	
4ПФ112L	4,25	13,3	67,4	690	
	10	26,3	81,2	1320	
	7,5	21,5	81	975	
	5,5	17	70,8	690	
4ПФ1325	30	76,7	87,1	3070	4500
	18,5	47,8	85	2180	
	15	41,7	80	1400	
	5,5	15,7	73	800	
4ПФ132М	30	78,9	86,3	2300	
	22	59,3	83	1600	
	11	30	80	1090	
	8,5	24,8	75	800	
4ПФ132L	23,6	64,8	83	1400	5000
	15	40,8	81	1030	
	11	30,7	78	825	
4ПФ160S	30	78,6	84	1450	4500
	18,5	48,6	82	1090	
4ПФ160М	15	42,5	76,1	730	
	22	56,8	84,5	1090	
4ПФ160L	18,5	49,6	80,8	775	
	30	77	85,5	1030	
	22	58,7	81,3	775	
4ПФ180S	45	114	88	1450	4500
	37	95,7	85	1150	
	26,5	72,8	78	775	
4ПФ180М	45	115,6	86	1060	
	37	97,6	83	825	
4ПФ200М	55	144	84,9	1000	4000

Окончание табл. 9.6

Тип	P_n , кВт	I_n , А	η_n , %	n_n , об/мин	n_{max} , об/мин
4ПФ200L	75	191	87,3	1060	4000
4ПФ225M	90	230	90	1000	4000
4ПФ225L	110	282	87		
4ПФ250M	132	336	87	1000	3500
4ПФ250L	160	402	89		
4ПФ200M	27	27	76,2	500	2500
	45	121	82,2	750	3600
	90	226	88,6	1500	3600
4ПФ200L	37	104	78,6	500	2500
	55	147	83,3	750	3600
	110	275	89,1	1500	3600
4ПФ225M	45	125	79	500	2500
	132	230	89,1	1500	3000
4ПФ225L	50	142	77,6	500	2500
	75	199	84	750	3000
	160	400	89,7	1500	3000
4ПФ250M	90	236	85,3	750	3000
	200	497	90,3	1500	
4ПФ250L	75	203	82,2	500	2500
	110	284	86,7	750	3000
	250	614	91	1500	3000

крытые, 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), на что указывает буква Г в обозначении.

В табл. 9.7 приведены параметры мощных двигателей серий П2, МП и 2МП.

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,

Таблица 9.7

Технические характеристики двигателей серий П2, МП и 2МП

Тип	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , об/мин	M_n , кН·м	J , 10^3 кг·м ²	Масса, 10^3 кг	η_n , %
П2-18/70-0,315	315	440	925	36	83,6	1,2	25,8	78,2
П2-21/90-4	4000	750	5700	100/250	382	12,5	80,0	93,2
П2-23/85-7,1	7100	930	8120	100/180	678	32,2	102,5	94
П2-23/106-7,1	7100	930	8200	80/125	847,6	38,8	119	94,3
П2-23/170-8	8000	930	9250	50/80	1528	64	215	93,4
П2-24/71-6,3	6300	825	8050	160/315	378	—	81,8	95
П2-25/130-9	9000	930	10 200	60/120	1364	77,5	169	94,8
П2-26/150-10	10 000	930	11 350	50/100	1910	121,2	202	94,7
П2-630-201-5С	1600	930	1855	250/500	61,1	3,75	22,9	93,3
П2-630-202-8С	3150	930	3565	400/600	75,2	4,07	28,1	94,8
П2-630-203-5С	1600	930	1865	160/500	95,5	4,95	30,6	92,4
П2-630-212-НС	5000	930	5640	400/500	119,4	7,33	36	95,3
П2-630-213-6С	2500	930	2860	160/315	149,2	9	43,7	93,9
П2-630-214-6С	2500	930	2870	125/315	191	9,85	48,8	93,3
П2-630-241-8С	4000	930	4570	160/320	238,8	30	56,8	94
П2-630-243-8С	4000	930	4600	100/260	382	37,8	74,6	93,4
МП4000-32	4000	930	478	32/80	1193,8	60	190	90
МП6300-63	6300	930	7170	63/80	955	42,5	182	94
МП6300-40	6300	930	7370	40/80	1504	85	195	91,9
МП9000-63	9000	750	8960	50/80	1719	60	208	94,7
МП2500-63	12 500	930	14 150	63/90	1895	125	230	95
МП1000-315	1000	440	2480	315/800	30,3	0,45	13	93,6
МП5600-300	5600	930	6325	300/400	178,3	16	70	95,2
МП7100-125	7100	930	8000	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
МП3000-315	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	2178,3	27,5	116	95,2
2МП14200-200	27 100	930	27 985	200/400	2339	60	165	95,6
2МП14200-125	27 100	930	28 000	125/250	2542	95,0	232	95,4
2МП14200-50	26 300	930	27 280	50/100	21 203	212,5	316	92,8

имеют изоляцию класса Н и выпускаются на напряжения 220 и 440 В. В табл. 9.8 содержатся параметры 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 (ПВ = 100 %)				Закрытые в повторно-кратковременном режиме (ПВ = 40 %)					
	P_n , кВт	Частота вращения n_n , об/мин, при возбуждении			Мощность P_n , кВт, и частота вращения n_n , об/мин, при возбуждении					
		С	СШ	Ш	С		СШ		Ш	
					P_n	n_n	P_n	n_n	P_n	n_n
Тихоходные										
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
Д-816	150	450	—	480	85	540	—	—	70	535
Д-818	185	410	—	450	100	515	—	—	83	470
Быстроходные										
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.

9.2. Генераторы

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

Таблица 9.9
Технические характеристики генераторов серии 2ПН

Тип	P_n , кВт	U_n , В	n_n , об/мин	η_n , %
2ПН100МУХЛ4	0,37	115	1500	61,4
		230	1500	60
	1,25	115	3000	76
		230	3000	76
2ПН100ЛУХЛ4	0,55	115	1500	63,3
		230	1500	63,3
	1,8	115	3000	78,5
		230	3000	78,5
2ПН112МУХЛ4	0,75	115	1500	64,5
		230	1500	63,5
	2,8	115	3000	76,6
		230	3000	76,5
2ПН112ЛУХЛ4	1,1	115	1500	67
		230	1500	69,5
		115	3000	80,5
		230	3000	80,5
2ПН132МУХЛ4	2,2	115	1500	73,5
		230	1500	75,0
	6	460	1500	75,5
		115	3000	82
		220	3000	83,5
2ПН132ЛУХЛ4	3	115	1500	77
		230	1500	79
	8,5	460	1500	78
		115	3000	83,5
		230	3000	85
2ПН160МУХЛ4	3	115	1000	75,6
		230	1000	76
	5,5	115	1500	81,5
		230	1500	81,5
		460	1500	81
	16	115	3000	84,5
		230	3000	86,5
2ПН160ЛУХЛ4	4	115	1000	78,5
		230	1000	78,5
	7,5	115	1500	82
		230	1500	81
		460	1500	84,5

Окончание табл. 9.9

Тип	P_n , кВт	U_n , В	n_n , об/мин	η_n , %
2ПН160ЛУХЛ4	22	230	3000	87,5
2ПН180МУХЛ4	5,5	115	1000	80,0
		230	1000	79,5
	11	115	1500	83
		230	1500	84
		460	1500	84,5
2ПН180ЛУХЛ4	30	230	3000	89
	7,5	115	1000	81
		230	1000	81,5
	12,5	115	1500	84,5
		230	1500	86,5
		460	1500	84,5
2ПН200МУХЛ4	10	115	1000	81
		230	1000	82
	18,5	115	1500	85,5
		230	1500	87
		460	1500	86,5
	45	220/320	3000	89
2ПН200ЛУХЛ4	22	230	1500	87,5
	55	460	1500	87
		230/320	3000	91,5
2ПН225МУХЛ4	30	115	1500	85,3
		230	1500	85,5
		460	1500	85
2ПН225ЛУХЛ4	25	230	1000	83,5
	37	230	1500	86,5
		460	1500	86,5
2ПН250МУХЛ4	45	115	1500	85
	55	230	1500	87
		460	1500	86
2ПН250ЛУХЛ4	37	230	1000	86,2
	71	230	1500	87
2ПН280МУХЛ4	90	230	1500	89,5
	110	460	1500	90
2ПН280ЛУХЛ4	90	115	1000	88
2ПН315МУХЛ4	90	115	1500	88,5
	160	460	1500	90
2ПН315ЛУХЛ4	180	230	1500	89

9.3. Универсальные коллекторные двигатели

Универсальными коллекторными двигателями называют двигатели небольшой (до 1 кВт) мощности, способные работать как от сети 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 параметры двигателей серии УЛ.

Таблица 9.10

Технические характеристики двигателей серии УЛ

Тип	P_n , Вт	n_n , об/мин	I_n , А, при U_n , В			η_n , %	$\cos \varphi_n$	$J_{\text{пот}}$, 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
УЛ-052	80	5000	1,3	0,64	0,86	56	0,75	175
УЛ-061	120	5000	1,92	0,9	1,3	57	0,75	325
УЛ-062	180	5000	2,82	1,4	1,9	58	0,75	400
УЛ-071	270	5000	3,96	2,0	2,5	62	0,8	700
УЛ-072	400	5000	5,5	2,8	3,4	66	0,7	875
УЛ-041	5	2700	0,15	0,08	0,11	25	0,7	37,5
УЛ-042	10	2700	0,23	0,11	0,16	36	0,7	50
УЛ-051	18	2700	0,33	0,16	0,29	40	0,7	125
УЛ-052	30	2700	0,47	0,23	0,43	45	0,7	175
УЛ-061	50	2700	0,81	0,4	0,67	48	0,7	325
УЛ-062	80	2700	1,25	0,63	1,1	48	0,7	400
УЛ-071	120	2700	1,82	0,91	1,5	52	0,7	700
УЛ-072	180	2700	2,48	1,2	2,1	56	0,7	875
УЛ-081	270	2700	3,5	1,7	2,9	60	0,7	1625
УЛ-082	400	2700	5,0	2,5	4,0	65	0,7	2200

9.4. 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 делятся на семь классов — от $\pm 0,02$ % до $\pm 2,5$ %, коэффициентом пульсации выходного напряжения $k_{\text{пуль}}$, %, асимметрией напряжения A , %, имеющей место при разных направлениях вращения тахогенератора, и коэффициентом усиления $k_{\text{ус}}$. В табл. 9.11 приведены параметры некоторых типов тахогенераторов постоянного тока.

Таблица 9.11

Технические характеристики тахогенераторов постоянного тока

Тип	n_n , 10^3 об/мин	$k_{\text{ус}}$, мВ/(об/мин)	H , %	A , %	J_p , 10^{-7} кг·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 характеризуется 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?

Глава 10

СИЛОВЫЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ, КОНДЕНСАТОРЫ, РЕЗИСТОРЫ 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 делятся 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 сго-

рает плавкая вставка; при номинальном токе сгорания плавкой вставки не происходит вообще. Иногда защитная способность предохранителей 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 параметры предохранителей серий ПН2, имеющих фарфоровый корпус прямоугольного сечения, и НПН, выполняемых со стеклянным корпусом круглого сечения, а в табл. 10.2 — параметры предохранителей разборного типа ПР-2.

Таблица 10.1

Технические характеристики предохранителей серий НПН и ПН2

Тип	Номинальный ток, А		Предельный ток отключения, 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, 150, 200, 250	40 000
ПН2-400	400	200, 250, 300, 350, 400	25 000
ПН2-600	600	300, 400, 500, 600	25 000
ПН2-1000	1000	500, 600, 750, 800, 1000	10 000

Таблица 10.2

Технические характеристики предохранителей типа ПР-2

Тип	Номинальный ток, А	Номинальные токи плавких вставок, А	Предельный ток отключения, А, при напряжении		Габаритные размеры, мм
			380 В	500 В	
ПР-2-15	15	6, 10, 15	8000	7000	171 × 24,5 × 33
ПР-2-60	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	4500	3500	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
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	1000	600, 700, 850, 1000	20 000	20 000	580 × 155 × 154

Для защиты полупроводниковых установок применяются быстродействующие предохранители серий ПП и ПНБ. В табл. 10.3 приведены параметры предохранителей серии ПП.

Таблица 10.3

Технические характеристики предохранителей серии ПП

Тип	Ток, А	Напряжение, В	Предельный ток отключения, кА
ППД12-43133	1600	150	100
ППД12-40433	6300	450	200
ПП51-3340354	160	380	—
ПП41	31 ... 630	760, 440	100
ПП57-31	100	До 660	—
ПП57-34	250	До 660	—
ПП57-37	400	До 660	—
ПП57-39	630	До 1150	—
ПП57-40	800	До 1250	—
ПП71	550 ... 750	1300	40
ПП61	40 ... 160	380	100

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

10.2. Конденсаторы

Конденсаторы представляют собой электротехнические устройства, обладающие 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. Эти приборы применяются как в виде отдельных единиц, так и в виде комплектных установок (батарей). Основными параметрами конденсаторов являются рабочее напряжение и 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 технические 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 выше 1 кВ в однофазном исполнении. Конденсаторы в трехфазном исполнении имеют соединение по схеме треугольника. Конденсаторы серий КЭП-6,3 и КЭП-10,5 имеют аналогичную конструкцию с конденсаторами

Таблица 10.4

Технические характеристики конденсаторов серии КС

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

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 серий КЭКФ и КЭКШ предназначены для использования в силовых фильтрах высших гармоник и в установках компенсации реактивной мощности. Параметры этих и некоторых других конденсаторов приведены в табл. 10.5.

Таблица 10.5

Технические характеристики косинусных конденсаторов

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Мощность, квар	Номинальная емкость, мкФ	Высота, мм	Масса, кг
КЭ1-0,38-25-2УЗ	0,38	25	551,0	410	26
КЭ1-0,38-25-3УЗ	0,38	25	551,0	410	26
КЭ2-0,38-40-2УЗ	0,38	40	882,0	480	53
КЭ2-0,38-40-3УЗ	0,38	40	882,0	480	53
КЭ2-0,38-50-2УЗ	0,38	50	1102,0	480	53
КЭ2-0,38-50-3УЗ	0,38	50	1102,0	480	53
КЭК1-0,4-33 ^{1/3} -2УЗ	0,4	33 ^{1/3}	663,0	410	25
КЭК1-0,4-33 ^{1/3} -3УЗ	0,4	33 ^{1/3}	663,0	404	25
КЭК2-0,4-67-2УЗ	0,4	67	1334,0	725	50

Окончание табл. 10.5

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Мощность, квар	Номинальная емкость, мкФ	Высота, мм	Масса, кг
КЭК2-0,4-67-3УЗ	0,4	67	1334,0	725	50
КЭ1-0,66-25-2УЗ	0,66	25	183,0	418	26
КЭ1-0,66-25-3УЗ	0,66	25	183,0	418	26
КЭ2-0,66-50-2УЗ	0,66	50	366,0	480	53
КЭ2-0,66-50-3УЗ	0,66	50	366,0	480	53
КСК1-0,4-33 ^{1/3} -3ТЗ	0,4	33 ^{1/3}	522,8	404	30
КСК1-0,415-33 ^{1/3} -3ТЗ	0,415	33 ^{1/3}	616,3; 513,6	404	30
КСК1-0,44-33 ^{1/3} -3ТЗ	0,44	33 ^{1/3}	456,9	404	30
КСК2-0,4-67-3УЗ	0,4	67	1111; 1334	725	60
КСК2-0,415-67-3ТЗ	0,415	67	1239; 1032	725	60
КСК2-0,44-67-3ТЗ	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-0,4-12,5-3УЗ	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
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
КЭ 1-1,05-37,5-1УЗ	1,05	37,5	108,3	418	26
КЭ1-1,05-37,5-2УЗ	1,05	37,5	108,3	418	26
КЭ2-1,05-75-1УЗ	1,05	75,0	217,0	739	52
КЭ2-1,05-75-2УЗ	1,05	75,0	217,0	739	52
КЭ1-3,15-37,5-2УЗ	3,15	37,5	12,0	441	25
КЭ1-6,3-37,5-2УЗ	6,3	37,5	3,0	471	25
КЭ1-10,5-37,5-2УЗ	10,5	37,5	1,08	526	25
КЭ2-3,15-75-2УЗ	3,15	75,0	24,0	756	48
КЭ2-6,3-75-2УЗ	6,3	75,0	6,0	786	48
КЭ2-10,5-75-2УЗ	10,5	75,0	2,16	841	48

В табл. 10.6 содержатся параметры конденсаторов высокой емкости серии ИКЭ.

Таблица 10.6

Технические характеристики конденсаторов серии ИКЭ

Емкость, кДж/В	Напряжение, В	Емкость, Ф	Ток разряда, А	Масса, кг
6/14	14	60	600	8
9/14	14	100	700	10
16/14	14	160	1200	14
20/28	28	55	1400	18
40/28	28	100	2000	23
70/36	36	105	1500	34
40/96	96	8,5	1300	29
40/64	64	23	1900	32
33/200	200	1,6	400	20
20/150	150	1,9	400	19
15/175	175	1,0	1000	21
40/300	300	0,95	400	30

С использованием косинусных конденсаторов изготавливаются конденсаторные установки УК, УКЛ, УКН, 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 приведены параметры некоторых конденсаторных установок этого назначения.

В табл. 10.8 даны характеристики высоковольтных конденсаторных установок серий КУ и УК для компенсации реактивной мощности.

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

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

Таблица 10.7

Технические характеристики конденсаторных установок

Тип	Напряжение, кВ	Номинальная мощность, квар	Масса, кг
УКЛ(П)Н0, 38-150-50УЗ	0,38	150	335
УКЛ(П)Н0, 38-300-50УЗ	0,38	300	575
УКН0,38-75УЗ	0,38	75	175
УКТ0,38-75УЗ	0,38	75	175
УКН0,38-150УЗ	0,38	150	175
УКТ0,38-150УЗ	0,38	150	300
ККУ0,38-МсБРВ-2	0,38	160	716
ККУ0,38-ВсНД-2	0,38	280	1071
УКМ58-04-20-10УЗ	0,4	20	47
УКМ58-04-30-10УЗ	0,4	30	62
УКМ58-04-50-25УЗ	0,4	50	70
УКМ58-04-67-33,3УЗ	0,4	67	85
УКМ58-04-100-33,3УЗ	0,4	100	110
УКМ58-04-150-30УЗ	0,4	150	132
УКМ58-04-180-30УЗ	0,4	180	145
УКМ58-04-200-33,3УЗ	0,4	200	168
УКМ58-04-300-33,3УЗ	0,4	300	210
УКМ58-04-402-67УЗ	0,4	402	395
УКМ58-04-603-67УЗ	0,4	603	585

Таблица 10.8

Технические характеристики конденсаторных установок на 6 и 10 кВ

Тип	Номинальная мощность, квар	Размеры, мм			Масса, кг
		длина	ширина	высота	
КУ6-1	330	2350	846	2870	1100
КУ6-11	500	3050	846	2870	1578
КУ10-1	330	2350	846	2870	1200
КУ10-11	500	3050	846	2870	1718
КУН6-11	420	2060	1745	2350	1200
КУН10-11	400	2060	1745	2350	1400
КУ6-1 с БРВ-1	330	2350	846	2870	1118
КУ6-11 с БРВ-1	500	3050	846	2870	1578
КУ10-1 с БРВ-1	330	2350	846	2870	1218
УК6-450	450	2480	850	2000	690
УК10-450	450	2480	850	2000	690

10.3. Резисторы

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

а) пусковые, регулирующие и тормозные, которые используются для ограничения тока при пуске, торможении и реверсе электродвигателей, а также для регулирования их скорости вращения;

б) регулировочные, используемые для регулирования тока возбуждения электрических машин;

в) нагрузочные, применяемые в электроустановках для поглощения электрической энергии и в испытательных стендах;

г) 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 проволоочными. В качестве материалов для изготовления резисторов используются литейный чугун, сталь, манганин, константан и сплавы железохромоалюминиевые (фехрالي), хромоникелевые и хромоалюминиевые. Резисторы могут использоваться как в виде отдельных резистивных элементов, так и в составе блоков, ящиков или панелей резисторов.

Параметры литых плоских резисторов серии СЖ приведены в табл. 10.9.

Таблица 10.9

Технические характеристики резисторов серии 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. 10.10 и 10.11 содержатся технические данные соответственно штампованных элементов серии ШЭ и штампованных ленточных элементов серии ЛФ.

Таблица 10.10

Технические характеристики резистивных элементов серии ШЭ

Тип	Сопротивление при 20 °С, Ом	Длительно допустимый ток, А	Кратковременная нагрузка, А				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

Таблица 10.11

Технические характеристики резистивных элементов серии 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	140 ... 155	450	4,4
ЛФ10	0,1 ... 0,3	140 ... 270	600	5,6
ЛФ11	0,05 ... 1,0	310 ... 540	600	21
ЛФ11Б	0,1 ... 2,0	180 ... 280	600	17
ЛФ8	0,4	100	450	—

Резисторы серий ЭС3 и ЭС10 предназначены для комплектации блоков резисторов серии ЯС. Параметры резисторов серии ЭС3 приведены в табл. 10.12. Резисторы типа Э10 имеют сопротивление от 0,0777 до 1,37 Ом и выпускаются на номинальные токи от 23,5 до 109 А.

Таблица 10.12

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

Проволоочные трубчатые резисторы серии ПТ предназначены для работы в цепях переменного и постоянного тока в закрытых помещениях и имеют параметры, приведенные в табл. 10.13.

Таблица 10.13

Технические характеристики резисторов серии ПТ

Тип	Номинальная мощность, Вт	Диапазон сопротивлений, Ом	Размеры, мм			Масса, г
			наружный диаметр	внутренний диаметр	длина	
ПТ-8Т2	8	3,9 ... 2200	15	6	35	20
ПТ-16Т2	16	3,9 ... 5600	15	6	80	31
ПТ-25Т2	25	3,9 ... 5600	26	16	80	56
ПТ-50Т2	50	8,2 ... 15 000	30	20	125	96
ПТ-75Т2	75	8,2 ... 33 000	30	20	175	135

Блоки резисторов 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 штук. Общее сопротивление блоков может составлять от 0,1 до 10 Ом, а масса — от 80 до 225 кг. Они выпускаются на напряжение 220 ... 4000 В, продолжительные токи 46 ... 600 А с естественной вентиляцией в незащищенном исполнении.

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

Таблица 10.14

Технические характеристики блоков резисторов

Тип	Количество и тип элементов	Сопротивление ступени, Ом	Мощность, кВт	Длительный ток, А	Масса, кг
БТС-1	12 ЛФ11	1,52	2340	До 540	1020
ББС-2	6 ЛФ11Б	0,52	745	До 270	505
БКФ	280 КФ	0,2 ... 21	2800	—	3150
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	1200	—	750
ЛФ-238	4 ЛФ10	1 ... 0,22	—	190	46,5
ЛФ-269	3 ЛФ116	2 ... 0,037	—	265	45,5
		3 ... 0,019	—	400	
		1 ... 0,351	—	100	
		2 ... 0,132	—	150	
		3 ... 0,089	—	200	

Окончание табл. 10.14

Тип	Количество и тип элементов	Сопротивление ступени, Ом	Мощность, кВт	Длительный ток, А	Масса, кг
СН-12	6 ШЭ	—	12,0	До 60	140
СН-16	8 ШЭ	—	16,0	До 60	160
СП-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	39 ... 24	27,3 ... 23,1
ЯС-2	20 ЭС	0,1 ... 1,6	До 5,8	215 ... 54	39 ... 23,5
ЯС-3	11 ЭС	0,2 × 11 ... 260 × 11	—	1,2 ... 42	15 ... 20
ЯС-4	5	0,098 ... 6,85	—	24 ... 215	17 ... 22
ЯСТ-1	12 × 3	0,9 × 3 ... 2,4 × 3	—	39 ... 24	25 ... 21,7
ЯСТ-2	6 × 3	0,03 × 3 ... 0,48 × 3	—	215 ... 54	36 ... 22,6

табл. 10.14. Эта же таблица содержит технические характеристики блоков серий СВ и СН, в которых используются элементы серии 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, количеству 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 (РП и РПЗ) и мощностью до 36 кВт при напряжении 220 В (РЗР). Реостаты серии РП имеют минимальную электрическую защиту, а серий РЗП и РЗР — минимально-максимальную. Реостаты серии РП состоят из проволочных резистивных элементов типа СН, СНл и ЦФ. Другие параметры резисторов этих серий приведены в табл. 10.15.

Таблица 10.15

Технические характеристики реостатов серий РП, РПЗ и РЗР

Тип	Номинальный ток, А	Число ступеней		Масса, кг
		пусковых	регулирующих	
РП-2511	31,5	4	—	5,5
РЗП-2	40	7	—	12
РЗП-2А	40	7	—	14

Окончание табл. 10.15

Тип	Номинальный ток, А	Число ступеней		Масса, кг
		пусковых	регулирующих	
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

В табл. 10.16 приведены технические данные маслonaполненных 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 следующих включений не менее двойной продолжительности включения.

Таблица 10.16

Технические характеристики пусковых реостатов серии РМ

Тип	Номинальный ток, А	Мощность двигателя, кВт	Максимальное напряжение, В	Число ступеней	Масса без масла, кг
РМ-1531У3	210	24,5; 29,5; 40	400	8	23,5
	250	50; 55			
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

Реостаты возбуждения серий РВ, РВМ, РТМ, МР, РЗВ, РПВ, РШН, РШНД и РШМ предназначены для регулирования тока возбуждения электрических машин при напряжениях до 440 В и

могут выполняться с ручным, дистанционным ручным и электро-двигательным приводами. Параметры некоторых типов реостатов возбуждения содержатся в табл. 10.17.

Таблица 10.17

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
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

В табл. 10.18 приведены технические характеристики реостатов серии Р, используемых для регулирования скорости двигателей и других целей.

Таблица 10.18

Технические характеристики реостатов серии Р

Тип	Предельный ток, А	Мощность, кВт	Сопротивление, Ом
Р-0,5	1,1 ... 27,5	0,6	500 ... 0,8
Р-1	1,1 ... 27,5	1,2	1000 ... 1,6
Р-2	1,9 ... 38	1,8	500 ... 1,25
Р-3	2,7 ... 38	2,4	335 ... 1,65
Р-4	3,6 ... 40	3,2	250 ... 2,0

Резистор выбирается по двум основным параметрам — величине сопротивления и току, при этом его сопротивление должно

равняться расчетному, а номинальный ток — соответствовать эквивалентному по нагреву току нагрузки, что обеспечит нормативный нагрев резистора. Подбор величины сопротивления осуществляется за счет последовательного, параллельного и смешанного соединения 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 ($S3$) и повторно-кратковременного ($S2$) 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. 10.1, где K_k — расчетный коэффициент для кратковременного режима, $K_{пк}$ — для повторно-кратковременного режима, T_n — постоянная времени нагрева.

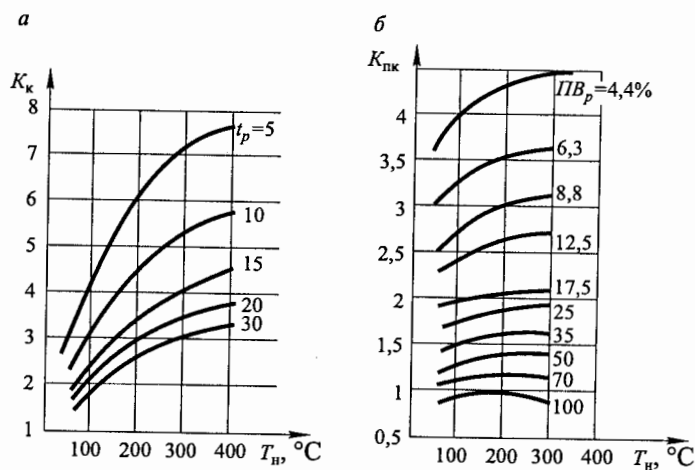


Рис. 10.1. Зависимости расчетных коэффициентов от постоянной времени нагрева для кратковременного (а) и повторно-кратковременного (б) режимов работы

Порядок проверки предварительно выбранного резистора по нагреву состоит в следующем. С помощью графика изменения тока нагрузки во времени определяются эквивалентный рабочий ток $I_э$, протекающий по резистору, и время его протекания t_p для кратковременного режима или продолжительность включения $PB_p = t_p/t_{ц}$ для повторно-кратковременного режима, где $t_{ц}$ — время цикла работы нагрузки. Затем для найденных t_p или PB_p по постоянной времени нагрева T_n резистора с помощью кривых рис. 10.1

находятся коэффициенты K_k или $K_{пк}$. Далее определяется расчетный ток резистора

$$I_{расч} = I_э/K_k \text{ или } I_{расч} = I_э/K_{пк}$$

и производится его сопоставление с номинальным током резистора $I_{ном}$. При $I_{расч} \leq I_{ном}$ нагрев резистора не будет превосходить допустимого (нормативного).

10.4. Реакторы

Реактором называется статическое электромагнитное устройство, предназначенное для использования его индуктивности в электрической цепи. По своему назначению реакторы делятся на следующие виды.

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

Коммутирующие реакторы применяются 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 включенными 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 и по другим признакам: виду магнитной системы, числу обмоток, количеству фаз, способу охлаждения, возможностям регулирования индуктивности и др. Реакторы на номинальные токи 25 ... 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 1000 А и напряжение 35 кВ и более.

Бетонные реакторы имеют обмотку, витки которой скрепляются между собой бетонными вертикальными колонками, и выпускаются на токи 150 ... 4000 А и напряжения до 35 кВ. Бетонные реакторы с алюминиевой обмоткой для внутренней установки на напряжения 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) установки. В цифровом обозначении первое число — номинальное напряжение, кВ; второе — номинальный ток, А; третье — номинальное индуктивное сопротивление, Ом. Буква Н используется для обозначения реакторов 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 1600...10 000 А. Буква З обозначает защищенное (в кожухе) исполнение реактора.

Реакторы серии СРОМ — сглаживающие, однофазные, с масляным охлаждением, выпускаются на токи от 75 до 360 А и могут иметь индуктивность от 0,05 до 0,25 Гн.

Шунтирующие реакторы серий 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 1100 до 110 000 кВ·А в сетях до 1150 кВ.

Для ограничения токов в цепях вентильных электроприводов применяются реакторы серии РТСТ, которые выпускаются на напряжения 220, 310 и 410 В, токи от 20,5 до 820 А и индуктивность от 0,0505 до 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.

Контрольные вопросы

1. В каких целях 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. Какие типы резистивных элементов вы знаете?
7. Какие материалы применяются в резистивных элементах?
8. Что такое ящик сопротивления?
9. Какие функции выполняют резисторы в электрическом приводе?
10. Как выбираются резисторы?
11. Какие функции выполняют реакторы в электроприводе и других видах электрооборудования?

Глава 11

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ И АВТОМАТИКИ

11.1. Интегральные микросхемы

Развитие электроники и микроэлектроники идет по пути создания интегрированных элементов и устройств. Это привело к появлению интегральных микросхем (ИС) и устройств управления на их основе. Интегральными называются микросхемы, элементы которых — транзисторы, диоды, резисторы и др. — неразрывно соединены электрически, конструктивно и технологически. Количество элементов в современных ИС может достигать нескольких тысяч и более на одном полупроводниковом кристалле, а сами ИС могут содержать один или более таких кристаллов.

ИС классифицируются по нескольким признакам — по виду электрических сигналов (аналоговые и цифровые), функциональному назначению, степени интеграции, быстродействию, потребляемой мощности и др. В табл. 11.1 приведена классификация ИС по назначению и даны их обозначения.

Таблица 11.1

Интегральные микросхемы и их обозначения

Вид ИС по функциональному назначению	Обозначение	Вид ИС по функциональному назначению	Обозначение
Усилители:		Источники вторичного питания:	
высокой частоты	УВ	выпрямители	ЕВ
промежуточной частоты	УР	преобразователи	ЕМ
низкой частоты	УН	стабилизаторы напряжения непрерывные	ЕН
широкополосные	УК	стабилизаторы напряжения импульсные	ЕЖ
импульсных сигналов	УИ	стабилизаторы тока	ЕТ
повторители	УЕ	схемы управления импульсными стабилизаторами напряжения	ЕУ
считывания и воспроизведения	УЛ	схемы источников вторичного питания	ЕС
индикации	УМ	прочие	ЕП
постоянного тока	УТ		
операционные	УД		
дифференциальные	УС		
прочие	УП		

Продолжение табл. 11.1

Вид ИС по функциональному назначению	Обозначение	Вид ИС по функциональному назначению	Обозначение
Наборы элементов:		дешифраторы	ИД
диодов	НД	комбинированные	ИК
транзисторов	НТ	арифметическо-логические устройства	ИА
резисторов	НР	прочие	ИП
конденсаторов	НЕ	Триггеры:	
комбинированные	НК	универсальные (типа JK)	ТВ
функциональные	НФ	с раздельным запуском (типа RS)	ТР
прочие	НП	с задержкой (типа D)	ТМ
Схемы сравнения:		счетные (типа T)	ТТ
амплитудные	СА	динамические	ТД
временные	СВ	Шмитта	ТЛ
частотные	СС	комбинированные	ТК
компараторы напряжения	СК	прочие	ТП
прочие	СП	Схемы запоминающих устройств:	
Коммутаторы и ключи:		матрицы оперативных запоминающих устройств	РМ
тока	КТ	матрицы постоянных запоминающих устройств	РВ
напряжения	КН	оперативные запоминающие устройства	РУ
прочие	КП	постоянные запоминающие устройства с однократным программированием	РТ
Логические элементы:		постоянные запоминающие устройства (масочные)	РЕ
И	ЛИ	запоминающие устройства	РЦ
НЕ	ЛН	постоянные запоминающие устройства с многократным программированием	РР
ИЛИ	ЛЛ	постоянные запоминающие устройства с ультрафиолетовым стиранием и электрической перезаписью информации	РФ
И-НЕ	ЛА		
ИЛИ-НЕ	ЛЕ		
И-ИЛИ	ЛС		
И-НЕ/ИЛИ-НЕ	ЛБ		
И-ИЛИ-НЕ	ЛР		
И-ИЛИ-НЕ/И-ИЛИ	ЛК		
ИЛИ-НЕ/ИЛИ	ЛМ		
расширители	ЛД		
прочие	ЛП		
Схемы цифровых устройств:			
регистры	ИР		
сумматоры	ИМ		
полусумматоры	ИЛ		
счетчики	ИЕ		
шифраторы	ИВ		

Продолжение табл. 11.1

Вид ИС по функциональному назначению	Обозначение	Вид ИС по функциональному назначению	Обозначение
ассоциативные запоминающие устройства	РА	схемы сопряжения с магистралью	ВА
прочие	РП	времязадающие схемы	ВИ
Преобразователи сигналов:		микрокалькуляторы	ВХ
частоты	ПС	контроллеры	ВГ
длительности	ПД	комбинированные схемы	ВК
напряжения (тока)	ПН	прочие	ВП
мощности	ПМ	Генераторы:	
уровня	ПУ	гармонических сигналов	ГС
аналога-цифровые	ПА	прямоугольных сигналов	ГГ
цифроаналоговые	ПВ	линейно-изменяющихся сигналов	ГЛ
код-код	ПР	сигналов специальной формы	ГФ
синтезаторы частот	ПЛ	шума	ГМ
делители частоты аналоговые	ПК	прочие	ГП
умножители частоты аналоговые	ПЕ	Детекторы:	
прочие	ПП	амплитудные	ДА
Схемы вычислительных средств:		импульсные	ДИ
однокристалльные микроконтроллеры	ВЕ	частотные	ДС
микропроцессоры	ВМ	фазовые	ДФ
микропроцессорные секции	ВС	прочие	ДП
схемы микропрограммного управления	ВУ	Многофункциональные схемы:	
функциональные расширители	ВР	аналоговые	ХА
схемы синхронизации	ВБ	цифровые	ХЛ
схемы управления прерыванием	ВН	комбинированные	ХК
схемы управления вводом-выводом (схемы интерфейса)	ВВ	прочие	ХП
схемы управления памятью	ВТ	Модуляторы:	
функциональные преобразователи информации	ВФ	амплитудные	МА
		частотные	МС
		фазовые	МФ
		импульсные	МИ
		прочие	МП
		Формирователи:	
		импульсов прямоугольной формы	АГ
		импульсов специальной формы	АФ

Вид ИС по функциональному назначению	Обозначение	Вид ИС по функциональному назначению	Обозначение
адресных токов	АА	Схемы задержки:	
разрядных токов	АР	пассивные	БМ
прочие	АП	активные	БР
Фильтры:		прочие	БП
верхних частот	ФВ	Фоточувствительные схемы с зарядовой связью:	
нижних частот	ФН	матричные	ЦМ
полосовые	ФЕ	линейные	ЦЛ
режекторные	ФР	прочие	ЦП
прочие	ФП		

11.2. Аналоговые элементы и устройства

Аналоговые элементы и устройства оперируют с непрерывными (аналоговыми) электрическими сигналами. Основным элементом аналоговых устройств управления является операционный усилитель, на базе которого создаются различные регуляторы и функциональные преобразователи электрических сигналов.

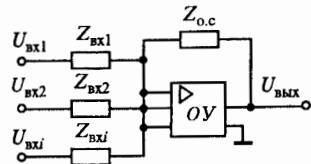


Рис. 11.1. Схема операционного усилителя

ОУ, включенный по схеме рис. 11.1, осуществляет преобразование входных сигналов U_{BXi} в соответствии с выражением

$$U_{ВЫХ} = -z_{о.с.} \sum_{i=1}^m (U_{BXi} / z_{BXi}),$$

где m — количество входных сигналов.

В простейшем случае, когда на вход ОУ поступает один входной сигнал $U_{ВХ}$, а $z_{о.с.} = R_{о.с.}$ и $z_{BX1} = R_1$, имеет место следующее преобразование входного сигнала:

$$U_{ВЫХ} = -R_{о.с.} U_{ВХ} / R_1 = -k U_{ВХ},$$

т. е. осуществляется его умножение на коэффициент $k = R_{о.с.} / R_1$ и изменение знака на противоположный. При $R_{о.с.} = R_1$ ($k = 1$) имеет место так называемое инвертирование входного сигнала по знаку.

Если $z_{о.с.} = R_{о.с.}$ и $z_{BXi} = R_{BXi}$, то ОУ осуществляет суммирование подаваемых на него электрических входных сигналов с одновременным умножением их на соответствующий коэффициент $k_i = R_{о.с.} / R_{BXi}$:

$$U_{ВЫХ} = -\sum_{i=1}^m (U_{BXi} k_i).$$

При включении во входные цепи и цепи обратных связей наряду с резисторами конденсаторов ОУ позволяют осуществлять и другие преобразования входных сигналов, необходимые для получения нужных управляющих воздействий в схемах управления и автоматики. Такие схемы получили название регуляторов. В табл. 11.2 приведены некоторые распространенные схемы и характеристики регуляторов с использованием ОУ.

Таблица 11.2

Схемы, параметры и переходные функции регуляторов

Тип регулятора	Схема	Вид преобразования	Параметры регулятора	Переходная функция
П		$U_{ВЫХ} = k U_{ВХ}$	$k = R_{о.с.} / R_1$	
И		$U_{ВЫХ} = \frac{1}{T} \int U_{ВХ} dt$	$T = R_1 C_{о.с.}$	
Д		$U_{ВЫХ} = T \frac{dU_{ВХ}}{dt}$	$T = R_{о.с.} C_1$	
А		$U_{ВЫХ} = k U_{ВХ} + \frac{1}{T} \int U_{ВХ} dt$	$k = R_{о.с.} / R_1$ $T = R_{о.с.} C_{о.с.}$	
ПИ		$U_{ВЫХ} = k \left(U_{ВХ} + \frac{1}{T} \int U_{ВХ} dt \right)$	$k = R_{о.с.} / R_1$ $T = R_{о.с.} C_{о.с.}$	
ПД		$U_{ВЫХ} = k \left(U_{ВХ} + T \frac{dU_{ВХ}}{dt} \right)$	$k = R_{о.с.} / R_1$ $T = R_1 C_1$	
ПИД		$U_{ВЫХ} = k \left[U_{ВХ} \left(1 + \frac{T_2}{T_1} \right) + T \frac{dU_{ВХ}}{dt} + \frac{1}{T} \int U_{ВХ} dt \right]$	$k = R_{о.с.} / R_1$ $T_1 = R_{о.с.} C_{о.с.}$ $T_2 = R_1 C_1$	

Пропорциональный П-регулятор (см. первую строку табл. 11.2) осуществляет рассмотренное выше пропорциональное преобразование входного сигнала с коэффициентом $k = R_{oc}/R_1$ с инвертированием знака входного сигнала. В столбце 5 табл. 11.2 показана зависимость изменения во времени выходного сигнала П-регулятора при подаче на него ступенчатого входного сигнала в момент времени t_0 , называемая переходной функцией.

Схемы и характеристики интегрального И-регулятора, дифференциального Д-регулятора, апериодического А-регулятора, пропорционально-интегрального (ПИ), пропорционально-дифференциального (ПД) и пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) приведены в последующих строках табл. 11.2.

ОУ широко используются также в схемах компараторов, формирователей импульсов, генераторов электрических сигналов, ограничителей, усилителей и во многих других устройствах.

Основные параметры наиболее распространенных ОУ приведены в табл. 11.3, где приняты следующие обозначения: K — коэф-

Таблица 11.3

Технические характеристики операционных усилителей

Тип	$K \cdot 10^3$	$U_{см}, мВ$	$U_{вых}, В$	$I_{вых}, мА$	$U_{пит}, В$
KP140УД1	2	7	6	3	$\pm 12,6$
KP140УД5	1	5	6,5	3	$\pm 12,6$
KP140УД6	70	5	11	25	± 15
KP140УД7	50	4	11,5	20	± 15
KP140УД708	50	4	11,5	20	± 15
KP140УД8	50	20	10	20	± 15
KP140УД9	35	5	10	22	$\pm 12,6$
KP140УД14	50	2	13	20	± 15
KP140УД18	50	10	11,5	—	± 15
K140УД22	25	10	11	—	± 15
KP544УД1	50	15	10	20	± 15
K583УД1	25	5	10	—	± 15
K513УД2	20	7,5	10	—	± 15
K1409УД1	20	15	13	—	± 15
K140УД13	0,01	50	1,0	—	± 15
K140УД17А	200	75	10	—	± 15
140УД21	10^3	60	10,5	—	± 15
140УД24	10^3	5	4,7	—	± 5
140УД26А	10^3	25	12	—	± 15
140УД26Б	10^3	60	12	—	± 15

Окончание табл. 11.3

Тип	$K \cdot 10^3$	$U_{см}, мВ$	$U_{вых}, В$	$I_{вых}, мА$	$U_{пит}, В$
140УД26В	700	100	11,5	—	± 15
140УД27А	10^3	25	12	—	± 15
140УД27Б	10^3	60	12	—	± 15
140УД27В	700	100	11,5	—	± 15
KM5ЯУД1А	500	$1,5 \cdot 10^3$	10	—	± 15
K157УД1	500	5	12	1000	± 15

фициент усиления ОУ; $U_{см}$, $U_{вых}$ и $U_{пит}$ — соответственно напряжения смещения, выхода и питания; $I_{вых}$ — ток выхода.

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), которая предназначалась главным образом для применения в автоматизированном электроприводе.

Для реализации схем регуляторов в УБСР-АИ применяются ячейки операционных усилителей У2-АИ и У4-АИ, содержащие по два усилителя на микросхемах К1УТ402А. Ячейки содержат также элементы цепей входа и обратной связи ОУ и ограничения выходного сигнала.

Функциональные преобразователи, входящие в состав УБСР-АИ, позволяют возводить в квадрат и извлекать квадратный корень из входного сигнала (ячейка ПК-1АИ), умножать и делить входные аналоговые сигналы (ячейки УМ-1АИ, УМ-2АИ, МДУ-1АИ), выделять модуль сигнала (ячейка ВМ-1АИ), осуществлять различные нелинейные преобразования между входным и выходным сигналами (ячейка ПФ-1АИ). Эти преобразователи также реализованы на базе одного или нескольких ОУ.

Командные (задающие) устройства в УБСР-АИ реализуются на базе сельсинного командоаппарата типа СКА. Они выпускаются в трех исполнениях — с приводом от рукоятки (СКАР), pedalным приводом (СКАП) и маховичковым приводом (СКАЗ).

На основе сельсинного командоаппарата выполняются и задатчики интенсивности типов БЗ и БСШД. В задатчике интенсивности БЗС ротор перемещается однофазным реверсивным исполнительным двигателем типа РД-09, а в задатчике БСШД — с помощью шагового двигателя типа ШДР711. В УБСР-АИ предусмотрен и статический (без применения двигателя) задатчик интенсивности типа ЗТ-2АИ, который обеспечивает изменение своего выходного напряжения в пределах $\pm 10 В$ за время 0,5 ... 120 с.

Реализация цепей обратных связей по току и напряжению в УБСР-АИ осуществляется с помощью ячеек датчиков тока и напряжения ПН-1АИ и ПН-2АИ. Они позволяют регулировать коэффициенты обратных связей и обеспечивают гальваническую развязку силовых цепей и цепей управления.

Устройства согласования применяются для соединения в единую схему разнообразных элементов управления. В УБСР-АИ таким устройствам относятся ячейка согласующего усилителя У1-АИ, позволяющая соединять элементы УБСР-АИ с другими устройствами, имеющими входные сигналы +24 В; ячейки гальванической развязки РГ-2АИ и РГ-3АИ, которые применяются для потенциального разделения электрических цепей с напряжением до 1000 В; ячейки фильтров Ф1-АИ и Ф2-АИ, обеспечивающие фильтрацию электрических сигналов в схеме управления.

11.3. Дискретные элементы и устройства

Тенденцией развития систем управления и автоматизации является широкое применение в них дискретных элементов и устройств. Такие схемы, получившие название цифровых, характеризуются высокими точностью, быстродействием и надежностью в работе, малым энергопотреблением и хорошей помехоустойчивостью. Цифровые схемы управления естественным образом сочетаются с ЭВМ, составляя с ними единую автоматизированную систему управления (АСУ) технологическим процессом, предприятием или отраслью.

В некоторых случаях целесообразным оказывается создание смешанных, цифроаналоговых схем, сочетающих в себе наилучшие свойства аналоговых и дискретных элементов и устройств. Рассмотрим основные виды 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 ИС, являющихся современным их исполнением.

На рис. 11.2 показаны схемы простейших ЛЭ.

Логический элемент НЕ (см. 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 $Y = 1$.

Логический элемент ИЛИ. Сигнал на выходе элемента появляется при наличии хотя бы одного входного сигнала — X_1 или X_2 (см. рис. 11.2, б). Операция ИЛИ может выполняться для любого количества входных сигналов.

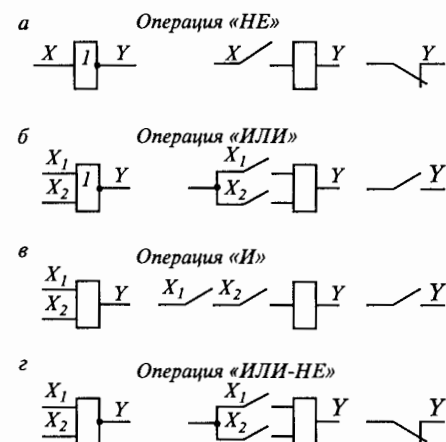


Рис. 11.2. Логические элементы:
а — «НЕ»; б — «ИЛИ»; в — «И»; г — «ИЛИ-НЕ»

Логический элемент И. Сигнал на выходе $Y = 1$ (см. рис. 11.2, в) появляется только в том случае, когда оба входных сигнала равны 1. В остальных случаях $Y = 0$.

Логический элемент ИЛИ-НЕ (см. рис. 11.2, г). В этом более сложном элементе 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.

ИС логических элементов могут иметь различную технологию изготовления:

ТТЛ — транзисторно-транзисторная логика и ее разновидность ТТЛШ;

КМОП — логика на основе комплементарных полевых транзисторов;

ЭСЛ — эмиттерно-связанная логика;

И2Л — интегральная инжекционная логика.

В настоящее время наибольшее распространение получили логические ИС по технологиям ТТЛ (отечественные серии 155, 158, 131, 555, 531, КР1533, КР1531) и КМОП (серии К176, К561, К1561, К1564, К1554).

Логические элементы выпускаются в составе серии «Логика И», в которой используются ИС К155 и К511. Базовым элементом серии «Логика И» является логический элемент И-НЕ. В состав серии «Логика И», кроме логических, входят элементы согласования, времени и усилители.

Элемент согласования содержит миниатюрное герконовое реле типа РПГ-6 с малым энергопотреблением и достаточно высоким быстродействием, которое обеспечивает также гальваническую развязку цепей управления. Элементы времени в составе серии «Логика И» обеспечивают выдержки времени от 0,01 до 10 с. Усилители предназначены для управления по сигналам логических элементов исполнительными механизмами, потребляющими мощность до нескольких десятков ватт. Они выполняются на мощных транзисторах и имеют дискретный выход.

Триггер. Является одним из наиболее распространенных элементов цифровых устройств управления. Он обладает двумя устойчивыми состояниями и способен скачком переходить из одного состояния в другое под воздействием внешнего управляющего сигнала. Триггер может рассматриваться как элементарная ячейка памяти, которая хранит 1 бит информации, т. е. он 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 следующие типы триггеров: *R-S*-триггер, *J-K*-триггер, *D*-триггер, *T*-триггер, характеристики которых подробно рассмотрены в [38].

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 (десять), В (одиннадцать), С (двенадцать), D (тринадцать), E (четырнадцать), F (пятнадцать)] систем счисления. Шестнадцатеричная и восьмеричная системы позволяют осуществлять более краткую и удобную запись информации в двоичной форме.

К вычислительным устройствам относятся счетчики, сумматоры и компараторы (устройства сравнения).

Счетчиком является цифровой узел, предназначенный для подсчета числа входных сигналов. Счетчики подразделяются на суммирующие, вычитающие и реверсивные. Реверсивные счетчики обеспечивают как суммирование, так и вычитание чисел, а вычитающие — только вычитание.

Сумматор — это цифровой узел, выполняющий операцию сложения двух чисел. Обычно сумматор представляет собой совокупность одноразрядных суммирующих схем, работающих в соответствии с таблицей двоичного сложения. Сумматоры позволяют производить и вычитание чисел, для чего операцию вычитания заменяют операцией сложения уменьшаемого с поразрядным дополнением вычитаемого.

Компаратором называется цифровой узел, выполняющий 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. Осуществляют различные логические операции над дискретными электрическими сигналами. К ним относятся распределители импульсов, шифраторы, дешифраторы и мультиплексоры.

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: оперативные и постоянные.

Регистр предназначен для записи, запоминания и выдачи многоразрядного двоичного числа и выполнения над ним некоторых 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).

Запоминающее устройство (ЗУ) обеспечивает 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.

ЗУ, предназначенные для постоянного хранения единой записанной информации, называются постоянными запоминающими устройствами (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. Применяются для взаимного преобразования аналоговых и цифровых сигналов. Они могут выполняться в виде преобразователя код-напряжение (ПКН), преобразующего двоичный или двоично-десятичный код в напряжение постоянного тока; преобразователей частота-напряжение (ПЧН) и 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 числа, 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.

На базе этих цифровых узлов в рамках УБСР-ДИ разработаны типовые блоки управления, позволяющие выполнять сложные арифметические и логические операции.

В УБСР-ДИ принят унифицированный электрический сигнал 0...10 В, ± 5 мА, позволяющий согласовывать ее работу с УБСР-АИ. Для логических МОП-элементов логический ноль соответствует напряжению от 0 до -1 В, а логическая единица — напряжению от -9,5 до -20 В. Для ТТЛ-элементов эти уровни соответственно составляют 0...0,4 В и 2,4...5 В.

11.4. Микропроцессорные средства управления

В настоящее время микропроцессорные средства широко применяются во всех областях деятельности человека. Их основой является *микропроцессор* (МП) — программно-управляемое цифро-

вое 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 нескольких десятков квадратных миллиметров, что определяет малое энергопотребление МП, его надежность в работе, небольшие массу и габариты, а при массовом выпуске — невысокую стоимость БИС. Выпуск БИС для МП в развитых странах удваивается примерно каждые два года.

В табл. 11.4 приведены технические данные отечественных микропроцессорных БИС.

Таблица 11.4
Технические характеристики микропроцессорных БИС

МП-ком-плект	Разрядность, архитектура	Базовая технология	Число БИС	Система команд*
K580	8, однокристалльный МП	n-МДП	8	K580
K581	16, многокристалльный одно-секционный МП	n-МДП	4	Э60
KP582	4m, многокристалльный много-секционный МП	И ² Л	2	МикроКом
K583	8m, многокристалльный много-секционный МП	И ² Л	4	»
	4m, многокристалльный много-секционный МП	И ² Л	5	»
K586	16, однокристалльный МП	n-МДП	4	K580
K587	4m, многокристалльный много-секционный МП	КМДП	4	МикроКом
K588	16, многокристалльный одно-секционный МП	КМДП	8	Э60
K589	2m, многокристалльный много-секционный МП	ТТЛШ	8	МикроКом
K1800	4m, многокристалльный много-секционный МП	ЭСЛ	8	»
K1801	16, однокристалльная микроЭВМ	n-МДП	3	Э60
K1802	8m, многокристалльный много-секционный МП	ТТЛШ	11	МикроКом
K1804	4m, многокристалльный много-секционный МП	ТТЛШ	4	»
K1809	16, многокристалльный одно-секционный	n-МДП	6	»
K1810	16, однокристалльный МП	n-МДП	9	K1810
KM1813	8, однокристалльная микро-ЭВМ с аналоговым вводом	n-МДП	4	МикроКом

МП-ком-плект	Разрядность, архитектура	Базовая технология	Число БИС	Система команд*
K1815	8, 16, 32, однокристалльный МП	ТТЛШ	7	»
K1816BE48	8, однокристалльная микроЭВМ	n-МДП	4	K1816BE48
K1816BE51	8, однокристалльная микроЭВМ	n-МДП	4	K1816BE51
K1820	4, однокристалльная микроЭВМ	n-МДП	2	K1820
K1821	8, однокристалльный МП	n-МОП	3	K580

* МикроКом — программирование на уровне микрокоманд; Э60 — Ассемблер микроЭВМ «Электроника-60»; остальное — Ассемблер указанного типа МП.

Структурная схема микропроцессора показана на рис. 11.3, а. 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).

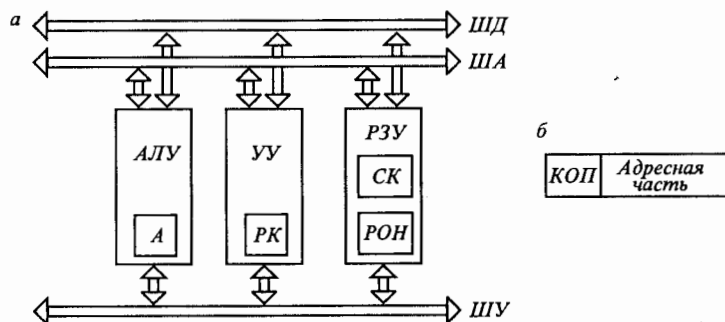


Рис. 11.3. Схема (а) и структура команды (б) микропроцессора

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 находится в специальном регистре — аккумуляторе (А), а другой — в регистрах РЗУ или памяти МП. Иногда АЛУ называют операционной частью МП.

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. Для этого команда имеет структуру, приведенную на рис. 11.3, б. Первая часть команды содержит код операции (КОП), 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 четырехразрядными числами, а современные — с восьми- и шестнадцатиразрядными. 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. Например, язык этого типа для отечественного восьмиразрядного МП серии К580 включает около 80 типовых команд — арифметических, логических, пересылки данных, передачи управления и ряд других.

Еще 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.

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

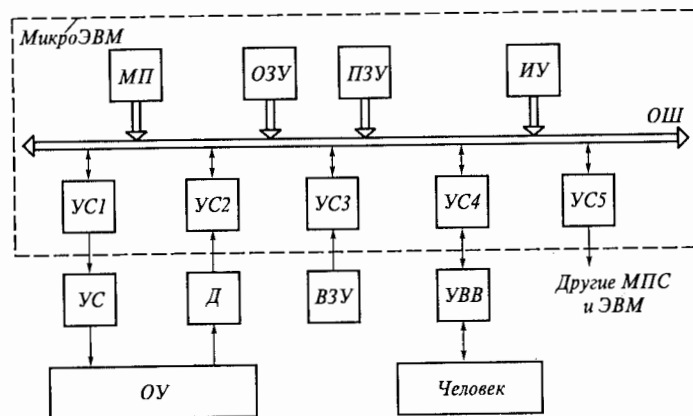


Рис. 11.4. Схема микропроцессорной системы

объектами; внешние запоминающие устройства (ВЗУ), устройства ввода-вывода информации (УВВ), общая шина (ОШ), включающая в себя ШД, ШУ и ША.

Память ОЗУ и ПЗУ служит 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 (УВВ) 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 (АЦП) и цифроаналоговые (ЦАП) 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 согласовывают работу данной МПС с другими МПС и ЭВМ. Устройства такого типа получили название адаптеров.

Интерфейс устройств (ИУ) – это совокупность электронных схем, шин и алгоритмов (программ), обеспечивающих управление передачей информации между МП, памятью и внешними устройствами, к которым относятся УВВ, ВЗУ и Д. Говоря кратко, 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 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.

Комплекс технических средств логических информационно-управляющих систем КТС-ЛИУС-2 выполнен на основе МП серий К580, К1821 и К18910 и имеет в своем составе ОЗУ, ПЗУ и ППЗУ, средства сопряжения с другими устройствами автоматики и ЭВМ, устройства ввода-вывода и отображения информации и другие блоки. Программирование работы комплекса осуществляется на языке Ассемблер. Другим примером унифицированных комплексов является комплекс МСУВТ В7/В9. Программируемые контроллеры будут подробно рассмотрены в следующем разделе этой главы.

2. Специализированные мини- и микроЭВМ ориентированы на конкретный тип объекта управления и наиболее часто используются как встраиваемые. Примерами таких ЭВМ служат устройства числового программного управления (ЧПУ) станками «Электроника-НЦ31», «Электроника МС-2101», устройства управления комплектных тиристорных электроприводов БВУ-9200, БО1-86 и др.

3. Мини- и микроЭВМ общего назначения, персональные ЭВМ, управляющие мини- и микроЭВМ 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, таких как оптимизация технологических процессов, статистические методы их контроля, хранение и обработка больших объемов информации, управление в реальном масштабе времени и др. Примером управляющих ЭВМ являются микроЭВМ типа СМ-1810, С5-41, СМС 121,2 и др. Подробно микропроцессорные системы рассмотрены в [39].

11.5. 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 представляют 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) (арифметическо-логическое устройство АЛУ), 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 $U_{вх1}, U_{вх2}, \dots, U_{вхn}$, содержащие информацию о ходе технологического процесса, режимах работы отдельных частей управляемого объекта, состоянии защиты и т. д., поступают на вход УС1, которое обеспечивает их гальваническую развязку и формирование из них сигналов, соответствующих величине и виду используемых в данном ПК.

Сформированные таким образом сигналы поступают на вход К1, который последовательно подает на ЛП тот из них, адрес которого содержится 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 от 5 до 250 В постоянного или переменного тока, общее число которых может достигать тысячи и более. Выходные устройства сопряжения

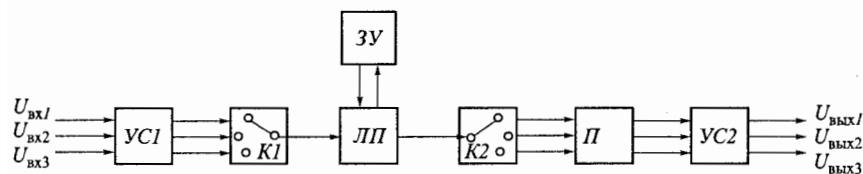


Рис. 11.5. Схема программируемого контроллера

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.

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 — Граф-сет, Ярус-2, Фокон-2 или модифицированные традиционные языки программирования (Бейсик, Паскаль).

На рис. 11.6 показана схема, иллюстрирующая применение ПК в структуре управления, а в табл. 11.5 приведены параметры ПК, выпускаемых предприятиями СНГ.

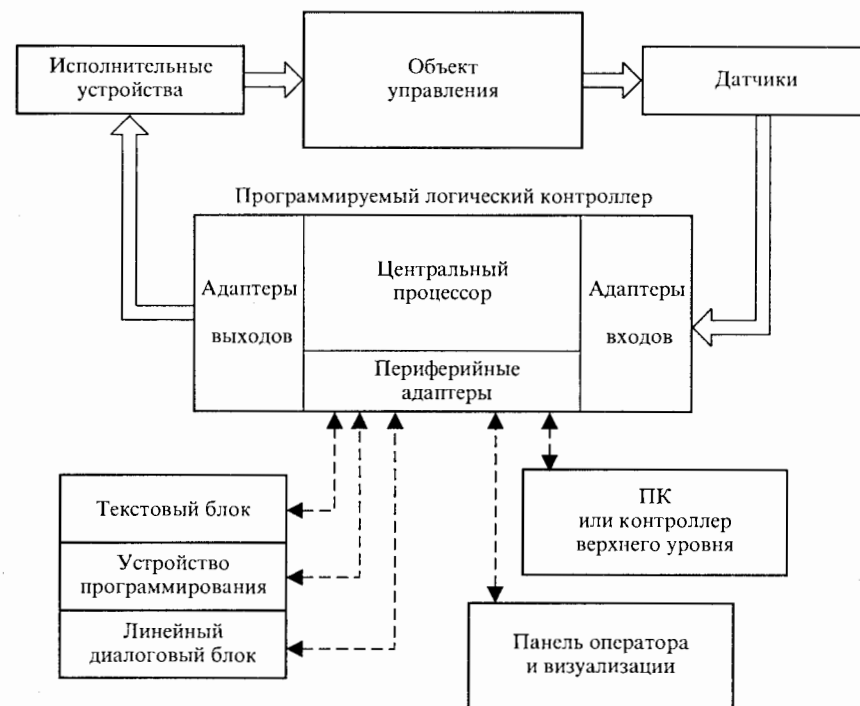


Рис. 11.6. Использование программируемого контроллера в структуре управления

Технические характеристики программируемых контроллеров

Тип	Количество входов/выходов	Параметры дискретных сигналов		Язык программирования	Габариты, мм
		Входы	Выходы		
УПП (Тверь)	Общее число 1024	= 5, 24, 110 В	= 24, 110 В, релейный выход	Машинный код	265 × 482 × 207
Б9601 (Тверь, Александрия, Чебоксары)	256/256	= 5, 12, 15, 24, 110, 220 В; ~24, 110, 220 В	= 24 В; ~24, 110 В, релейный выход	РКС, булева алгебра	264 × 482 × 207
КПБ11-05 (Чебоксары)	1024/1024	= 5, 12, 15, 24, 110, 220 В; ~24, 110, 220 В	= 24 В; ~24, 110 В, релейный выход	РКС, булева алгебра, мнемокод	265 × 482 × 207
КПМ-30-01-0 (Чебоксары)	64/64	= 24 В	= 24 В	Ассемблер	886 × 240 × 80
КПМ-30-01-1 (Чебоксары)	64/64 без гальванической развязки; 4/12 с гальванической развязкой	= 24 В	= 24 В	Ассемблер	—
КПМ-11-03 (Чебоксары)	16/16	= 24, 110 В	= 24 В	Ассемблер	—
КП1 (Москва)	1024/1024	= 12, 220 В ~12, 220 В	= 12, 220 В ~12, 220, релейный выход	РКС, мнемокод	220 × 700 × 800
КПБ21-02 (Москва)	Общее число 256	= 12, 220 В ~12, 220 В	= 12, 110, 220 В, релейный выход	РКС, мнемокод	555 × 580 × 415

Продолжение табл. 11.5

Тип	Количество входов/выходов	Параметры дискретных сигналов		Язык программирования	Габариты, мм
		Входы	Выходы		
МикроДАТ МУ57.0 (Нальчик)	Общее число 1920	= 12, 24 В ~110, 220 В	= 24 В ~110 В	РКС, булева алгебра, мнемокод	1800 × 800 × 400
МикроДАТ КМ3414 (Житомир)	Общее число 992	= 12, 24, 110, 220 В; ~110, 220 В	= 24, 48 В ~110, 220 В	РКС, булева алгебра	1800 × 800 × 400
МикроДАТ МУ580 (Киев)	Общее число 248	= 12, 24 В ~110, 220 В	= 24 В ~110 В	РКС, булева алгебра, мнемокод	900 × 800 × 490
МикроДАТ МУ590 (Нальчик)	Общее число 2048	= 12, 24 В ~110, 220 В	= 24 В ~110 В	РКС, булева алгебра, мнемокод	1800 × 800 × 400
МикроДАТ МУ59.01 (Краснодар)	Общее число от 12 до 116	= 24 В ~110 В	= 24 В ~110 В	Булева алгебра	290 × 80 × 167
МБ570 (Киев)	Общее число 32, 64, 128	= 12, 24 В ~110, 220 В	= 24 В ~110 В	РКС, булева алгебра, мнемокод	—
МСУВТ (Александрия)	Общее число 240	= 24 В ~110, 220 В	= 24 В ~220 В	Ассемблер	482 × 266 × 232
СМ9107	Общее число 146	= 12, 220 В ~110, 220 В	= 24 В ~24 В	Ассемблер	540 × 540 × 540

Тип	Количество входов/выходов	Параметры дискретных сигналов		Язык программирования	Габариты, мм
		Входы	Выходы		
GEM80	Общее число от 20 до 8000	—	—	PKC	—
МКП1 (Могилев)	Общее число 48	= 24 В	= 24 В	—	480 × 275 × 170
Ломиконт (Чебоксары)	—	= 24 В	= 24 В	Микрол	—
Ремиконт (Чебоксары)	512/256	= 24 В	= 24 В	Язык функциональных блоков	—
ПК-85 (Чернигов)	32/32	= 24, 110 В	= 24, 110 В	ПАТ, Ассемблер ФОРТ-Т	—
ФК-5001 (Киев)	Общее число 256 (один блок)	= 5, 12, 24 В ~110, 220 В	= 24 В ~24, 110 В релейные выходы	Мнемикод	485 × 300 × 200
УПУ-ТП (Пенза)	Общее число 64	= 24 В ~110, 220 В	= 24 В ~110, 220 В релейные выходы	—	482 × 266 × 280
ОПК-32...512 ПК512 (Киев)	Общее число от 32 до 512 (один блок)	= 24 В ~110 В	= 24 В ~110 В	—	482 × 276 × 245
МикроУРС (Харьков)	Общее число 256 дискретных и импульсных, 128 аналоговых	= 24 В ~36, 48, 110, 220 В	= 24 В ~36, 48, 110, 220 В	—	145 × 285 × 253 215 × 285 × 253 295 × 285 × 253 375 × 285 × 253

Кроме указанных в табл. 11.5 выпускаются также следующие типы ПК: С100, С200, С300 (АО «АвтоВАЗ», Тольятти); МПК-01 и МКАУ-011 (ВФ «Элна», Москва); МФК, ТКМ51, ТКМ52 (АО «ТЕКОН»); VME и АТ96 («ЭЗАН», Черноголовка, Московская область); ЭК2000 («ЭМИКОН», Москва); КУРС-2000 (НТЦ «Контроллеры и управляющие распределенные системы», Москва); ДС4001, ДС4002 («Дискретные системы», Москва); ВИРА-ПКМ (СБ РАН, Таруса).

11.6. 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. Эти 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.

1. Светоизлучающий диод (СИД) — полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования электрической энергии в энергию светового излучения. СИД в основном применяются для индикации готовности электротехнических устройств к работе, сигнализации о наличии на них напряжения и аварийных ситуаций и других состояниях различных объектов.

СИД 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 составляет 2,5...3,5 В, а прямые токи равняются единицам и десяткам миллиампер.

2. Инфракрасный излучающий диод (ИК-диод) — 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 этого 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 миллиампер.

3. **Фоторезистор** — полупроводниковый прибор, сопротивление которого меняется в зависимости от его освещенности.

4. **Фотодиод** — диод, проводимость которого возникает при воздействии на него оптического излучения.

5. **Фототиристор** — прибор, который переходит из одного устойчивого состояния в другое в результате воздействия на него светового потока.

6. **Фототранзистор** — полупроводниковый прибор, действие которого основано на использовании явления внутреннего эффекта.

7. **Оптопара** — 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 (рис. 11.7).

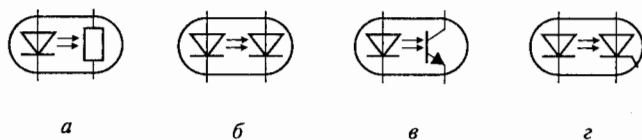


Рис. 11.7. Условные изображения оптопар:

а — резисторная; б — диодная; в — транзисторная; г — тиристорная

В резисторной оптопаре 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 от 0,2 до 20 мА и содержат один или два фоторезистора (ОЭП-7, 14 и 16).

В диодной оптопаре 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 металлостеклянных 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, 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 фотоприемником является фототранзистор. Обозначение транзисторных оптопар: малой мощности АОТ123, 126, 128 и ЗОТ123, 126; средней мощности АОТ110, 122, 127 и ЗОТ110, 122, 127, двухканальных АОТ101.

В тиристорной оптопаре в качестве приемного элемента используется кремниевый фототиристор. Маломощные оптотиристоры выпускаются в составе серий АОУ103(А, Б, В) и ЗОУ103(А, Б, В, Г, Д) в металлостеклянном корпусе и АОУ115(А, Б, В) в пластмассовом корпусе.

Мощные оптотиристоры типа ТО115 выпускаются на ток 10 А и рабочие напряжения 100 ... 1000 В; типа ТО132 — на токи 25 и 40 А и напряжения 200 ... 1200 В; типа ТО142 и ТО165 — на токи 50, 63, 80 А и напряжения 200 ... 1200 В.

Тиристоры оптронные симметричные (оптосимисторы) типа ТСО 142, 152 выпускаются на токи 25 ... 80 А и напряжения 300 ... 1200 В. Модули оптотиристорные МТОТО и оптотиристорно-диодные МТОД выпускаются на токи до 160 А и напряжения до 1200 В, а МТО2 — на токи 10 ... 25 А и напряжения 400 ... 1400 В.

Контрольные вопросы

1. Что такое интегральная микросхема?
2. Какие преобразования электрических сигналов могут выполнять ИМС?
3. Какие элементы называются аналоговыми?
4. Что такое операционный усилитель?
5. Какие типы регуляторов вы знаете?
6. Какие типы цифровых элементов и устройств вы знаете?
7. Что такое логический элемент?
8. Какие виды логических операций вы знаете?
9. Что такое триггер?
10. Какую структуру имеет микропроцессор?
11. Какие элементы и устройства входят в состав микропроцессорной системы?
12. Какие языки программирования вы знаете?
13. Что такое программируемый контроллер?
14. Какие характерные признаки имеет программируемый контроллер?
15. Какие типы оптоэлектронных приборов вы знаете?
16. Что такое оптопара и какие типы оптопар вы знаете?

Глава 12

СИЛОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Преобразователем называется электротехническое устройство, преобразующее электроэнергию с одними значениями 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 делятся на:

- 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.

Иногда к преобразователям относят полупроводниковые коммутационные аппараты, которые были рассмотрены в предыдущих главах, и источники вторичного и бесперебойного питания.

Если силовая часть преобразователей построена на полупроводниковых элементах — 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 оборудования. К недостаткам преобразователей этого типа относятся низкие перегрузочная способность полупроводниковых приборов и помехозащищенность, а также вносимые при их работе искажения в синусоидальную форму питающего напряжения.

12.1. 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. Условное изображение диода приведено на рис. 12.1, а.

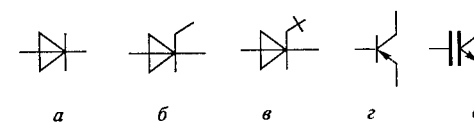


Рис. 12.1. Условные изображения:

а — диода; б — тиристора однооперационного; в — тиристора двухоперационного; г — транзистора; д — транзистора полевого с изолированным затвором

Для охлаждения силовых диодов используются специальные охладители (радиаторы), по способу соединения с которыми диоды делятся на штырьевые, фланцевые и таблеточные.

По своим характеристикам и назначению диоды делятся на диоды общего назначения, быстро восстанавливающиеся (высоко-частотные) 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.

Быстро восстанавливающиеся диоды имеют небольшое время восстановления запирающих свойств — порядка 3 ... 5 мкс, что позволяет использовать их в высокочастотных цепях и устройствах (до 10 кГц и выше). Мощные диоды этого типа выпускаются на ток 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 параметры диодов общего назначения (обозначения Д, В и ДЛ, ВЛ — лавинные) и быстро восстанавливающихся (обозначения ДЧ и ВЧ).

Кроме отдельных диодов выпускаются силовые диодные модули, представляющие собой два или более диодов, собранных по определенным, наиболее часто встречающимся схемам.

Таблица 12.1

Технические характеристики силовых диодов

Тип	I_{FSM} , кА	U_{RRM} , В	U_{FM} , В, не более	Масса, кг
B10; B25	0,5; 0,9	150 ... 1600	1,35	0,045 ... 0,084
B50	2,0	150 ... 1600	1,35	0,19
B200; B320	6,0	150 ... 1600	1,35; 1,6	0,5; 1,1
B6-200	6,0	400 ... 1600	1,35	0,29
B500	9,0	150 ... 3800	2,0	0,31
B800	15,0	150 ... 2400	1,85	0,31
B2-320	6,5	150 ... 4000	1,9	0,15
B2-500	7,0	1000 ... 3000	1,8	0,47
B2-1600	28,0	300 ... 1600	1,5	0,4
Д112-10; Д112-16	0,21; 0,25	100 ... 1400	1,35	0,006
Д112-25; Д122-32	0,3; 0,4	100 ... 1400	1,35	0,006; 0,012
Д122-40; Д132-50	0,5; 1,0	100 ... 1400	1,35	0,012; 0,027
Д132-63; Д132-80	1,1; 1,2	100 ... 1400	1,35	0,027
Д133-400	7,0	1000 ... 4000	2,1	0,2
Д133-500	9,0	1000 ... 2800	1,7	0,2
Д143-630	10,0	1000 ... 4000	1,6	0,28
Д133-800; Д143-1000	12; 18,0	400 ... 1600	2,1; 1,55	0,2; 0,28
Д143-800	15,0	1800 ... 2800	1,7	0,28
Д253-1600	28,0	400 ... 2000	1,5	0,55
Д141-100; Д151-125	1,9; 2,2	300 ... 1600	1,45; 1,35	0,1; 0,18
Д151-160; Д161-200	3,0; 5,5	300 ... 1600	1,35	0,18; 0,3
Д161-250; Д161-320	6,4; 7,5	300 ... 1600	1,35	0,3
Д171-400	10,5	300 ... 1600	1,5	0,51
ВЛ10; ВЛ25	0,5; 0,9	600 ... 1200	1,35	0,045; 0,084
ВЛ50	2,0	600 ... 1200	1,35	0,19
ДЛ112-10; ДЛ112-16	0,21; 0,25	400 ... 1500	1,35	0,006
ДЛ112-25; ДЛ112-32	0,27; 0,4	400 ... 1500	1,35	0,006; 0,012
ДЛ122-40; ДЛ132-50	0,5; 1,0	400 ... 1500	1,35	0,012; 0,027
ДЛ132-63; ДЛ132-80	1,1; 1,2	400 ... 1500	1,35	0,027
ВЛ200; ВЛ320	6,0; 6,6	600 ... 1200	1,35; 1,6	0,5; 1,1
ДЛ161-200; ДЛ171-320	5,5; 7,5	400 ... 1400	1,45	0,3; 0,51
ДЛ121-320; ДЛ133-500	5,5; 7,5	400 ... 1400	1,45	0,07; 0,2

Окончание табл. 12.1

Тип	I_{FSM} , кА	U_{RRM} , В	U_{FM} , В, (не более)	Масса, кг
ДЧ151-80; ДЧ151-100	2,4; 2,7	500 ... 1400	1,85; 1,55	0,18
ДЧ161-125; ДЧ161-160	4,5; 5,0	500 ... 1400	1,8; 1,45	0,29
ДЧ171-250; ДЧ171-320	8,0; 9,0	500 ... 1400	2,1; 1,65	0,51
ДЧ143-800; ДЧ143-1000	12,0; 14,5	600 ... 1800	3,0; 2,3	0,2
ВЧ2-160; ВЧ2-200	3,5; 4,3	100 ... 1000	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.

Тиристоры. Тиристором называется трехэлектродный (анод-катод и 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. Условное изображение наиболее часто используемых одно- и двухоперационных тириستоров приведено соответственно на рис. 12.1, б, в.

Незапираемые (однооперационные) тиристоры являются неполностью управляемыми приборами, поскольку могут закрываться только при наличии более высокого потенциала на катоде 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. Приняты следующие обозначения силовых тириستоров: обычного исполнения — Т и ТЛ (лавинные), быстросовосстанавливающиеся и высокочастотные — ТБ и ТЧ, симметричные (триаки) — ТС, тиристоры-диоды — ТД, запираемые тиристоры — ТЗ.

Разновидностью тириستоров являются оптоотиристоры, которые управляются световым потоком и имеют обозначение ТО.

По своему конструктивному исполнению тиристоры делятся на штыревые, фланцевые и таблеточные. Для охлаждения тириستоров используются охладители (радиаторы), выполняемые из алюминиевых или медных (реже) сплавов. В табл. 12.2 приведены параметры тиристоров Т, ТЛ, ТБ, ТЧ и ТС.

Таблица 12.2

Технические характеристики силовых тиристоров

Тип	I_{ism} , кА	U_{drm} , В	U_{TM} , В, не более	Масса, кг
T112-10; T112-16	0,15; 0,2	100 ... 1800	1,85; 1,8	0,007
T122-20; T122-25	0,3; 0,35	100 ... 1800	1,75	0,012
T130-40; T130-50	0,75; 0,8	100 ... 1200	1,75	0,013
T130-63; T130-80	1,2; 1,35	100 ... 1200	1,65	0,026
T132-40; T132-50	0,75; 0,8	100 ... 1200	1,75	0,027
T132-16; T132-25	0,22; 0,33	1300 ... 2000	2,2	0,027
T142-32	0,38	1300 ... 2000	2,1	0,053
T142-40; T142-50	0,7; 0,75	1300 ... 2000	2,1	0,053
T142-63; T142-80	1,2; 1,35	100 ... 200	1,65	0,053
T152-63; T152-80	1,1; 1,2	1300 ... 2000	1,95	0,84
T25; T50	0,8; 1,5	100 ... 1400	1,9; 1,75	0,12; 0,19
T100; T160	3,0; 3,5	100 ... 1400	1,95; 1,75	0,44
T123-200; T123-250	3,3; 4,5	400 ... 1600	1,9; 1,75	0,07
T123-320	5	400 ... 1600	1,65	0,07
T133-320	6	900 ... 2000	2,0	0,2
T133-400	7	400 ... 1600	1,75	0,2
T143-400	8	1800 ... 2400	2,15	0,28
T143-500; T143-630	10; 12	400 ... 1600	1,8; 1,75	0,28
T151-100	2,0	300 ... 1600	1,85	0,18
T161-125; T161-160	2,5; 3,3	300 ... 1600	1,75	0,3
T171-200; T171-250	5; 6	300 ... 1600	1,75	0,51
T171-320	7	300 ... 1600	1,6	0,51
T153-630	14	1300 ... 2400	2,1	0,55
T153-800	16	1000 ... 1800	1,9	0,55
T253-800	16	2000 ... 2400	2,1	0,55
T253-1000	20	1000 ... 1800	1,8	0,55
T253-1250	26	400 ... 1200	1,6	0,55
T353-800	15	2800 ... 3200	2,3	0,55
T173-1250	20	3000	2,5	1,6
T2-160	3,5	400 ... 1000	1,6	0,3
T2-250	5,5	400 ... 1600	1,85	0,15
T2-320	8,5	400 ... 1400	2,1	0,31
T3-320	6,8	1600 ... 2400	2,3	0,31
T500	9,5	100 ... 1600	2,1	0,31
T630	13	1600 ... 2400	2,3	0,345

Окончание табл. 12.2

Тип	I_{ism} , кА	U_{drm} , В	U_{TM} , В, не более	Масса, кг
T800; T1000	14; 18	1000 ... 1800	2,1	0,345; 0,375
T2-800	16	1800 ... 2400	2,3	0,375
ТБ151-50; ТБ151-63	1,0; 1,1	500 ... 1200	2,5; 2,15	0,18
ТБ161-80; ТБ161-100	2,2; 2,5	500 ... 1200	2,6; 2,15	0,29
ТБ133-200; ТБ133-250	5,2; 5,5	600 ... 1200	2,4; 2,0	0,2
ТБ320	6	300 ... 1200	2,8	0,42
ТБ400	7	300 ... 1000	2,1	0,42
ТБ143-320; ТБ143-400	6; 7	600 ... 1200	2,5; 2,1	0,28
ТБ153-630; ТБ153-800	10; 12	600 ... 1200	2,2; 1,8	0,56
ТБ253-800; ТБ253-1000	20; 21	600 ... 1400	2,25; 1,9	0,6
ТБ2-160; ТБ3-200	4; 4,5	300 ... 1200	2; 1,7	0,47
ТБ171-160; ТБ171-200	4; 2,5	500 ... 1200	2; 1,75	0,51
ТЛ2-160	3,5	600 ... 900	1,9	0,42
ТЛ-200	4	600 ... 1100	1,6	0,42
ТЛ-250	4,5	400 ... 1100	1,8	0,7
ТЛ171-250; ТЛ171-320	6,8; 7,5	700 ... 1100	2,05; 1,65	0,51
ТЧ-25; ТЧ-40	0,7; 0,9	300 ... 900	3,05; 1,95	0,12
ТЧ-50; ТЧ-63	1,7; 2	300 ... 900	2,90; 2,35	0,2
ТЧ-80	2,4	300 ... 900	2,6	0,35
ТЧ-100; ТЧ-125	2,8; 3,4	300 ... 1200	2,0; 1,85	0,35
ТЧИ-100	2,4	500 ... 1200	2,0	0,35
ТС2-10; ТС2-16	0,08; 0,1	100 ... 1100	2,0	0,012
ТС2-25; ТС2-40	0,12; 0,2	100 ... 1100	2,0	0,012
ТС2-50; ТС2-63	0,23; 0,25	100 ... 1100	2,0	0,04
ТС2-80	0,33	100 ... 1100	2,0	0,04
ТС80; ТС125	1,2; 1,5	100 ... 1200	2,3; 1,46	0,44
ТС160	1,7	100 ... 1200	1,45	0,44
ТС161-100; ТС161-125	1,0; 1,5	200 ... 1200	1,45	0,298
ТС161-160; ТС161-200	1,8; 2,3	200 ... 1200	1,75; 1,6	0,298
ТС171-250; ТС171-320	3,0; 3,3	200 ... 1200	1,7; 1,5	0,510

Примечания: 1. I_{ism} — 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 40 320 А и напряжения до 1400 В.

Тиристорные и тиристорно-диодные модули представляют собой приборы, включающие в себя два или более соответствующих элементов, собранных по схемам типовых узлов силовых 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 напряжение до 1600 В. Модули тиристорно-диодные (МТД) имеют рабочие токи до 250 А и напряжение до 1600 В. Модули на быстродействующих тиристорах (типа МТБТБ) имеют рабочие токи до 125 А и напряжение до 1200 В, а на запираемых тиристорах (МТЗ1 и МТЗ4) — соответственно до 200 А и 1400 В.

Транзисторы. Транзистором называется трехэлектродный (эмиттер — 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 в ключевом режимах, последний из которых обычно и 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 с изолированным затвором, которые обозначаются как БТИЗ.

Каждый тип транзистора имеет свои особенности и соответственно области рационального применения. Полевые транзисторы применяются при частотах коммутации до 100 кГц и способны коммутировать токи до нескольких сот ампер при напряжении до 1,5 кВ. 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 содержатся параметры силовых биполярных транзисторов фланцевого исполнения ТК235 и штыревого исполнения ТК152.

Таблица 12.3

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

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 параметры отечественных модулей с БТИЗ-транзисторами (в английской транскрипции — IGBT-модули).

Таблица 12.4

Технические характеристики модулей с БТИЗ-транзисторами

Тип	$U_{кз}$, В	$I_{к}$, А	P_{max} , Вт
М2ТКИ-400-06	600	400	1400
М2ТКИ-50-12	1200	50	400
МДТКИ-50-12	1200	50	400
МТКИД-50-12	1200	50	400
М2ТКИ-75-12	1200	75	625
МДТКИ-75-12	1200	75	625
МТКИД-75-12	1200	75	625
М2ТКИ-100-12	1200	100	800
МДТКИ-100-12	1200	100	800
МТКИД-100-12	1200	100	800
М2ТКИ-150-12	1200	150	1250
МДТКИ-150-12	1200	150	1250
МТКИД-150-12	1200	150	1250
МТКИ-200-12	1200	200	1550
М2ТКИ-200-12	1200	200	1400

Тип	$U_{кз}, В$	$I_k, А$	$P_{max}, Вт$
МДТКИ-200-12	1200	200	1400
МТКИД-200-12	1200	200	1400
МТКИ-300-12	1200	300	2500
МТКИ-400-12	1200	400	2800
М2ТКИ-600-12	1200	600	3900
М2ТКИ-800-12	1200	800	500
МТКИ-1200-12	1200	1200	7800
М2ТКИ-50-17	1700	50	500
МДТКИ-50-17	1700	50	500
МТКИД-50-17	1700	50	500
М2ТКИ-75-17	1700	75	625
МДТКИ-75-17	1700	75	625
МТКИД-75-17	1700	75	625
М2ТКИ-100-17	1700	100	1000
МДТКИ-100-17	1700	100	1000
МТКИД-100-17	1700	100	1000
М2ТКИ-150-17	1700	150	1250
МДТКИ-150-17	1700	150	1250
МТКИД-150-17	1700	150	1250
МТКИ-200-17	1700	200	1750
МТКИ-300-17	1700	300	2500
МТКИ-1200-33	3300	1200	13 000

12.2. Выпрямители

Выпрямители широко применяются в электроприводе, электрохимических и электрометаллургических установках, на электрическом транспорте, при электролизе, в зарядных устройствах, в линиях электропередачи постоянного тока и во многих других случаях, когда требуется постоянное напряжение. Выпрямители классифицируются по нескольким признакам.

По числу фаз напряжения переменного тока выпрямители делятся 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 изме-

нять 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 $VS1$ 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_a . 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 $VS1 \dots VS6$, нагрузкой которого является якорь двигателя постоянного тока M . На схеме показаны реактор L , который включается в цепь выпрямленного тока для сглаживания его пульсаций, и обмотка возбуждения ОВМ. Другие возможные схемы выпрямителей рассмотрены в [38].

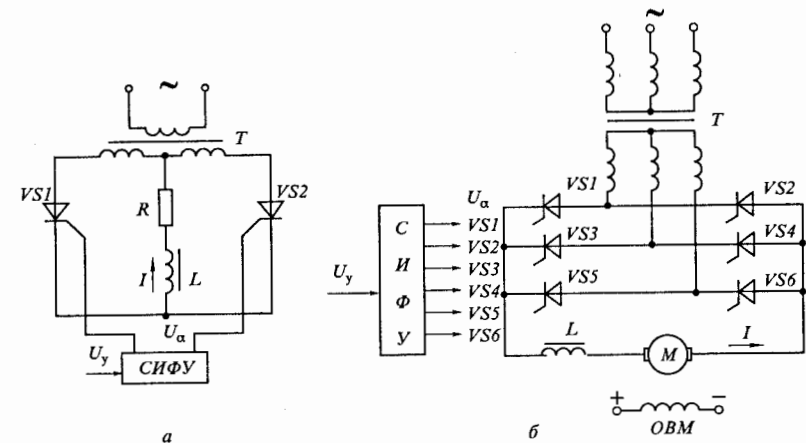


Рис. 12.2. Схемы выпрямителей:
а — однофазного с нулевым выводом; б — трехфазного мостового

Соотношения, которые связывают параметры цепей переменного и постоянного тока для разных схем выпрямления при активной нагрузке выпрямителя, приведены в табл. 12.5.

Таблица 12.5

Соотношения между токами и напряжениями в выпрямителях

Схема выпрямления	U_{cp}/U_2	$U_{обр. max}/U_{cp}$	I_2/I_{cp}	S_1/P_{cp}	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

Примечание. 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 (типовая мощность трансформатора); P_{cp} — мощность нагрузки на стороне постоянного тока.

В табл. 12.6 приведены параметры 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.

Таблица 12.6

Технические характеристики управляемых выпрямителей

Тип	Напряжение питания, В	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В
ТЕ4, ТП4, ТЕР4, ТПР4	220, 380	63 ... 500	230, 460
АТ, АТР	220, 380, 6000, 10 000	100 ... 1600	230, 460
АТВ, АТВР	220, 380, 6000, 10 000	100 ... 800	230, 460
ТПЗ, ТПЗР	6000, 10 000	2500, 4000, 5000, 10 000, 125 000	460, 660, 825, 1050
АТО, АТОР	220, 380	6,3 ... 50	115, 230, 460
КТУ	380, 6000, 10 000	50 ... 1600	230, 345, 460, 660

В табл. 12.7 содержатся характеристики сварочных выпрямителей серии ВД, в состав которых входят трансформатор и силовой мостовой выпрямитель. Регулирование напряжения на выходе осуществляется переключением обмоток трансформатора за счет подмагничивания дросселей, включенных в силовые цепи выпрямителей.

Таблица 12.7

Технические характеристики сварочных выпрямителей серии ВД

Параметр	ВД-306	ВД-502	ВДГ-601	ВДУ-1201	ВДМ-1601
Ток, А	45 ... 315	50 ... 500	10 ... 700	300 ... 1200	1600
Напряжение холостого хода, В	70	80	90	100	70
Потребляемая мощность, кВт·А	21	42	69	120	96
Время сварки, мин	5	10	—	—	—
Масса, кг	170	170	570	850	770

Выпрямители серии В-ТПЕД (НПП «Энергия», Москва; ОАО «Уралэлектротяжмаш», Екатеринбург) для тяговых подстанций городского электрического транспорта имеют выходное напряжение 600 В, КПД не менее 98 %, коэффициент мощности 0,95 и естественное воздушное охлаждение (табл. 12.8).

Таблица 12.8

Выпрямители серий В-ТПЕД и ВАКЛЕ

Параметр	В-ТПЕД 1000-600Н	В-ТПЕД 2,0К-600Н	ВАКЛЕ 1000-600Н	ВАКЛЕ 2000-600Н	В-ТПЕД 800-600М	В-ТПЕД 1,25К-600М	В-ТПЕД 2,0К-600М
Схема	Нулевая				Мостовая		
Выходная мощность, кВт	600	1200	600	1200	480	750	1200
Выходной ток, А	1000	2000	1000	2000	800	1250	2000
Тип трансформатора	ТМПУ-1000/10 ТСЗП-1000/10	ТМПУ-2000/10 ТСЗП-2000/10	ТМПУ-1000/10 ТСЗП-1000/10	ТМПУ-2000/10 ТСЗП-2000/10	ТСЗП-630/10ГТ	ТСЗП-1000/10	ТСЗП-2000/10
Типовая мощность трансформатора, кВт·А	1000	2000	1000	2000	1000	2000	1000

12.3. 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 без изменения его частоты. Они бывают одно- и трехфазными и используют в своей силовой части главным образом тиристоры.

Упрощенная схема однофазного тиристорного регулятора напряжения (ТРН) приведена на рис. 12.3, а. Его силовая часть состоит из двух тиристоров $VS1$ и $VS2$, включенных по встречно-параллельной схеме между источником питания с напряжением U_1 и нагрузкой Z_n . Изменение с помощью входного сигнала U_y момента подачи импульсов управления U_a на тиристоры позволяет регулировать напряжение на нагрузке $U_{нар}$ 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 двигателя переменного тока АД. Добавление в эту схему еще двух пар тиристоров позволяет изменять чередование фаз напряжения на статоре двигателя и тем самым менять на противоположное направление его частоты вращения.

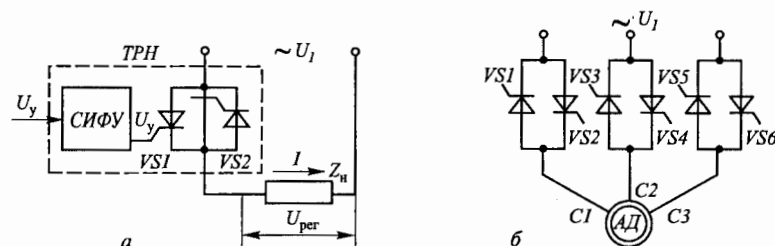


Рис. 12.3. Схемы регулятора напряжения переменного тока: а — однофазного; б — трехфазного

Регуляторы однофазные РНТО и трехфазные РНТТ (производитель — АО «Российская электротехническая компания», Екатеринбург) предназначены для регулирования напряжения переменного тока на активной и активно-индуктивной нагрузках (табл. 12.9).

Таблица 12.9

Технические характеристики регуляторов напряжения РНТО и РНТТ

Напряжение сети, В	Частота сети, Гц	Номинальный ток, А	Диапазон регулирования напряжения, %
РНТО			
380, 660	50, 60	50, 100, 250, 500, 630	0 ... 100
РНТТ			
380, 660	50, 60	63, 160, 250, 400, 630	0 ... 100

Устройства комплектные тиристорные серии ТСУ-4 (НПО «Электропривод», Москва) используются для управления трехфазными асинхронными двигателями и другими активно-индуктивными нагрузками переменного тока. Техниче-

ские данные этих устройств: напряжение сети 380 В при частоте 50 Гц; номинальный ток 25, 63, 160, 400 А; диапазон регулирования напряжения 0,1...0,95; максимально допустимая частота включений в час 2000.

Структура условного обозначения ТСУ-4- $X_1X_2X_3X_4X_53$:

ТСУ — устройство управления тиристорное;

4 — номер разработки;

X_1 — характеристика устройства при управлении двигателями: У — безударный пуск, оптимизация коэффициента мощности; динамическое торможение, кратковременное регулирование частоты вращения, управление механическим тормозом;

X_2 — номинальный ток (цифра 1 — 10 А, 2 — 25 А, 3 — 63 А, 4 — 160 А, 5 — 400 А);

X_3 — наличие реверса двигателя (0 — без реверса; 1 — с реверсом);

X_4 — степень защиты устройства (0 — IP00, для встраивания в шкаф; 1 — IP31, в оболочке);

X_53 — климатическое исполнение и категория размещения (УХЛ3 — для умеренного и холодного климата).

Регуляторы напряжения используются в качестве мягких пускателей двигателей переменного тока, обеспечивая ограничение их пусковых токов и моментов. Кроме этого они обеспечивают, как правило, максимальную и тепловую защиту двигателя, защиту от обрыва фазы двигателя и перекоса напряжения по фазам. Параметры мягких пускателей отечественного производства приведены в табл. 4.12 — 4.15.

12.4. Преобразователи частоты

Полупроводниковые преобразователи частоты находят все более широкое применение в различных электроустановках вследствие того, что постоянно происходит повышение технико-экономических показателей их работы и расширение номенклатуры выпускаемых типов. В первую очередь это относится к регулируемому электроприводу переменного тока и различным электротехнологическим установкам.

Полупроводниковые преобразователи делятся на две группы — 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. Он образован тремя группами I, II, и III тиристоров $VS1...VS6$, включенных между вторичными обмотками трансформатора Т и нагрузкой Z_a , Z_b и Z_c . Регулируемое по частоте $f_{пер}$ и величине напряжение $U_{пер}$ на нагрузке формируется из напряжения источника питания (трансформатора) u_a , u_b и u_c , что и определило

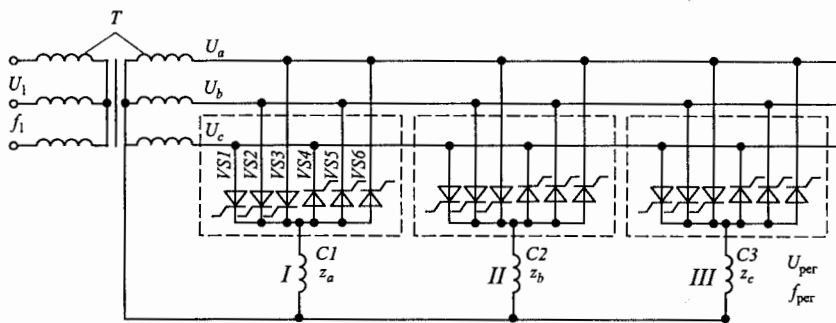


Рис. 12.4. Силовая часть схемы преобразователя частоты с непосредственной связью

название этого типа преобразователя частоты. Частота напряжения на нагрузке регулируется вниз от сетевой f_1 , ее максимальное значение обычно не превышает 25 Гц, что ограничивает возможности применения этого типа преобразователя частоты.

Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока могут выполняться по двум основным вариантам. На рис. 12.5 показана силовая часть схемы трехфазного преобразователя частоты с инвертором напряжения. Она состоит из нерегулируемого выпрямителя В, собранного на шести диодах $VD1 \dots VD6$, и автономного инвертора напряжения АИН на шести управляемых ключах, в качестве которых на схеме показаны модули, содержащие биполярные транзисторы с изолированным затвором $VS1 \dots VS6$ и шунтирующие диоды $VD7 \dots VD12$.

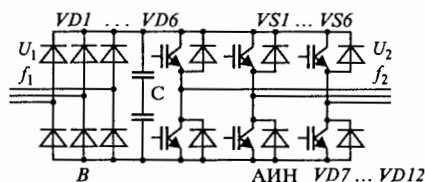


Рис. 12.5. Силовая часть схемы преобразователя частоты с инвертором напряжения

Выпрямитель преобразует напряжение сети U_1 в выпрямленное напряжение, а инвертор — выпрямленное напряжение в напряжение U_2 регулируемой частоты f_2 . Регулирование напряжения U_2 на нагрузке осуществляется за счет применения широтно-импульсной модуляции (ШИМ) выпрямленного напряжения. Конденсаторы C выполняют роль фильтра и элемента, осуществляющего обмен реактивной мощностью с нагрузкой.

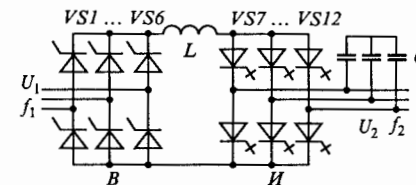


Рис. 12.6. Силовая часть схемы преобразователя частоты с инвертором тока

На рис. 12.6 показана силовая часть схемы преобразователя частоты с инвертором тока. Она включает управляемый выпрямитель В на тиристорах $VS1 \dots VS6$ и инвертор тока на запираемых тиристорах $VS7 \dots VS12$. Конденсаторы C являются источником реактивной мощности для нагрузки, реактор L обеспечивает работу инвертора тока. Приведенная схема позволяет осуществлять рекуперацию (отдачу) энергии в сеть.

Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока обеспечивают широкий диапазон регулирования частоты, близкий к синусоидальной форме ток и напряжение нагрузки. Это определило их широкое применение, особенно в регулируемых электроприводах переменного тока.

В табл. 12.10 содержатся параметры трехфазных преобразователей частоты НПП «Сапфир» (Москва). Они имеют диапазоны регулирования частоты 2 ... 50 Гц и напряжения на нагрузке 10 ... 380 В и обеспечивают регулирование частоты вращения двигателей, их управляемые пуск и торможение, а также работу электропривода в системах автоматического регулирования технологических параметров рабочих машин. Эти приборы осуществляют типовые для преобразователей частоты защиты от токов короткого замыкания, превышения, сниже-

Таблица 12.10

Технические характеристики преобразователей частоты серии Р

Параметр	Типоразмер									
	P5,5	P7,5	P10	P15	P22	P30	P55	P75	P90	P110
Номинальная мощность двигателя, кВт	5,5	7,5	10	15	22	30	55	75	90	110
Номинальный ток, А	10	16	20	30	45	60	110	150	185	225
Масса, кг	14	15	20	22	30	32	48	60	75	90

ния или полного исчезновения питающего напряжения, перегрева элементов преобразователя, обрыва фазы питающей сети.

Преобразователи частоты «ЭРАТОН-М4», выпускаемые АО «ЭРАСИБ» (Новосибирск) обеспечивает диапазоны регулирования частоты вращения двигателей 50, частоты 1 ... 50 Гц при по-

стоянном моменте нагрузки и 50 ... 100 при постоянной мощности нагрузки и имеют степень защиты IP00 и IP20 (табл. 12.11).

Таблица 12.11

Технические характеристики преобразователей частоты «ЭРАТОН-М4»

Параметр	Типоразмер «ЭРАТОН-М4»										
	2,2	5,5	7,5	15	18,5	22	30	37	45	55	75
Мощность двигателя, кВт	2,2	5,5	7,5	15	18,8	22	30	37	45	55	75
Номинальный ток нагрузки, А	5	12	15	30	36	42	56	70	85	110	140
Масса, кг	15	25	75				90		120	130	

Преобразователи частоты «Универсал-В» производства ИБП РАН (Пушино) обеспечивают диапазоны регулирования частот 0,5 ... 512 Гц и напряжений от нуля до сетевого, частоты вращения двигателей до 100 в замкнутой системе регулирования и имеют другие широкие возможности по их использованию в схемах электропривода и автоматизации технологических процессов. Параметры преобразователей частоты этой серии при постоянной механической нагрузке двигателей приведены в табл. 12.12.

Таблица 12.12

Технические характеристики преобразователей частоты «Универсал»

Параметр	Типоразмер «Универсал»											
	15	18,5	22	30	37	45	55	75	110	160	220	320
Номинальная мощность двигателя, кВт	15	18,5	22	30	37	45	55	75	110	160	220	320
Номинальный ток преобразователя, А	31	38	43	57	71	86	110	144	216	325	432	650
Масса, кг	24	30	35	45	60	70	80	110	160	240	300	400

Широкую номенклатуру преобразователей частоты выпускает корпорация «Триол» (Украина—Россия). В табл. 12.13 ... 12.15 приведены технические данные преобразователей серий АТО1, АТО3, АТОЗ и АТО4.

Преобразователи частоты АТО7 рассчитаны на напряжение сети 6 кВ для двигателей мощностью 1600 ... 5000 кВт в бестрансформа-

Таблица 12.13

Технические характеристики преобразователей частоты АТО1

Параметр	Типоразмер АТО1										
	15	22	37	55	75	110	132	160	200	250	315
Номинальная мощность, кВт	15	22	37	55	75	110	132	160	200	250	315
Номинальный ток, А	30	45	75	110	15	220	260	320	400	500	600
Масса, кг	40	45	48	60	65	90	110	110	130	180	200

Таблица 12.14

Технические характеристики преобразователей частоты АТО2, АТО4

Параметр	Типоразмер АТО2, АТО4														
	5,5	7,5	11	15	22	37	55	75	90	110	132	160	200	250	315
Номинальная мощность, кВт	5,5	7,5	11	15	22	37	55	75	90	110	132	160	200	250	315
Номинальный ток, А	10	15	22	30	45	75	110	150	180	220	260	320	400	500	600
Масса, кг	8	12	16	22	24	32	45	50	65	80	90	115	130	130	150

Таблица 12.15

Технические характеристики преобразователей частоты АТОЗ

Параметр	Типоразмер АТОЗ											
	160	200	250	315	400	500	630	750	950	1250	1500	1600
Мощность преобразователя, кВт · А	210	264	329	394	528	658	788	987	1182	1576	1974	1970
Масса, кг	110	120	150	160	520	600	640	900	960	1280	1800	1600
Мощность трансформатора, кВт · А		250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2000
Масса, кг		990	1130	1460	1730	1980	2370	2880	3480	4340	4950	4950

Примечания: 1. Питающая сеть напряжением 380 В и высоковольтная трехфазная.
2. Выходное напряжение трехфазное 3, 6 или 10 кВ.
3. Выходная частота 0,5 ... 50(100) Гц.

торном варианте, а преобразователи АТО8 — на напряжение 660 В для двигателей мощностью от 132 до 450 кВт. Преобразователи частоты типа СТ10 предназначены для работы с синхронными двигателями мощностью от 320 до 1600 кВт при напряжении 6 (10) кВ.

В табл. 12.16 приведены параметры преобразователей частоты производства СП «ГАМЕМ» (Россия—Италия).

Преобразователи частоты производства ОПЗ МЭИ (Москва) типа КЭУ-15 выпускаются для двигателей мощностью 11 ... 22 кВт, а КЭУ-37 — для двигателей мощностью 30 ... 45 кВт. Они обеспечивают диапазон регулирования частоты 2 ... 60 Гц при напряжении 0,8 ... 380 В и частоты вращения двигателей до 10 в разомкнутой системе электропривода.

Компания «Веспер» (Москва) выпускает преобразователи частоты для асинхронных двигателей типа EI-7000 мощностью 0,75 ... 900 кВт, типа EI-9000 мощностью 0,75 ... 300 кВт (более 300 кВт — по заказу) и упрощенные малогабаритные преобразователи типа EI-8000 мощностью до 15 кВт. Преобразователи типа EI-SN-2000 предназначены для управления синхронными двигателями с постоянными магнитами.

Преобразователи частоты серии АП-100 производства НТЦ «Приводная техника» (Москва) и СП «ГАМЕМ» выпускаются для

Таблица 12.16

Технические характеристики преобразователей частоты «ГАМЕМ»

Тип	Мощность двигателя, кВт	Номинальный ток, А	Макс. частота, Гц	Перегрузка по току	Исполнение	Высота, мм	Ширина, мм	Глубина, мм
15-380-50	4,5	15	50	1,5	IP54	1200	600	400
15-380-2000	5,5	15	2000	1,5	IP00	920	374	325
					IP54	1655	610	400
20-380-400	7,5 ... 11	20	400	1,25	IP00	920	374	325
					IP54	1200	610	400
20-2380-2000			2000		IP00	812	374	325
					IP54	1200	610	400
30-380-2000	15	30	2000	1,2	IP00	812	374	325
					IP23	1200	610	400
75-380-1000	22, 30, 37	75	1000	1,2	IP54	1200	610	470
110-380-150	45, 55	110	150	1,2	IP54			
150-380-150	75	150	150	1,2	IP23	1655	610	470
					IP54	1655	610	470
180-380-150	90	180	150	1,2	IP23	1655	610	470
					IP54	1655	610	470

двигателей мощностью от 0,4 до 55 кВт и позволяют регулировать частоту напряжения в диапазоне 0 ... 400 Гц.

ОАО «Электровыпрямитель» (Саранск) выпускает преобразователи частоты типа ПЧ-ТТП для плавного пуска и регулирования частоты вращения синхронных двигателей при напряжении 6, 10 и 15,75 кВ и типа ПЧ-ТТПТ для управления двигателями мощностью от 5,5 до 315 кВт при напряжении 380 В.

12.5. Регуляторы напряжения постоянного тока

Регуляторы этого типа 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 или контактная сеть постоянного тока электрического транспорта. В качестве преобразователей постоянного тока используются импульсные преобразователи, в которых применяются 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 рис. 12.7, 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 $U_{нар}$ связано с напряжением источника питания E , длительностью импульса t_n и периодом их следования T следующим соотношением:

$$U_{нар} = t_n E / T = \gamma E,$$

где $\gamma = t_n / T$ — относительная длительность (скважность) импульсов.

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 марках 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 1800 кг.

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?
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 вы знаете?
9. Что такое инвертор?
10. Какой принцип действия импульсного регулятора напряжения постоянного тока?

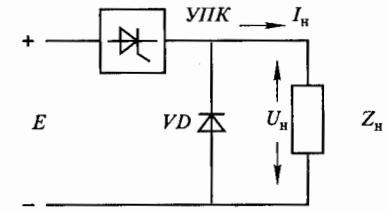


Рис. 12.7. Схема импульсного регулятора напряжения постоянного тока

Глава 13

ЭЛЕКТРОПРИВОД РАБОЧИХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

13.1. Назначение и классификация электроприводов

Электропривод — это электромеханическая система, состоящая в общем случае из взаимодействующих преобразователей электроэнергии, 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

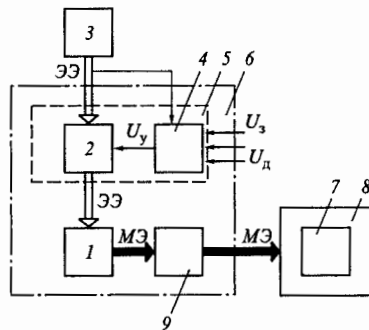


Рис. 13.1. Структурная схема электропривода:

1 — электродвигатель (ЭД); 2 — преобразователь электроэнергии (ПЭ); 3 — источник электроэнергии (ИЭЭ); 4 — управляющее устройство (УУ); 5 — система управления (СУ); 6 — электропривод; 7 — исполнительный орган (ИО) рабочей машины; 8 — рабочая машина (РМ); 9 — механическая передача (МП); ЭЭ — электрическая энергия; МЭ — механическая энергия; U_z , U_y , U_d — сигналы соответственно задания, управления и датчиков переменных и защит

гии одних параметров или показателей в электроэнергию других параметров или показателей;

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 управляющих и информационных устройств и устройств сопряжения ЭП, предназначенная для управления электромеханическим преобразованием энергии с целью 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.

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 характеристике движения ИО РМ различают ЭП вращательного, поступательного и возвратно-поступательного движения; ЭП непрерывного и дискретного движения; реверсивные и нереверсивные ЭП.

3. По виду используемых двигателей различают ЭП постоянного и переменного тока, содержащие соответственно двигатели постоянного и переменного тока.

Более подробная классификация ЭП приведена в [17].

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, поворотный, шаговый
ПЭ	Преобразователь	Электромашинный, управляемый выпрямитель, преобразователь частоты, регулятор напряжения, коммутатор напряжения
МП	Механическая передача	Редукторы цилиндрические и червячные, ременные и цепные передачи, электромагнитные муфты
УУ	Управляющее устройство	Релейные схемы управления, регуляторы, микропроцессорные средства управления
УИС	Устройство информационное и сопряжения	Устройства вычислительные и памяти, драйверы, интерфейсные средства
ИО РМ	Исполнительный орган рабочей машины	Шпиндель токарного и фрезерного станков, валки прокатных станов, лента конвейера, кабина, скип или клеть подъемников, рабочее колесо насоса или вентилятора

13.2. Механика электропривода

Уравнения движения ЭП. В механическом движении участвуют подвижная часть электродвигателя (ротор или якорь), элементы механической передачи и исполнительный орган рабочей машины. Движение ротора или якоря двигателя, элемента механической передачи ЭП или ИО РМ при неизменных их массе или моменте инерции описывается следующими дифференциальными уравнениями:

при поступательном движении $\sum F = m dv/dt = ma$;

при вращательном движении $\sum M = J d\omega/dt = J\varepsilon$,

где $\sum F$, Н и $\sum M$, Н·м — соответственно совокупность действующих сил и моментов; m , кг и J , кг·м² — соответственно масса и момент инерции; ω , рад/с и v , м/с — соответственно угловая и линейная скорости движения; $a = dv/dt$, м/с² и $\varepsilon = d\omega/dt$, рад/с² — соответственно ускорения при поступательном и вращательном движении; t , с — время.

Если $\sum F = 0$ или $\sum M = 0$, то $dv/dt = d\omega/dt = 0$ и движение происходит с постоянной скоростью. Такое движение называют установившимся.

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 для электропривода режиме работы двигатель 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:

$$M_c = M_{и.о.}/(\eta_{м.п} i_{м.п}) \text{ или } M_c = F_{и.о} \rho_{м.п}/\eta_{м.п},$$

где $M_{и.о.}$, $F_{и.о.}$ — соответственно момент или усилие, которые создает ИО РМ при своем движении; $\eta_{м.п}$ — КПД механической передачи ЭП; $i_{м.п}$, $\rho_{м.п}$ — соответственно передаточное число и радиус приведения механической передачи ЭП.

Момент инерции в этой формуле определяется следующим образом:

$$J = J_{эд} + \sum J_k/i_k^2 + \sum m_i \rho_i^2,$$

где J_k — момент инерции k -го вращающегося элемента или ИО РМ, i_k — передаточное число кинематической цепи между k -м элементом и валом двигателя; m_i — масса i -го элемента, движущегося поступательно, или ИО РМ; ρ_i — радиус приведения кинематической цепи между i -м элементом и валом двигателя.

Пересчет $M_{и.о.}$, $F_{и.о.}$, 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 же этих факторов получаются многомассовые расчетные схемы, рассмотренные в [14].

Установившееся движение ЭП соответствует условию $M = M_c$. Проверка выполнения этого условия может производиться аналитически или с помощью механических характеристик двигателя и исполнительного органа рабочей машины.

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 двигателей.

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 $\omega_{ном}$, $M_{ном}$.

Если двигатель включен не по основной схеме или в его электрические цепи включены какие-либо дополнительные электро-технические элементы — резисторы, реакторы, конденсаторы, или же двигатель питается напряжением с ненормальными параметрами, то он будет иметь характеристики, называемые искусственными. Поскольку эти характеристики получают с целью 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. $\omega_{и.о}(M_{и.о})$ при вращательном движении ИО РМ или $v_{и.о}(F_{и.о})$ при его поступательном движении. В результате операции приведения эти характеристики преобразуются в зависимость вида $\omega(M_c)$, где ω — скорость двигателя, а 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. 13.2 для примера показаны характеристика ЭД и приведенная к его валу характеристика ИО РМ, при которых установившееся движение возможно как в точке 1 со скоростью $\omega_{уст1}$, так и в точке 2 с установившейся скоростью $\omega_{уст2}$. В точке 1 имеет место устойчивое движение, а в точке 2 — неустойчивое, так как при отклонениях скорости от $\omega_{уст1}$ система стремится восстановить эту скорость движения, а при отклонении от скорости $\omega_{уст2}$ — нет.

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 происходит, когда моменты двигателя и нагрузки отличаются друг от друга, т. е. $M \neq M_c$. Неустановившееся движение в ЭП происходит 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 или переходным режимом ЭП. Переходные процессы в ЭП рассмотрены в [14, 17].

Регулирование переменных (координат) ЭП — скорости, ускорения или положения — требуется при управлении движением ИО РМ, а для ряда рабочих машин бывает необходимым регулирование величины момента или усилия на исполнительном органе. Кроме этого при работе самого ЭП возникает необходимость в ограничении тепловых, механических и коммутационных нагрузок его элементов. Регулирование переменных ЭП осуществляется с помощью искусственных характеристик двигателей, получаемых целенаправленным воздействием на них с помощью систем управления.

Структуры электропривода при регулировании координат. В зависимости от выполняемых функций, вида, количества регулируемых переменных (координат) и степени автоматизации технологических процессов ЭП делятся на неавтоматизированные и автоматизированные.

В неавтоматизированном ЭП операции управления выполняются с помощью простых средств человеком (оператором).

В автоматизированном ЭП операции управления в соответствии с требованиями технологического процесса выполняются системой управления. Автоматизированные ЭП делятся, в свою очередь, на разомкнутые и замкнутые.

В разомкнутом ЭП внешние возмущения (момент нагрузки, колебания напряжения питания и др.) влияют на его переменные (координаты), 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 и по схеме с подчиненным регулированием координат.

Подробно структуры ЭП с регулированием координат рассмотрены в [12] и в последующих разделах главы.

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

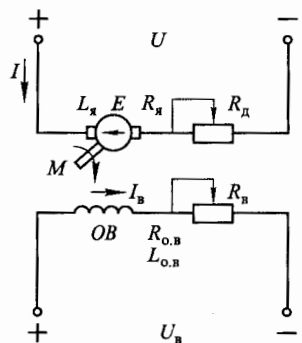


Рис. 13.3. Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Рис. 13.3. Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения. На схеме показаны добавочные резисторы в цепях обмоток якоря R_d и возбуждения R_n , а также источники питания обмоток якоря и возбуждения с напряжениями соответственно U и U_n .

Уравнения, описывающие работу двигателя в статике, имеют вид:

$$U = E + IR;$$

$$E = k \Phi \omega;$$

$$M = k \Phi I,$$

где $R = R_a + R_d$ — полное сопротивление цепи якоря, Ом; Φ — магнитный поток, Вб; U — подводимое к якорю напряжение, В; $k = pN/(2\pi a)$ — конструктивный коэффициент двигателя: 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 вид:

$$\omega = U/(k \Phi) - MR/(k \Phi)^2.$$

В соответствии с этими формулами электромеханическая и механическая характеристики ДПТНВ представляют собой линейные зависимости угловой скорости от тока и момента. На рис. 13.4, а, б

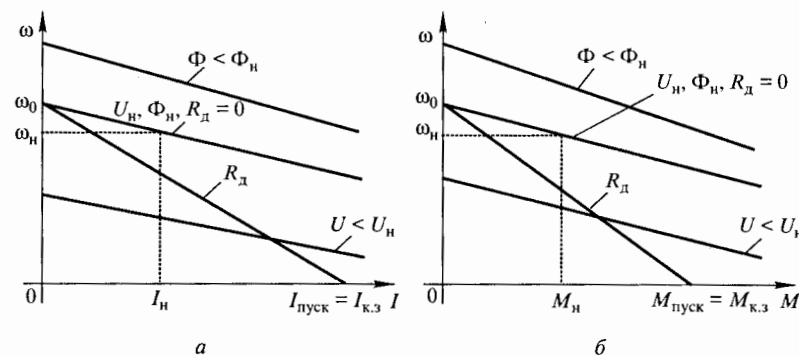


Рис. 13.4. Электромеханические (а) и механические (б) характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при изменении магнитного потока, напряжения и введении добавочного резистора в цепь якоря

показаны участки естественных электромеханической и механической характеристик ДПТНВ, соответствующие двигательному режиму работы.

ДПТНВ может работать в следующих режимах: двигателя, в котором он развивает движущий момент; холостого хода, в котором момент двигателя равен нулю; короткого замыкания (пуска), в котором двигатель развивает пусковой движущий момент; генератора, когда двигатель развивает тормозной момент.

Регулирование скорости. В соответствии с полученными формулами регулирование скорости ДПТНВ может осуществляться за счет включения в цепь якоря добавочных резисторов и изменения напряжения на якоря и магнитного потока. Получаемые при этом искусственные (регулируемые) характеристики при пониженных значениях напряжения, магнитного потока и введении в цепь якоря добавочного резистора R_d показаны на рис. 13.4, а, б. 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 [17].

Пуск, торможение и реверс ДПТНВ. При пуске, торможении и реверсе (изменении направления частоты вращения) ДПТНВ должны быть ограничены токи в цепи якоря с помощью добавочных резисторов или регулирования напряжения на якоря.

Для ограничения тока в переходных процессах до допустимого уровня $I_{доп}$ в якорь ДПТНВ должны включаться добавочные резисторы со следующей величиной сопротивления:

$$\text{при пуске } R_n = U_{ном}/I_{доп} - R_a;$$

$$\text{при динамическом торможении } R_{д.т} = U_{ном}/I_{доп} - R_a;$$

$$\text{при торможении противовключением } R_{т.п} = 2U_{ном}/I_{доп} - R_a.$$

Для двигателей обычного исполнения $I_{\text{доп}} = (2 \dots 3) I_{\text{ном}}$. Собственное сопротивление цепи якоря $R_{\text{я}}$ может быть определено по каталогам и справочной литературе [29], 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

$$R_{\text{я}} \approx 0,5 U_{\text{ном}} (1 - \eta_{\text{ном}}) / I_{\text{ном}} = 0,5 R_{\text{ном}} (1 - \eta_{\text{ном}}),$$

где $\eta_{\text{ном}}$ — номинальный КПД двигателя; $R_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} / I_{\text{ном}}$ — номинальное сопротивление двигателя.

Типовой узел схемы пуска ДПТНВ с использованием реле времени приведен на рис. 13.5, а. Эта схема содержит кнопки управления *SB1* (пуск) и *SB2* (останов, стоп ДПТ), линейный контактор *KM1*, обеспечивающий подключение ДПТ к

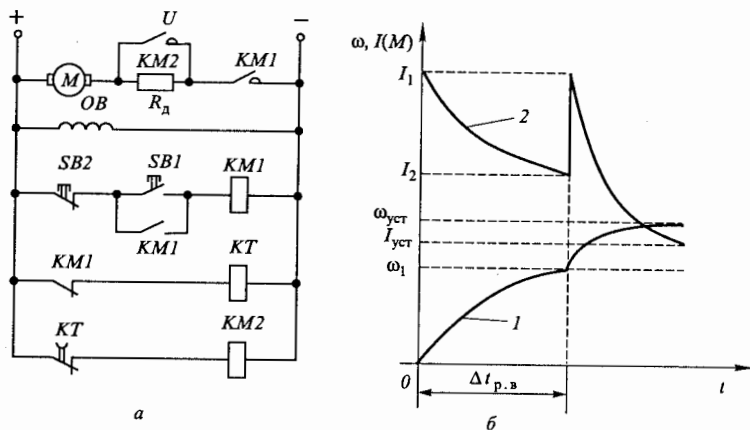


Рис. 13.5. Схема управления пуском двигателя постоянного тока независимого возбуждения (а) и кривые переходного процесса при пуске (б)

сети, и контактор ускорения *KM2* для выключения (закорачивания) пускового резистора R_d . В качестве датчика времени в схеме использовано электромагнитное реле времени *KT*. При подключении схемы к источнику питания происходит возбуждение ДПТ и срабатывает реле времени *KT*, размыкая свой размыкающий контакт в цепи катушки контактора *KM2* и подготавливая двигатель к пуску.

Пуск ДПТ начинается после нажатия кнопки *SB1*, в результате чего получает питание катушка контактора *KM1*, который своим главным контактом подключает ДПТ к источнику питания. Двигатель начинает разбег с резистором R_d 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*. Через интервал времени $\Delta t_{\text{р.в}}$ после прекращения питания катушки реле времени, называемый выдержкой времени, размыкающий контакт *KT* замкнется в цепи катушки контактора *KM2*, последний включится и главным контактом закоротит пусковой резистор R_d в цепи якоря. Таким образом, при пуске ДПТ в течение времени $\Delta t_{\text{р.в}}$ разгоняется по искусственной характеристике, а после шунтирования резистора R_d — по естественной. Величина сопротивления резистора R_d выбрана таким образом, что в момент включения двигателя ток I_1 в цепи и соответственно момент M_1 не превосходят допустимого уровня.

За время $\Delta t_{\text{р.в}}$ после начала пуска скорость вращения двигателя достигает величины ω_1 , а ток в цепи якоря снижается до уровня I_2 . После шунтирования R_d происходит бросок тока в цепи якоря от I_2 до I_1 , который не превышает допустимого уровня. Графики изменения скорости (кривая 1), тока и момента (кривая 2) во времени при пуске показаны на рис. 13.5, б.

Для осуществления интенсивного торможения ЭП используется генераторный режим ДПТНВ, который реализуется по схемам последовательного включения с сетью (торможение противовключением), параллельного включения (рекуперативное торможение) и независимого включения (режим динамического торможения) [12]. Торможение противовключением и реверс двигателя осуществляются изменением полярности напряжения на якоре ДПТНВ (реже — на обмотке возбуждения). Динамическое торможение осуществляется отключением якоря от источника питания и закорачиванием его на резистор.

Замкнутая схема регулирования скорости и тока ДПТНВ, представленная на рис. 13.6, а построена по принципу подчиненного регулирования координат и обеспечивает качественное их регулирование в статических и динамических режимах работы ЭП за счет использования преобразователя в виде управляемого выпрямителя.

Схема управления состоит из двух замкнутых контуров регулирования: контура тока (момента), содержащего пропорционально-интегральный регулятор тока РТ и датчик тока ДТ, и контура скорости, содержащего пропорциональный регулятор скорости РС и датчик скорости (тахогенератор) ТГ. Регуляторы тока и скорости выполнены на базе операционных усилителей (ОУ).

На вход РС подаются сигналы задания скорости $U_{\text{з.с}}$ и обратной связи по скорости $U_{\text{о.с}}$, а на вход РТ — сигналы задания тока $U_{\text{з.т}}$ и обратной связи по току $U_{\text{о.т}}$. Для ограничения тока и момента в цепь обратной связи РС включены стабилитроны *VI* и *V2*. В результате этого выходное напряжение РС, являющееся задающим

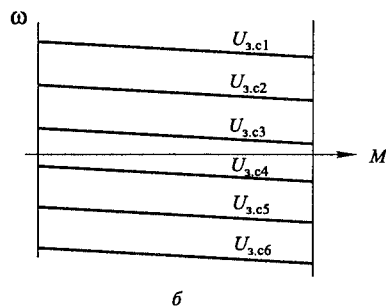
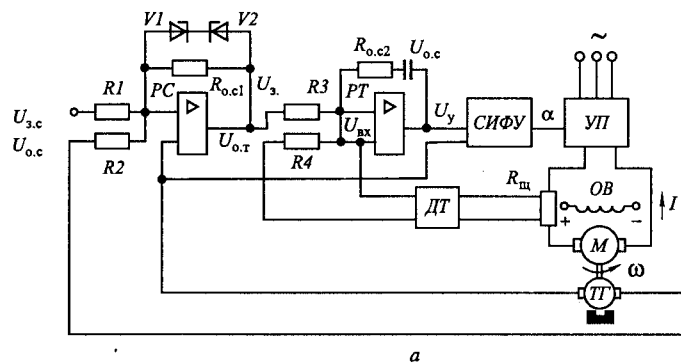


Рис. 13.6. Схема (а) и механические характеристики (б) электропривода с подчиненным регулированием координат

сигналом (уставкой) тока $U_{з.т}$, ограничивается, и тем самым ток и момент двигателя не могут превзойти заданного уровня.

На рис. 13.6, б приведены статические характеристики ЭП в этой схеме, которые имеют вертикальный участок, обеспечивающий ограничение тока и момента на требуемом уровне, и близкие к горизонтальным характеристики, обеспечивающие 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. 13.7, а. Основной особенностью этих двигателей является включение обмотки возбуждения последовательно с обмоткой якоря, вследствие чего ток якоря I одновременно является и током возбуждения и определяет величину магнитного потока двигателя.

Электрохимические и механические характеристики ДПТПВ описываются теми же формулами, что и ДПТНВ. Естественные

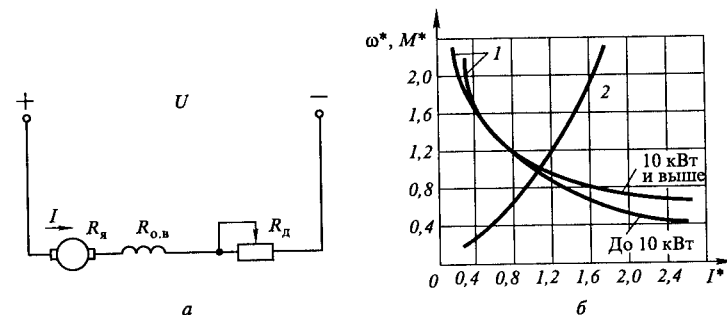


Рис. 13.7. Схема включения (а) и универсальные характеристики (б) двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

характеристики ДПТПВ строятся с помощью универсальных характеристик, приведенных на рис. 13.7, б. Они представляют собой зависимости относительной скорости $\omega^* = \omega/\omega_{ном}$ (кривые 1) и момента $M^* = M/M_{ном}$ (кривая 2) от относительного тока $I^* = I/I_{ном}$. Для получения характеристик с большей точностью зависимость $\omega^*(I^*)$ представлена двумя кривыми — для двигателей мощностью до 10 кВт и выше.

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 [12].

ЭП с двигателем постоянного тока смешанного возбуждения.

Двигатель этого типа имеет две обмотки возбуждения — независимую ОВН и последовательную ОВП, включаемую последовательно с обмоткой якоря (рис. 13.8), вследствие чего этот двигатель имеет характеристики и свойства, присущие как ДПТНВ, так и ДПТПВ. Электрохимическая и механическая характеристики двигателя выражаются такими же формулами, а для практических расчетов используются универсальные характеристики двигателя.

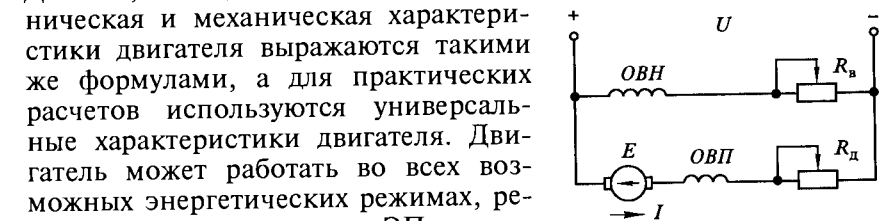


Рис. 13.8. Схема включения двигателя постоянного тока смешанного возбуждения

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 (АД) с фазным и короткозамкнутым роторами приведена соответственно на рис. 13.9, а, б.

Электрохимическая характеристика $I'_2(s)$ асинхронного двигателя описывается выражением

$$I'_2 = U_{\phi} / \sqrt{(R_1 + R'_2/s)^2 + x_k^2}.$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя $M(s)$ рассчитывается по формуле

$$M = 2M_k(1 + as_k)/(s_k/s + s/s_k + 2as_k).$$

На схемах и в формулах приняты следующие обозначения: U_{ϕ} — действующие значения линейного и фазного напряжения сети; I_1 , I'_2 — фазные токи статора и приведенный ротора; $x_k = x_1 + x'_2$ — индуктивное сопротивление короткого замыкания; x_1 , x'_2 — индуктивные сопротивления от потоков рассеяния фазы обмотки статора и приведенные фазы ротора; R_c , $R_{1д}$, $R_1 = R_c + R_{1д}$ — активные фазные сопротивления обмотки статора, добавочного резистора и суммарные фазы статора; R'_p , $R'_{2д}$, $R'_2 = R'_p + R'_{2д}$ — активные приведенные к обмотке статора фазные сопротивления обмотки ротора, добавочного резистора и суммарные фазы ротора; $s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$ — скольжение двигателя; $\omega_0 = 2\pi f_1/p$ — угловая скорость магнитного поля (скорость идеального холостого хода); f_1 — частота питающего напряжения; p — число пар полюсов АД; $a = R_1/R'_2$; $M_k = 3U_{\phi}^2/[2\omega_0(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_k^2})]$; $s_k = \pm R'_2/\sqrt{R_1^2 + x_k^2}$.

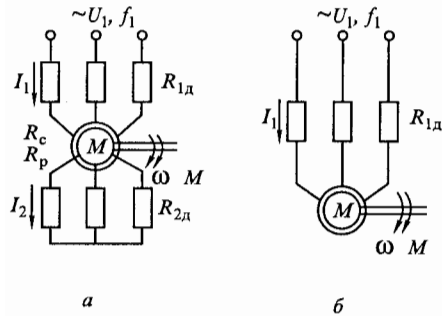


Рис. 13.9. Схема включения асинхронного двигателя с фазным (а) и короткозамкнутым (б) роторами

и суммарные фазы ротора; $s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$ — скольжение двигателя; $\omega_0 = 2\pi f_1/p$ — угловая скорость магнитного поля (скорость идеального холостого хода); f_1 — частота питающего напряжения; p — число пар полюсов АД; $a = R_1/R'_2$; $M_k = 3U_{\phi}^2/[2\omega_0(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_k^2})]$; $s_k = \pm R'_2/\sqrt{R_1^2 + x_k^2}$.

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 критического скольжения s_k , соответствующие точкам экстремума момента АД, получили название критических.

Если положить $a = 0$, то формула для механической характеристики упрощается и принимает вид

$$M = 2M_k/(s/s_k + s_k/s).$$

Из этой формулы может быть найдено соотношение, связывающее критическое и номинальное скольжения и кратность максимального момента $\lambda_m = M_k/M_{ном}$:

$$s_k = s_{ном}(\lambda_m \pm \sqrt{\lambda_m^2 - 1}),$$

которое может использоваться для определения s_k по каталожным (паспортным) данным асинхронного двигателя.

Приведение переменных и параметров цепи ротора к статору осуществляется с помощью коэффициента трансформации АД:

$$k = E_1/E_2 \approx 0,95U_{\phi,ном}/E_{2к},$$

где E_1 и $E_{2к}$ — фазные ЭДС статора и ротора при неподвижном роторе.

Расчетные формулы для приведенных значений ЭДС, тока и сопротивлений ротора имеют вид:

$$E'_2 = E_{2к} = E_1; I'_2 = I_2/k; R'_2 = R_{2к}k^2; x'_2 = x_{2к}k^2,$$

где штрихом обозначены приведенные значения.

Электрохимическая характеристика асинхронного двигателя показана на рис. 13.10, а, а механическая характеристика — на рис. 13.10, б, при этом по вертикальной оси указаны соответствующие друг другу скорость и скольжения 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).

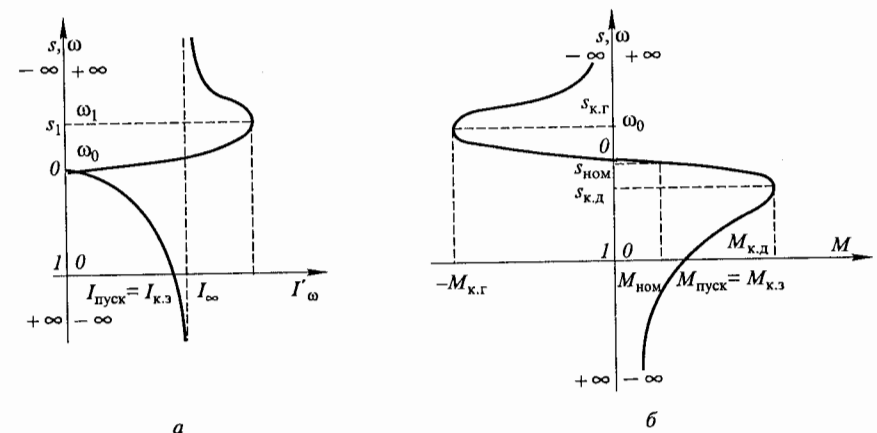


Рис. 13.10. Электрохимическая (а) и механическая (б) характеристики асинхронного двигателя

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 накоротко или на добавочные резисторы. Схема и характеристики АД в этом режиме рассмотрены в [12].

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 подаче в обмотки статора постоянного тока. Торможение при самовозбуждении осуществляется за счет энергии незатухшего магнитного поля АД по схемам конденсаторного и магнитного торможения.

Управление АД осуществляется с помощью релейно-контакторных схем и в системе «преобразователь — двигатель» с различными силовыми преобразователями.

Реверсивная релейно-контакторная схема управления АД. Основным элементом этой схемы является реверсивный магнитный пускатель, который включает в себя два линейных контактора $KM1$ и $KM2$ и два тепловых реле защиты KK (рис. 13.11). 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) и управления (предохранители FA). Кроме того, в схеме обеспечивается и нулевая защита от исчезновения (снижения) напряжения сети (контакторы $KM1$ и $KM2$).

Пуск двигателя в условных направлениях «Вперед» или «Назад» осуществляется нажатием соответственно кнопок $SB1$ или $SB2$.

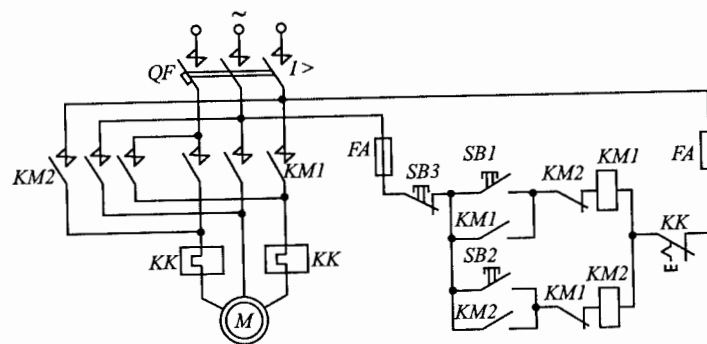


Рис. 13.11. Схема управления асинхронным двигателем с помощью реверсивного магнитного пускателя

Это приводит к срабатыванию контактора $KM1$ или $KM2$ и подключению АД к сети (при включенном автоматическом выключателе QF).

Для реверса или торможения АД вначале нажимается кнопка $SB3$, что приводит к отключению включенного до сих пор контактора (например, $KM1$), после чего нажимается кнопка $SB2$. Это приводит к включению контактора $KM2$ и подаче на АД напряжения источника питания с другим порядком чередования фаз. Магнитное поле АД изменяет свое направление вращения и начинается процесс реверса, состоящий из двух этапов — торможения противовключением и разбега в противоположную сторону.

В случае необходимости 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 схемы управления АД рассмотрены в [12].

Ограничение токов и при необходимости моментов в этих режимах АД может быть обеспечено изменением подводимого к двигателю напряжения, а также включением добавочных резисторов в цепи статора и ротора (для АД с фазным ротором). В случае, когда включение добавочного резистора во все три фазы статора (см. рис. 13.9, а, б) должно обеспечить заданную кратность

пускового тока $\alpha = I_{\text{к.з.и}}/I_{\text{к.з.е}}$, где $I_{\text{к.з.и}}$, $I_{\text{к.з.е}}$ — пусковые токи АД при включении добавочного резистора и без него, расчет величины добавочного резистора $R_{\text{д}}$ в соответствии с [6] проводится по формуле

$$R_{\text{д}} = \sqrt{(z_{\text{к.з}}/\alpha)^2 - x_{\text{к.з}}^2} - r_{\text{к.з}},$$

где $z_{\text{к.з}} = U_{\text{ф}}/(\sqrt{3}I_{\text{к.з.е}})$ — полное комплексное сопротивление короткого замыкания АД; $r_{\text{к.з}} = z_{\text{к.з}} \cos \varphi_{\text{п}}$, $x_{\text{к.з}} = \sqrt{z_{\text{к.з}}^2 - r_{\text{к.з}}^2}$ — соответственно активное и реактивное сопротивления короткого замыкания; $\cos \varphi_{\text{п}}$ — коэффициент мощности асинхронного двигателя в момент его пуска.

Приближенно для серии двигателей 4А с короткозамкнутым ротором можно принять $\cos \varphi_{\text{п}} = 0,3 \dots 0,5$, а для АД краново-металлургической серии МТФ и МТН $\cos \varphi_{\text{п}} = 0,6 \dots 0,7$.

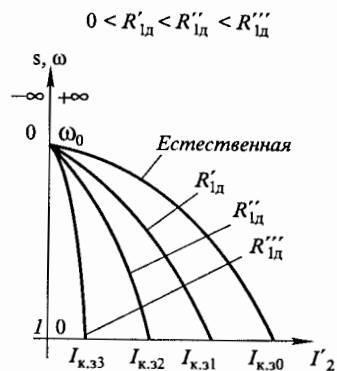


Рис. 13.12. Электромеханические характеристики асинхронного двигателя при включении дополнительных резисторов в цепь статора

или тиристорные регуляторы напряжения (ТРН), 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 [12].

Регулирование скорости АД может осуществляться изменением напряжения на статоре, частоты этого напряжения и числа полюсов магнитного поля. Регулирование скорости АД с фазным ротором, кроме того, может осуществляться с помощью добавочных резисторов в цепи ротора и в каскадных схемах его включения.

Регулирование скорости изменением частоты (и величины) напряжения обеспечивает экономич-

Для ограничения тока и момента в одну фазу статора (несимметричная схема) включаются добавочные резисторы $R_{\text{д}}$, а также формулы для расчета добавочных реакторов. Электромеханические характеристики АД при различных $R_{\text{д}}$ даны на рис. 13.12, из которого видно, что введение резистора в цепь статора снижает пусковые токи $I_{\text{к.з.}}$. Включение добавочных резисторов в цепь ротора АД с фазным ротором приводит к тому же результату.

Пусковые токи могут быть также уменьшены за счет снижения при пуске подаваемого на АД напряжения. Для этого обычно используются автотрансформаторы

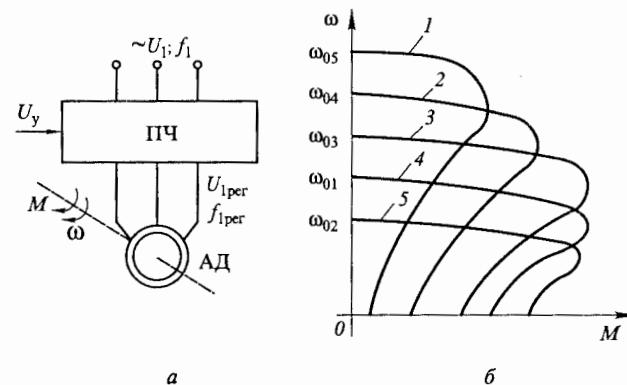


Рис. 13.13. Схема включения двигателя (а) и его механические характеристики (б) при регулировании частоты напряжения на статоре

ное 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), на вход которого подается стандартное напряжение сети U_1 промышленной частоты f_1 , а с его выхода снимается переменное напряжение $U_{\text{пер}}$ регулируемой частоты $f_{\text{пер}}$ (рис. 13.13, а). Для обеспечения высоких энергетических показателей работы АД частота и напряжение на выходе ПЧ должны находиться между собой в определенных соотношениях. Так, при постоянном моменте нагрузки $M_{\text{с}} = \text{const}$ напряжение на статоре должно регулироваться пропорционально его частоте по закону $U_1/f_1 = \text{const}$. Механические характеристики двигателя 1...5 соответственно для частот $f_{14} > f_{13} > f_{1\text{ном}} > f_{11} > f_{12}$ показаны на рис. 13.13, б, из которого видно, что этот способ позволяет как уменьшать, так и увеличивать скорость относительно скорости на естественной характеристике. Подробно частотный способ регулирования скорости рассмотрен в [12].

Регулирование скорости АД изменением числа пар полюсов может быть реализовано с использованием специальных АД, получивших название многоскоростных. Статорная обмотка (одна или несколько) этих двигателей состоит из двух одинаковых секций (полуобмоток), за счет разных схем соединения которых может быть изменено число пар полюсов p 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 подробно рассмотрен в [12].

Регулирование скорости АД изменением напряжения при неизменной его частоте осуществляется с помощью регуляторов напряжения (обычно тиристорных), включаемых между сетью и статором АД по аналогичной с ПЧ структурной схемой (см. рис. 13.13, 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 характеризуется выделением в нем дополнительных потерь мощности, поэтому этот способ не рекомендуется для длительного регулирования скорости. Подробно он рассмотрен в [12].

Регулирование скорости АД с фазным ротором с помощью резисторов в цепи ротора широко применяется вследствие простоты реализации этого способа. На рис. 13.14 приведены 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 .

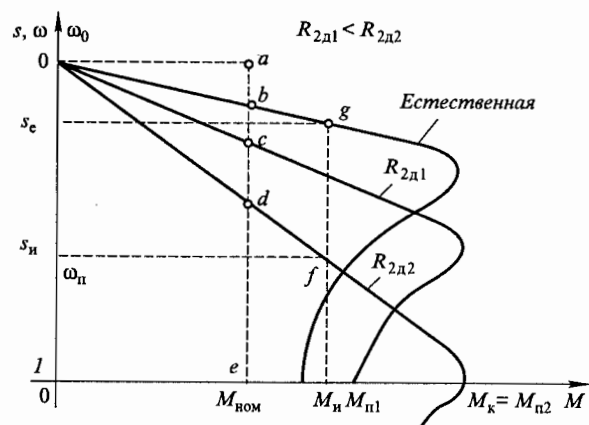


Рис. 13.14. Механические характеристики асинхронного двигателя при различных сопротивлениях цепи ротора

Сопротивление обмотки ротора R_p может быть найдено по следующей приближенной формуле, использующей паспортные данные асинхронного двигателя — ЭДС $E_{2к}$, номинальные скольжение $s_{ном}$ 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.

Регулирование скорости АД в каскадных схемах его включения позволяет полезно использовать энергию потерь скольжения при регулировании его скорости. Эти схемы в основном применяются для АД средней и большой мощности. На практике используются две основные каскадные схемы включения.

В электромеханическом машинно-вентильном каскаде обмотка ротора АД подключается к трехфазному неуправляемому полупроводниковому выпрямителю. К выводам выпрямителя присоединен якорь вспомогательной машины постоянного тока, который 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, построенный по такой схеме, получил название асинхронного вентильного каскада. Каскадные схемы и характеристики ЭП в них подробно рассмотрены в [12].

ЭП с однофазным АД 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 пуска двигателя (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 [12].

13.5. Электропривод с синхронными двигателями

Схема включения трехфазного синхронного двигателя (СД) обычного исполнения приведена на рис. 13.15, а. Статор СД выполняется аналогично статору АД и имеет трехфазную обмотку, подключаемую к сети переменного тока. На роторе СД располагаются обмотки возбуждения и пусковая в виде беличьей клетки. Конструктивно ротор синхронного двигателя может быть выполнен явнополюсным и неявнополюсным в виде цилиндра. В качестве источника для питания обмотки возбуждения СД используются отдельный генератор постоянного тока (*возбудитель*) 2, ток $I_{в.в}$ в обмотке возбуждения 4 которого может регулироваться с помощью добавочного резистора 3, или тиристорные управляемые выпрямители (тиристорные возбудители). В регулируемом ЭП ротор СД может выполняться в виде постоянных магнитов или быть пассивным.

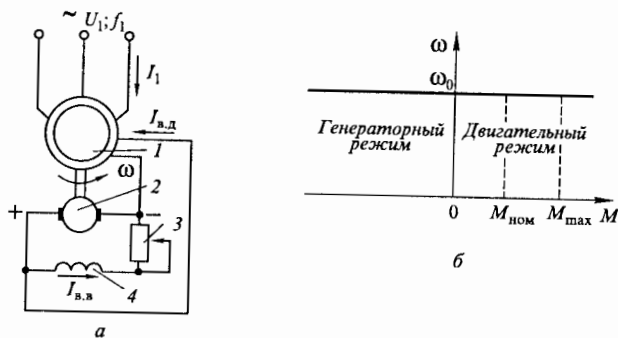


Рис. 13.15. Схема включения (а) и рабочая механическая характеристика (б) синхронного двигателя

Рабочая механическая характеристика СД $\omega(M)$ (рис. 13.15, б) представляет собой горизонтальную линию с ординатой $\omega_0 = 2\pi f_1/p$. 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; x_1 — индуктивное сопротивление фазы обмотки синхронного двигателя; ω_0 — скорость вращения магнитного поля; 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 $\lambda_m = M_{\text{max}}/M_{\text{ном}} = 2 \dots 2,5$.

Пуск и торможение СД. Пусковая характеристика СД соответствует характеристике АД на рис. 13.10, б. Пуск СД может происходить с постоянно подключенной обмоткой возбуждения или с ее подключением перед синхронизацией синхронного двигателя с сетью, а в зависимости от соотношения мощностей питающей сети и СД — с ограничением пускового тока или без ограничения. Для ограничения пускового тока применяются добавочные активные или реактивные резисторы (реакторы), автотрансформаторы и тиристорные «мягкие» пускатели. При питании СД от преобразователя частоты может быть реализован частотный пуск, осуществляющийся плавным увеличением частоты питающего напряжения. Подробнее схемы пуска СД рассмотрены в [12].

Торможение СД при необходимости осуществляется по схеме динамического торможения. СД при регулировании его тока возбуждения может работать как компенсатор реактивной мощности в системе электроснабжения.

Регулирование скорости СД осуществляется с помощью статических преобразователей частоты чаще всего в структурах ЭП с вентильным двигателем и ЭП с шаговыми двигателями.

ЭП с вентильным двигателем. Вентильный двигатель представляет собой систему, состоящую из СД, датчика положения его ротора и преобразователя частоты. Преобразователь частоты вместе с датчиком положения ротора выполняет роль коллектора двигателя постоянного тока, поэтому вентильный двигатель иногда называется бесконтактным (бесколлекторным) двигателем постоянного тока и имеет его характеристики.

ЭП с шаговыми двигателями. 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.

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.

Эти типы ЭП рассмотрены в [12, 30].

Нерегулируемые по скорости ЭП с СД имеют, как правило, релейно-контакторные схемы управления. На рис. 13.16 для примера приведена схема управления низковольтным СД, которая обеспечивает прямой (без токоограничения) пуск с глухоподключенным возбудителем G и форсировку возбуждения при снижении

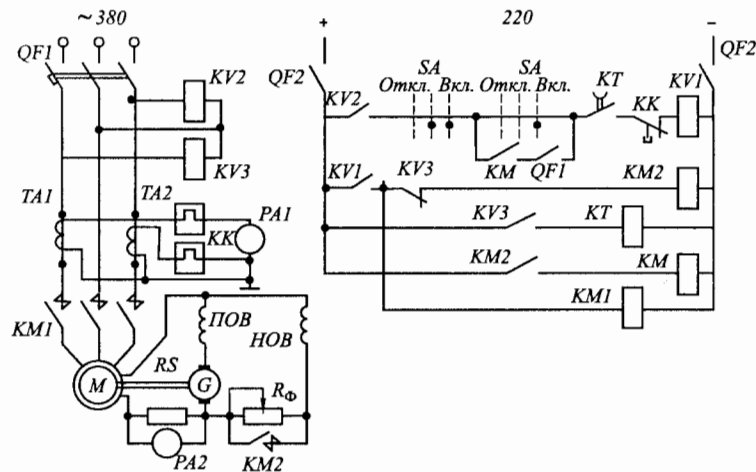


Рис. 13.16. Схема управления синхронным двигателем

уровня питающего напряжения. В схеме предусмотрены защиты: тепловая (реле KK и трансформаторы тока $TA1$ и $TA2$), токовая (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 «Включено» 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 в возбудителе G возникает магнитный поток и происходит возбуждение СД, который после этого втягивается в синхронизм.

Для контроля тока статора СД в схеме предусмотрен амперметр $PA1$, а для контроля тока возбуждения СД — амперметр $PA2$, питаемый от шунта RS .

13.6. Расчет энергетических показателей электроприводов

К энергетическим показателям относятся коэффициент полезного действия (КПД), коэффициент мощности ($\cos \varphi$), потери мощности ΔP и энергии ΔA .

Потери мощности и энергии в ЭП складываются из потерь в электродвигателе, механической передаче, силовом пре-

образователе и системе управления (см. рис. 13.1). Основную долю потерь в ЭП составляют потери в электродвигателе.

Потери мощности ΔP в электродвигателе обычно представляют суммой двух составляющих — постоянных K и переменных V потерь:

$$\Delta P = K + V.$$

К постоянным относят 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 относят и потери в обмотках возбуждения.

К переменным относят потери, которые выделяются в обмотках двигателей при протекании по ним токов и зависят тем самым 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 определяются по одной из формул:

$$V = I^2 R = M \omega_0 s,$$

где I , R — соответственно ток и сопротивление цепи двигателя, по которым протекает этот ток; M , ω_0 — соответственно момент и скорость идеального холостого хода; $s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$ — относительная скорость двигателя постоянного тока и скольжение АД.

Для трехфазных АД

$$V = V_1 + V_2 = 3I_1'^2 R_1 + 3I_2'^2 R_2' = 3I_1'^2 R_1 + M \omega_0 s,$$

где V_1 , V_2 — потери мощности соответственно в цепях обмоток статора и ротора. При использовании упрощенной П-образной схемы замещения потери в статоре составляют

$$V_1 = 3I_2'^2 R_1 = 3I_2'^2 R_1 R_2' / R_2' = V_2 R_1 / R_2',$$

а полные переменные потери

$$V = 3I_2'^2 (R_1 + R_2') = M \omega_0 s (1 + R_1 / R_2').$$

Для синхронных двигателей

$$V_1 = 3I_1'^2 R_1.$$

Постоянные потери мощности находятся по формуле

$$K = \Delta P_{\text{ном}} - V_{\text{ном}}.$$

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

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{лном}} - P_{\text{ном}} = 3U_{\phi} I_{\text{лном}} \cos \varphi_{\text{ном}} - P_{\text{ном}},$$

где $P_{\text{лном}}$ — 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

$$\Delta A = \int_0^{t_u} \Delta P(t) dt \approx \sum_{i=1}^m \Delta P_i t_i,$$

где ΔP_i , t_i — потери мощности и время работы на i -м участке цикла; m — число отдельных участков цикла; $\sum_{i=1}^m t_i = t_u$ — время цикла.

Потери мощности и энергии в преобразователе. При использовании для управления двигателями полупроводниковых преобразователей эти потери складываются из потерь в вентиллях, трансформаторах, сглаживающих и уравнивающих 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 разделе способами.

Потери мощности в системе управления. Эти потери обычно не превышают нескольких десятков ватт и принимаются во внимание только при выполнении точных энергетических расчетов.

Потери мощности в механической передаче. Эти потери определяются главным образом трением в ее движущихся частях и зависят от передаваемого момента. Потери в механической передаче обычно оцениваются с помощью КПД, значения которого для разных ее видов и нагрузок приводятся в [37].

Потери энергии в переходных режимах. Потери энергии ΔA_K , 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 , обусловленные переменными потерями мощности, могут быть найдены с использованием графика тока в переходном процессе $i^2(t)$ и величины сопротивления цепи R :

$$\Delta A_V = \int_0^{t_{п.п.}} i^2(t) R dt.$$

Более удобным является определение потерь ΔA_V через механические переменные и параметры. В этом случае при работе ЭП без нагрузки ($M_c = 0$) потери энергии в якоре двигателя постоянного тока и роторе АД определяются по формуле

$$\Delta A_{20} = J \omega_0^2 (s_{\text{нач}}^2 - s_{\text{кон}}^2) / 2,$$

где J — момент инерции ЭП; $s_{\text{нач}}$ и $s_{\text{кон}}$ — 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

$$\Delta A_n = \Delta A_0 M_{\text{ср}} / (M_{\text{ср}} \pm M_c),$$

где ΔA_n , ΔA_0 — соответственно потери энергии под нагрузкой и холостую; знак «—» соответствует пуску, а знак «+» — торможению двигателя; $M_{\text{ср}}$ — средний за время переходного процесса момент двигателя.

Более точные методы расчета потерь энергии при работе ЭП под нагрузкой рассмотрены в [12].

Коэффициент полезного действия ЭП. КПД ЭП как электромеханической системы определяется произведением КПД силового преобразователя $\eta_{п.у.}$, управляющего устройства $\eta_{у.у.}$, электродвигателя η и механической передачи $\eta_{м.п.}$:

$$\eta_{\text{э.п.}} = \eta_{п.у.} \eta_{у.у.} \eta \eta_{м.п.}$$

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 в переходном режимах КПД двигателя определяется выражением

$$\eta_{\text{ц}} = A_{\text{пол}} / A_{\text{потр}} = A_{\text{пол}} / (A_{\text{пол}} + \Delta A) = \sum_{i=1}^n P_{\text{пол}i} t_i / \left(\sum_{i=1}^n P_{\text{пол}i} t_i + \sum_{i=1}^n \Delta P_i t_i \right),$$

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 *средне-взвешенным*.

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. ЭП, подключаемые к сети переменного тока, потребляют 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 *средне-взвешенным 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

$$\cos \varphi_{\text{ц}} = A_a / A_n = \sum_{i=1}^n P_i t_i / \sum_{i=1}^n S_i t_i,$$

где $S_i = \sqrt{P_i^2 + Q_i^2}$ — полная (кажущаяся) мощность.

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

$$\cos \varphi_p \approx \cos \alpha = E_d / E_{d\text{max}} = \omega_0 / \omega_{0e},$$

где E_d — ЭДС преобразователя; ω_0 — скорость идеального холостого хода, соответствующая E_d ; α — угол регулирования (управления) клапанов преобразователя; ω_{0e} — скорость идеального холостого хода на естественной характеристике.

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, допустимая (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 В, F и Н.

При проверке двигателя по нагреву обычно оценивается не абсолютная его температура, а так называемый перегрев τ , который представляет собой разность температур двигателя t 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 $\tau_{\text{доп}}$ — допустимый (нормативный) перегрев двигателя, определяемый классом его изоляции; $\tau_{\text{раб}}$ — перегрев при работе двигателя, в качестве которого при проверке выбирается средний или максимальный за время (цикл) работы двигателя его перегрев.

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 так называемой *однотупенчатой 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 $\tau_{\text{уст}} = \Delta P / A$ — установившееся превышение температуры двигателя, °С; ΔP — потери мощности в двигателе, Вт; A — теплоотдача двигателя, Дж/(с·°С); C — теплоемкость двигателя, Дж/°С; $T_t = C / A$ — тепловая постоянная времени нагрева или охлаждения двигателя, с; $\tau_{\text{нач}}$ — начальный перегрев двигателя, °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.

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 $\Delta P_{\text{ср}}$ за цикл работы двигателя и сопоставлении их с номинальными потерями мощности $\Delta P_{\text{ном}}$. При выполнении условия

$$\Delta P_{\text{ср}} \leq \Delta P_{\text{ном}}$$

средний перегрев двигателя не превысит допустимый. Средние потери мощности определяются по формуле

$$\Delta P_{\text{ср}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \sum_{i=1}^n \Delta P_i t_i,$$

где ΔP_i — потери мощности двигателя на i -м участке рабочего цикла; t_i — длительность i -го участка рабочего цикла; $t_{\text{ц}}$ — время цикла; n — количество участков в цикле.

Методы эквивалентных величин — тока, момента и мощности — основываются на методе средних потерь.

Проверка двигателя по нагреву методом эквивалентного тока производится по формуле

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (I_i^2 t_i)} / t_{\text{ц}} = I_{\text{экв}} \leq I_{\text{ном}},$$

где I_i — ток на i -м участке рабочего цикла.

Проверка двигателей по нагреву методами эквивалентных момента и мощности производится соответственно по выражениям:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i^2 t_i)} / t_{\text{ц}} = M_{\text{экв}} \leq M_{\text{ном}};$$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i^2 t_i)} / t_{\text{ц}} = M_{\text{экв}} \omega_{\text{ном}} = P_{\text{экв}} \leq P_{\text{ном}},$$

где M_i , P_i — соответственно момент и мощность двигателя на i -м участке рабочего цикла.

Особенности проверки двигателей по нагреву для различных режимов его работы рассмотрены в [12].

13.8. Комплектные и интегрированные электроприводы

Комплектные электроприводы. Комплектный электропривод (КЭП) представляет собой регулируемый электропривод (ЭП), в поставляемый заказчику комплект которого входят согласованные по своим характеристикам и параметрам все функциональные элементы (см. рис. 13.1). Широкий выпуск КЭП определяется более низкой трудоемкостью при его разработке и изготовлении, сокращением времени на электромонтажные и пусконаладочные работы, удобством в эксплуатации.

КЭП постоянного тока. Комплектные электроприводы серии КТЭУ выпускаются в однодвигательном и многодвигательном вариантах реверсивного и нереверсивного исполнения как с динамическим торможением, так и без него.

КТЭУ мощностью до 2000 кВт обеспечивают регулирование скорости, положения, ЭДС, мощности и натяжения, а КТЭУ мощностью до 12 000 кВт — только регулирование скорости и мощности.

Комплектные электроприводы серий ЭКТ и КТЭ мощностью соответственно до 2000 и 1000 кВт имеют примерно те же функциональные возможности, что и КЭП серии КТЭУ, и могут применяться в различных ЭП, в частности металлургического производства, требующих регулирования скорости, положения и натяжения.

Большая группа КЭП мощностью в несколько единиц и десятков киловатт разработана и применяется для привода механизмов станков, роботов, манипуляторов и других рабочих машин и механизмов. К их числу относятся КЭП серий ЭТУ3601, ЭТЗ-1, ЭТЗ-2, ЭТ6, ЭТРП-1, ЭТРП-2, 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) предусматривается управление током возбуждения двигателя с помощью тиристорных преобразователей (возбудителей), чем достигается увеличение диапазона регулирования скорости.

КЭП переменного тока обычно строятся по структурам «преобразователь частоты — асинхронный двигатель» или вентильного двигателя.

КЭП типа ЭТС1 включает в свой состав двухфазный СД типа 4СФ2П с возбуждением от постоянных магнитов, питаемый от тиристорного ПЧ с непосредственной связью. В состав КЭП входят также автоматический выключатель и токоограничивающие реакторы или силовой трансформатор. Для обеспечения регулирования координат ЭП используется комплексный датчик типа ПДФ-9, содержащий бесконтактный тахогенератор постоянного тока и фотоимпульсные датчики положения ротора и угла поворота ротора. Номинальные моменты ЭП составляют от 47 до 170 Н·м, диапазон регулирования скорости – до 10 000.

КЭП транзисторный асинхронный типа ЭТА выпускается на напряжение питающей сети 380 В частотой 50 и 60 Гц и номинальные токи нагрузки 6, 15, 30 и 50 А. Он обеспечивает диапазон регулирования скорости в разомкнутой системе от 1 до 10 и в замкнутой системе от 1 до 100, а также плавный разгон, торможение и реверс АД и их дистанционное управление.

КЭП типа ЭКТ и ЭКТ2 выпускаются на мощности от 16,5 до 263,5 кВт и включают в себя трехфазный АД с короткозамкнутым ротором, питаемый от ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока. Система управления КЭП построена по принципу подчиненного регулирования координат и обеспечивает регулирование частоты в пределах 5 ... 80 Гц при номинальной частоте 50 Гц и 15 ... 240 Гц при номинальной частоте 240 Гц. КЭП этой серии типа ЭКТР и ЭКТ2Р обеспечивают рекуперацию энергии в сеть.

КЭП типа «Размер 2М» предназначен для ЭП станков с ЧПУ.

Интегрированный ЭП. В последние годы для привода некоторых станков и механизмов стали разрабатываться и применяться ЭП с объединением в одну конструкцию двигателя, механической передачи, датчиков координат, а в некоторых случаях – и силового преобразователя. Такой электромеханический модуль, называемый иногда мехатронным, позволяет получать более высокие технико-экономические показатели работы ЭП и технологического оборудования.

Примером интегрированного ЭП служат следующие механизмы: электрический однооборотный типа МЭО и электрический прямоходовой типа МЭП. В состав механизмов входят электродвигатель типа ДСОР, ДСТР, 2ДСТР или АИР, бесконтактный реверсивный пускатель типа ПБР, датчики тока и положения вала механизма, блок концевых выключателей.

Контрольные вопросы

1. Что называется электрическим приводом?
2. Какие компоненты входят в состав электропривода? Назовите меры их реализации.
3. По каким признакам классифицируются электроприводы?

4. Как выглядит уравнение движения электропривода?
5. Для чего требуется регулировать переменные электроприводы?
6. Как выглядит схема включения ДПТНВ?
7. Какими способами можно получать регулировочные характеристики ДПТНВ?
8. Какими способами можно интенсивно затормозить ДПТНВ?
9. Какие особенности имеет пуск ДПТНВ?
10. Как выглядят схемы включения двигателей постоянного тока с последовательным и смешанным возбуждением?
11. Как выглядит схема включения АД?
12. Что такое скольжение АД?
13. Какими способами можно ограничивать пусковой ток АД?
14. Какими способами можно быстро затормозить АД?
15. Какие существуют способы для регулирования скорости АД?
16. Как выглядят схема включения и рабочая характеристика СД?
17. Какие показатели электропривода относятся к энергетическим и как они рассчитываются?
18. Какими методами можно проверить двигатели по нагреву?
19. Что такое комплектный и интегрированный электроприводы?

Глава 14

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

14.1. Осветительные приборы

Лампы накаливания. Принцип действия ламп накаливания основывается на свечении обтекаемой электрическим током спирали, помещенной в стеклянную колбу с инертным газом. Лампы накаливания общего назначения Б, БК, Г, НВ, местного освещения МО и с отражающим слоем ЗШ, ЗС, ЗК выпускаются на напряжения от нескольких единиц до сотен вольт, мощности до киловатта и имеют срок службы от 1000 до 2500 часов. КПД ламп накаливания составляет примерно 6 %, а их удельная световотдача лежит в пределах 10 ... 20 лм/Вт. В табл. 14.1 приведены параметры некоторых типов ламп накаливания.

Газоразрядные лампы. Принцип действия газоразрядных ламп основывается на свечении электрического разряда в среде инерт-

Таблица 14.1

Технические характеристики ламп накаливания

Тип	Номинальная мощность, Вт	Световой поток, лм	Тип	Номинальная мощность, Вт	Световой поток, лм
В	15	105	Г	150	2000
	25	220			
Б,	40	415	Г	200	2920
БК		460			
Б,	60	715	Г	300	4610
БК		790			
Б,	75	950	Г	500	8300
БК		1020			
Б,	100	1350	Г	750	13 100
БК		1450	Г	1000	18 600
МО12-15	15	200	МО24-100	100	1740
МО12-60	60	1000	МО36-60	60	760
МО24-60	60	950	МО36-100	100	1590

Примечание. Напряжение ламп, кроме ламп типа МО, 220 В. Напряжение ламп типа МО обозначено первыми двумя цифрами после букв и составляет 12 ... 36 В.

ных газов, паров металлов или их смесей. На практике нашли применение следующие типы газоразрядных ламп:

ЛД — люминесцентная лампа дневного света;

ЛДЦ — люминесцентная лампа дневного света улучшенной светопередачи;

ЛБ — люминесцентная лампа белого света;

ЛХБ — люминесцентная лампа холодного белого света;

ЛТБ — люминесцентная лампа теплого белого света;

ДРЛ — дуговая ртутная лампа высокого давления;

ДРИ — дуговая ртутная лампа высокого давления с иодинами;

ДНАТ — дуговая натриевая лампа высокого давления.

Люминесцентные лампы имеют по сравнению с лампами накаливания более высокие КПД — до 17 % и удельную световотдачу 40 ... 60 лм/Вт и более. Натриевые лампы по сравнению с ртутными характеризуются пониженным расходом электроэнергии и улучшенной цветопередачей. К новым типам ламп относятся маломощные галогенные лампы и компактные люминесцентные лампы с бесконтактными пускорегулирующими аппаратами и стандартным цоколем.

В табл. 14.2 приведены параметры люминесцентных ламп, а в табл. 14.3 — дуговых ламп высокого давления.

Таблица 14.2

Технические характеристики люминесцентных ламп

Тип	Мощность, Вт	Ток лампы, А	Световой поток, лм
ЛДЦ	40 ... 80	0,43 ... 0,86	2100 ... 3610
ЛД			2340 ... 4070
ЛХБ			2780 ... 4600
ЛТБ			2780 ... 4720
ЛБ			3000 ... 5220

Таблица 14.3

Технические характеристики дуговых ламп высокого давления

Тип	Номинальная мощность, Вт	Ток лампы, А	Световой поток, клм	Срок службы, тыс. ч
ДРЛ80	80	—	2,3	6
ДРЛ125	125	—	3,7	6
ДРЛ250	250	—	8,2	8
ДРЛ400	400	—	14,4	10
ДРЛ700	700	—	25,9	10
ДРЛ1000	1000	—	37,4	10
ДРИ250	250	2,5	18,7	4,5
ДРИ400	400	3,5	32	4,5

Окончание табл. 14.3

Тип	Номинальная мощность, Вт	Ток лампы, А	Световой поток, клм	Срок службы, тыс. ч
ДРИ700	700	5,6	59,5	3
ДРИ1000	1000	9,5	90	1
ДРИ1000	1000	9,5	80	1
ДРИ2000	2000	10,8	190	1
ДРИ3500	3500	18,8	300	1
ДНаТ250	250	2,5	25	10
ДНаТ400	400	3,5	40	10

Примечание. Лампы ДРИ2000 и ДРИ3500 выпускаются на напряжение 380 В, остальные на 220 В.

К новым типам осветительных приборов относятся спиральные компактные люминесцентные лампы с цоколем Е27, которые могут быть использованы для замены ламп накаливания. В табл. 14.4 приведены технические данные ламп типа СКЛ производства АО «Московский электроламповый завод», выпускаемые на напряжения постоянного тока 12 В и переменного тока 127 и 220 В.

Таблица 14.4

Технические характеристики ламп СКЛ ЭН

Тип	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, ч	Габариты, мм	Эквивалентная мощность лампы накаливания, Вт
СКЛ ЭН7А	7	400	8000	125 × 60	40
СКЛ ЭН11А	11	600	8000	140 × 60	60
СКЛ ЭН15А	15	900	8000	150 × 60	75
СКЛ ЭН20А	20	1200	8000	155 × 60	100

Готовятся к выпуску лампы с цоколем Е14 (миньон) и СКЛ мощностью 23 и 26 В.

Особенностью газоразрядных ламп является необходимость использования для их включения специальных устройств, называемых стартерными пускорегулирующими аппаратами (ПРА) или просто стартерами. Стартеры обеспечивают быстрый разогрев электродов лампы до температуры термоэлектронной эмиссии и последующий переход на основную схему питания лампы. Применяются ПРА различного типа. Расшифровка обозначений стартерных ПРА следующая: 1-я цифра — число ламп, включаемых через аппарат; УБ — стартерное зажигание; АБ — бесстартерное зажигание; И, Е, К — соответственно индуктивный, емкостный и компенсированный по коэффициенту мощности ПРА; числа, записанные

в виде дроби, — мощность ламп/напряжение сети; А — антистробоскопический; В — встроенный в светильник; Н — независимой установки; П — с пониженным уровнем шума и радиопомех. Параметры ПРА для газоразрядных ламп приведены в табл. 14.5.

Таблица 14.5

Технические характеристики пускорегулирующих аппаратов

Тип	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-125ДРЛ/220-В	125	2,7	1,15
ДБИ-250ДРЛ/220-В	250	2,5	2,15
ДБИ-400ДРЛ/220-В	400	7,15	3,25
ДБИ-125ДРЛ/220-Н	125	2,4	1,15
ДБИ-400ДРЛ/220-Н	400	7,25	3,25
ДБИ-700ДРЛ/220-Н	7000	12	5,45

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 оборудования. При необходимости получения на рабочих местах высоких (50 ... 4000 лк) уровней освещенности с ними сочетается индивидуальное освещение. Экономия электроэнергии при таком комбинированном освещении может достигать 40 %.

Ряд производственных помещений не имеют естественного освещения или оно недостаточно по своему уровню. В этих случаях

важной задачей является введение и распределение в таких помещениях солнечного излучения. Один из вариантов ее решения — 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 автоматики, регулирующих степень искусственного освещения в зависимости от уровня естественного освещения.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип действия ламп накаливания?
2. В чем заключается принцип действия газоразрядных ламп?
3. Для чего применяются пусковые устройства газоразрядных ламп?
4. Какие новые типы осветительных приборов появились в последнее время?
5. Что позволяет получить возможные системы освещения помещений?

Глава 15

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 делятся на следующие виды.

1. **Электротермические установки**, предназначенные для тепловой обработки и изготовления материалов и изделий. Они делятся на печи сопротивления, дуговые и индукционные; установки диэлектрического, электронно-лучевого, плазменного нагрева и др.

2. **Электросварочные установки**, для сваривания металлических изделий с помощью электрического тока.

3. **Электролизные установки**, используемые 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.

4. **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.

5. **Электрохимические установки**, предназначенные для размерной обработки и отделки поверхностей за счет окисления материала анода.

6. **Установки аэрозольной технологии**, 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.

ЭПС косвенного действия бывают низкотемпературными (температура до 700 °С), среднетемпературными (до 1250 °С) и высокотемпературными (свыше 1250 °С). ЭПС косвенного нагрева питаются от одно- или трехфазных сетей переменного тока напряжением 220 и 380 В и имеют мощность от 50 до 10 000 кВт и коэффициент мощности в пределах 0,75 ... 0,95.

ЭПС прямого действия имеют мощность до 15 000 кВт, питаются от сетей с напряжением 0,38; 6 и 10 кВ и имеют коэффициент мощности 0,8 ... 0,9.

По способу загрузки и характеру работы во времени ЭПС делятся на печи периодического действия (сачочные 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.

В табл. 15.1 приведены параметры некоторых печей сопротивления периодического действия.

Таблица 15.1

Технические характеристики печей сопротивления периодического действия

Тип	Мощность печи, кВт	Напряжение на нагревателях, В	Число фаз	Максимальная рабочая температура, °С	Число тепловых зон	Масса, т
СНО-3.6.2/10-И2	14,6	72	1	1000	1	1,1
СНО-6.12.4/10-И2	71	103	3	1000	1	4,1
СНО-3.6.2/15-М1	23,5	20 ... 26	1	1500	1	4,3
СНЗ/СНО-3.6.2/10-М1	14	72	1	1000	1	1/0,9
СНЗ/СНО-6.12.4/10-М1	58	103	3	1000	1	3,75/3,7

Окончание табл. 15.1

Тип	Мощность печи, кВт	Напряжение на нагревателях, В	Число фаз	Максимальная рабочая температура, °С	Число тепловых зон	Масса, т
СШО-6.20/10-М1	100	55 ... 65	3	1000	3	4,4
СШО-10.10/10-М1	111	47 ... 56	3	1000	2	4,67
СШЗ-10.20/12, СШЗ-15.30/10	211	130	3	1200	3	9,83
СШЗ-6.6/7-М1	37,2	220	3	700	1	2,3
СШЗ-6.30/7-М1	107,2	220	3	700	3	5,7
СШЦМ-6.6/9-М1	73,2	55 ... 65	3	900	2	3,4
СШЦМ-6.20/9-ИЗ	108,2	37 ... 65	3	900	3	5,8
СДО-10.20.80/8	300	380	3	800	3	27
СДО-28.56.20/12	1100	500	3	1200	3	150
СГО-40.50.25/7	570	380	3	750	—	88,5
СГЗ-10.56.10/10	436	380	3	950	3	87
СГЗ-18.38.19/8,5	600	380	3	850	3	94

Электрические печи сопротивления питаются от специальных понижающих трансформаторов однофазных типа ТПО и ТПОУ или трехфазных типа ТПТ, или непосредственно от электросетей напряжением 380 и 220 В. Для их управления используются шиты управления типов ИР, ИЗР и ИЗРП, включающие 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 — между электродами. Наибольшее распространение получили сталеплавильные ДП (ДСП), руднотермические ДП и вакуумные ДП для плавки тугоплавких металлов. Мощности ДП лежат в пределах 630 ... 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 табл. 15.2 приведены основные параметры наиболее распространенных ДСП.

Каждая ДСП имеет специальную подстанцию, на которой устанавливаются электропечной трансформатор, высоковольтный выключатель, разъединитель и аппаратура управления, защиты и контроля.

Таблица 15.2

Технические характеристики сталеплавильных печей

Тип	Емкость, т	Мощность, МВ·А	Пределы вторич- ного напряжения, В	Максимальный вторичный ток, кА	Масса, т
ДСП-0,5ИЗ	0,5	0,63	216 ... 106	1,68	5
ДСП-1,5ИЗ	1,5	1,25	225 ... 110	3,2	21
ДСП-3ИЗ	3	2	243 ... 124	4,8	23
ДСП-6Н1	6	4	281 ... 130	10	50
ДСП-6Н2	6	4	281 ... 130	10	50
ДСП-12Н2	12	8	380 ... 120	14,6	90
ДСП-25Н2	25	12,5	390 ... 130	22,2	168
ДСП-50Н2	50	20	420 ... 150	33	276
ДСП-100М1	100	32	478 ... 161	46,5	450
ДСП-100Н3А	100	50	574 ... 287	63,5	460
ДСП-100И6	100	80	761 ... 259	66	520
ДСП-200М1	200	60	695 ... 193	50	1200

В индукционных печах (ИП) нагрев или закалка токопроводящих веществ или изделий осуществляется за счет возбуждения в них электрических токов в результате воздействия переменного электромагнитного поля. Частота этого поля может быть низкой (50 Гц), средней (до 10 кГц) и высокой (свыше 10 кГц).

В канальных ИП нагрев металла осуществляется в каналах футеровки, представляющих, по существу, вторичную обмотку трансформатора. Мощность канальных ИП может составлять 18 ... 4000 кВт, напряжение питающих сетей 0,38; 6 и 10 кВ. В промышленности используются печи для плавки меди и ее сплавов типа ИЛК и ИЛКМ емкостью от 1 до 25 т, алюминия и его сплавов типа ИАК емкостью от 0,4 до 60 т, цинка типа ИЦК емкостью 25, 40 и 60 т и для плавки, выдержки и перегрева чугуна типа ИЧК, ИЧКМ и ИЧКР емкостью от 6 до 60 т.

В тигельных ИП нагрев металла (обычно стали) осуществляется в тигле, вмонтированном в индуктор. Индуктор питается током промышленной или повышенной частоты величиной 500 ... 10 000 Гц. Мощность таких печей составляет от 170 до 18 000 кВт, напряжение питания — 0,38; 6 и 10 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 заковки 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; 6 и 10 кВ, а коэффициент мощности лежит в пределах 0,6 ... 0,8. В промышленности используются индукционные установки сквозного нагрева непрерывного действия серии ИНМ промышленной частоты мощностью от 500 до 5000 кВт, серии КИН повышенной частоты 1000 и 2400 Гц мощностью 250, 500 и 750 кВт и универсальные закалочные установки типа ИЗ1 и ИЗ2 мощностью от 30 до 200 кВт с рабочими частотами 2400 и 8000 Гц.

Источниками тока повышенной частоты являются машинные генераторы и статические полупроводниковые преобразователи частоты. В табл. 15.3 приведены параметры 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 УХЛ4 (по ГОСТ 15150—69).

Таблица 15.3

Технические характеристики преобразователей частоты серии ТПЧ

Тип	Номинальная мощность, кВт	Номинальное напряжение сети, В	Номинальное выходное на- пряжение, 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	400 ... 800	2,4	400
ТПЧ100-10	100	380	400 ... 800	10	500
ТПЧ160-2,4	160	380 ... 660	400 ... 800	2,4	530
ТПЧ200-10	200	380 ... 660	400 ... 800	10	550
ТПЧ250-2,4	250	380 ... 660	400 ... 800	2,4	550
ТПЧ320-1	320	380 ... 660	400 ... 800	1	700
ТПЧ320-2,4	320	380 ... 660	400 ... 800	2,4	700
ТПЧ630-1	630	660	800	1	700
ТПЧ630-2,4	630	660	800	2,4	700

В табл. 15.4 содержатся характеристики преобразователей частоты серии ТПЧР для питания электротермических устройств, которые работают от сети трехфазного тока напряжением 380 и 660 В, частотой 50 Гц или от трансформаторов серии ТСЗП с напряжением первичной обмотки 6 или 10 кВ. Климатическое исполнение и категория размещения — УХЛ4.

Таблица 15.4

Технические характеристики преобразователей частоты серии ТПЧР

Тип	Напряже- ние сети, В	Номинальная выходная мощность, кВт	Номиналь- ная выход- ная частота, кГц	Номиналь- ное выход- ное напря- жение, В	Мас- са, кг
ТПЧР-63/100-8/2,4	380	63/100	8/2,4	350/450	500
ТПЧР-100/60-8/2,4	380	100/160	8/2,4	350/450	700
ТПЧР-250/320-8/2,4	380	250/320	8/2,4	350/450	900
ТПЧР-400-2,4	660	400	2,4	800	900
ТПЧР-630-2,4	660	630	2,4	800	1200
ТПЧР-800-2,4	825	800	2,4	1000	1200

Для использования в установках индукционного нагрева используются преобразователи частоты серии «Параллель». Они обеспечивают преобразование трехфазного напряжения частотой 50 и 60 Гц в однофазное напряжение с номинальной частотой 1000, 2000, 4000, 8000, 10 000, 22 000 и 44 000 Гц. Их номинальная выходная мощность составляет 30, 63, 100, 160, 250 и 320 кВт, климатическое исполнение и категория размещения — УХЛ4.

15.2. 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 изделия (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 циф-

ры — регистрационный номер; шестая позиция — климатическое исполнение 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.

Параметры некоторых сварочных трансформаторов приведены в табл. 15.5.

Таблица 15.5

Технические характеристики сварочных трансформаторов

Тип	Номиналь- ная мощ- ность, кВт · А	Вторичное напряжение холостого хода, В	Пределы ре- гулирования сварочного тока, А	Номи- нальный КПД, %	Масса трансформа- тора и дрос- селя, 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 ... 1200	90	510
ТСД-2000-2	162	72 ... 84	800 ... 2200	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 ... 1200	87	720
ТДФ-1601	170	74 ... 79	600 ... 1800	88	1000

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; в трансформаторах типа ТДФ-1001 и

ТДФ-2001 — с помощью неподвижного магнитного шунта; в трансформаторах 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.

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 4 ... 45 кВ·А, напряжение холостого хода 40 ... 90 В, они обеспечивают номинальные сварочные токи в пределах 120 ... 1200 А с регулированием их значений в диапазоне от 4 до 10 раз.

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 значениях сварочного тока. Вторичное напряжение холостого хода этих агрегатов лежит в пределах 100 В. Агрегаты рассчитаны на один пост (кроме двухпостового агрегата АСДП-500Г).

В табл. 15.6 приведены технические данные сварочных выпрямителей типа ВД, в состав которых входят трансформатор и силовой мостовой выпрямитель. Регулирование напряжения на выходе осуществляется переключением обмоток трансформатора и за счет использования управляемых реакторов.

Таблица 15.6

Технические характеристики сварочных выпрямителей типа ВД

Параметр	ВД-306	ВД-502	ВДГ-302	ВДГ-601	ВДУ-1201	ВДУ-1601
Ток, А	45 ... 315	50 ... 500	50 ... 315	100 ... 700	300 ... 1200	1600
Напряжение холостого хода, В	70	80	55	90	100	70
Потребляемая мощность, кВ·А	21	42	19	69	120	96
Время сварки, мин	5	10	—	—	—	—
Масса, кг	170	170	275	570	850	770

Выпрямители типа ВДГ предназначены для комплектации сварочных полуавтоматов унифицированной серии и, подобно выпрямителям типа ВД, являются однопостовыми и передвижными. Выпрямители типа ВДУ являются универсальными выпрямителя-

ми, способными работать как с жесткими, так и с падающими характеристиками.

Специализированные источники питания серий ВСВУ, ВСВ, ВСП, ВПР и ТИР выпускаются на напряжение питания 380 В и обеспечивают продолжительность сварки 60 мин, стабилизацию и формирование импульсов сварочного тока. Они имеют номинальный сварочный ток от 80 до 2000 А, номинальное рабочее напряжение 30 В и напряжение холостого хода от 180 до 2150 В.

Для реализации сварочных процессов используются различные машины и автоматы, устройство и характеристики которых подробно рассмотрены в [30]. При ручной сварке используются электрододержатели типа ЭД, цифровая часть в обозначении которых соответствует номинальному току сварки, умноженному на 10.

Контрольные вопросы

1. Какие процессы называются электротехнологическими?
2. Какие виды электротехнологических установок вы знаете?
3. Какие виды электротермических установок вы знаете?
4. В каких электротехнологических установках применяются преобразователи частоты?
5. Какие существуют виды электрической сварки?

Предметный указатель

- Автотрансформатор 99, 104
- Аппарат пускорегулирующий 268
- Асбест 25, 26
- Блоки резисторов 182
- Возбудитель 254 – 256
- Выключатель автоматический 69, 248
 - вакуумный 91
 - воздушный 91
 - масляный 89
 - пакетный 67
 - электромагнитный 91
- Выпрямитель 222
- Генератор 108, 112, 168
- Гидрогенератор 109
- Двигатель асинхронный 123
 - вентильный 119
 - общего назначения 155
 - однофазный 149
 - синхронный 115
 - трехфазный 148
 - универсальный 150
 - универсальный коллекторный 171
 - шаговый 119
- Дешифратор 199
- Диод 215
 - инфракрасного излучения 211
 - светоизлучающий 211
- Диэлектрик 24
- Жесткость механической характеристики двигателя 238
- Защита тепловая 87
 - токовая максимальная 87
- Инвертор напряжения 228
- Инвертор тока 228
- Индукция магнитная 18
- Источник напряжения 14
- Источник тока 15
- Кабель 46
- Картон 26
- Класс нагревостойкости 25
- Ключ управления 66
- Кнопка управления 65, 249
- Команда микропроцессора 202
- Командоконтроллер 66, 256
- Коммутационная способность аппарата 86
- Компаратор 199
- Конденсатор 175
- Конденсаторная установка 178
- Контактор гибридный 77
 - полупроводниковый 77
 - электромагнитный 72, 256
- Контроллер 67, 206
- Короткозамыкатель 95
- Коэффициент мощности 17, 260
 - полезного действия 259
- Лак 27
- Лампа накаливания 266
 - газоразрядная 266
- Лента пластиковая 27
 - хлопчатобумажная 27
- Магнитное поле 9
- Матрица-накопитель 199
- Машина постоянного тока 153
 - рабочая 235
- Метод средних потерь 262
 - эквивалентных величин 262
- Микропроцессор 201
- Микросхема интегральная 189
- Модуль силовой интеллектуальный 221
 - тиристорно-диодный 220
 - тиристорный 221
- Момент сопротивления 237
 - инерции 237
- Мощность 17
 - активная 17
 - полная 17
 - реактивная 17
- Мультиплексор 199
- Напряженность магнитного поля 18
- Обратная связь 192, 239
- Оптопара 212
- Орган исполнительный рабочей машины 235
- Отделитель 95
- Перегрев 261
- Пермаллой 34
- Печь дуговая 273
 - индукционная 274
 - сопротивления 272
- Полупроводник 28
- Потери мощности 256
 - энергии 256
- Предохранитель 173, 248
- Преобразователь аналого-цифровой 200
 - цифроаналоговый 200
- частоты 214, 227
- Прибор оптоэлектронный 211
- Провод 36
- Проводник 29
- Проволока 36
- Пускатель магнитный 77, 248
 - мягкий 80, 250, 255
- Разъединитель 93
- Распределитель импульсов 199
- Распределительное устройство 8
- Распределительный пункт 8
- Реактор 187
- Регистр 199
- Регулятор 193
 - напряжения 214, 225, 232
 - скорости 243
 - тока 243
- Резистор 180
 - пусковой 242
- Реле времени 83
 - максимального тока 85
 - напряжения 256
 - промежуточное 82
- Реостат 183
- Рубильник 67
- Синхронный компенсатор 122
- Система микропроцессорная 203
 - управления 235
- Сопротивление активное 14
 - емкостное 16
 - индуктивное 16
 - полное 17
- Сталь электротехническая 33
- Станция управления 8
- Стеклоткань 26
- Сумматор 198
- Счетчик импульсов 198
- Тахогенератор 172
- Термическая стойкость 86
- Тиристор 217
- Ток пусковой 250
- Торможение динамическое 246, 248
 - противовключением 246
 - рекуперативное 246
- Транзистор 220
 - биполярный 220
 - полевой 220
- Трансформатор 99
 - напряжения 106
 - силовой 100
 - тока 105, 256
- Триггер 198
- Турбогенератор 111
- Уравнение движения 237
- Усилитель операционный 192
- Установка аэрозольная 271
 - электрическая 271
 - электролизная 271
 - электросварочная 271
 - электротермическая 271
 - электрофизическая 271
 - электрохимическая 271
- Устойчивость движения 238
- Устройство ввода-вывода 204
 - запоминающее 199
 - интерфейс 205
 - сопряжения 204
- Феррит 35
- Характеристика механическая 240, 246, 254
 - намагничивания 33
 - пусковая 255
 - угловая 254
 - универсальная 246
- Характеристика двигателя искусственная 238
 - механическая 237
- Характеристика двигателя естественная 237
- Шина электрическая 45
- Электрическая подстанция 8
- Электрическая сеть 8
- Электрическая энергия 10
- Электрический ток 10
- Электричество 9
- Электродвижущая сила (ЭДС) 9
- Электродинамическая стойкость 86
- Электропривод 234
 - замкнутый 239
 - комплектный 262
 - разомкнутый 239
- Электростанция 8
- Электроустановка 8
- Элемент логический 196
- Эмаль 28
- Энергетическая система 8
- Языки программирования 203

ПРИЛОЖЕНИЕ

Примеры буквенных кодов электротехнических элементов и устройств

Первая буква кода	Группа элементов (устройства)	Пример	Виды элементов и устройств
A	Устройства	AK	Блок реле
B	Преобразователи неэлектрических величин в электрические и наоборот	BK	Тепловой датчик
		BL	Фотоэлемент
		BR	Тахогенератор
C	Конденсаторы	DD	Цифровая микросхема
D	Интегральные схемы	DA	Аналоговая микросхема
E	Элементы разные	EK	Нагревательный элемент
		EL	Лампа осветительная
F	Разрядники, предохранители, защитные устройства	FA	Дискретный элемент
		FU	Предохранитель плавкий
		FV	Разрядник
G	Генераторы, источники питания	GB	Батарея аккумуляторная
H	Устройства сигнальные и индикаторные	HL	Прибор световой сигнализации
		HA	Прибор звуковой сигнализации
K	Реле, контакторы, пускатели	KA	Реле токовые
		KN	Реле указательные
		KK	Реле электротепловые
		KM	Контакторы, магнитные пускатели
		KT	Реле времени
		KV	Реле напряжения
		KL	Реле промежуточное
L	Катушки индуктивности, дроссели, реакторы	LL	Дроссель люминесцентного освещения
M	Двигатели		
P	Приборы и устройства измерительные, указательные	PA	Амперметр
		PW	Ваттметр
		PR	Омметр
		PV	Вольтметр
		PJ	Счетчик активной энергии

Окончание таблицы

Первая буква кода	Группа элементов (устройства)	Пример	Виды элементов и устройств
		PK	Счетчик реактивной энергии
		PF	Частотомер
Q	Выключатели и разъединители	QF	Выключатель автоматический
		QK	Короткозамыкатель
		QS	Разъединитель
R	Резисторы	RK	Терморезисторы
		RU	Варисторы
		RP	Потенциометр
		RS	Шунт измерительный
S	Устройства коммутационные цепях управления, сигнализации и измерительных	SA	Выключатель или переключатель
		SQ	Выключатель путевой
		SF	Выключатель автоматический
		SB	Выключатель кнопочные
T	Трансформаторы	TA	Трансформатор тока
		TV	Трансформатор напряжения
		TS	Стабилизатор
U	Преобразователи электрических величин в электрические	UZ	Преобразователь частоты, инвертор, выпрямитель
V	Приборы полупроводниковые и электровакуумные	VT	Транзистор
		VS	Тиристор
		VD	Диод, стабилитрон
X	Контактные соединения	XA	Токосъемники, контакты скользящие
		XP	Штырь
		XS	Гнездо
		XT	Соединения разборные
		XN	Соединения неразборные
Y	Устройства механические с электрическим приводом	YA	Электромагнит
		YC	Муфты с электромагнитным приводом
		YB	Тормоз с электромагнитным приводом

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алиев И. И.** Электротехнический справочник. — 3-е изд. — М.: ИП РадиоСофт, 2000. — 384 с.
2. Асинхронные электродвигатели. Инф. изд. ЯЭМЗ «ELDIN». — Ярославль, 1996.
3. **Беляев А. В.** Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. — Л.: Энергоатомиздат, 1988. — 176 с.
4. **Бурков А. Т.** Электронная техника и преобразователи. — М.: Транспорт, 1999. — 464 с.
5. Выбор электрических аппаратов для электропривода, электрического транспорта и электроснабжения промышленных предприятий / Под ред. А. А. Чунихина, Ю. С. Коробкова. — М.: Изд-во МЭИ, 1990. — 132 с.
6. Выбор электрических аппаратов для электротехнических промышленных устройств / Под ред. Ю. С. Коробкова. — М.: Изд-во МЭИ, 1992. — 123 с.
7. ГОСТ Р 50369–92. Электроприводы. Термины и определения. — М., 1992.
8. **Кисаримов Р. А.** Справочник электрика. — М.: ИП РадиоСофт, 1999. — 320 с.
9. **Ключев В. И.** Теория электропривода. — М.: Энергоатомиздат, 1998. — 704 с.
10. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / И. Х. Евзеров, А. С. Горобец, Б. И. Мошкович и др.; Под ред. В. М. Перельмутера. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 319 с.
11. Комплектные устройства управления асинхронными двигателями: Каталоги серии 08.06. — М.: Информэлектро, 1997.
12. **Москаленко В. В.** Электрический привод: Учеб. пособие. — М.: Мастерство; Высш. шк., 2000. — 368 с.
13. Московский электромеханический завод им. Владимира Ильича: Каталог продукции. — М.: ЗВИ, 1996. — 12 с.
14. **Перельман Б. Л.** Полупроводниковые приборы: Справочник. — М.: Солон; Микротех, 1996. — 176 с.
15. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры: Справочник / Под ред. Н. Н. Горюнова. — 2-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
16. Полупроводниковые силовые приборы (силовые транзисторы и модули): Номенклатурный каталог НК 05.1–99. — М.: Информэлектро, 1999. — 96 с.
17. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 160 с.
18. Правила устройства электроустановок. — 6-е изд. — СПб.: Деан, 1999. — 924 с.

19. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю. Г. Барыбина и др. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 464 с.
20. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / Под ред. В. В. Афанасьева. — Л.: Энергоатомиздат, 1987. — 544 с.
21. Справочник по электрическим машинам / Под общ. ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова: В 2 т. — М.: Энергоатомиздат, 1988–1989.
22. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения / Под ред. И. А. Баумштейна, С. А. Бажанова. — 3-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 768 с.
23. **Терехов В. М.** Элементы автоматизированного электропривода. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 224 с.
24. Тиристоры: Справочник / О. П. Григорьев и др. — М.: Радио и связь, 1990. — 270 с.
25. Унифицированная серия асинхронных двигателей Интерэлектро / Под ред. В. И. Радина. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 416 с.
26. Электрические и электронные аппараты: Учеб. для вузов / Под ред. Ю. К. Розанова. — М.: Энергоатомиздат, 1998. — 752 с.
27. Электрические кабели, провода и шнуры: Справочник / Под ред. Н. И. Белоруссова. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 536 с.
28. Электродвигатели: Каталог ВЭМЗ. — Владимир: ВЭМЗ, 1997. — 24 с.
29. Электротехнический справочник. Использование электрической энергии. Т. 3. Кн. 2 / Под общ. ред. И. Н. Орлова и др. — 7-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 616 с.
30. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. — 8-е изд. — М.: Изд-во МЭИ, 1995. — 440 с.
31. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. — 8-е изд. — М.: Изд-во МЭИ, 1998. — 518 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

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	7
1.3. Основные законы электротехники	10
1.4. Цепи постоянного тока	13
1.5. Цепи переменного тока	15
1.6. Магнитные цепи	18
1.7. Категории электротехнических помещений и оборудования	18
Глава 2. Электротехнические материалы	24
2.1. Диэлектрические материалы (диэлектрики)	24
2.2. Полупроводниковые материалы	28
2.3. Проводниковые материалы	29
2.3. Магнитные материалы	33
Глава 3. Проводниковые изделия	36
3.1. Провода и проволока	36
3.2. Шины	45
3.3. Кабели	46
3.4. Расчет сечений и выбор проводов, кабелей и шин	62
Глава 4. Электрические аппараты низкого напряжения	64
4.1. Классификация электрических аппаратов	64
4.2. Аппараты управления	65
4.3. Силовые коммутационные аппараты с ручным управлением	67
4.4. Автоматические выключатели	69
4.5. Контактные и пускатели	72
4.6. Реле	81
4.7. Выбор электрических аппаратов	86
Глава 5. Коммутационные электрические аппараты и устройства высокого напряжения	89
5.1. Выключатели	89
5.2. Разъединители, отделители и короткозамыкатели	93
5.3. Комплектные трансформаторные подстанции	96
Глава 6. Трансформаторы	99
6.1. Назначение и типы трансформаторов	99
6.2. Силовые трансформаторы	100

6.3. Автотрансформаторы	104
6.4. Измерительные трансформаторы тока и напряжения	105
Глава 7. Синхронные электрические машины	108
7.1. Генераторы	108
7.2. Двигатели	115
7.3. Специальные синхронные двигатели	119
7.4. Синхронные компенсаторы	122
Глава 8. Асинхронные двигатели	123
8.1. Двигатели серии 4А	126
8.2. Асинхронные двигатели большой мощности	135
8.3. Двигатели серии АИ	137
8.4. Двигатели серий РА, 5А и 6А	140
8.5. Краново-металлургические двигатели	146
8.6. Двигатели малой мощности	148
Глава 9. Электрические машины постоянного тока	152
9.1. Двигатели общего назначения серий 2П и 4П	155
9.2. Генераторы	168
9.3. Универсальные коллекторные двигатели	171
9.4. Тахогенераторы	172
Глава 10. Силовые предохранители, конденсаторы, резисторы и реакторы	173
10.1. Предохранители	173
10.2. Конденсаторы	175
10.3. Резисторы	180
10.4. Реакторы	187
Глава 11. Полупроводниковые элементы и устройства схем управления и автоматики	189
11.1. Интегральные микросхемы	189
11.2. Аналоговые элементы и устройства	192
11.3. Дискретные элементы и устройства	196
11.4. Микропроцессорные средства управления	200
11.5. Программируемые контроллеры	206
11.6. Оптоэлектронные приборы	211
Глава 12. Силовые полупроводниковые преобразователи	214
12.1. Силовые полупроводниковые приборы и модули	215
12.2. Выпрямители	222
12.3. Регуляторы напряжения переменного тока	225
12.4. Преобразователи частоты	227
12.5. Регуляторы напряжения постоянного тока	232
Глава 13. Электропривод рабочих машин и механизмов	234
13.1. Назначение и классификация электроприводов	234
13.2. Механика электропривода	236
13.3. Электропривод с двигателями постоянного тока	240

13.4. Электропривод с асинхронными двигателями	246
13.5. Электропривод с синхронными двигателями	254
13.6. Расчет энергетических показателей электроприводов . .	256
13.7. Проверка двигателей по нагреву.	260
13.8. Комплектные и интегрированные электроприводы . . .	262
Глава 14. Электрическое освещение	266
14.1. Осветительные приборы	266
14.2. Осветительные системы.	269
Глава 15. Электротехнологические установки.	271
15.1. Назначение и классификация электротехнологических установок	271
15.2. Электротермические установки	272
15.2. Сварочные электротехнологические установки	276
Предметный указатель.	280
Приложение	282
Список литературы	284