

УДК 621.3.01.(03)
ББК 31.2
А 50

Рекомендовано
Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по неэлектротехническим специальностям

Рецензенты: кафедра общей электротехники МГОУ (зав. кафедрой — доктор технических наук, профессор В.А. Башилов); В.Я. Беспалов, академик АЭН, доктор технических наук, профессор (МЭИ)

Алиев, И.И.
А 50 Справочник по электротехнике и электрооборудованию:
Учеб. пособие для вузов/И.И. Алиев. — 3-е изд., испр. — М.:
Высш. шк., 2002. — 255 с., ил.

ISBN 5-06-004345-2

В книге приводятся основные понятия и законы электротехники, уравнения и формулы, применяемые для расчета цепей постоянного и переменного тока, основные и технические данные об электротехнических материалах, электрических аппаратах, электрических машинах постоянного и переменного тока общепромышленного применения, включая новейшие серии машин, элементах систем электроснабжения, автономных возобновляемых и невозобновляемых источниках электроэнергии, о силовых электрических аккумуляторах, силовых полупроводниковых приборах и т. д. Второе издание дополнено сведениями о электроприборах и вопросах электробезопасности.

Для студентов неэлектротехнических специальностей вузов. Может быть полезна студентам техникумов, а также широкому кругу работников, связанных с проектированием, эксплуатацией и ремонтом электрооборудования и электроустановок.

УДК 621.3.01.(03)
ББК 31.2

ISBN 5-06-004345-2

© ФГУП «Издательство «Высшая школа», 2002

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа», и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Списки современного электрооборудования включают сотни тысяч наименований и содержатся в большом количестве специализированных справочников, которые далеко не всегда доступны. С другой стороны, в учебной практике, при работе студентов над курсовыми и дипломными проектами, возникает необходимость в получении сведений о различном электрооборудовании, содержащихся в многочисленных источниках. В наиболее сложном положении в этом смысле оказываются студенты заочной и вечерней форм обучения вузов, не являющихся столичными и традиционно испытывающие недостаток в обширной справочной литературе. С такой же проблемой нередко сталкиваются также работники, так или иначе связанные с проектированием, эксплуатацией и ремонтом электрооборудования.

Автор ставил перед собой задачу собрать и изложить сведения об основах электротехники и о наиболее широко используемом отечественном электрооборудовании и приборах в относительно небольшой книге, которая могла бы в известной степени облегчить обозначенную проблему для широкого круга студентов и специалистов.

Первая глава «Справочника», предлагаемого вниманию читателя, посвящена изложению элементов основ электротехники. Приведены основные определения и законы электротехники, основные соотношения для расчета цепей постоянного и переменного токов в установившихся и переходных режимах, а также основные расчетные соотношения для магнитных цепей.

В отдельную главу выделены сведения о физических величинах и единицах их измерения в Международной системе единиц СИ, а также сведения о единицах измерения, включая старые, применяющиеся на практике в различных странах.

В последующих главах приведены сведения и технические данные о диэлектрических и проводниковых материалах, выпускаемых отечественной промышленностью, включая неизолированные и изолированные провода, кабели, шины и сведения об их допустимой токовой нагрузке.

Четыре следующие главы посвящены трансформаторам, синхронным и асинхронным машинам и машинам постоянного тока. Приведены технические данные для машин общепромышленного применения отечественного производства. Наиболее полно представлены асинхронные двигатели, начиная от серии А2 до новейших, освоенных промышленностью в последние годы, серий RA, 5A, 6A в диапазоне мощностей от 0,18 до 400 кВт, данные о которых составлены на основе заводских каталогов.

Широкому классу электрических аппаратов, выпускаемых отечественной промышленностью, на напряжения до 1000 В и более 1000 В посвящены главы 9 и 10. Элементы электроснабжения и электрического освещения представлены в главе 11. Приведены методы расчета и выбора проводов, ком-

мутирующей и защитной аппаратуры, технические данные об осветительных приборах и средствах учета электроэнергии.

Глава 12 содержит сведения о возобновляемых и невозобновляемых источниках электроэнергии (ветроэлектрических и гелиоэлектрических станциях, микроГЭС, передвижных дизельных и бензиновых электростанциях и т.д.

В этой же главе приведены данные отечественных свинцово-кислотных, никель - железных, никель - кадмиевых аккумуляторов широкого применения.

В главах 13 - 15 приведены технические данные некоторых современных силовых полупроводниковых приборов - диодов, транзисторов, тиристоров, находящихся широкого применения в силовой преобразовательной технике.

Глава 16 посвящена вопросам электробезопасности. Приведены сведения об организационных и технических мерах по безопасному проведению работ, о применении защитных средств, защитных заземлениях и т.д.

В справочнике наряду с данными о новейшем серийном электрооборудовании и приборах приведены данные и об устаревшем действующем электрооборудовании. Автор руководствовался при этом тем соображением, что количество донные эксплуатируемого электрооборудования составляет в общем его балансе значительную долю. Так, на предприятиях России и СНГ по разным данным используется до 1 млн. асинхронных двигателей серии А2.

Автор выражает глубокую признательность рецензентам - коллективу кафедры общей электротехники Московского государственного открытого университета и заведующему этой кафедрой доктору технических наук, профессору В. А. Башилову, а также академику АЭН, доктору технических наук, профессору Московского энергетического института В.Я. Беспалову за внимание к этой работе и её поддержку.

Автор с благодарностью примет все замечания и пожелания, направленные на улучшение этой книги.

Автор

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

1.1. Основные понятия и определения электротехники.

1.1.1. Электрический ток и его частота.

Одним из основных понятий электротехники является понятие об *электрическом токе*.

Электрический ток - это направленное движение электрических зарядов в веществе или вакууме под воздействием электрического поля. Ток характеризуется силой, измеряемой в амперах (А). Один ампер соответствует перемещению через поперечное сечение проводника в течение одной секунды (с) заряда электричества величиной в один кулон (Кл): $1 \text{ А} = 1 \text{ Кл/с}$.

В общем случае, обозначив ток буквой i , а заряд q , получим:

$$i = dq / dt.$$

Следует отметить, что существует ряд других определений электрического тока, среди которых особое место занимает до сих пор не вполне осмысленное определение Майкла Фарадея (в современной интерпретации): *Электрический ток есть ось сил, в направлении которых действует электромагнитное поле*.

По типу носителей электрических зарядов и среды их перемещения различают *токи проводимости* и *токи смещения*. Проводимость делят на *электронную* и *ионную*.

Для установившихся режимов различают два вида токов: *постоянный* и *переменный*. Постоянным называют ток, который может изменяться по величине, но не изменяет своего знака сколь угодно долгое время. Переменным называют ток, который периодически изменяется как по величине, так и по знаку. Переменные токи подразделяют на синусоидальные и несинусоидальные. Синусоидальным называют ток, изменяющийся по гармоническому закону:

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

где I_m - амплитудное (наибольшее) значение тока, А,

Скорость изменения переменного тока характеризуется его *частотой*, определяемой как число полных повторяющихся колебаний в единицу времени. Частота обозначается буквой f и измеряется в герцах (Гц). Так, частота тока в сети 50 Гц соответствует 50 полным колебаниям в секунду. Угловая частота ω - скорость изменения тока в радианах в секунду и связана с частотой простым соотношением:

$$\omega = 2\pi f.$$

Установившиеся (фиксированные) значения постоянного и переменного токов обозначают прописной буквой I , неустановившиеся (мгновенные) значения - буквой i .

Условно положительным направлением тока считают направление движения положительных зарядов.

1.1.2. Электродвижущая сила, электрическое напряжение

При преобразовании других видов энергии в электрическую в преобразователях энергии возникает *электродвижущая сила (ЭДС)*, потенциально способная совершать работу по перемещению в электрической цепи электрических зарядов. ЭДС измеряется в *вольтах (В)* и обозначается латинской буквой E или e .

Если источник ЭДС подключить к замкнутой цепи, то она окажется под воздействием электромагнитного поля, а на её участках установятся *разности электрических потенциалов или напряжения*.

Электрическое напряжение - это величина, численно равная работе по перемещению единицы электрического заряда между двумя произвольными точками электрической цепи. Напряжение, как и ЭДС, измеряется в *вольтах (В)*. Установившиеся значения напряжения обозначают прописной буквой U , неустановившиеся значения - строчной буквой u . По аналогии с током различают постоянное и переменное напряжения. Постоянное напряжение может изменяться по величине, не изменяя при этом своего знака.

Переменное напряжение периодически изменяет и величину и знак. В электротехнике, в основном, имеют дело с синусоидальным напряжением, описываемым уравнением:

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

где U_m - амплитудное значение напряжения, В.

Специальные преобразователи позволяют получать также периодически изменяющиеся напряжения произвольной формы.

1.1.3. Электрическая цепь

Электрической цепью называется, в общем случае, совокупность определенным образом соединенных источников, преобразователей и потребителей электрической энергии. Электрические цепи состоят из *ветвей*, соединяемых в *узлах* электрической цепи (рис 1-1). Ветвью цепи называют группу последовательно соединенных источников электрической энергии и её потребителей, по которым протекает один и тот же электрический ток. Если ветвь содержит источник электрической энергии, то её называют *активной*. Если ветвь содержит только приёмники электрической энергии, то

такую ветвь называют *пассивной*. Узлами электрической цепи называют точки, в которых соединены не менее трех ветвей.

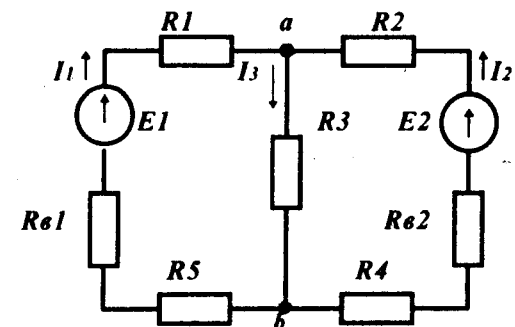


Рис. 1-1. Электрическая схема цепи, содержащей два источника ЭДС с внутренними сопротивлениями R_{61} и R_{62} , две активные и одну пассивную ветви, соединенные в узлах a и b

1.1.4. Электрическое сопротивление и его виды

Любые устройства, служащие для получения, передачи или потребления электроэнергии, обладают *сопротивлением*.

Электрическое сопротивление - это способность элемента электрической цепи противодействовать в той или иной степени прохождению по нему электрического тока. Сопротивление, в общем случае, зависит от материала элемента, его размеров, температуры, частоты тока и измеряется в *омах (Ом)*. Различают *активное (омическое), реактивное и полное* сопротивления. Они обозначаются, соответственно, r , x , z . Используются также прописные буквы R , X , Z , чаще всего для обозначения элементов на *электрических схемах*:



Активное сопротивление элемента - это сопротивление постоянному току:

$$r = \rho l / S, \text{ Ом,}$$

где ρ - удельное сопротивление материала, Ом·м;

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

α - температурный коэффициент сопротивления, $^{\circ}\text{C}^{-1}$,

t - интервал изменения температуры, $^{\circ}\text{C}$.

l - длина проводника, м,

S - поперечное сечение проводника, м².

Природу активного или омического сопротивления, связанного с нагревом материала, по которому протекает ток, объясняют столкновением носителей заряда с узлами кристаллической решетки этого материала.

Если электрическое сопротивление цепи или его элемента не зависит от величины проходящего тока, то такие цепи или элементы называют *линейными*. В противном случае говорят о *нелинейных цепях*.

Проводимость (активная) - величина обратная омическому сопротивлению и измеряемая в *сименсах* (См).

$$g = 1/r, \text{ См.}$$

В зависимости от величины удельной проводимости или удельного сопротивления электротехнические материалы делят на проводники и диэлектрики или изоляторы (более подробные сведения в главах 3 и 4).

Индуктивное сопротивление - это сопротивление элемента, связанное с созданием вокруг него переменного или изменяющегося магнитного поля. Оно зависит от конфигурации и размеров элемента, его магнитных свойств и частоты тока.

$$x_i = 2\pi f L = \omega L, \text{ Ом;}$$

где f - частота тока, Гц;

$\omega = 2\pi f$ - угловая частота, рад/с;

L - индуктивность элемента цепи, измеряемая в *генри* (Гн).

Индуктивность можно определить как меру магнитной инерции элемента в отношении электромагнитного поля. По смыслу индуктивность в электротехнике можно уподобить массе в механике. Например, чем больше индуктивность элемента, тем медленнее и тем большую энергию магнитного поля он запасает.

Следует отметить, что индуктивным сопротивлением и, следовательно, индуктивностью обладают в разной мере все элементы электрической цепи переменного тока: обмотки электрических машин, провода, шины, кабели и т. д. В цепях постоянного тока индуктивное сопротивление проявляется лишь в *переходных режимах*.

Выражения для определения индуктивности элементов различной конфигурации приведены в конце разделе 1.4.

Индуктивное сопротивление обозначается на электрических схемах:



Емкостное сопротивление - это сопротивление элемента, связанное с созданием внутри и вокруг него электрического поля. Оно зависит от материала элемента, его размеров, конфигурации и частоты тока:

$$x_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{\omega C}, \text{ Ом,}$$

где C - электрическая емкость, измеряемая в *фарадах* (Ф).

Электрическую ёмкость можно определить как меру инертности элемента электрической цепи по отношению к электромагнитному полю. Электрическое поле между обкладками конденсатора создается вследствие разделения зарядов. Разделение зарядов происходит благодаря *токам смещения*, протекающим в диэлектрике между обкладки конденсатора под воздействием внешнего напряжения. Ток смещения следует понимать как процесс переориентации электрических диполей диэлектрика вдоль электромагнитного поля. Как видно, определение для тока, предложенное Фарадеем, наиболее привлекательно для понимания сути токов смещения.

Таким образом, электромагнитная энергия аккумулируется в конденсаторе в виде энергии электрического поля, сконцентрированного в поляризованном диэлектрике между обкладками конденсатора.

Если напряжение, приложенное к конденсатору, постоянно, то происходит его единственный заряд, после завершения которого ток через конденсатор, уменьшаясь, стремится к нулю. При переменном напряжении происходит периодический перезаряд конденсатора, поскольку токи смещения изменяют свой знак под воздействием периодически изменяющего свой знак напряжения.

Практически все элементы электрической цепи переменного и постоянного тока в разной мере обладают ёмкостью. Для линий электропередач учет ёмкости проводов друг по отношению к другу и по отношению к земле имеет принципиальное значение, поскольку влияет на режим электрических сетей. Например, обычные электрические кабели обладают емкостным сопротивлением порядка 10 Ом на 1 км.

На электрических схемах емкостные сопротивления обозначаются:



Выражения для определения ёмкости элементов различной конфигурации приведены в разделе 1.4.

Реактивная проводимость, соответственно, делится на индуктивную:

$$v_L = 1/x_L, \text{ См,}$$

и ёмкостную:

$$v_C = 1/x_C, \text{ См.}$$

1.1.5. Электрическая энергия и мощность

Электрическая энергия - это способность электромагнитного поля производить работу, преобразовываясь в другие виды энергии.

Электроэнергия - наиболее совершенный и универсальный вид, сравнительно легко преобразующийся в другие виды энергии: механическую, тепловую, световую, химическую и др.

Совершение работы связано с перемещением зарядов через элементы, обладающие сопротивлением. Единица измерения электроэнергии (работы) - джоуль (Дж). Она соответствует работе по перемещению заряда в один кулон между точками цепи с напряжением в один вольт: Дж=В Кл.

Электрическая мощность - это работа по перемещению электрических зарядов в единицу времени.

Единица измерения мощности - ватт (Вт), Вт=Дж/с.

Различают активную и реактивные мощности.

Активная мощность - это мощность, связанная с преобразованием электроэнергии в тепловую или механическую энергию:

в цепях постоянного тока:

$$P=UI=I^2r, \text{ Вт;}$$

в цепях переменного синусоидального тока:

$$P=U\cos\varphi=I^2r, \text{ Вт,}$$

где U - действующее значение напряжения, $U = U_m/\sqrt{2}$,

I - действующее значение тока, $I = I_m/\sqrt{2}$.

φ - угол сдвига между векторами напряжения и тока, град.

Реактивная (индуктивная) мощность в цепях переменного синусоидального тока в установившихся режимах связана с созданием магнитных полей в элементах цепи и покрытием потерь на так называемые магнитные поля рассеяния этих элементов.

$$Q_L = UI\sin\varphi = I^2 x_L, \text{ ВАр.}$$

Реактивная (ёмкостная) мощность в цепях переменного синусоидального тока в установившихся режимах направлена на создание электрических полей в диэлектрических средах элементов цепи.

$$Q_C = UI\sin\varphi = I^2 x_C, \text{ ВАр.}$$

В цепях постоянного тока в установившихся режимах реактивные мощности равны нулю.

Полная мощность элемента в цепи переменного синусоидального тока определяется как геометрическая сумма активной и реактивной мощностей:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ или } S = UI, \text{ или } S = I^2z, \text{ ВА,}$$

где $z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}$ - полное сопротивление цепи, Ом.

1.2 Основные законы электротехники.

Закон Кулона. Сила взаимодействия между двумя точечными неподвижными зарядами q_1 и q_2 , расположенными на расстоянии R друг от друга в однородной среде прямо пропорциональна величине зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F_{12} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r R^2}, \text{ Н.}$$

Закон Ома справедлив для цепей постоянного и переменного синусоидального тока и связывает между собой величины сопротивления элемента цепи, его тока и напряжения:

Падение напряжения на участке цепи пропорционально току и величине сопротивления этого участка:

$$\text{при постоянном токе: } U = Ir,$$

$$\text{при переменном токе: } U = Iz.$$

Например, для электрической цепи (рис.1-1): $U_1 = I_1 R_1$.

Обобщенный закон Ома имеет место для цепи (ветви) m постоянного или переменного тока, содержащей источник ЭДС E_i и сопротивления r_k или z_k :

$$\text{при постоянном токе: } I_m \sum r_k = U_m + \sum E_i.$$

при переменном токе: $I_{mn} \Sigma z_k = U_{mn} + \Sigma E_i$.
 где U_{mn} - напряжение между началом и концом ветви mn ;
 ΣE_i - алгебраическая сумма всех ЭДС, находящихся в этой ветви;
 Σr_k - арифметическая сумма всех сопротивлений в ветви;
 Σz_k - геометрическая сумма всех сопротивлений в ветви при переменном токе.

Из обобщенного закона Ома следует, в частности, что напряжение на зажимах источника ЭДС равно величине ЭДС минус падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника.

Первый закон Кирхгофа. Алгебраическая сумма всех токов, сходящихся в любом узле электрической цепи, равна нулю.

Первый закон Кирхгофа является одним из непосредственных следствий закона сохранения энергии

Для цепи постоянного тока:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0, \text{ или } I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0.$$

Для цепи переменного тока:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0, \text{ или } I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0;$$

$$\sum_{k=1}^n i_k = 0, \text{ или } (\pm i_1) + (\pm i_2) \dots + (\pm i_n) = 0,$$

где I_k - комплексные действующие значения синусоидальных токов: $I_k = I_{km} / \sqrt{2}$,

$i_k = I_{km} \sin(\omega t \pm \phi_k)$ - мгновенные значения токов.

Второй закон Кирхгофа. Алгебраическая сумма электродвижущих сил какого-либо замкнутого контура электрической цепи равна алгебраической сумме падений напряжений в нем.

Для цепей постоянного тока:

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{i=1}^m I_i r_i, \text{ или } E_1 + E_2 + \dots + E_n = I_1 r_1 + I_2 r_2 + \dots + I_m r_m$$

Для цепей переменного тока:

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{i=1}^m U_i, \quad \sum_{k=1}^n e_k = \sum_{i=1}^m u_i,$$

где e_k - мгновенные значения переменных ЭДС,
 u_i - мгновенные значения падения напряжений на

пассивных элементах контура,

E_k - векторы действующих значений ЭДС,

U_i - векторы действующих значений падений напряжений.

Направление обхода контура выбирается произвольным. ЭДС имеют знак плюс, если их направление совпадает с направлением обхода контура. Падения напряжений имеют знак плюс, если выбранные знаки токов в ветвях контура совпадают с направлением обхода контура.

Законы Кирхгофа и Ома справедливы и для магнитных цепей.

Закон электромагнитной индукции Фарадея. Закон связывает ЭДС, наводимую в произвольном контуре или проводнике, помещенном в магнитное поле, со скоростью изменения магнитного потока поля или скоростью движения контура или проводника относительно неизменного по величине магнитного потока поля.

Электродвижущая сила e , наводимая в проводнике или контуре, пропорциональна скорости изменения магнитного потока Φ , пронизывающего этот проводник или контур, взятой со знаком минус:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}, \text{ В.}$$

Если контур содержит w витков, то говорят о *потокосцеплении* контура: $\Psi = w\Phi$. Тогда:

$$e = - \frac{d\Psi}{dt}, \text{ В.}$$

В соответствии с законом Фарадея изменение тока, протекающего в контуре с индуктивностью L , вызывает изменения его магнитного потока, что наводит в этом контуре ЭДС, называемую ЭДС самоиндукции:

$$e = -L \frac{di}{dt}, \text{ В.}$$

ЭДС взаимной индукции наводится в одном из магнитно связанных контуров, если в другом происходит изменение величины тока:

$$e_2 = (\pm) M_{12} \frac{di_1}{dt}, \text{ В,}$$

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

Знак (+) ставят при встречных направлениях магнитных потоков, (-) при согласных направлениях.

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

$$e = B l v \sin \alpha, \text{ В},$$

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.

При $\alpha = 90^\circ$: $e = B l v$, В.

Закон электромагнитной индукции носит фундаментальный характер и лежит в основе принципа действия всех современных электромеханических преобразователей энергии: электрических машин, электрических аппаратов и т.д.

Закон Ленца. Если по произвольному контуру, протекает изменяющийся ток, то он создает собственный изменяющийся магнитный поток, наводящий в контуре противо - ЭДС, направленный так, чтобы воспрепятствовать всякому изменению тока. Указанную противо - ЭДС называют также ЭДС самоиндукции. Это обстоятельство отмечается в приведенных выше соотношениях знаком минус. Таким образом, появление в контуре с током ЭДС самоиндукции возможно при двух неперменных условиях: изменяющемся характере тока и наличии индуктивности в цепи.

Это свидетельствует об ошибочности представлений некоторых авторов, полагающих, что ЭДС самоиндукции определяет меру электромагнитной инерции элемента цепи. Мерой инерции является величина индуктивности элемента цепи. ЭДС самоиндукции играет в электротехнических устройствах важную роль.

Закон Джоуля-Ленца. Закон определяет меру теплового действия электрического тока.

Количество теплоты, выделяющейся током в проводнике равно работе электрического поля по перемещению заряда за время t .

$$Q = Ut = I^2 r t, \text{ Дж.}$$

Единица измерения количества теплоты - джоуль (Дж).

Поскольку 1 кал = 4,1868 Дж, а 1 Дж = 0,24 кал, то количество теплоты, измеряемое в калориях:

$$Q = 0,24 I^2 r t, \text{ кал.}$$

Закон электромагнитных сил Ампера. Закон гласит: Сила механического взаимодействия проводника с током I и магнитного

поля с индукцией B прямо пропорциональна произведению магнитной индукции, длины проводника и силы тока в проводнике.

$$F = B l I \sin \alpha, \text{ Н},$$

где l - длина проводника, м
 α - угол между векторами магнитной индукции и тока.
 Сила взаимодействия двух достаточно длинных проводов ($l = l_1 = l_2$), расположенных параллельно на расстоянии a :

$$F = \frac{\mu_r \mu_0}{2\pi a} I_1 \cdot I_2 \cdot l, \text{ Н},$$

где I_1 и I_2 - токи в проводах, А,
 μ_r, μ_0 - относительная и абсолютная магнитная проницаемости.

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

$$M = k I t, \text{ кг},$$

где k - электрохимический эквивалент выделяемого вещества.

Уравнения Максвелла для электромагнитного поля для линейной изотропной среды:

$$\text{rot} \mathbf{H} = \mathbf{E} + \epsilon_r \epsilon_0 \partial \mathbf{E} / \partial t; \text{ (закон полного тока);}$$

$$\text{rot} \mathbf{E} = -\mu_r \mu_0 \partial \mathbf{H} / \partial t; \text{ (закон электромагнитной индукции);}$$

$$\mathbf{B} = \mu_r \mu_0 \mathbf{H};$$

$$\mathbf{D} = \epsilon_r \epsilon_0 \mathbf{E};$$

где \mathbf{H} - вектор напряженности магнитного поля,
 \mathbf{E} - вектор напряженности электрического поля,
 \mathbf{B} - вектор магнитной индукции,
 \mathbf{D} - вектор тока смещения,
 $\gamma \mathbf{E} = \mathbf{J}$ - вектор плотности тока проводимости,
 γ - удельная проводимость среды,
 μ_r, μ_0 - относительная и абсолютная магнитная проницаемость,
 ϵ_r, ϵ_0 - относительная и абсолютная электрические постоянные.

1.3. Основные понятия и законы для магнитных цепей

Магнитная индукция для участка цепи:

$$B = \Phi/S, \text{ Тл,}$$

где Φ - магнитный поток, Вб, S поперечное сечение участка, м².

Магнитодвижущая сила цепи (МДС):

$$F_m = w I, \text{ А,}$$

где w - число витков катушки,

I - ее ток, А.

Магнитное напряжение для участка цепи:

$$U_m = H l = \Phi R_m, \text{ А,}$$

где H - напряженность магнитного поля:

$$H = B/\mu_r \mu_0, \text{ А/м,}$$

R_m - магнитное сопротивление участка:

$$R_m = l/\mu_r \mu_0 S, \text{ 1/Гн,}$$

l - средняя длина магнитного участка, м.

Магнитная проводимость:

$$g_m = 1/R_m = \frac{\mu_r \mu_0 S}{l}, \text{ Гн.}$$

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

$$\Sigma \Phi = 0.$$

Второй закон Кирхгофа для магнитной цепи. Сумма МДС магнитного контура равна сумме падений магнитных напряжений:

$$\Sigma F_m = \Sigma U_m = \Sigma H l = \Sigma \Phi R_m.$$

Магнитный поток для ферромагнитного участка цепи длиной l , сечением S , магнитной проницаемостью μ_r :

$$\Phi = BS,$$

$$\Phi = H \mu_0 \mu_r S,$$

$$\Phi = \frac{w I \mu_0 \mu_r S}{l}, \text{ Вб.}$$

Переменный магнитный поток, возбуждаемый в магнитопроводе катушкой с числом витков w , к которой приложено напряжение $u(t)$:

$$\Phi(t) = \frac{1}{w} \int u(t) dt + \Phi_0;$$

т.е. закон изменения магнитного потока полностью определяется напряжением на обмотке и не зависит от параметров магнитной цепи.

$\Phi_0 = 0$, если постоянная составляющая потока в магнитопроводе отсутствует.

$$\text{Поскольку: } u = \frac{d\Psi}{dt} = L \frac{di}{dt},$$

$$i(t) = H(t) l / w, \quad L = f(i), \text{ то:}$$

$$u = L(i) \frac{di}{dt}.$$

Это означает, что уравнения электрических цепей переменного тока, содержащие обмотку с магнитопроводом, нелинейны. Следовательно, при синусоидальном напряжении на обмотке ее ток оказывается несинусоидальным.

Энергия магнитного поля, сосредоточенного в объеме V постоянного магнита:

$$W = \frac{HB}{2} V, \text{ Дж.}$$

Магнитные потери, связанные с перемагничиванием магнитопроводов в объеме V :

$$\Delta P_m = f W_m V, \text{ Вт,}$$

где W_m - потери энергии в единице объема, Дж/м³.

f - частота перемагничивания магнитопровода, Гц.

Энергия электромагнитного поля системы контуров или катушек, по которым протекают токи i_k :

$$W = \frac{1}{2} \Sigma i_k \Psi_k, \text{ Дж,}$$

где Ψ_k - потокосцепление k -го контура или катушки.

Энергия электромагнитного поля двух контуров или катушек:

$$W = L_1 i_1^2 / 2 + L_2 i_2^2 / 2 \pm M i_1 i_2, \text{ Дж,}$$

где L_1 и L_2 - индуктивности контуров или катушек, Гн,

M - взаимная индуктивность между первым и вторым контуром или катушкой, Гн.

Знак (+) соответствует согласному включению контуров (катушек), знак (-) - встречному.

1.4. Формулы для расчета ёмкости и индуктивности

Ёмкость конденсаторов, проводов и других элементов электрической цепи измеряется в фарадах (Ф).

Ёмкость плоского конденсатора, состоящего из n пластин площадью пластины S (м²):

$$C = (n-1) \varepsilon_r \varepsilon_0 S / d, \text{ Ф},$$

где d - расстояние между пластинами, м.

Ёмкость цилиндрического конденсатора (коаксиального кабеля) длиной l :

$$C = 2\pi \varepsilon_r \varepsilon_0 l / \ln(R_2/R_1), \text{ Ф},$$

где R_1 - радиус внутренней обкладки (жилы), м,

R_2 - радиус внешней обкладки, м.

Ёмкость прямолинейного провода длиной l и радиусом поперечного сечения r (м) (второй провод - в бесконечности):

$$C = \varepsilon_r 10^{-9} l / 18 [\ln(2l/r) - 1], \text{ Ф}.$$

Индуктивность уединенного прямолинейного провода круглого сечения радиусом r и длиной l (м):

$$L = 2 \cdot 10^{-7} l (\ln \frac{2l}{r} - 0,75), \text{ Гн}.$$

Индуктивность кольца со средним радиусом R и радиусом сечения кольца r_0 (м):

$$L = 4\pi \cdot 10^{-7} R (\ln \frac{8R}{r_0} - 1,75), \text{ Гн}.$$

Индуктивность многослойной катушки толщиной обмотки d , радиусом обмотки R (от оси до среднего слоя обмотки), длиной l и числом витков w (рис 1.2, а):

$$L = \frac{0,32 \cdot 10^{-4} R^2 w^2}{6R + 9l + 10d}, \text{ Гн}.$$

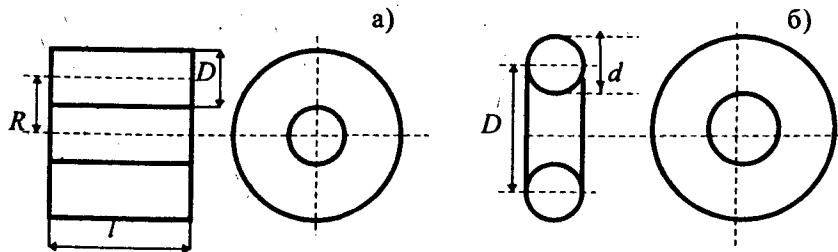


Рис.1.2

Индуктивность тороидальной катушки кругового сечения (рис. 1.2, б):

$$L = \frac{\mu_0 w^2 d^2}{2 D + \sqrt{D^2 - d^2}}, \text{ Гн},$$

где w - число витков катушки,

D - средний диаметр тора, м;

d - диаметр среднего витка, м.

Взаимная индуктивность двух тороидальных катушек с числами витков w_1 и w_2 :

$$M = \frac{\mu_0 w_1 w_2 d^2}{2 D + \sqrt{D^2 - d^2}}, \text{ Гн}.$$

Взаимная индуктивность концентрических катушек прямоугольного сечения, имеющих одинаковую длину и примыкающих друг к другу (рис.1.3):

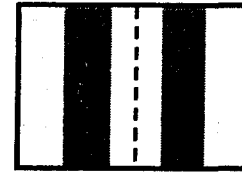


Рис 1.3. Концентрически расположенные катушки индуктивности

$$M = \frac{1}{2} (L_{12} - L_1 - L_2), \text{ Гн},$$

где L_{12} - индуктивность катушки, состоящей из первой и второй катушек;

L_1, L_2 - собственные индуктивности катушек.

1.5. Расчетные формулы для цепей постоянного тока

Методы расчета сложных цепей основываются на применении законов Ома и Кирхгофа. Сложными называют цепи, содержащие произвольное число ветвей n_v , узлов n_u , токов n_t и заданных источников ЭДС. Расчет заключается в определении токов ветвей.

1.5.1. Метод контурных токов (метод Максвелла)

Суть метода заключается в следующем. Выбираются независимые контуры (не перекрывающиеся друг друга) и направления контурных токов I_k в них. Записывается и решается система k алгебраических уравнений в соответствии со вторым законом Кирхгофа для каждого контура (k - число контуров):

$$r_{11}I_{1k} + r_{12}I_{2k} + \dots + r_{1k}I_{1k} = E_{11},$$

$$r_{21}I_{1k} + r_{22}I_{2k} + \dots + r_{2k}I_{2k} = E_{22},$$

.....

.....

$$r_{k1}I_{1k} + r_{k2}I_{2k} + \dots + r_{kk}I_{kk} = E_{kk},$$

где r_{nk} - сумма сопротивлений ветвей, входящих в контур;

E_{nk} - алгебраическая сумма ЭДС, включенных в ветви,

образующие контур n .

Определяются токи ветвей I_i как алгебраические суммы (разности) соответствующих контурных токов:

$$I_i = I_{nk} \pm I_{(n+1)k}.$$

1.5.2. Метод двух узлов

Метод двух узлов используется для цепей, имеющих n ветвей и два узла a и b (например, цепь, представленная на рис.1-1). Узловое напряжение определяется по формуле:

$$U_{ab} = \frac{\sum E_n g_n}{\sum g_n}, \text{ В,}$$

где $\sum E_n g_n$ - алгебраическая сумма произведений ЭДС ветвей на

проводимости этих ветвей;

$\sum g_n$ - сумма проводимостей всех ветвей, соединяющих

узлы a и b .

1.5.3. Метод наложения

Ток в любой ветви может быть рассчитан как алгебраическая сумма токов, вызываемых в ней от ЭДС каждого источника напряжения в отдельности. При расчете токов, вызванных каким-либо одним источником ЭДС, другие источники ЭДС замыкаются накоротко.

1.5.4. Метод эквивалентного генератора

Для определения тока I в произвольной ветви ab с сопротивлением r , нужно разомкнуть эту ветвь и часть цепи, подключенную к этой ветви заменить эквивалентным генератором с ЭДС E_r и внутренним сопротивлением r_r . Расчет E_r ведется любым известным способом. Расчет r_r ведут полагая, что оно равно входному сопротивлению цепи с замкнутыми источниками ЭДС относительно ab . Определяют ток в искомой ветви:

$$I = \frac{E_r}{r_r + r}, \text{ А.}$$

1.5.5. Преобразование сложных цепей в простые эквивалентные

Замена n последовательно соединенных сопротивлений эквивалентным:

$$r_s = \sum_{k=1}^n r_k = r_1 + r_2 + \dots + r_n, \text{ Ом.}$$

Замена n параллельно соединенных сопротивлений эквивалентным:

$$\frac{1}{r_s} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}, \text{ Ом.}$$

Переходя к проводимостям получим:

$$g_s = \sum g_i, \text{ См.}$$

Эквивалентное сопротивление при смешанном соединении сопротивлений складывается из суммы последовательно соединенных сопротивлений и эквивалентного значения параллельно соединенных.

Преобразование треугольника сопротивлений (рис.1.4, а) в эквивалентную звезду (рис.1.4,б) и обратное преобразование.

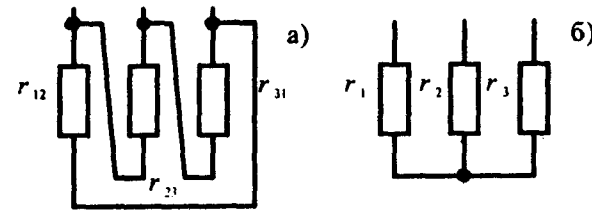


Рис. 1.4.

$$r_1 = \frac{r_{12}r_{31}}{r_{12} + r_{23} + r_{31}}; \quad r_2 = \frac{r_{23}r_{12}}{r_{12} + r_{23} + r_{31}}; \quad r_3 = \frac{r_{31}r_{23}}{r_{12} + r_{23} + r_{31}}; \text{ Ом}$$

$$r_{12} = r_1 + r_2 + \frac{r_1 r_2}{r_3}; \quad r_{23} = r_2 + r_3 + \frac{r_2 r_3}{r_1}; \quad r_{31} = r_3 + r_1 + \frac{r_3 r_1}{r_2}; \text{ Ом,}$$

где r_1, r_2, r_3 - сопротивления лучей звезды,

r_{12}, r_{23}, r_{31} - сопротивления ветвей треугольника.

1.5.6. Баланс электрических мощностей цепи

Для любой замкнутой цепи сумма мощностей источников электрической энергии P_u равна сумме мощностей P_n , расходуемых в приемниках энергии:

$$\sum_{i=1}^n P_{ui} = \sum_{k=1}^m P_{nk}, \text{ или } \sum_{i=1}^n E_i I_i = \sum_{k=1}^m I_k^2 r_k \text{ Вт,}$$

где n - число источников электрической энергии,
 m - число приемников электроэнергии.

1.6. Переходные процессы в цепях постоянного тока

В общем случае для цепи, содержащей источники ЭДС e_i , сопротивления r_i , индуктивности L_i , взаимные индуктивности M_i и емкости C_i для определения искомого тока i записывают линейное однородное дифференциальное уравнение в соответствии со вторым законом Кирхгофа для данного контура:

$$\sum e_k = \sum (i_k r_k + L_k \frac{di_k}{dt} + M_{km} \frac{di_m}{dt} + \frac{1}{C_k} \int i_k dt).$$

Ток, являющийся общим решением этого уравнения представляют в виде двух составляющих:

$$i = i_{св} + i_{вн}$$

где $i_{св}$ - свободный ток - составляющая, действующая лишь в переходном режиме,
 $i_{вн}$ - вынужденный ток - составляющая, действующая в установившемся режиме.

Ток $i_{св}$ получают, как частное решение этого уравнения со свободным членом при $t = \infty$.

Ток $i_{вн}$ получают как общее решение уравнения без свободного члена.

Приведем примеры решений для некоторых типовых цепей.

а) Включение цепи, содержащей последовательно соединенные резистор сопротивлением r и индуктивность L , на постоянное напряжение U (рис.1.5):

$$U = L \frac{di}{dt} + ir, \text{ или } L \frac{di}{dt} + ir - U = 0 \quad (a-1)$$

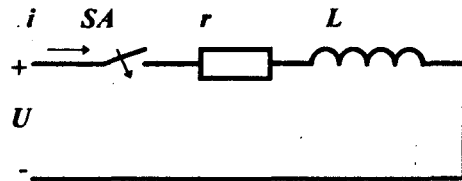


Рис. 1.5

Вынужденная составляющая тока:

$$i_{вн} = \frac{U}{r}. \quad (a-2)$$

Уравнение без свободного члена:

$$L \frac{di_{св}}{dt} + i_{св} r = 0. \quad (a-3)$$

Его характеристическое уравнение:

$$Lp + r = 0; p = -\frac{r}{L}. \quad (a-4)$$

Общее решение уравнения (a-3):

$$i_{св} = Ae^{pt} = Ae^{-\frac{r}{L}t}$$

Общее решение уравнения (a-1):

$$i = i_{вн} + i_{св} = \frac{U}{r} + Ae^{-\frac{r}{L}t}. \quad (a-5)$$

Постоянную A находят из (a-5), полагая при $t=0; i=0$:

$$0 = \frac{U}{r} + Ae^{-0}, \quad A = -\frac{U}{r}.$$

Решение уравнения (a-1):

$$i = \frac{U}{r} (1 - e^{-\frac{r}{L}t}), \quad (a-6)$$

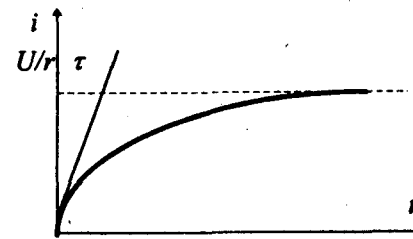


Рис.1.6. График изменения тока при включении цепи r - L на постоянное напряжение

или, полагая $\tau = \frac{L}{r}$ (постоянная времени):

$$i = \frac{U}{r} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}). \quad (a-7)$$

б) При включении цепи, содержащей последовательно соединенные резистор с сопротивлением r и конденсатор C , на постоянное напряжение U (рис.1.7), её уравнение имеет вид:

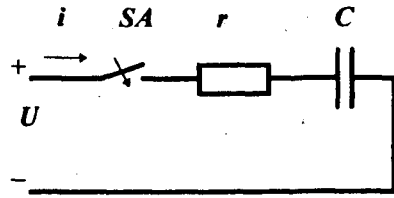


Рис.1.7. Включение цепи r-C на постоянное напряжение U.

$$U = r i + U_c, \quad (6-1)$$

где: i - ток в цепи, $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_c}{dt}$,

U_c - падение напряжения на конденсаторе.

$$U = rC \frac{dU_c}{dt} + U_c. \quad (6-2)$$

Решение (6-2) ищется в виде:

$$U_c = U_{c(ст)} + U_{c(св)}, \text{ и } U_{св} = U. \quad (6-3)$$

Характеристическое уравнение для (6-2):

$$rCp + 1 = 0; \quad p = -\frac{1}{rC}. \quad (6-4)$$

Свободная составляющая напряжения $U_{c(св)}$:

$$U_{c(св)} = Ae^{-\frac{t}{rC}}. \quad (6-5)$$

Решение уравнения (6-2):

$$U_c = U + Ae^{-\frac{t}{rC}}. \quad (6-6)$$

Поскольку в начальный момент, при $t=0$, $U_c=0$, то $A = -U$, следовательно искомое решение:

$$U_c = U(1 - e^{-\frac{t}{rC}}), \quad (6-7)$$

где $\tau = rC$ - постоянная времени цепи.

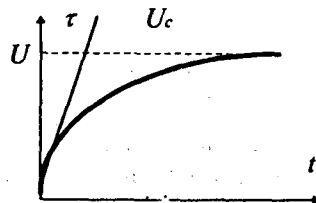


Рис. 1.6. График изменения напряжения U_c на конденсаторе при включении цепи r-C на напряжение U

1.7. Расчетные формулы для цепей однофазного тока

1.7.1. Переменные токи и напряжения

Частота тока и напряжения генератора, вращающегося с угловой скоростью ω и имеющего p пар полюсов:

$$f = \frac{p\omega}{2\pi}, \text{ Гц.}$$

В цепях переменного тока различают *мгновенные, действующие, средние и амплитудные* значения тока и напряжения.

Мгновенными называют значения тока или напряжения в цепи, определяемые для произвольного момента времени t .

Мгновенные значений синусоидальных тока и напряжения:

$$i = I_m \sin(\omega t + \Psi_i), \text{ А,}$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \Psi_u), \text{ В,}$$

где I_m и U_m - амплитудные значения тока и напряжения,

Ψ_i и Ψ_u - углы сдвига фаз тока и напряжения относительно начала координат,

$\Psi_u - \Psi_i = \varphi$ - угол сдвига фазы тока относительно фазы напряжения.

Действующим называют значение такого периодического тока, который производит тот же тепловой эффект, что и равный ему по величине постоянный ток. Действующие значения токов и напряжений являются *среднеквадратичными* значениями их мгновенных значений:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = 0,707 I_m, \text{ или } I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \text{ А;}$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \text{ или } U = 0,707 U_m, \text{ В.}$$

Средние значения тока и напряжения:

$$I_{ср} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} i dt = \frac{2}{\pi} I_m = 0,638 I_m, \text{ А;}$$

$$U_{ср} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} u dt = \frac{2}{\pi} U_m = 0,638 U_m, \text{ В.}$$

1.7.2. Мощности в цепях переменного тока.

1. Мгновенное значение мощности в цепи с активным сопротивлением r :

$$p = ui = U_m I_m \sin^2 \omega t = U_r I (1 - \cos 2\omega t), \text{ Вт.}$$

Среднее значение активной мощности в цепи с активным сопротивлением r :

$$P_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = U_r I = I^2 r, \text{ Вт.}$$

2. Цепи с чисто индуктивным сопротивлением:

ток в цепи $i = I_m \sin \omega t$, тогда ЭДС самоиндукции

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \cos \omega t = -\omega L I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right),$$

т.е. ЭДС отстает от тока, его вызвавшего, на угол $\pi/2$.

Падение напряжения на катушке:

$$U_L = \omega L I.$$

Мгновенная мощность катушки:

$$P_L = ui = U_m I_m \sin \omega t \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = UI \sin 2\omega t.$$

Средняя за период мощность идеальной катушки:

$$P_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T UI \sin 2\omega t dt = 0.$$

Это означает, что в течение периода идеальная катушка дважды получает от источника энергию, преобразуя ее в магнитное поле, и дважды возвращает ее.

Реактивная мощность катушки:

$$Q_L = U_L I = \omega L I I = X_L I^2, \text{ ВАр.}$$

3. В цепи с емкостным сопротивлением:

$$u = U_m \sin \omega t, \text{ В,}$$

$$i = C du/dt = C \omega U_m \cos \omega t = I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), \text{ А,}$$

т.е. ток в конденсаторе опережает напряжение на угол $\pi/2$.

$$\text{Действующее значение тока: } I = \omega C U = \frac{U}{x_c}, \text{ А,}$$

Емкостное сопротивление: $x_c = 1/\omega C$, Ом.

Мгновенная мощность:

$$p = ui = U_m I_m \sin \omega t \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = UI \sin 2\omega t.$$

Средняя мощность:

$$P_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T UI \sin 2\omega t dt = 0.$$

В течение периода конденсатор дважды получает от источника энергию для заряда (создания электрического поля в диэлектрике) и дважды возвращает ее источнику (разряжается).

Реактивная мощность конденсатора:

$$Q_c = U_c I = \frac{I^2}{\omega C} = x_c I^2, \text{ ВАр.}$$

Из изложенного следует важный для практики вывод: токи индуктивности и ёмкости в цепи переменного тока в каждый момент времени направлены в противоположные стороны. Другими словами, в каждый момент времени, когда катушка получает от источника электромагнитную энергию, конденсатор возвращает её источнику и наоборот.

4. Цепь, содержащая последовательно включенные активное, индуктивное и емкостное сопротивления (рис.1.7).

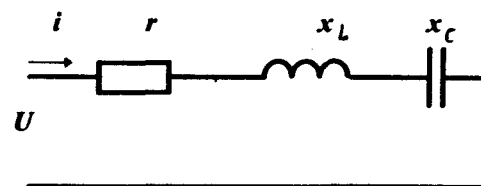


Рис.1.7

$$U = U_m \sin \omega t, \text{ В}$$

$$i = I_m \sin (\omega t + \varphi), \text{ А.}$$

Реактивное сопротивление цепи:

$$x = x_L - x_c, \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление цепи:

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}, \text{ Ом.}$$

Угол сдвига фаз между векторами напряжения и тока:

$$\varphi = \arccos (r/z) = \arccos U_r/U.$$

Коэффициент мощности цепи:

$$\cos \varphi = r/z = U_r/U = P/S.$$

Мгновенное значение приложенного напряжения равно сумме мгновенных значений падений напряжений на участках цепи:

$$u = u_r + u_L + u_C, \text{ или: } u = u_r + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt.$$

Мгновенное значение мощности для этой цепи:

$$p = ui = u_m i_m \sin \omega t \sin (\omega t - \varphi), \text{ Вт.}$$

Среднее значение мощности равно активной мощности:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt = UI \cos \varphi = I^2 r, \text{ Вт.}$$

Реактивная мощность:

$$Q = UI \sin \varphi = Q_L - Q_C, \text{ ВАр,}$$

$$Q_L = I^2 x_L; \quad Q_C = I^2 x_C, \text{ ВАр.}$$

Полная мощность:

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

При $x_L = x_C$ в такой цепи имеет место *резонанс напряжения*, цепь ведет себя как чисто активная, а ток имеет наибольшее (при $U = \text{const}$) значение.

5. Цепь, содержащая параллельно включенные активное, индуктивное и емкостное сопротивления (рис 1.8).

В такой цепи все элементы находятся под одинаковым напряжением источника:

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

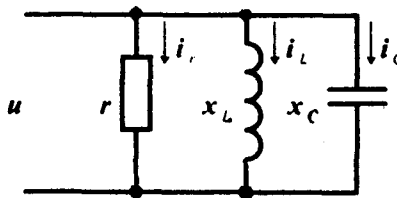


Рис. 1.8. Параллельное соединение элементов r, L, C .

Проводимости элементов цепи:

активная: $g = \frac{1}{r}; \text{ См,}$

емкостная: $\sigma_C = \frac{1}{x_C}; \text{ См,}$

индуктивная: $\sigma_L = \frac{1}{x_L}; \text{ См.}$

Полная проводимость цепи, содержащей элементы R, L, C :

$$y = \sqrt{g^2 + (\sigma_L - \sigma_C)^2}, \text{ или: } y = \frac{1}{z}, \text{ См.}$$

Угол сдвига фаз тока и напряжения:

$$\varphi = \text{arc tg } \frac{\sigma_L - \sigma_C}{g}.$$

Токи в ветвях:

$$i_r = u g = g U_m \sin \omega t = I_{mr} \sin \omega t;$$

$$i_L = u \sigma_L = \sigma_L U_m \sin \omega t = I_{mL} \sin (\omega t - \frac{\pi}{2});$$

$$i_C = u \sigma_C = \sigma_C U_m \sin \omega t = I_{mC} \sin (\omega t + \frac{\pi}{2}).$$

Значения мощностей рассчитываются по приведенным выше формулам.

При $\sigma_C = \sigma_L$ имеет место резонанс токов. Общий ток в цепи имеет минимальное значение и активный характер. На практике параллельное включение емкостей в однофазной и трехфазной цепях широко используется для разгрузки питающих линий (проводов, кабелей, шин) от реактивной (индуктивной) составляющей тока.

Это позволяет уменьшить потери электроэнергии в передающих линиях, и тем самым экономить ее, выбирать меньшие сечения проводов и кабелей для питания тех же самых электроприемников.

1.8. Расчетные соотношения для цепей трехфазного тока

1.8.1. Выражения для токов, напряжений и мощностей

Выражения для мгновенных значений трехфазных токов и напряжений фаз A, B, C при активной нагрузке имеют вид:

$$i_A = I_{mA} \sin \omega t; \quad i_B = I_{mB} \sin (\omega t + \frac{2\pi}{3}); \quad i_C = I_{mC} \sin (\omega t - \frac{2\pi}{3}),$$

$$u_A = U_{mA} \sin \omega t; \quad u_B = U_{mB} \sin (\omega t + \frac{2\pi}{3}); \quad u_C = U_{mC} \sin (\omega t - \frac{2\pi}{3}),$$

где I_{mA}, I_{mB}, I_{mC} - амплитудные значения токов в фазах, U_{mA}, U_{mB}, U_{mC} - амплитудные значения напряжений.

Мгновенные мощности фаз определяются как произведения каждой фазы:

$$p_A = i_A u_A; \quad p_B = i_B u_B; \quad p_C = i_C u_C.$$

Фазы источников и приемников электроэнергии соединяются в *звезду* и *треугольник*. При соединении приемника в *симметричную*

звезду фазный ток равен линейному: $I_\phi = I_L$, фазное напряжение в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного: $U_\phi = \sqrt{3} U_\phi$.

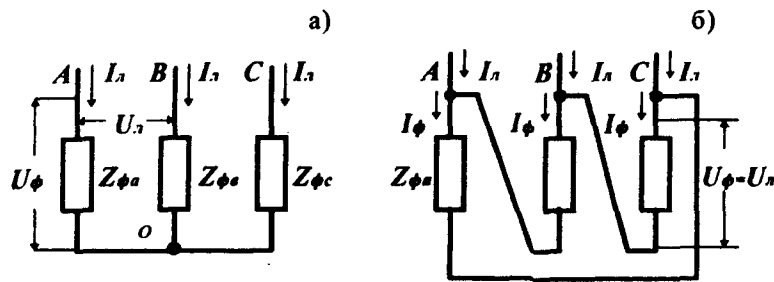


Рис.1.9. Соединение электроприемника по схемам “звезда” (а) и “треугольник”(б)

Мощность активная фазы:

$$P_\phi = U_\phi I_\phi \cos \varphi = I_\phi^2 r_\phi, \text{ Вт.}$$

Активная мощность симметричного приемника:

$$P = 3 P_\phi = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi = 3 I_\phi^2 r_\phi, \text{ Вт.}$$

Реактивная мощность симметричного приемника:

$$Q = 3 Q_\phi = 3 U_\phi I_\phi \sin \varphi = \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi = 3 I_\phi^2 x_\phi, \text{ ВАр.}$$

Полная мощность приемника:

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

или: $S = \sqrt{3} U_L I_L, \text{ ВА.}$

При соединении приемника в симметричный треугольник:

Фазный ток в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного:

$$I_\phi = \frac{1}{\sqrt{3}} I_L$$

Фазное напряжение равно линейному:

$$U_\phi = U_L$$

Мощности определяются по приведенным выше формулам.

1.8.2. Метод симметричных составляющих

Метод применяется для расчета несимметричных трехфазных систем. Суть метода заключается в разложении заданных или искомым векторов напряжения или тока на сумму векторов прямой, обратной и нулевой последовательности. Например:

$$U_A = U_0 + U_1 + U_2, \quad U_B = U_0 + U_1 a^2 + U_2 a, \quad U_C = U_0 + U_1 a + U_2 a^2,$$

где $a = 1 e^{j120^\circ}$ - фазовый множитель, $a^2 = 1 e^{-j120^\circ}$.

Тогда:

$$U_0 = \frac{1}{3} (U_A + U_B + U_C);$$

$$U_1 = \frac{1}{3} (U_A + a U_B + a^2 U_C);$$

$$U_2 = \frac{1}{3} (U_A + a U_C + a^2 U_B).$$

После разложения несимметричной трехфазной системы на симметричные составляющие применяют метод наложения: рассчитывают цепь отдельно для нулевой, прямой и обратной последовательностей.

Активная и реактивная мощности системы:

$$P = 3 U_0 I_0 \cos \varphi_0 + 3 U_1 I_1 \cos \varphi_1 + 3 U_2 I_2 \cos \varphi_2, \text{ Вт.}$$

$$Q = 3 U_0 I_0 \sin \varphi_0 + 3 U_1 I_1 \sin \varphi_1 + 3 U_2 I_2 \sin \varphi_2, \text{ ВАр.}$$

Полная мощность системы:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ ВА.}$$

1.9. Переходные процессы в цепях переменного синусоидального тока

1.9.1. Включение цепи r-L на синусоидальное напряжение

В соответствии со вторым законом Кирхгофа переходной процесс включения описывается уравнением:

$$u = U_m \sin(\omega t + \Psi_u) = L \frac{di}{dt} + ri,$$

где Ψ_u - фаза напряжения.

Расчет переходного процесса заключается в определении выражения для тока цепи в функции от времени.

Ток установившегося режима (частное решение):

$$i_c = I_m \sin(\omega t + \Psi - \varphi),$$

где I_m - амплитудное значение тока, $I_m = \frac{U_m}{z}$;

z - полное сопротивление цепи $z = \sqrt{r^2 + (\omega L)^2}$;

φ - угол сдвига между напряжением и током $\varphi = \arctg \frac{\omega L}{r}$.

Свободная составляющая тока определяется как общее решение уравнения без свободного члена: $L \frac{di}{dt} + ri = 0$:

$$i_{св} = Ae^{-\frac{t}{\tau}},$$

где A - постоянная интегрирования, $A = -I_m \sin(\Psi_u - \varphi)$.

$\tau = L/r$ - постоянная времени.

Решение уравнения:

$$i = I_m \sin(\omega t + \Psi_u - \varphi) - I_m \sin(\Psi_u - \varphi) e^{-t/\tau}.$$

1.9.2. Включение цепи r - C на синусоидальное напряжение

Уравнение, описывающее переходный процесс при включении цепи r - C на синусоидальное напряжение имеет вид:

$$U_m \sin(\omega t + \Psi_u) = ir + u_c = rC \frac{du_c}{dt} + u_c;$$

решение уравнения:

$$i = I_m \sin(\omega t + \Psi_u + \varphi) - \frac{I_m}{\omega Cr} \cos(\Psi_u - \varphi) e^{-t/\tau}$$

Таким образом, при переходных процессах включения цепи с последовательно соединенными r - L и r - C элементами на синусоидальное напряжение, ток складывается из синусоидальной и экспоненциальной составляющих.

Более подробные сведения по приведенным в главе 1 материалам читатель найдет в литературе [1, 18, 19, 20]

ГЛАВА 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ В СИСТЕМЕ СИ

2.1. Основные единицы СИ

Метр (м, m) - единица длины. Метр равен 1650763,73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона - 86.

Килограмм (кг, kg) - единица массы, равная массе международного прототипа килограмма.

Секунда (с, s) - единица времени, равная 9192631770 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 бесконечно малого поперечного 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, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды. Допускается применение также градусов Цельсия (обозначается t). При этом $t = T - T_0$, где $T_0 = 273,15$ К. Градус Цельсия $^{\circ}\text{C}$ равен градусу Кельвина К.

Моль (моль, mol) - единица количества вещества, равная количеству вещества системы, содержащей столько структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 г.

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.

2.2. Дополнительные единицы в системе СИ

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

Стерadian (ср., sr) - единица телесного угла, равная телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

2.3. Единицы механических величин в системе СИ

Таблица 2.1

Наименование величины	Наименование единицы	Выражение через единицы СИ	Обозначение единицы	
			русское	международное
Длина	метр	м	м	m
Масса	килограмм	кг	кг	kg
Время	секунда	с	с	s
Площадь	кв. метр	м ²	м ²	m ²
Объем, вместимость	куб. метр	м ³	м ³	m ³
Сила, вес	ньютон	кг м/с ²	Н	N
Плотность	килограмм на куб. метр	кг/м ³	кг/м ³	kg/m ³
Момент силы	ньютон-метр	кг м ² /с ²	Н м	N m
Работа, энергия	джоуль	кг м ² /с ²	Дж	J
Мощность	ватт	кг м ² /с ² =Дж/с	Вт	W
Давление	паскаль	кг/(м с ²)=Н/м ²	Па	Pa
Количество движения (импульс)	килограмм-метр в секунду	кг м/с	кг м/с	kg m/s
Момент количества движения	килограмм-метр дквдрате в секунду	кг м ² /с=Н м с	кг м ² /с	kg m ² /s
Момент инерции (динамический)	килограмм-метр в квадрате	кг м ²	кг м ²	kg m ²
Скорость	метр в секунду	м/с	м/с	m/s
Ускорение	метр на секунду	м/с ²	м/с ²	m/s ²
Угловая скорость	радиан в секунду	с ⁻¹	рад/с	rad/s
Угловое ускорение	радиан на секунду в квадрате	с ⁻²	рад/с ²	rad/s ²
Период	секунда	с	с	s
Частота периодич. процесса	герц	с ⁻¹	Гц	Hz

2.4. Единицы электромагнитных величин в системе СИ

Таблица 2.2.

Наименование величины	Наименование единицы	Выражение через единицы СИ	Обозначение единицы	
			русское	международное
<i>Электрические величины</i>				
Сила электрического тока	ампер	А	А	A
Количество электричества, заряд	кулон	А с=Кл	Кл	C
Электрический потенциал, напряжение, ЭДС	вольт	кг м ² /(А с ²)=В	В	V
Напряженность электрического поля	вольт на метр	кг м/(А с ²)=В/м	В/м	V/m
Абсолютная	фарад на метр	А ² с ⁴ /(кг м ³)	Ф/м	F/m

диэлектрическая проницаемость				
Электрический момент диполя	кулон-метр	А с м=Кл м	Кл м	C m
Электрическое смещение	кулон на кв. метр	А с/м ² =Кл/м ²	Кл/м ²	C/m ²
Поляризованность	кулон на кв. метр	А с/м ² =Кл/м ²	Кл/м ²	C/m ²
Электрическая емкость	фарад	А ² с ⁴ /(кг м ³)= с/Ом	Ф	F
Плотность тока	ампер на кв. метр	А/м ²	А/м ²	A/m ²
Электрическое сопротивление	ом	кг м ² /(А ² с ³)=В/А	Ом	Ω
Электрическая проводимость	сименс	А ² с ³ /(кг м ²)= =1/Ом	См	S
Удельное электрическое сопротивление	ом-метр	кг м ³ /(А ² с ³)= =Ом м	Ом м	Ω m
Удельная электрическая проводимость	сименс на метр	А ² с ³ /(кг м ³)= =1/Ом м	См/м	S/m
Полная мощность	вольт-ампер	кг м ² /с ²	В А	V A
Активная мощность	ватт	кг м ² /с ²	Вт	Wt
Реактивная мощность	вар	кг м ² /с ²	ВАр	var
<i>Магнитные величины</i>				
Магнитный поток	вебер	кг м ² /(А с ²)=В с	Вб	Wb
Магнитная индукция	тесла	кг/(А с ²)=В с/м ²	Тл	T
Абсолютная магнитная проницаемость	генри на метр	кг м/(А ² с ²)	Гн/м	H/m
Магнитный момент электрического тока, магнитный момент диполя	ампер-кв. метр	А м ²	А м ²	A m ²
Намагниченность	ампер на метр	А/м	А/м	A/m
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	А/м	А/м	A/m
Индуктивность, взаимная индуктивность	генри	кг м ² /(А ² с ²)= В с/А=Вб/А= =Ом с	Гн	H
Магнитодвижущая сила, разность скалярных магнитных потенциалов	ампер	А	А	A
Магнитное сопротивление	ампер на вебер	с ² А ² /(м ² кг)= =А/Вб=1/Гн	А/Вб	A/Wb
Магнитная проводимость	вебер на ампер	м ² кг/(с ² А ²)=Гн	Вб/А	Wb/A
Векторный магнитный потенциал	вебер на метр	кг м/(А с ²)=В с/м	Вб/м	Wb/m

2.5. Пересчет единиц физических величин

Пересчет единиц энергии

Таблица 2.3

	Дж	кВт ч	кгс м	ккал
1 Дж	1	2,78 10 ⁻⁷	0,102	2,39 10 ⁻⁴
1 кВт ч	3,60 10 ⁶	1	3,67 10 ⁵	860,0

1 кгс м	9,81	$2,72 \cdot 10^{-6}$	1	$2,34 \cdot 10^{-8}$
1 ккал	$4,19 \cdot 10^3$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	427	1

Пересчет единиц мощности

Таблица 2.4

	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	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$
1 л. с.	736	0,736	75	1	0,176
1 ккал/с	$4,19 \cdot 10^3$	4,19	427	5,69	1

Пересчет единиц момента инерции и махового момента

Таблица 2.5

		Момент инерции		Момент маховой			
		кг м ²	г см ²	кгс м с ²	гс см с ²	кгс м ²	тс м ²
Момент инерции (динамический) J	1 кг м ²	1	10^2	0,102	$0,102 \cdot 10^3$	4	$4 \cdot 10^{-3}$
	1 г см ²	10^{-7}	1	$0,102 \cdot 10^{-7}$	$0,102 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-10}$
	1 кгс м с ²	9,81	$9,81 \cdot 10^7$	1	10^5	49,81	$49,81 \cdot 10^{-3}$
	1 гс см с ²	$9,81 \cdot 10^{-3}$	$9,81 \cdot 10^2$	10^{-5}	1	$49,81 \cdot 10^{-5}$	$49,81 \cdot 10^{-8}$
Момент маховой GD ²	1 кгс м ²	1/4	$10^7/4$	$0,102/4$	$0,102 \cdot 10^3/4$	1	10^{-3}
	1 тс м ²	$10^7/4$	$10^{10}/4$	$0,102 \cdot 10^3/4$	$0,102 \cdot 10^6/4$	10^3	1

$GD^2 = 4gJ$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

2.6. Единицы физических величин, применяемые в отечественной и зарубежной практике

Единицы измерения длины в других единицах

- 1 мк (микрон - устар.) = 1 микрометр (мкм) = $10^{-6} \text{ м} = 10^{-4} \text{ см}$
- 1 нм (миллимикрон - устар.) = 1 нанометр = $10^{-9} \text{ м} = 10^{-6} \text{ мм}$
- 1 А (ангстрем - до 01.01. 1980 г.) = $10^{-10} \text{ м} = 10^{-8} \text{ см}$ (точно)
- 1 м. миля (морская миля, в морской навигации - до срока, который будет установлен) = 1852 м (точно)

Единицы измерения длины в старых русских мерах

- 1 линия = 2,54 мм
- 1 дюйм = 10 линиям = 2,54 см
- 1 вершок = 4,44 см
- 1 фут = 12 дюймам = 30,48 см
- 1 аршин = 16 вершкам = 28 дюймам = 71,1 см
- 1 сажень = 3 аршинам = 7 футам = 2,13 м
- 1 верста = 500 саженям = 1,067 км

Единицы измерения длины в мерах, применяемых в Великобритании и США

- 1 линия (Line) малая = 2,12 мм
- 1 линия большая = 100 мил = 2,54 мм
- 1 дюйм (Inch) = 12 малых линий = 10 больших линий = 2,54 см
- 1 хэнд (Hand) = 4 дюймам = 10,16 см
- 1 фут (Foot) = 3 хэндам = 12 дюймам = 30,48 см
- 1 ярд (Yard) = 3 футам = 91,44 см
- 1 фатом (Fathom) = 2 ярдам = 6 футам = 1,83 м
- 1 род (Rod) = 5,5 ярда = 5,03 м
- 1 миля уставная (Statute mile) = 1760 ярдам = 1,609 км
- 1 миля морская (Mile nautical) = 1,852 км

Единицы измерения площади в старых русских мерах

- 1 кв. дюйм = $6,45 \text{ см}^2$
- 1 кв. аршин = $0,5058 \text{ м}^2$
- 1 кв. сажень = $4,55 \text{ м}^2$
- 1 десятина = 2400 кв. Саженям = 1,09 га

Единицы измерения площади в мерах, применяемых в Великобритании и США

- 1 кв. миля = $10^{-6} \text{ кв. Дюйма} = 6,45 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2$
- 1 круг. миля (Circular mil) = 0,785 кв. Миля = $5,067 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^2$
- 1 кв. линия (Square line) малая = $4,48 \text{ мм}^2$
- 1 кв. линия большая = $10^4 \text{ кв. Мил} = 6,45 \text{ мм}^2$
- 1 кв. дюйм = 144 кв. мал. линиям = 100 кв. бол. линиям = $6,45 \text{ см}^2$
- 1 кв. фут = 144 кв. Дюймам = $929,0 \text{ см}^2$
- 1 кв. ярд = 9 кв. Футам = 8361 см^2
- 1 кв. фатом = 4 кв. Ярдям = $3,34 \text{ м}^2$
- 1 акр (acre) = 43,560 кв. Футам = 4047 м^2

1 кв. миля = 640 акрам = 259 га = $259 \cdot 10^4 \text{ м}^2$

Единицы измерения объема в мерах, применяемых в Великобритании и США

1 куб. дюйм (Cubic inch) = $16,4 \text{ см}^3$

1 куб фут = 1728 куб. дюймам = $28,3 \text{ л} = 0,0283 \text{ м}^3$

1 куб. ярд = 27 куб. футом = $764,5 \text{ л} = 0,765 \text{ м}^3$

1 куб. фатом = 8 куб. ярдам = $6,12 \text{ м}^3$

Единицы измерения вместимости для сыпучих тел и жидкостей в Великобритании

1 пинта (Pint) = 0,568 л

1 кварта (Quart) = 2 пинтам = 1,136 л

1 галлон (Gallon) = 4 квартам = 4,546 л

1 бушель (Bushel) = 8 галлонам = 36,37 л

Единицы измерения вместимости в США

Для сыпучих тел

1 пицта = 0,55 л

1 кварта = 1,1 л

1 галлон = 4,4 л

1 бушель = 35,24 л

1 баррель = 115,6 л

Для жидкостей

1 пинта = 0,47 л

1 кварта = 0,95 л

1 галлон = 3,78 л

1 баррель = 159 л

Единицы измерения массы

0,1 т = 100 кг (точно)

1 кар (карат - для драгоценных камней и жемчуга - до срока, который будет установлен) = 0,2 г (точно)

Единицы измерения массы в старых русских мерах

1 доля = 44,4 мг

1 золотник = 96 долям = 4,27 г

1 лот = 3 золотникам = 12,8 г

1 фунт = 32 лотам = 409,5 г

1 пуд = 40 фунтам = 16,381 кг

Единицы измерения массы в мерах, применяемых в Великобритании

1 гран (Grain) = 64,8 мг

1 весовое пенни (Penny weight) = 24 гранам = 1,555 г

1 тройская унция (Troy ounce) = 20 вес. пенни = 31,10 г

1 тройский фунт (Troy pound) = 12 тр. унциям = 373,2 г

1 унция (Ounce) = 28,35 г

1 фунт (Pound) = 16 унциям = 453,6 г

1 тонна короткая (Short ton) = 907,2 кг

1 тонна длинная (Long ton) = 1016 кг

Единицы измерения работы и энергии

1 кал (международная) = 4,1866 Дж

1 лошадиная сила - час (л. с. - ч) = $2,648 \cdot 10^3 \text{ Дж}$

1 терт = 29,3 квт.ч = $105,5 \cdot 10^6 \text{ Дж}$

Единицы измерения мощности

1 килокалорий в час = 1,163 Вт

1 лошадиная сила (л. с.) = 75 кгс м/с = 735,499 Вт

1 л.с. английская = 76,04 кгс м/с = 745,7 Вт

Единицы измерения силы

1 дин (дина) = 10^{-5} Н

1 гс (грамм-сила) = $9,80665 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$

1 кгс (килограмм-сила) = 9,80665 Н

1 тс (тонна-сила) = 9806,65 Н

Единицы измерения давления

1 кгс/см² = 98066,5 Па

1 ат (атмосфера техническая) = 1 кгс/см² = 98066,5 Па

1 атм (атмосфера физическая) = $10,1325 \cdot 10^4 \text{ Па}$

1 бар = 1,02 ат = 10^5 Па

1 мм рт. ст. (миллиметр ртутного столба) = $13,595 \text{ кгс/м}^2 = 133,322 \text{ Па}$

1 мм вод. ст. = $1 \text{ кгс/м}^2 = 9,80665 \text{ Па}$

Единицы измерения скорости

1 км/ч = 0,278 м/с

1 уз. (узел) = 1 морской миле в час = 1,852 км/ч = 0,514 м/с

Единицы измерения электрических величин

- 10м мм²/м = 10⁻⁶ Ом м
1 Мкс (Максвелл) = 10⁻⁸ Вб
1 Гс (Гаусс) = 10⁻⁴ Тл
1 Гб (гильберт) = (10/4π)А
1 Э (эрстед) = (10³/4π)А/м
1 эрг (эрг) = 1 10⁻⁷ Дж

2.7. Физические константы, используемые в электротехнике

Элементарный заряд (заряд электрона):

$$e = 1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Электрическая постоянная:

$$\epsilon_0 = 1 / \mu_0 C_0 = 8,85418782 \cdot 10^{12} \text{ Ф/м} \approx \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \text{ Ф/м,}$$

где $C_0 = 299792458 \text{ м/с}$ - скорость света в вакууме

Магнитная постоянная:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 4\pi \cdot 10^9 \text{ Гн/см.}$$

Гравитационная постоянная:

$$G = 6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг с}^2) = 6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ Нм}^2/\text{кг}^2$$

Нормальное ускорение:

$$g_n = 9,80665 \text{ м с}^{-2}.$$

Постоянная Планка:

$$h = 6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Дж с.}$$

Постоянная Больцмана:

$$k = R/N_A = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К.}$$

Универсальная газовая постоянная:

$$R = pV/T = 8,31441 \text{ Дж/(К моль)},$$

где p - давление в Па,

V - нормальный объем в м³.

Температурный коэффициент объемного расширения идеальных газов:

$$\alpha = 0,00366 \text{ К}^{-1}$$

Число Авогадро:

$$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Число Фарадея:

$$F = N_A e = 96484,56 \text{ Кл/моль}$$

2.8. Буквы латинского и греческого алфавита, принятые для обозначения электрических и магнитных величин.

Буквы латинского алфавита

- A - плотность тока линейная; потенциал магнитный векторный.
B - индукция магнитная.
B, b - проводимость реактивная.
C - емкость.
c - скорость распространения электромагнитных волн (c_0 - в вакууме).
D - смещение электрическое.
E - напряженность электрического поля.
E, e - электродвижущая сила (ЭДС).
F - магнитодвижущая сила.
f - частота колебаний (f_0 - резонансная).
G, g - проводимость активная.
H - напряженность магнитного поля; передаточная функция.
I, i - ток.
J - плотность тока; момент инерции
k - коэффициент связи.
L - индуктивность собственная.
M - индуктивность взаимная; намагниченность; вращающий момент двигателя.
m - магнитный момент; число фаз многофазной системы цепей.
N - число витков; коэффициент размагничивания.
n - коэффициент трансформации; отношение чисел витков.
P - мощность; мощность активная; поляризованность.
p - момент электрический; мощность удельная; число пар полюсов.
Q - мощность реактивная; добротность; количество теплоты.
Q, q - заряд.
R, r - сопротивление электрическое; сопротивление активное.
S - мощность полная; сечение проводников.
T - период колебаний.
U, u - напряжение.

W - энергия электромагнитная.
 w - число витков; энергия электромагнитная удельная.
 X, x - сопротивление реактивное.
 Y, y - проводимость полная.
 Z, z - сопротивление полное.
Буквы греческого алфавита
 A - постоянная ослабления.
 α - коэффициент ослабления.
 B - постоянная фазы.
 β - коэффициент фазы.
 Γ - постоянная передачи.
 Υ - коэффициент распространения; проводимость электрическая удельная.
 δ - коэффициент затухания; угол потерь.
 ϵ - проницаемость диэлектрическая (ϵ_0 - электрическая постоянная).
 θ - декремент колебаний логарифмический.
 χ - восприимчивость магнитная.
 λ - длина электромагнитной волны; коэффициент мощности.
 μ - проницаемость магнитная (μ_0 - магнитная постоянная).
 Π - вектор Пойнтинга.
 ρ - коэффициент отражения; плотность электрического заряда объемная; сопротивление электрическое удельное
 σ - плотность электрического заряда поверхностная; проводимость электрическая удельная.
 τ - плотность электрического заряда линейная; постоянная времени.
 Φ - магнитный поток.
 φ - потенциал электрический; сдвиг фаз между напряжением и током.
 χ - восприимчивость диэлектрическая.
 Ψ - потокосцепление.
 Ω, ω - частота колебаний угловая; частота вращения угловая.
Примеры применения индексов
 ϵ_a - абсолютная диэлектрическая проницаемость.
 Z_a - волновое сопротивление.

$r_{вн}$ - внутреннее сопротивление.
 Z_c - характеристическое сопротивление.
 $u_{вх}$ - входное напряжение.
 $u_{вых}$ - выходное напряжение.
 $L_{диф}$ - индуктивность дифференциальная.
 r_k - сопротивление короткого замыкания.
 W_m - энергия магнитная.
 I_m - амплитуда тока.
 I_{max} - максимальное значение тока.
 I_{min} - минимальное значение тока.
 μ_r - относительная магнитная проницаемость.
 I_Σ - суммарный ток.
 U_ϕ - фазное напряжение.
 r_x - сопротивление холостого хода.
 $a_a = a/a_0$ - отнесенная к базисному значению (a_0) величина.

Примечание: Прописными буквами обозначают, как правило, установившиеся значение тока, напряжения, мощности; строчными буквами обозначают мгновенные или неустановившиеся значения этих величин.

ГЛАВА 3. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

В главе приводятся справочные данные по диэлектрическим или электроизоляционным материалам, применяемым в силовой электротехнике.

3.1. Физические свойства диэлектрических материалов

Диэлектрические материалы предназначены для изоляции токоведущих частей электрооборудования, изоляции их от земли и заземлителей. Диэлектрические материалы делятся на пять основных групп:

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

В таблицах 3.1.1 - 3.2.6 приведены характеристики некоторых диэлектрических материалов, широко используемых при производстве, эксплуатации и ремонте электрических изделий и установок.

3.1.1. Физические свойства диэлектрических материалов

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

Температурные индексы диэлектрических материалов зависят от их физических свойств и определяются классом нагревостойкости. Сведения о классах нагревостойкости диэлектрических материалов приведены в таблице 3.1.2.

3.1.2. Температурные индексы диэлектрических материалов

Класс нагревостойкости	Температура, °С	Характеристика основных групп электроизоляционных материалов, соответствующих данному классу нагревостойкости
У	90	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и натурального шелка, не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал
А	105	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка или натурального, искусственного и синтетического шелка, пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал
Е	120	Синтетические органические материалы (пленки, волокна, смолы и др.) и другие материалы или простые сочетания материалов, для которых на основании практического опыта или соответствующих испытаний установлено, что они могут работать при температуре, соответствующей данному классу
В	130	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами
Ф	155	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами; которые соответствуют данному классу нагревостойкости
Н	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры
С	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

3.2. Технические данные диэлектрических материалов

3.2.1. Технические данные листового асбеста

Толщина, мм	Средняя плотность, кг/м ³	Размеры листов, мм
2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 8; 10	1000... 1300	900x900; 900x1000; 1000x1000

3.2.2. 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)

3.2.3. 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

3.2.4. Лента 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

3.2.5. Ленты хлопчатобумажные

Наименование	Ширина	Толщина, мм
Киперная	10; 12; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 50	0,45
Тафтная	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

3.2.5. Ленты и ткани изоляционные

Марка	Характеристика	Аутогезия при намотке вполнахлеста и выдержке 48ч при 20 °С	Физико-механические показатели при 20 °С		Диэлектрические показатели		Адгезия к полиэтилену, алюминию и стали, МПа
			предел прочности при разрыве, МПа	относительное удлинение, % не менее	электрическая прочность, кВ/мм	удельное сопротивление, Ом см	
ЛЭТСАР (электроизоляционная термостойкая, самосклеивающаяся, резиновая); группа 1	Эластичная красного или белого цвета с ровной поверхностью без гофра и трещин по краям с центральной маркировочной полосой	Полная в монолит	4,91	350	20	10 ¹⁴	—
группа 2			4,41	350	20	10 ¹³	—
РЭТСАР (радиационная, термостойкая, резиностеклотканевая)	Стеклоткань с нанесенным одно- и двухсторонним резиновым покрытием красного или белого цвета	То же	39	—	20	10 ¹³	—
ЛЭТСАР - ЛП			Красного цвета с	Отсут-	0,78	300	15

(то же, но обладающая адгезией к полиэтилену)	равной поверхностью без гофра и трещин по краям	стиве расслаивания						
СЭЛ:	Черного цвета	Полная в монолит	0,01	200	15	10 ¹⁴	0,39	
А			0,49	200	15	10 ¹⁵	0,39	
Б								

3.2.6. Электроизоляционные лаки и эмали

Марка	Режим высыхания		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 лак				
ГФ-95	105	1...2	Ксилол, скипидар, сольвент-нафта и их смеси	Пропитка и покрытие обмоток трансформаторов, работающих в масле
Алкидно-меламиновый лак				
МЛ-92	105	1	Смесь толуола с бензином-растворителем	Пропитка обмоток статоров и роторов асинхронных электродвигателей мощностью до 100 кВт
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		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

Более подробные сведения о материалах, приводимых в главе 3 читатель найдет в литературе [2, 4, 21,36].

ГЛАВА 4. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В главе приведены сведения о проводниковых материалах, используемых в электротехнике, и подразделяемых на провода, шины и кабели.

Провода (проволоку) классифицируют по материалу, из которого они изготовлены, сечению, виду изоляции или ее отсутствию, механической прочности и др. В электротехнике применяют главным образом провода и шины из меди и алюминия, реже - из латуни и бронзы.

Для изготовления резистивных элементов - сопротивлений, реостатов, нагревательных элементов используются высокоомные сплавы константан, нихром, фехраль и др.

Для надежного электрического соединения проводов и изделий из меди, латуни и бронзы используются оловянно-свинцовые припой. Для пайки проводов и изделий из алюминия используются оловянно-цинковые и цинково-кадмиевые и другие припой.

В таблицах 4.1.1.- 4.1.3 приведены физические свойства металлов и сплавов, используемых в электротехнике.

Кабели подразделяют по материалу, из которого изготовлены их токопроводящие жилы (медь, алюминий), изоляции и материалов, из которых она изготовлена, степени герметичности и защищенности кабелей, от механических повреждений и т.д. К классу кабельных изделий относят обычно и изолированные провода, в том числе провода, предназначенные для обмоток электрических машин и трансформаторов.

Шины прямоугольного поперечного сечения изготавливают из алюминия или меди. Шины используются для изготовления шинных сборок, шинопроводов, в распределительных устройствах и т.д.

Припой используются в электротехнике для пайки электрических соединений, сращивания алюминиевых проводов круглого и прямоугольного сечения при намотке обмоток трансформаторов, для лужения, пайки меди и ее сплавов, токопроводящих частей машин и аппаратов: пайки бандажей коллекторов и секций электрических машин, приборов, жестяных деталей и т.д. Сведения о припоях приведены в таблице 4.1.4.

4.1. Проволока, провода, допустимые токовые нагрузки

Медная и алюминиевая проволока изготавливается круглого и прямоугольного сечения и предназначена для производства проводов, кабелей и других электротехнических целей.

Круглая медная проволока изготавливается в соответствии с ГОСТами 2112-71, 13842-74, 859-78, 839-79 и другими. Круглая проволока имеет диаметр от 0,02 мм до 8,5 мм.

Медная проволока прямоугольного сечения изготавливается в соответствии с ГОСТ 434-78 размерами сечения от 0,8x2 до 4x30 мм.

Круглая алюминиевая проволока (ГОСТы 6132-71, 13848-75, 839-79 и другие) выпускается диаметром от 0,08 до 10,0 мм.

Алюминиевая проволока прямоугольного сечения (ГОСТ 10687-76) имеет размеры сечения от 0,8x2 до 12,5x40 мм. Диапазон сечений алюминиевой проволоки от 1,46 до 561 мм².

Неизолированные провода из меди, алюминия и сталеалюминиевые изготавливаются в соответствии с ГОСТ 839-79 и предназначены для передачи электроэнергии в воздушных электрических сетях. Марки и области использования наиболее часто используемых неизолированных проводов приведены в таблице 4.1.5.

В соответствии с ГОСТ Т434-78 выпускаются следующие виды *медных шин и лент* : шины медные мягкие, шины медные твердые, шины медные твердые из бескислородной меди, ленты медные мягкие, ленты медные твердые,

Алюминиевые шины в соответствии с ТУ 16-705 002-77 выпускаются прямоугольного сечения. Они предназначены для изготовления шинопроводов, шинных сборок, распределительных устройств.

Шинопроводы представляют собой жесткий, составленный из комплектных секций токопроводы. Они подразделяются на магистральные и распределительные шинопроводы. Собранные из прямоугольных алюминиевых шин, изолированных друг о друга, расположенных вертикально и зажатых между специальными изоляторами внутри перфорированного контура

Провода кабели и шины выбирают расчетным путем в соответствии с длительно допустимыми токовыми нагрузками, сведения о которых приведены ниже.

Сведения о расчетах допустимых токов для проводов, кабелей и шин приведены в главе 11.

4.1.1. Физические свойства проводниковых металлов и сплавов

Материал	Плотность, кг/м ³	Предел прочности при растяжении, МПа	Температура плавления, °С	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, мкОм·м	Удельная проводимость при 20 °С, МСм/м	Температурный коэффициент сопротивления при 20 °С, 1/10 ⁻⁴ °С ⁻¹	Температурный коэффициент линейного расширения, 1/10 ⁻⁴ °С ⁻¹	Область применения в электротехнике
Алюминий	2690...2703	75...180	657...660	0,0262...0,0295	38...34	40...43,2	24	Для изготовления проводов, кабелей и шин
Медь	8890...8940	256...409	1083	0,01724...0,0180	58...55,5	41,1...43	1,7	Для изготовления проводов, шин кабелей, контактов, плат
Сталь	7870	700...1750	1400...1530	0,103...0,137	9,7...7,3	57...62	11	Для изготовления шин, заземляющих проводников, электродов заземления
Серебро	10500	150...300	960,5	0,015...0,0162	66...62	34...38	19	Для контактов, фольги и проводов
Латунь	8500...8600	230...850	880...1070	0,43...0,108	2,2...9,2	10...27	17...20	Для изготовления контактов, замыкателей
Бронза	8230...8900	520...1350	955...1030	0,095...0,1	10,5...10	4,9...18	16...18	Для изготовления проводов, трубок, контактов
Свинец	11350	9,8...16	327,4	0,217...0,227	4,6...4,4	38...41	29	Для изготовления вставок предохранительных пластин вакууматора, защитных покрытий кабелей
Вольфрам	18000...19300	2000...4000	3370...3400	0,053...0,055	19...18	41...50	4,3	Для изготовления спиралей электродвигателей, контактов

4.1.2. Физические свойства сплавов с высоким сопротивлением

Марка	Плотность, кг/м ³	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, МПа	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, мкОм·м	Температурный коэффициент, 1/10 ⁻⁴ °С ⁻¹		Рабочая температура, °С	Область применения
					сопротивления	линейного расширения		
X15H60	8200	1380...1400	650...660	1,06...1,16	1,3...1,5	1,7	950...1000	Для бытовых приборов, промышленных печей и реостатов
X15H60-H	8100	1390...1400	660...680	1,06...1,17	1,3...1,5	1,6	1050...1100	То же
X20H80	8400	1400...1410	650...660	1,04...1,17	9...10	1,6	1050...1100	Для лабораторных и промышленных печей и реостатов
X20H80-H	8400	1400...1430	650...660	1,04...1,17	12...13	1,7	1150...1200	То же
X13Ю4	7300	1480...1500	600...650	1,18...1,34	1,5...1,8	1,5	900...1000	Для бытовых и лабораторных печей
X23Ю5	7200...7250	1500...1510	630...650	1,30...1,40	2...3	1,5	1150...1200	Для лабораторных и промышленных печей и реостатов
X23Ю5Т	7190...7210	1490...1500	620...650	1,34...1,45	2...3	1,6	1175...1200	То же, но с большим сроком службы
X27Ю5Т	7190...7200	1500...1510	660...665	1,37...1,47	3...5	1,5	1250...1300	То же

Примечание к табл. 4.1.1 - 4.1.2: 1. Проволока выпускается диаметром 0,1...10 мм - холоднокатаная и 6...12 мм - горячекатаная. 2. Ленты выпускаются толщиной 0,1...3,2 мм и шириной 4...100 мм - холоднокатаные и толщиной 1,2...3,2 мм и шириной 20...200 мм - горячекатаные. 3. Меньшие значения температуры являются оптимальными, большие значения - предельными.

4.1.3. Физические свойства сплавов с высоким сопротивлением

Сплав	Плотность, кг/м ³	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, МПа	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, мкОм·м	Температурный коэффициент, 1/10 ⁻⁴ °С ⁻¹		Наибольшая рабочая температура, °С	Термо-эд.с. в паре с медью, мкВ/°С	Область применения
					сопротивления	линейного расширения			
Алюмель	8400	1448...1452	550...640	0,23...0,35	4000	2,3...2,9	900...1000	-	Для термомпар (в паре с хромелевой проволокой)
Хромель	8720	1450...1460	800...900	0,66...0,68	50...60	1,5...1,6	900...1000	21...23	Для изготовления термомпар (в паре с хромелевой или копельевой проволокой)
Копель	8990	1250...1260	600...750	0,48...0,55	10...20	1,56	500...600	45...47	Для термомпар (в паре с хромелевой или медной проволокой)
Нейзильбер	8700	1080...1090	350...600	0,30...0,42	30...36	1,8...2	200...250	14...16	Для изготовления реостатов
Манганин	8400	950...1100	450...700	0,42...0,52	0,3...1,2	1,8...2	250...300	0,9...1	Для изготовления резисторов и приборов высокого класса точности
Константан	8900	1260...1270	400...700	0,45...0,52	2...5	1,2...1,4	480...500	39...42	Для изготовления приборов низкого класса точности
Чугун серый (немагнитный)	7400	1200...1210	120...320	1,4...1,5	90...100	1,1...1,2	600...700	-	Для изготовления реостатов, нагрузочных реостатов, станин электрических машин, фильцевых проходных изоляторов и др.

4.1.4. Физические свойства и области применения припоев

Марка	Химический состав, % по массе	Температура плавления, °С	Температура пайки, °С	Область применения
Для пайки алюминия				
П250А	Олово-80, цинк-20	250	300	Лужение и пайка концов 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
Оловянно-свинцовые				
ПОС-61	Олово-61, свинец-остальное	190	240	Лужение, пайка меди и ее сплавов, токопроводящих частей машин и аппаратов
ПОС-61М	Олово-61, медь-2, свинец-остальное	192	240	То же для мелких (менее 0,2 мм) деталей
ПОССу95-5	Олово-95, сурьма-5	240	290	Пайка коллекторов, якорных секций, бандажей, токопроводящих соединений электрических машин и деталей электрооборудования
ПОССу40-2	Олово-40, сурьма-0,5, свинец-остальное	235	285	Пайка бандажей коллекторов и секций электрических машин, приборов, жестяных деталей
ПОССу30-2	Олово-30, сурьма-0,5, свинец-остальное	255	305	Пайка меди и ее сплавов, проводов, кабелей, бандажей и деталей аппаратов
ПОС-40	Олово-40, свинец-остальное	238	290	Пайка и лужение токопроводящих частей из меди, латуни, бронзы, оцинкованного железа
ПОСК50-18	Олово-51, кадмий-19, свинец-остальное	145	185	Пайка деталей из меди и ее сплавов

4.1.5. Марки, конструкции и преимущественные области применения неизолированных проводов

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

4.1.6. Основные расчетные характеристики медных проводов

Расчетные характеристики проводов марки М						
Номинальное сечение, мм ²	Сечение, мм ²	Диаметр, мм	Сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом/км, не более	Разрывное усилие провода, Н не менее		Масса, кг/км
				медной проволоки марки МТ 1-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	12300	13220	311
50	49,40	9,0	0,36822	16620	17490	444
70	67,70	10,7	0,27238	24750	26600	612
95	94,00	12,6	0,19449	34460	37000	850
120	117,0	14,0	0,15603	42960	46180	1058
150	148,0	15,8	0,12388	50500	54100	1338
185	183,0	17,6	0,10015	67110	72140	1659
240	234,0	19,9	0,07809	86070	92530	2124
300	288,0	22,1	0,06379	100090	105360	2614
350	346,0	24,2	0,05309	120270	126600	3135
400	389,0	25,5	0,04713	135490	142620	3528

4.1.7. Основные расчетные характеристики алюминиевых проводов

Расчетные характеристики проводов марок А, АКП							
Номинальное сечение, мм ²	Сечение, мм ²	Диаметр, мм	Сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом/км, не более	Разрывное усилие провода, Н, не менее		Масса, кг/км (без смазки)	Масса смазки для марки АКП, кг
				из алюминиевой проволоки марки АТ	из алюминиевой проволоки марки АТП		
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	10460	189	—
95	92,4	12,3	0,31465	10140	13500	252	—
120	117,0	14,0	0,25095	—	19190	321	16
150	148,0	15,8	0,19780	22320	23670	406	20
185	183,0	17,5	0,16085	27450	29110	502	25
240	239,0	20,0	0,12279	35950	37040	655	33
300	288,0	22,1	0,10186	43460	46100	794	54
350	346,0	24,2	0,08478	52220	55390	952	65
400	389,0	25,6	0,07567	58510	62050	1072	73
450	442,0	27,3	0,06655	66980	69000	1217	83
500	500,0	29,1	0,05870	73130	77700	1378	94
550	544,0	30,3	0,05400	77790	82490	1500	117
600	587,0	31,5	0,05032	83480	88540	1618	126
650	641,0	32,9	0,04597	91380	96920	1769	138
700	691,0	34,2	0,04261	98590	104560	1907	149
750	747,0	35,6	0,03935	106610	109840	2061	161
800	805,0	36,9	0,03654	111460	118430	2220	173

Сталеалюминиевые провода

Сталеалюминиевые провода находят наиболее широкое применение для сооружения высоковольтных ЛЭП с большими пролетами, сложными климатическими условиями (гололед, снеговые нагрузки, ветер) и т.д. Провода АС (сталеалюминиевые), АСКС (сталеалюминиевые с заполнением промежутков между стальными и медными жилами специальной термостойкой смазкой) АСК и другие конструктивно состоят из стальных жил или тросов, оплетенных алюминиевыми жилами. В таблице 4.1.8. приведены основные расчетные характеристики сталеалюминиевых проводов.

4.1.8. Основные расчетные характеристики неизолированных сталеалюминиевых проводов

Номинальное сечение, мм ² , алюминий/сталь	Сечение, мм		Диаметр, мм провода	Расчетные характеристики проводов марки АС, АСКС, АСКП, АСК		Сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом/км, не более	Разрывное усилие провода, Н, не менее		Масса кг/км, без смазки
	алюминий	сталь		из алюминиевой проволоки марки ПТ	из алюминиевой проволоки марки АТн				
							алюминий	сталь	
10/1,8	10,6	1,77	4,5	1,5	2,76630	—	3790	43	
16/2,7	16,1	2,69	5,6	1,9	1,80934	—	5810	65	
25/4,2	24,9	6,15	6,9	2,3	1,17590	—	8730	100	
35/6,2	36,9	6,15	8,4	2,8	0,78970	—	12720	148	
50/8,0	48,2	8,04	9,5	3,2	0,60298	15710	16140	195	
70/11	68,0	11,3	11,4	3,8	0,42859	22170	22770	276	
70/7,2	68,4	7,22	15,4	11,0	0,42760	—	90180	755	
95/16	95,4	15,9	13,5	4,5	0,30599	30690	31530	385	
120/19	118,0	18,8	15,2	5,5	0,24917	—	40520	471	
95/14,1	91,2	14,10	19,8	15,4	0,32108	—	168050	1357	
120/27	114,0	26,6	15,4	6,6	0,25293	—	48680	528	
150/19	148,0	18,6	16,8	5,5	0,19919	—	45060	554	
150/24	149,0	24,2	17,1	6,3	0,19798	—	50960	559	
185/24	187,0	24,2	18,9	6,3	0,15701	54950	56750	705	
185/29	181,0	29,0	18,8	6,9	0,16218	58370	60640	728	
185/43	185,0	43,1	19,6	8,4	0,15954	—	76020	846	
185/128	187,0	128,0	23,1	14,7	0,15762	—	171610	1525	
205/27	205,0	26,6	19,8	6,6	0,14294	60380	62350	774	
240/32	244,0	31,7	21,6	7,2	0,12060	70940	73280	921	
240/39	236,0	38,6	21,6	8,0	0,12428	76880	79260	952	
240/56	241,0	56,3	22,4	9,6	0,12182	94090	96410	1106	
300/39	301,0	38,6	24,0	8,0	0,09747	87280	88730	1132	
300/48	295,0	47,8	24,1	8,9	0,09983	95720	98550	1186	
300/66	288,0	65,8	24,5	10,5	0,10226	116460	119240	1313	
300/67	288,0	67,3	24,5	10,5	0,10226	112460	115230	1317	

300/204	298,0	204,0	29,2	18,6	0,09934	266830	2428
300/27	319,0	26,6	24,2	6,6	0,09387	86310	1106
330/43	332,0	43,1	25,2	8,4	0,08888	101540	1255
400/22	394,0	22,0	26,6	6,0	0,07501	92740	1261
400/51	394,0	51,1	27,5	9,2	0,07477	118130	1490
400/64	390,0	63,5	27,7	10,2	0,07528	123100	1572
400/93	406,0	93,2	29,1	12,5	0,07247	160760	1851
400/56	434,0	56,3	28,8	9,6	0,06786	128900	1640
500/27	481,0	26,6	29,4	6,7	0,06129	104000	1377
500/64	490,0	63,5	30,6	10,2	0,06005	140960	1852
500/204	496,0	204,0	34,5	18,6	0,06025	291960	301100
500/336	490,0	336,0	37,5	23,9	0,06040	431120	437845
550/71	549,0	71,2	32,4	10,8	0,05381	157700	2979
600/72	580,0	72,2	33,2	11,0	0,05091	169750	2170
650/79	634,0	78,9	34,7	11,5	0,04655	183500	2372
700/86	687,0	85,9	36,2	12,0	0,04289	199550	2575
750/93	748,0	93,2	37,7	12,5	0,03839	217030	2800
800/105	821,0	105,0	39,7	13,3	0,03586	241030	248940
1000/56	1002,9	56,3	42,4	9,6	0,02936	210100	3062

Допустимые длительные токовые нагрузки на изолированные провода.

Допустимые длительно токовые нагрузки на изолированные провода зависят от условий их эксплуатации, места их прокладки и т.д. Эти данные для медных (М), алюминиевых (А) проводов, а также наиболее широко распространенных сталеалюминиевых проводов марки АС сечением от 10 до 700 мм² приведены в таблице 4.2.5.

4.1.9. Допустимые длительные токовые нагрузки на неизолированные провода, А (по данным института "Энергосетьпроект")

Сечение, мм ²	Марка провода	Вне помещений	Внутри помещений	Марка провода			
				Вне помещений		Внутри помещений	
				М	А	М	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	—	—	—	—

Примечание: Длительные токовые нагрузки одинаковы для проводов марок АС, АСКС, АСК и АСКП.

4.2. Шины и ленты.

Медные шины и ленты (ГОСТ Т434-78) выпускаются следующих марок: ЛММ - ленты медные, мягкие, ЛМТ - ленты медные твердые, ШММ - шины медные мягкие, ШМТ - шины медные твердые, ШМТВ - шины медные, твердые из бескислородной меди.

Медные ленты выпускаются шириной от 8 до 100 мм и толщиной от 0,10 до 3,53 мм.

Медные шины имеют ширину (в) от 16 до 120 мм и отличаются от лент большей толщиной (а) от 4,0 до 30,0 мм.

Ленты толщиной до 0,5 мм поставляются в рулонах. Шины упаковываются в виде пакетов.

Алюминиевые шины неизолированные

В соответствии с ТУ 16-705 002-77 выпускаются алюминиевые шины прямоугольного сечения марки ШАТ, предназначенные для изготовления токопроводов, шинных сборок, распределительных устройств и т.д. Минимальная/максимальная ширина шин ШАТ 10-120 мм. Минимальная/максимальная толщина 3-12 мм. Удельное сопротивление постоянному току не более 0,0282 мкОм. Минимальное/максимальное поперечное сечение шин 30/1440 мм². Размеры шин ШАТ (мм):

a=3, 4, 5, 6, 8, 10, 12

a=10±0.4; 12±0.5; 15±0.5; 20±0.5; 25±0.5; 30±0.5; 40±0.9; 50±0.9; 60±1.0; 80±1.0; 100±1.2; 120±1.2.

Шины марки АДО и АДЗ1 (ГОСТ 11069-79 и ГОСТ 15176-10), прессованные из алюминиевых сплавов, изготавливаются прямоугольного сечения в диапазоне от 30 до 25800 мм². Толщина шин минимальная-3 мм, максимальная-110 мм. Ширина - минимальная 6 мм, максимальная-500 мм.

Удельное электрическое сопротивление постоянному току: шины АДО - не более 0,029 мкОм м; шины АДЗ1, в зависимости от типа, от 0,0325 до 0,0350 мкОм м.

Шинопроводы магистральные и распределительные

Шинопроводы представляют собой жесткий, составленный из комплектных секций токопровод напряжением до 1000 В. Длины секций унифицированы и кратны 770 мм.

Магистральные шинопроводы (ШМА) собраны из прямоугольных алюминиевых шин, изолированных, расположенных вертикально и зажатых между специальными изоляторами внутри перфорированного контура. Число шин - 3,4 или 6 (3 по 2 шины). Предназначены шинопроводы для цеховых четырехпроводных сетей с глухозаземленной нейтралью. Номинальный ток - от 250 до 4000 А.

Распределительные шинопроводы (ШРА и ШРМ) используются для передачи и распределения электроэнергии с возможностью непосредственного присоединения к ним электроприемников в системах с глухозаземленной нейтралью при напряжении 380/220В. Номинальные токи ШРА - 250-630 А; ШРМ - 100-250 А. ШРМ - шинопровод с медными шинами. В таблице 4.2.6. приведены основные технические данные некоторых магистральных и радиальных шинопроводов переменного тока.

4.2.1. Технические данные шинопроводов

Тип шинопровода	In, А	Un, В	Rn на фазу, Ом/км	Ln на фазу Ом/км	Zn на фазу Ом/км	Потеря напряжения 100м, В при cosα=0,8	Ударный ток, кА
ШЭМ 16	1600	380/220	0,018	0,012	0,022	-	70
ШМА 73	1600	660	0,031	0,017	0,036	9,7	70
ШМА 68Н	2500	660	0,027	0,023	0,035	15,4	70
	4000	660	0,013	0,020	0,024	16,4	100
ШРА 73	250	380/220	0,20	0,10	0,24	9,5	-
ШРА 74	400	380/220	0,15	0,13	0,20	-	-
	630	380/220	0,14	0,10	0,17	-	-
ШРМ 75	100	380/220	-	-	-	-	-
	250	380/220	0,75	0,13	0,25	-	-
ШРА У	630	380/220	0,085	0,075	0,11	-	-
ШТА 75	250	660	-	-	-	-	10
ШТМ 73	-	-	-	-	-	-	-
ШТА 76	100	≈36-380 =24-220	-	-	-	-	5

4.3. Кабельные изделия, допустимые токовые нагрузки кабелей

Кабельные изделия подразделяются на:

- силовые кабели;
- кабели управления и связи и контрольные кабели;
- силовые и установочные провода и шнуры;
- монтажные кабели и провода;
- обмоточные провода.

Приведенная классификация в известной мере условна, однако позволяет систематически представить сведения о части кабельной продукции, насчитывающей более 1000 марок и конструкций.

Силовые кабели, марки, способы прокладки, допустимые токовые нагрузки

Силовые кабели состоят из одной, трех или четырех одно- или многопроволочных медных или алюминиевых жил, изолированных друг от друга и окружающей среды, герметизированных свинцовыми, алюминиевыми или пластмассовыми оболочками и защищенных, как правило, броней из стальных лент или оцинкованной проволоки.

Изоляции кабелей изготавливаются из бумажных лент, пропитанных маслоканифольным составом, резины и пластмассы.

Буквенное обозначение определяет конструкцию кабелей, их брони, защитных оболочек и покровов. Кабели с алюминиевыми жилами обозначают буквой А. Наличие медных жил в маркировке не выделяется. Например:

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.

Основные буквенные обозначения кабелей и их значения приведены в таблице 4.3.1.

4.3.1. Обозначения кабелей

Буква, сочетание букв	Значение буквы или сочетания букв
А	Алюминиевая жила
АС	Алюминиевая жила и свинцовая оболочка
АА	Алюминиевая жила и алюминиевая оболочка
Б	Броня из двух стальных лент с антикоррозионным защитным покровом
Бн	То же, но с негорючим защитным покровом (не поддерживающим горение)
Г	Отсутствие защитных покровов поверх брони или оболочки
л(2л)	В подушке под броней имеется слой (два слоя) из пластмассовых лент
в(н)	В подушке под броней имеется выпрессованный шланг из поливинилхлорида (полиэтилена)
Шв(Шн)	Защитный покров в виде выпрессованного шланга (оболочки) из поливинилхлорида (полиэтилена)
К	Броня из круглых оцинкованных стальных проволок, поверх которых наложен защитный покров
н	Не поддерживающий горение защитный покров
М	Маслонаполненный
П	Броня из оцинкованных плоских проволок, поверх которых наложен защитный покров
С	Свинцовая оболочка
О	Отдельные оболочки поверх каждой фазы
В - в конце обозначения через 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 (неподдерживающего горение)
Бб	Броня из профилированной стальной ленты

В таблице 4.3.2. приведены сведения о трехжильных кабелях на напряжение 1-10 кВ, выпускаемых отечественной промышленностью.

4.3.2. Трехжильные кабели

Обозначение марок	Число жил	Номинальное напряжение кабелей, кВ			
		Номинальное сечение жил, мм ²			
		1	3	6	10
ААГ, ААШв, ААШп, ААБл, ААБ2лШв, 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, ААП2лГ, 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 таблице 4.3.3. приведены данные о четырехжильных силовых кабелях на напряжение 1кВ. Четвертая (нулевая) жила может иметь одинаковое с фазными жилами сечение до кабелей сечениями 120 мм².

В таблице 4.3.4. приведены данные об уменьшенных сечениях нулевой жилы четырехжильных кабелей.

4.3.3. Четырехжильные силовые кабели на напряжение 1 кВ

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

4.3.4. Сечение нулевой жилы для конструкций с уменьшенным сечением этой жилы в четырехжильных кабелях

Сечение основных жил, мм ²	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
Сечение нулевой жилы, мм ²	6	10	16	16	25	25	35	35	50	50

4.3.5. Размеры и максимальные строительные длины трехжильных кабелей с поясной изоляцией в свинцовой оболочке с медными жилами

Сечение жилы, мм	Наружный диаметр, мм												Строительная длина, м		
	1 кВ				6 кВ				10 кВ				1 кВ	6 кВ	10 кВ
	СГ	СБ	СБГ	СК	СГ	СБ	СБГ	СК	СГ	СБ	СБГ	СК			
6	12	20	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500	-	-
10	14	23	20	-	21	30	27	-	-	-	-	-	750	650	-
16	16	25	22	-	24	33	30	41	28	37	34	45	750	600	500
25	17	26	23	34	24	33	30	41	29	38	35	45	750	600	500
35	19	28	25	36	26	35	32	43	31	40	37	48	600	500	375
50	22	31	28	39	29	38	35	46	33	42	39	50	600	500	375
70	25	34	31	42	32	41	38	49	36	45	42	53	600	500	375
95	29	38	35	45	35	44	41	52	39	48	45	57	500	375	350
120	32	41	38	50	38	47	44	55	42	51	48	60	350	300	325
150	36	45	42	53	42	51	48	59	46	55	52	63	380	300	325
185	39	48	45	56	45	54	51	62	49	58	55	70	300	250	250
240	44	53	50	61	49	58	55	71	54	64	61	75	300	250	250

Характеристики маслонаполненных кабелей на напряжение 110-525 кВ приведены в таблицах 4.3.6; 2.3.7.

4.3.6. Основные геометрические размеры и массы маслонаполненных кабелей среднего давления с центральным маслопроводящим каналом и медной жилой на напряжение 110 кВ.

Параметры кабеля	В алюминиевой оболочке				В свинцовой оболочке								
	МНШв				МНШь		МНСК		МНСА				
Сечение токопроводящей жилы, мм ²	150	185	240	270	150	270	625	150	270	625	150	270	625
Диаметр маслопроводящего канала, мм	12	12	12	12	12,4	13,4	14,5	12,4	13,4	14,5	12,4	13,4	14,5
Внешний диаметр кабеля, мм	58,2	58,8	60,6	60,6	59,4	60,7	70,5	73,8	84,5	94,1	61,6	62,9	72,5
Масса масла в кабеле, кг/км	600	630	670	670	694	709	890	694	709	890	694	709	890
Масса кабеля, т/км	5,2	5,7	6,4	6,7	10,4	11,8	17,7	19,6	21,0	28,2	10,5	12,2	17,7

4.3.7. Основные геометрические параметры и массы маслонаполненных кабелей марки МВДТ с медной жилой в временной свинцовой оболочке

Параметры кабеля	110 кВ			220 кВ			380 кВ	525 кВ
Сечение жилы, мм ²	270	425	700	300	550	700	550	625
Диаметр, мм:								
по временной свинцовой оболочке	56,5	60,8	67,7	79,3	82,1	84,9	97,4	107,4
по полукруглым проволокам	49,3	53,6	60,5	70,7	73,5	76,5	90,2	100,2
Масса, т/км:								
в свинцовой оболочке	10,1	13,1	17,0	17,9	20,6	22,7	25,3	29,6
при снятой свинцовой оболочке	4,4	7,0	10,0	8,5	11,0	12,6	13	15,6
Внутренний диаметр стального трубопровода, мм	150	150	199	199	199	199	253	253

В таблице 4.3.8. и 4.3.9. приведены сведения о марках кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией и условиях их прокладки.

4.3.8. Характеристики силовых кабелей с резиновой изоляцией (в марке буква Р) с медными или алюминиевыми жилами (в марке буква А) в свинцовой оболочке из поливинилхлоридного пластика (в марке буква В) или в резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горения (в марке буква Н)

Марка кабеля	Характеристика конструкции и преимущественное назначение
СРГ, АСРГ	В свинцовой оболочке голый. Для прокладки внутри помещений, в каналах, туннелях, в местах, не подверженных вибрации, при отсутствии механических воздействий в среде, нейтральной по отношению к свинцу
НРГ, АВРГ	В резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горение. Для прокладки внутри помещений, в каналах, туннелях, при отсутствии механических воздействий на кабель
ВРГ, АВРГ	В поливинилхлоридной оболочке. Та же область применения, но при наличии агрессивных сред (кислот, щелочей)
СРБ, АСРБ, ВРБ, АВРБ, НРБ, АНРБ	В свинцовой, или поливинилхлоридной, или в резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горение, бронированный двумя стальными лентами. Для прокладки в земле (траншеях), если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям
СРБГ, АСРБГ, ВРБГ, АВРБГ, НРБГ, АНРБГ	В свинцовой, или поливинилхлоридной, или в резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горение, бронированный двумя стальными лентами с противокоррозионной защитой. Прокладка внутри помещений, в каналах, туннелях, если кабель не подвергается значительным усилиям
ВРБн, АВРБн	В поливинилхлоридной оболочке, бронированный двумя стальными лентами, поверх которых наложен покров, не распространяющий горение. Для прокладки в земле (траншеях), если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям и когда требуется стойкость к распространению горения.

4.3.9. Характеристика некоторых конструкций кабелей с пластмассовой изоляцией на переменное напряжение до 3 кВ (или постоянное 7,5 кВ) с медными или алюминиевыми жилами

Марка кабеля	Число жил	Номинальное сечение жил при номинальном напряжении, кВ					
		0,66		1,0		3,0	
		Медные жилы	Алюминевые жилы	Медные жилы	Алюминевые жилы	Медные жилы	Алюминевые жилы
ВВГ, АВВГ, ПВГ, АПВГ, ПсВГ, АПсВГ	1, 2, 3 4 5	1,5-50 2,5-50 -	2,5-50 2,5-50 -	1,5-240 2,5-185 1,5-25	2,5-240 2,5-135 1,5-25	4-240 -	4-240 -
ВВБ, АВВБ, ПВБ, АПВБ	1, 2, 3* 4	1,5-50 2,5-50	2,5-50 2,5-50	1,5-240 2,5-185	2,5-240 2,5-240	4-240 -	4-240 -
АВАШв (АПАШв)	3	-	-	-	4-185	-	4-185
ВВБГ, АВББ	1, 2, 3*	1,5-50	2,5-50	1,5-240	2,5-240	4-240	4-240

* Сечение медных жил двух- и трехжильных кабелей 2,5 мм и более.

Марки силовых кабелей, выбираемые для различных условий прокладки в земле, в помещениях, в воде, в воздухе приведены в таблицах 4.3.10 - 4.3.11

4.3.10. Марки кабелей, рекомендуемых для прокладки в земле (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 подвергается растягивающим условиям	В процессе эксплуатации подвергается значительным растягивающим усилиям	В процессе эксплуатации не подвергается растягивающим усилиям
В земле (траншеях) с низкой коррозионной активностью	Без блуждающих токов	ААШв, ААШп, АЛБл, АСБ	ААПл, АСПл	АВВ ¹ , АПсВГ ¹ , АПвВГ ¹
	С наличием блуждающих токов	ААШв, ААШп, ААБ2л, АСБ	ААП2л, АСПл	АПВГ ¹ , 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, АПРБ, АНРБ,
	С наличием блуждающих токов	ААШп, ААБв, АСБ2л, АСБ2лШв	ААП2лШв, АСП2л	АВАБл, АПАБл

4.3.11. Марки кабелей, рекомендуемых 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
Прокладка в помещениях (туннелях) в каналах, кабельных подэтажах, шахтах, коллекторах, производственных помещениях и др. а) сухих б) сырых, частично затопляемых в) сырых, частично затопляемых при наличии среды со слабой коррозионной активностью г) сырых, частично затопляемых при наличии среды со средней и высокой коррозионной стойкостью				
	ААБлГ, ААБлГ, АСБ2лГ, АСБ2лШв ⁴ , ААБлГ, ААБлГ, АСБлГ	ААБлГ, ААБ2лШв, ААБлГ, АСБлГ, АСБ2лГ, АСБ2лШв ⁴	АВВГ, АВРГ, АПВГ, АПсВГ, АПсВБ, АПсВГ	АВВГ, АВРБГ, АВБ6Шв, АПсВБГ, АНРБГ
Прокладка в пожароопасных помещениях	ААГ, ААШв	ААГ, ААШв	АВВГ, АВРГ, АПсВГ, АНРГ, АСРГ, АПсВГ	АВВГ, АВБ6Шв, АВБ6Шв, АПсВБГ, АНРБГ

Прокладка во взрывоопасных зонах классов: а) В-1, В-1а б) В-1г, В-1г в) В-1б, В-1а	СБГ, СБШ, ААШ ^а	ВВГ ² , ВРГ ² , НРГ ² , СРГ ² АВВГ, АВРГ, АНРГ	ВБВ, ВБШ ^а , ВВБГ, НРБГ, СРБГ АВБВ, АВБШ ^а , АВББГ, АВББГ, АНРБГ, АСРБГ, АВРБГ
	ААБлГ, АСБлГ, ААШ ^а	АВВГ, АВРГ, АНРГ, АСРГ	
	ААГ, АСГ, АСШ ^а , ААШ ^а	ААБлГ, ААБлГ ³ , ААБлШ ^а , АСБлГ	АВББГ, АВББГ, АВРБГ, АНРБГ, АПСББГ, АПСББГ, АВАШ ^а
	АШ ^а	ААВГ, АВРГ, АНРГ, АПСВГ, АПлВГ, АПлВГ, АПлСВГ, АВ, АПАШ ^а	АВББГ, АВББГ, АВРБГ, АНРБГ, АПСББГ, АПСББГ, АВАШ ^а
	ААШ ^а , ААБлГ		
Прокладка на эстакадах: а) технологических б) специальных кабельных	ААБлГ, АСБлГ, ААШ ^а ⁴ СГ, АСГ	АВВГ, АПСВГ, АПлВГ, АПлВГ, АПлСВГ, АПлВГ	
в) на мостах Прокладка в блоках			

Примечание:

¹ Для одиночных кабельных линий, прокладываемых в помещениях

² Для групповых осветительных сетей во взрывоопасных зонах класса В-1а

³ Применяются при наличии химически активной среды

⁴ Кабель марки АСБлШ^а может быть использован в исключительно редких случаях с особым обоснованием

⁵ Прокладка в коробах или при обеспечении защиты от механических повреждений в эксплуатации

4.3.12. Марки кабелей, прокладываемые в воде и в шахтах

Условия прокладки	С бумажно-пропитанной изоляцией в металлической оболочке		
	в отсутствие опасности механических повреждений эксплуатации	в процессе эксплуатации не подвергаются значительным растягивающим усилиям	в процессе эксплуатации подвергаются значительным растягивающим усилиям
В воде	—	—	СКл, АСКл, ОСК, АОСК
В шахтах	СШ ^а , ААШ ^а ¹	СБн, СБлн, СБШ ^а , СБлШ ^а , ААШ ^а ¹	СПлн, СПШ ^а , СПл

4.3.13. Кабельные наконечники алюминиевые, медноалюминиевые и латунные

Площадь поперечного сечения, кв. мм	Расчетная масса 1000 штук, кг		
	А	МА	Л
16	8,3 - 9,2	23,1	7 - 11
25	12,6 - 12,9	30,7	-
35	17,5 - 19,6	45,2	9 - 21
50	24,9 - 28,8	58,6	-
70	33,7 - 38,0	75,9 - 79,6	16 - 29
95	41,8 - 44,5	97,8	-
120	54,2 - 59,9	120 - 126,2	25 - 38
150	58,6 - 74,0	135 - 153,2	-
185	68,8 - 78,9	152,6 - 172	34 - 54
240	80,4 - 115,6	157,5 - 206,9	67 - 88
300	140 - 150	250	-

Допустимые токовые нагрузки для кабелей

Допустимые токовые нагрузки для кабелей, прокладываемых в земле и в воздухе и в воде приведены в таблицах 4.3.14. - 4.3.23.

4.3.14. Кабели с медными жилами с бумажной пропитанной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемые в земле

Сечение жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А					
	одножильных кабелей до 1 кВ	двухжильных кабелей до 1 кВ	трехжильных кабелей			четырёхжильных кабелей 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	—
300	1000	—	—	—	—	—
400	1220	—	—	—	—	—

500	1400	-	-	-	-	-
625	1520	-	-	-	-	-
800	1700	-	-	-	-	-

4.3.15. Кабели с медными жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массой изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемые в воздухе

Сечение жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А					
	одножильных кабелей до 1 кВ	двухжильных кабелей до 1 кВ	трехжильных кабелей			четырежильных кабелей до 1 кВ
			до 3 кВ	до 6 кВ	10 кВ	
2,5	40	30	28	-	-	-
4	55	40	37	-	-	35
6	75	55	45	-	-	45
10	95	75	75	55	-	60
16	120	95	95	65	60	80
25	160	130	130	90	85	100
35	200	150	150	110	105	120
50	245	185	185	145	135	145
70	305	225	225	175	165	185
95	360	275	275	215	200	215
120	425	320	320	250	240	260
150	470	375	375	290	270	300
185	525	-	430	325	305	340
240	610	-	-	375	350	-
300	720	-	-	-	-	-
400	880	-	-	-	-	-
500	1020	-	-	-	-	-
625	1180	-	-	-	-	-
800	1400	-	-	-	-	-

4.3.16. Кабели с медными жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массой изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемые в воде.

Сечение жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А			
	трехжильных кабелей			четырежильных кабелей 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	-

4.3.17. Кабели и провода с медными жилами с резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и кабели с медными жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, пластмассовой или резиновой оболочке бронированные и небронированные (1 кВ)

Сечение жилы, мм ²	Токовые нагрузки А, кабелей и проводов				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
		в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе
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	-	-	-	-

4.3.18. Допустимые токовые нагрузки на кабели с алюминиевыми жилами, бумажной изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке при прокладке в земле/в воздухе.

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

4.3.19. Допустимые токовые нагрузки на кабели с алюминиевыми жилами, резиновой или пластмассовой изоляцией, в свинцовой, полихлорвиниловой или резиновой оболочках при прокладке их в воздухе

Сечение жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А		
	Одножильные	Двужильные	Трёхжильные
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	-/-	-/-

4.3.19. Провода и шнуры с резиновой и пластмассовой изоляцией с медными жилами

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

4.3.20. Шнуры переносные шланговые легкие и средние, кабели переносные шланговые тяжелые гибкие шланговые, прожекторные и провода переносные с медными жилами

Сечение жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А		
	Одножильных	Двужильных	Трёхжильных
0,5	-	12	-
0,75	-	16	14
1,0	-	18	16
1,5	-	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	235	185	160
50	235	185	160
70	290	235	200

Примечание: Токовые нагрузки относятся к шнурам, проводам и кабелям как с заземляющей жилой, так и без нее.

4.3.21. Кабели шланговые с медными жилами с резиновой изоляцией для передвижных электроприемников

Сечение жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А, кабелей		Сечение жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А, кабелей	
	3 кВ	6 кВ		3 кВ	6 кВ
16	85	90	70	215	220
25	115	120	95	260	265
35	140	145	120	305	310
50	175	180	50	345	350

4.3.22. Активное и индуктивное сопротивления трехжильных кабелей с поясной изоляцией

Сечение жилы, мм ²	Активное сопротивление, Ом/км, при 20 °С		Индуктивное сопротивление, Ом/км, при напряжении	
	Алюминий	Медь	6 кВ	
			10 кВ	10 кВ
1,5	19,62	11,95	-	-
2,5	11,75	7,17	-	-
4	7,85	4,5	-	-
6	4,90	3,0	-	-
10	2,94	1,79	0,11	0,122
16	1,84	1,12	0,102	0,113
25	1,17	0,716	0,091	0,099
35	0,84	0,514	0,087	0,095
50	0,589	0,359	0,083	0,090
70	0,42	0,256	0,08	0,086
95	0,31	0,189	0,078	0,083
120	0,245	0,15	0,076	0,081
150	0,196	0,12	0,074	0,079
185	0,159	0,097	0,073	0,077
240	0,125	0,075	0,071	0,075

В таблице 4.3.22. приведены активное и индуктивное сопротивление трехжильных кабелей различных сечений жил.

4.3.23. Допустимые длительные токовые нагрузки на провода с алюминиевыми жилами с резиновой полихлорвиниловой изоляцией

Сечение токопроводящей 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

Контрольные кабели управления

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 изготовляют 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 пластиката (В), полиэтилена (П), фторопласта (Ф), в некоторых случаях - из кабельной пропитанной бумаги.

Кабели могут иметь оболочки из резины или пластмассы, свинца, алюминия. Для защиты от внешних электрических полей контрольные кабели могут иметь экран (Э).

В зависимости от условий прокладки контрольные кабели могут иметь броневые (Б) и защитные покровы.

В таблице 4.3.24. приведены данные некоторых контрольных кабелей. Пример: 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.

4.3.24. Контрольные кабели

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, КРВББГ, АКРВББГ, КРНГ, АКРНГ, КРНБ, АКРНБ, КРНБГ, АКРНБГ, КРНБГц, АКРНБГц, КРНББГ, АКРНББГ	М, А	2,5	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37,
	М, А	4; 6	4, 7, 10
	А	10	4, 7, 10
<i>Кабели с поливинилхлоридной изоляцией</i>			
КВВГ, КВВГЭ, АКВВГ, АКВВГЭ, КВВБ, АКВВБ, КВВБГ, АКВВБГ, КВВБГц, АКВВБГц, КВВББГ, АКВВББГ, КВББШв, АКВББШв, КВПБШв, КВСТШв, АКВСТШв	М	0,75; 1,0; 1,5	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37, 52, 61
	М, А	2,5	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37
	М, А	4; 6	4, 7, 10
А	10	4; 7, 10	
<i>Кабели с полиэтиленовой изоляцией</i>			
КПВГ, АКПВГ, КПВБ, АКПВБ, КПВБГ, АКПВБГ, КПВББГ, АКПВББГ, КПББШв, АКПББШв, КППБШв, КПСГШв, АКПСГШв, КПБВГ, АКПБВГ, КПБВГЭ, АКПБВГЭ, КПБВБ, АКПБВБ, КПБВБГ, АКПБВБГ, КПБВББГ, АКПБВББГ, КПББШв, АКПББШв, КПСБШв	М	0,75; 1,0; 1,5	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37, 52, 61
	М, А	2,5	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37
	М, А	4; 6	4, 7, 10
	А	10	4, 7, 10

Кабели управления предназначены для передачи сигналов малой мощности на 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 и их числом от 3 до 108. Кабели могут быть неэкранированными, иметь часть экранированных жил, со всеми экранированными жилами, двойной экран. Жилы кабелей управления могут иметь как одинаковое сечение токопроводящих жил так и разное.

Диапазон температур длительной эксплуатации: от 70 °С для кабелей с резиновой изоляцией, до 250 °С с изоляцией из фторопласта-4.

В таблице 4.3.25. приведены технические данные для некоторых типов кабелей управления.

4.3.25. Параметры кабелей управления

Марка кабеля	Сечение жил, мм ²	Число жил (число экр. жил)	Расчетная масса, кг/км	Примечание
КРШУ	1,0	4-37	200-1180	Изоляция-резина и прорезиненная тканевая лента; экран - медная луженая проволока (МЛП); обмотка - прорезиненная тканевая лента; оболочка - резина; панцирная броня: 1 - стальная оцинкованная проволока (СОП), 2 - нержавеющая стальная проволока (НСП), 3 - медная луженая проволока
КРШУЭ	1,0	4-37	300-1940	
КУШГТВ, КУШГТВ-П (1), КУШГТВ-Пн (2), КУШГТВ-ПМ (3)	0,35 0,5	7-108 7-108	68-810 78,7-965	Изоляция - полиэтилен; обмотка - полиамидная пленка, прорезиненная тканевая пленка (ПТП); оболочка - резина; панцирная броня - стальная оцинкованная проволока, нержавеющая стальная проволока, медная луженая проволока
КУШГТР, КУШГТР-П, КУШГТР-Пн, КУШГТР-Пм,	0,35 0,5 0,75 1,0 1,5	4-108 4-108 4-37 4-37 4-37	58-879 64,8-1031 92-643 103-760 134-1016	
КЭРШ, КЭРШ-П, КЭРШ-Пн, КЭРШ-Пм	0,35	16-115 (9-63)	237-1310 263-1481	
	0,5	16-115 (9-63)	106-1006 113-1090	
	0,35 0,5	4-52 4-52	130-565 154-706	
	0,15	4-19	207-972	
КПКР, КПКР-П	0,5	12	209-295	Изоляция - ПЭ; оболочка - капрон толщиной 0,1 мм; обмотка - полиамидная пленка ПК-4; панцирная броня - нержавеющая стальная проволока
	0,75	4 7	119-185 170-244	
КУПКР	0,5	12	182	Изоляция - ПЭ; оболочка - капрон толщиной 0,1 мм; обмотка - полиамидная пленка ПК-4; панцирная броня - нержавеющая стальная проволока
	1,0	37	400	
		27	502	
КФШР, КФЭШР	0,5	10-48	155-529	Изоляция - фторопласт-40Ш; экран в КФШР отсутствует, в КФЭШР - медная луженая проволока; обмотка - ориентированная пленка Ф-4; оболочка - резиновая
	0,20	24 (7)	233	
	0,35	45 (7)	511	
	0,20	10	170	
	0,35	19	282	

КБФРТ	0,5	12	282	Изоляция - фторопласт 40Ш; две обмотки - ориентированной пленкой фторопласта 4; экран - медная луженая проволока; оболочка - резина ШНН-45Л
	0,75	14	434	
		4	147	
		7	192	
КДФР, КДФЭР	0,20	3-52	82,1-349	Изоляция - фторопласт 40Ш; обмотка - ориентированная пленка Ф-4; экран в КДФР отсутствует, в КДФЭР - ориентированная пленка Ф-4; оболочки - резина ШНН-45Л; оплетка - шелк, лавсан
	0,35	3-52	94-540	
	1,0	61	1268	
	1,5	3-52	167-1467	
	0,20	3-52	107-522	
	0,35	3-52	162-679	
	0,20	9-32	198-543	
0,35	(7-17)	132-322		
КУС	0,5	1	85	Изоляция - кремнийорганическая резина; экран - посеребренная проволока; обмотка по экрану и по сердечнику - ориентированная пленка Ф-4; оболочка - кремнийорганическая резина
	0,12	7		
КФРВ	0,75	19	210	Изоляция фторопласт-40Ш; обмотка-ориентированная пленка Ф-4; оплетка - шелк, лавсан, пропитанный фенолоновым лаком; оболочка-кремнийорганическая резина, армированная лавсаном
КУФЭФС	0,75	2	84,6	Изоляция - фторопласт-40Ш; экран- медная луженая проволока; обмотка - ориентированная пленка Ф-4; оболочка-фторкаучук

4.4. Установочные провода и соединительные шнуры

Провода подразделяют на силовые и установочные и используют для соединения электроустановок и их частей при неподвижной прокладке внутри помещений, на открытом воздухе, в трубах, под штукатуркой и т.д. Изоляция проводов рассчитана на напряжение 380, 660 и 3000 В переменного тока и может быть резиновой либо пластмассовой. Диапазон температур эксплуатации от 65 °С для проводов с резиновой изоляцией до 180° для проводов с кремнийорганической резиновой. Длительный нагрев проводов с пластмассовой изоляцией - 70 °С.

Допустимые токовые нагрузки некоторых проводов приведены в таблицах 4.3.

4.4.1. Марки, элементы конструкции и области применения силовых и установочных проводов

Обозначение марок	Наименование элементов проводов	Преимущественные области применения
<i>Провода силовые с резиновой изоляцией</i>		
ПРТО	Провод с медной жилой, с резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	Для прокладки в несгораемых трубах
АПРТО	То же с алюминиевой жилой	То же
ПРН	Провод с медной жилой, с резиновой изоляцией, в негорючей резиновой оболочке	Для прокладки в сухих и сырых помещениях, в пустотных каналах несгораемых строительных конструкций и на открытом воздухе
АПРН	То же с алюминиевой оболочкой	То же
ПРГН	То же с медной гибкой жилой	Для прокладки при повышенной гибкости при монтаже и для соединения подвижных частей электрических машин в сухих и сырых помещениях, а также на открытом воздухе
ПРИ	Провод с медной жилой, с резиновой изоляцией, обладающей защитными свойствами	Для прокладки в сухих и сырых помещениях
АПРИ	То же с алюминиевой жилой	То же
ПРГИ	То же с медной гибкой жилой	Для прокладки при повышенной гибкости при монтаже и для соединения подвижных частей электрических машин в сухих и сырых помещениях
АПГР	Провод с алюминиевой жилой; с резиновой изоляцией, не распространяющей горение, с разделительным основанием	Для прокладки по деревянным поверхностям и конструкциям жилых, производственных и сельскохозяйственных помещений
ПРД	Провод гибкий, с медной жилой, с резиновой изоляцией, в непротитанной оплетке, двухжильный, скрученный	В осветительных сетях сухих помещений
ПРВД	Провод гибкий, с медной жилой, с резиновой изоляцией, двухжильный, скрученный, в поливинилхлоридной оболочке	В осветительных сетях сухих и сырых помещений

АРТ	Провод с алюминиевой жилой, с резиновой изоляцией, с несущим тросом	Прокладка внутри помещений в сетях напряжения 660 В, где требуется повышенная механическая прочность
ПРП	Провод с медной жилой, с резиновой изоляцией, в оплетке из стальных оцинкованных проволок	В осветительных и силовых цепях, вторичных сетях стационарных установок и механизмов при наличии легких механических воздействий на провод и отсутствии воздействия масел и эмульсий
ПРРП	То же в резиновой оболочке	В осветительных и силовых цепях, вторичных цепях, в экскаваторах, машинах и механизмах при наличии механических воздействий на провод, воздействия масел, эмульсий
ПРФ	Провод с медной жилой, в резиновой изоляции, в фальцованной оболочке из сплава марки АМЦ	В осветительных и силовых сетях в сухих помещениях при наличии легких механических воздействий на провод (проводки в лестничных клетках, клубах, театрах и т.п.)
АПРФ	То же с алюминиевой жилой	То же
ПРФл	То же в оболочке из латуни	То же
Провода с пластмассовой изоляцией		
ПВ	Провод с медной жилой и поливинилхлоридной изоляцией	Для монтирования вторичных цепей, прокладки в трубах, пустотных каналах несгораемых строительных конструкций и для монтирования силовых и осветительных цепей в машинах и станках
АПВ	Провод с алюминиевой жилой и поливинилхлоридной изоляцией	То же
ПП	Провод с медной жилой и изоляцией из самозатухающего полиэтилена	То же
АПП	Провод с алюминиевой жилой и изоляцией из самозатухающего полиэтилена	То же
ПГВ	Провод с медной гибкой жилой и поливинилхлоридной изоляцией	Для монтирования вторичных цепей, для гибкого монтажа при скрытой и открытой прокладках
ППВ	Провод с медными жилами и поливинилхлоридной изоляцией, плоский, с разделительным основанием	Для монтирования силовых и осветительных цепей в машинах и станках и для неподвижной открытой прокладки
АПВ	То же с алюминиевыми жилами	То же
ППП	То же с медными жилами и полиэтиленовой изоляцией	То же
АППП	То же с алюминиевыми жилами и полиэтиленовой изоляцией	То же
ППВС	Провод с медными жилами и поливинилхлоридной изоляцией, плоский, без разделительного основания	Для неподвижной скрытой прокладки под штукатуркой, для прокладки в трубах и пустотных каналах несгораемых строительных конструкций
АПВС	То же с алюминиевыми жилами	То же
ПППС	То же с медными жилами и полиэтиленовой изоляцией	То же
АППС	То же с алюминиевыми жилами и полиэтиленовой изоляцией	То же
АВТ	Провод с алюминиевыми жилами, с изоляцией из поливинилхлоридного пластика, с несущим тросом	Прокладка наружная (для ввода в жилые дома и хозяйственные постройки) в сетях на напряжение 380 В в I и II районах гололедности
АВТУ	То же с усиленным несущим тросом	То же в III и IV районах гололедности

АВТВ	Провод с алюминиевыми жилами, с изоляцией из поливинилхлоридного пластика, с несущим тросом, для внутренней прокладки	Прокладка внутри помещений (в том числе животноводческих) в сетях на напряжение 380 В
АВТВУ	То же с усиленным несущим тросом	То же, но где требуется повышенная механическая прочность
Провода силовые гибкие (нагревостойкие)		
ПРКА	Провод термостойкий, с медной жилой, в изоляционно-защитной оболочке из кремнийорганической резины повышенной твердости, одножильный	При фиксированном монтаже внутри осветительной аппаратуры
ПВЕЛ	Провод с медной жилой, с резиновой изоляцией на основе бутилкаучука, в оплетке из лавсановой нити	Для выводов электродвигателей
РКГМ	Провод с медной жилой, с изоляцией из кремнийорганической резины, в оплетке из стекловолокна, пропитанной эмалью или термостойким лаком	Для выводов электродвигателей
ПАЛ	Провод с медной жилой, с асбестопрочной изоляцией, лакированный	Для выводов электродвигателей, для работы в условиях межприборного монтажа
ПАЛО	То же облегченный	То же

4.4.2. Число жил и номинальное сечение установочных проводов

Марка	Число основных жил	Номинальное сечение жилы, мм ²	Марка	Число основных жил	Номинальное сечение жилы, мм ²
ПРТО	1	0,75-120	ПРП	1, 2, 3	1,0-95
	2; 3	1-120		4-30	1,0-2,5
	4; 7	1,5-10	ПРРП	1, 2, 3	1,0-95
10	1,5; 2,5	4-30		1,0-2,5	
АПРТО	1; 2; 3	2,5-120	АПРФ	1, 2, 3	2,5-4
	7	2,5-10		ПРФ	1, 2, 3
ПРП	1	1,5-120	ПРФл		1, 2, 3
	1	2,5-120		ПРД	1
ПРП	1	0,75-120	ПРВД		2
АПРП	1	2,5-120		АРТ	2
ПРП	1	0,75-120			-3
АПРП	1	2,5-120		-4	4-35
ПРП	1	0,75-120	АВТ	2, 3, 4	2,5
АПРП	2; 4	2,5-10		АВТУ	2, 3, 4
	3	2,5			4
				АВТВ	2, 3, 4
			АВТВУ		2, 3, 4
				4	6; 10; 16

Соединительные шнуры

Соединительные шнуры используются для присоединения к сети напряжением до 660 В бытовых приборов и электрических машин, телевизоров, радиоаппаратуры. Шнуры изготавливают с резиновой изоляцией, изоляцией из полихлорвиниловой пластмассы, кремнийорганической резины. Некоторые марки соединительных шнуров, выпускаемых в соответствии с ГОСТ 7399-80 приведены в таблице 4.4.1.

Допустимые токовые нагрузки шнуров приведены в таблице 4.3.20.

4.5. Обмоточные эмалированные провода и провода с эмалево-волоконистой изоляцией

Обмоточные эмалированные провода предназначены для изготовления обмоток электрических машин, трансформаторов небольшой мощности, реле, контакторов и других электротехнических устройств. Классификацию эмалированных проводов связывают с классами нагревостойкости или температурным индексом (ТИ), т.е. температурой в °С, при которой эмалевая изоляция проводов сохраняет свои свойства в течение базового ресурса времени - 20000 часов. (см. таблицу 4.1.2.)

Для рабочих температур 200 °С используются провода типа ПЭТ-200, имеющие изоляцию на основе полиамидных смол. Для температур до 240 °С рекомендуются провода марки ПНЭТ-имид, имеющие биметаллическую жилу (медь, покрытая никелем), изолированную полиамидным лаком. Наконец, для температур до 600 °С используют провода марки ПЭЖБ-700 с биметаллической жилой и неорганическими покрытиями, например, стекломаль.

Конструктивные данные некоторых типов круглых эмалированных медных проводов приведены в таблице 4.3.29.

Провода с эмалево-волоконистой изоляцией обладают большей устойчивостью к повышенным нагрузкам, истиранию, связанным с электродинамическими усилиями. Применяют провода для изготовления обмоток электрических машин, трансформаторов и других электротехнических устройств.

Для изоляции проводов используют хлопчатобумажные волокна (буква Б в марке провода), натуральные шелковые волокна (Ш), волокно из капрона и лавсана (Л и К). Данные проводов приведены в таблице 4.3.30.

4.4.1. Марки соединительных шнуров, их сечение и области их применения

	Сечение жилы, мм ²	Наименование	Преимущественные области применения
ШПП	0,20	Шнур с ПЭ изоляцией, с параллельными жилами, без разделительного основания, слаботочный на напряжение до 100 В	Для абонентских громкоговорителей. если шнур редко подвергается механическим деформациям
ШВП-1	0,35-0,75	Шнур с ПВХ изоляцией, с параллельными жилами, без разделительного основания, на напряжение до 380 В.	Для радиоприемников, телевизоров, паяльников и других подобных приборов. если шнур подвергается механическим деформациям
ШВП-2	0,35-0,75	То же гибкий	Для настольных, настенных и напольных светильников, вентиляторов, магнитофонов, удлинителей-разветвителей и других подобных приборов, если шнур часто подвергается легким механическим деформациям
ШВП-3	0,75	Шнур с ПВХ изоляцией, с параллельными жилами, без разделительного основания, на напряжение до 380 В.	Для бытовых холодильников и других подобных приборов. если шнур редко подвергается механическим деформациям
ШВП-4	0,75	То же гибкий	То же
ШВПТ	0,35	Шнур с ПВХ изоляцией, с параллельными жилами, теплостойкий на напряжение до 48 В	Для переносных ламп автомобилей
ШВВП	0,35-1,0	Шнур гибкий с ПВХ изоляцией в ПВХ оболочке, плоский на напряжение до 380 В	То же, что ШВП-2
ШВЛ	0,5-0,75	Шнур гибкий со скрученными жилами, с ПВХ изоляцией в ПВХ оболочке, на напряжение до 380 В	Для бытовых полотеров, пылесосов, напольных отопительных приборов, если шнур подвергается действию влаги в условиях легких механических воздействий
ШРО	0,35-1,0	Шнур гибкий со скрученными жилами, с резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобумажной или синтетической нитки, на напряжение до 220 В	Для утюгов домашнего обихода, кофеварок, чайников, грелок и других подобных приборов. если шнур часто подвергается легким механическим деформациям
ШРС	0,5-0,75	Шнур гибкий со скрученными жилами, с резиновой изоляцией, в резиновой оболочке, на напряжение до 380 В	Для бытовых электроплиток, полотеров, пылесосов, напольных отопительных приборов, утюгов, если шнур подвергается действию влаги в условиях легких механических воздействий
ШТР	0,5-1,5	Шнур повышенной гибкости, термостойкий, со скрученными жилами, с изоляцией и в оболочке из кремнийорганической резины, на напряжение до 220 В	Для утюгов домашнего обихода и промышленного применения, электроплиток и других подобных приборов, если шнур подвергается легким механическим деформациям и нагреву
ШПС	0,5-0,75	Шнур со скрученными жилами, с ПВХ изоляцией, в ПВХ оболочке, подвесной грузонесущий, на напряжение до 220 В	Для светильников, подвешиваемых на электрическом шнуре
ПРС	0,5-2,5	Провод гибкий со скрученными жилами, с резиновой изоляцией и оболочкой, на напряжение до 380/660 В	Для полотеров, пылесосов, стиральных машин, электрорадиаторов, удлинителей, бойлеров и других подобных машин и приборов. если провод подвергается истиранию и действию влаги в условиях средних механических воздействий
ПВС	0,5-2,5	Провод гибкий со скрученными жилами, с ПВХ изоляцией, в ПВХ оболочке, на напряжение 380/660 В	То же

4.5.1. Круглые медные эмалированные провода

Марка провода	Номинальный диаметр токопроводящей жилы, мм	Минимальная диаметр-альная толщина изоля-ции, мм	Температурный индекс, °С
ПЭЛ	0,02-2,50	0,004-0,006	105
ПЭВ-1	0,02-2,50	0,006-0,055	105
ПЭВ-2	0,05-2,50	0,012-0,070	
ПЭМ-1	0,05-2,50	0,020-0,100	105
ПЭМ-2	0,05-2,50	0,030-0,130	
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	
ПЭВТЛ-2	0,02-1,60	0,004-0,06	120
0,025ПЭВТЛН-1	0,02-1,60	0,002-0,04	
ПЭВТЛН-2	0,02-1,60	0,004-0,06	120
ПЭВТЛК	0,06-0,355	0,025-0,050	120
ПЭТВ	0,06-2,50	0,010-0,07	130
ПЭТВ-939	0,06-2,50	0,010-0,07	130
ПЭТВ-ТС	0,06-250	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-ниид	0,30-2,50	0,003-0,05	240

4.5.2. Обмоточные эмалево-волоконистые провода

Марка провода	Номинальные размеры проволоки, мм, круглая - диаметры, прямоуголь-ная - размеры сторон (а, b)	Удвоенная толщина изо-ляции, мм	Температур-ный индекс, °С
ПБД	0,38-5,2	0,22-0,33	105
АПБД	1,35-8,0 а=1,81 7,0 b=4,1 18,0	0,27-0,35 0,27-0,44	105
ПШД	а=0,80 1,32 b=2,80 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
ПЭЛЮ, ПЭВЛО	0,05-1,32	0,08-0,14	105
ПЭТВЛО	0,20-1,32	0,12-0,18	130
ПЭВТЛЮ	0,20-1,32	0,12-0,18	120

Сведения о приведенных в главе материалах читатель найдет также в литературе [3,5,6,14,15,16,31,36].

ГЛАВА 5. ТРАНСФОРМАТОРЫ

В главе содержатся сведения о силовых масляных трансформаторах на напряжения (первичные) 10 (6), 35, 110 кВ, сухих защищенных трансформаторах на напряжение до 0,66 кВ, однофазных трансформаторах, трансформаторах тока и напряжения, выпускаемых отечественной промышленностью.

5.1. Основные сведения о типах трансформаторов

Трансформаторы предназначены для изменения величины напряже-ния переменного тока. Различают одно-, трех- и многофазные, двух-, трех- и многообмоточные трансформаторы.

Конструктивно трансформаторы делят на *масляные и сухие*. В масля-ных трансформаторах активная часть (обмотки и магнитная система) поме-щается в бак, наполненный трансформаторным маслом. Активная часть су-хих трансформаторов охлаждается непосредственно окружающим воз-духом.

Диапазон мощностей силовых масляных трансформаторов от 10 кВА до 630000 кВА, сухого исполнения - от единиц ВА до 1600 кВА. Силовые трансформаторы однофазные, мощностью 4 кВА и ниже и трехфазные - 5 кВА и ниже относят, к трансформаторам малой мощности. Такие трансфор-маторы широко используются в преобразовательной, бытовой технике, ра-дио-электронной аппаратуре. Обозначения трансформаторов масляных:

ТМ - трансформатор масляный, трехфазный;

О - однофазный;

Н - возможность регулирования напряжения под нагрузкой;

Р - наличие расщепленной обмотки;

Д - Масляное охлаждение с дутьем (обдув радиаторов трансформатора вентиляторами);

Ц - циркуляционное охлаждение масла путем его откачивания из бака и охлаждения воздухом (водой).

После буквенных обозначений следуют цифры, обозначающие мощ-ность и первичное напряжение.

Напрмер: ТМ-1000/10 - масляный трансформатор мощностью 1000 кВА, 10 кВ, ТРДЦН - 80000/110 - масляный трехфазный трансформатор с расщепленной обмоткой, с циркуляционным охлаждением масла, с возмож-ностью регулирования напряжения трансформатора мощностью 80000 кВА, 110 кВ.

Трансформаторы сухого исполнения обозначаются: ТСЗ - трехфазный трансформатор сухого защищенного исполнения. Эти трансформаторы вы-пускаются в диапазоне мощностей от 10 до 1600 кВА, напряжения: ВН - 380, 500, 660, 10000В, НН - 230 и 400 В.

Трансформаторы малой мощности выпускаются в большом количестве серий и типоразмеров. В разделе приводятся данные лишь для унифицированных трансформаторов серии ОСМ - однофазных, сухих, многоцелевого назначения.

Наряду с силовыми в практической электротехнике широко используются измерительные трансформаторы тока и напряжения.

Трансформаторы тока позволяют обеспечить питание цепей релейной защиты и измерения произвольной величины тока типовыми приборами. Их номинальный вторичный ток 1 и 5А. Первичный ток - в пределах от 5А до 24000А при напряжениях измеряемой сети от 0,4 до 24 кВ. Выпускаются серийно трансформаторы тока и на напряжения 35, 110, 220, 330, 500, 750 кВ.

В обозначениях трансформаторов тока буквы обозначают:

Т - трансформатор тока,

П - проходной,

Л - литая изоляция на основе эпоксидных смол,

М - малогабаритный,

О - одновитковый,

Н - навесного исполнения,

Ш - шинный,

У - усиленный,

К - встраиваемые в комплектные трансформаторные подстанции.

Трансформаторы напряжения (ТН) используются в цепях переменного тока напряжением от 0,4 до 1150 кВ для питания измерительных приборов и цепей релейной защиты. ТН до 35 кВ включительно используются для сетей с изолированной нейтралью. Класс точности трансформаторов 0,5; 1 и 3 соответствуют максимальной погрешности в % измеряемого номинального напряжения 0,5%; 1%; 3%, а также угловой погрешности в минутах. ТН делятся на сухие и масляные. Обозначения ТН расшифровываются следующим образом:

Н - трансформатор напряжения,

О - однофазный, С - сухого исполнения,

М - с масляным охлаждением,

З - с заземленным выводом первичной обмотки,

К - с компенсацией угловой погрешности трансформатора;

Л - исполнение с литой изоляцией;

Э - для установки на экскаваторах.

Трансформаторы типа НОС, НОЛ, ЗНОЛ - сухого исполнения, НОМ, НОМЭ, НТМК, НТМИ, ЗНОМ - с масляным естественным охлаждением.

5.2. Силовые трехфазные трансформаторы. Сведения о них приведены в таблицах 5.2.1-5.2.3.

5.2.1. Силовые трансформаторы серий ТМ и ТСЗ 10 (6) кВ

Марка	Мощность, кВА	Напряжение первичное, кВ	Напряжение вторичное, кВ	Напряжение короткого замыкания, %	Мощность потерь, кВт		Ток холостого хода, % от номинального	Габарит, мм	Масса, т
					холостого хода	короткого замыкания			
ТМ-25/10	25	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,135	0,6	3,2	1120x460x1225	0,38
ТМ-40/10	40	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,19	0,88	3	1120x480x1270	0,485
ТМ-63/10	63	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,265	1,28	2,8	1120x560x1400	0,6
ТМ-100/10	100	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,365	1,97	2,6	1200x800x1470	0,72
ТМ-160/10	160	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,565	2,65	2,4	1220x1020x1600	1,1
ТМ-250/10	250	10; 6	0,4; 0,69	4,5	0,82	3,7	2,3	1310x1050x1760	1,425
ТМ-400/10	400	10; 6	0,4; 0,69	4,5	1,05	5,5	2,1	1400x1080x1900	1,9
ТМ-630/10	630	10; 6	0,4; 0,69	5,5	1,56	7,6	2	1750x1275x2150	3
ТМ-1000/10	1000	10	0,4	5,5	2,45	12,2	1,4	2700x1750x3000	5
ТМ-1600/10	1600	10	0,4	5,5	3,3	18	1,3	2450x2300x3400	7
ТМ-2500/10	2500	10	0,4	5,5	4,6	25	1	3500x2260x3600	8
ТМ-4000/10	4000	10	0,4	5,5	6,4	33,5	0,9	3900x3650x3900	13,2
ТМ-6300/10	6300	10	0,4	6,5	9,0	46,5	0,8	4300x3700x4050	17,3
ТСЗ-160/10	160	10	0,4	5,5	0,7	2,7	4	1800x950x1700	1,4
ТСЗ-250/10	250	10	0,4	5,5	1,0	3,8	3,5	1850x1000x1850	1,8
ТСЗ-400/10	400	10	0,4	5,5	1,3	5,4	3	2250x1000x2150	2,4
ТСЗ-630/10	630	10	0,4	5,5	2,0	1,3	1,5	2250x1000x2300	2,8
ТСЗ-1000/10	1000	10	0,4	5,5	3,0	11,2	1,5	2400x1350x2250	3,4
ТСЗ-1600/10	1600	10	0,4	5,5	4,2	16,0	1,5	2650x1350x3200	4,6

5.2.2. Силовые трансформаторы серий ТМ, ТДЦ, ТРДНЦ 35, 110 кВ

Тип трансформатора	Ук, %	Потери, кВт		I ₀ , %	Масса, т		Габариты, мм		
		R _x	R _k		полная	масла	Высота	Длина	Ширина
ТМ-100/35	6,5	0,465	1,970	2,6	1300	—	2200	1330	900
ТМ-160/35	6,5	0,700	2,65	2,4	1700	—	2260	1400	1000
ТМ-250/35	6,5	1,000	3,70	2,3	2000	—	2320	1500	1250
ТМ-400/35	6,5	1,35	5,50	2,1	2700	—	2500	1650	1350
ТМ-630/35	6,5	1,90	7,60	2,0	3500	—	2750	2100	1450
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	—	—	—	—	—

5.2.3. Трансформаторы силовые трехфазные сухие защищенные, общего назначения до 0,66 кВ.

Тип трансформаторов	Номинальная мощность, кВ А	Ук, %	Потери, Вт		I ₀ , %	Масса трансформатора, кг	Размеры, мм		
			R _x	R _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	730	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

Примечания: 1. Номинальные напряжения ВН: 380, 500 и 660 В, НН: 230 и 400В.
2. Обмотки ВН соединены в звезду; начала и концы фаз обмоток НН выведены на панель зажимов, что позволяет соединять обмотки НН в звезду или треугольник.

5.3. Однофазные трансформаторы.

Сведения о некоторых типах однофазных трансформаторов приведены в таблице 5.3.1.

5.3.1. Однофазные трансформаторы ОСМ

Тип	S _н , кВ А	U _{нн} , В	U _{вн} , В	I _{кз} , %	U _{кз} , %
ОСМ-0,063	0,063	—	—	24	12,0
ОСМ-0,10	0,1	220;	12; 24	24	9,0
ОСМ-0,16	0,16	380;	36; 42	23	7,0
ОСМ-0,25	0,25	660	110	22	5,5
ОСМ-0,40	0,40	—	220; 14;	20	4,5
ОСМ-0,63	0,63	—	29; 56; 130; 260	19	3,5
ОСМ-1,0	1,0	—	(для выпрямителей)	18	2,5

5.4. Трансформаторы тока и напряжения.

Эти трансформаторы, как отмечалось, служат для целей измерения и защиты трехфазных цепей. Сведения о них содержатся в таблицах 5.4.1 и 5.4.2

5.4.1. Трансформаторы тока

Тип	U _н , кВ	Вариант исполнения	I _{ном} , А	S _н , В А	
				изм. обм.	защит. обм.
ТШ-0,5	0,5	0,5/Р	14000	—	—
ТНШ-0,66	0,66	3	1600; 2500	—	—
ТНШЛ-0,66	0,66	0,5	800; 1000; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000	20	—
ТШН-0,66	0,66	3	100; 150;	5	—
		1	200;	5	—
		0,5	300; 400;	5	—
		0,5	600; 800; 1000	10	—
ТЛМ-6	6	1/Р	300; 400	10	15
		0,5/Р	600; 800; 1000; 1500	10	15
ТОЛК-6	6	1	20; 30; 40; 50;	30	—
			80; 100; 150; 200; 300; 400; 600		
ТПЛМ-10	10	Р; 0,5/Р	5; 10; 15; 20; 30;	10	15
		Р/Р	40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400		
ТПОЛ-10	10	8; 0,5/Р	600; 800; 1000	10	15
ТОЛ-10	10	0,5/Р	30; 50; 100; 150;	10	15
		Р/Р	200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500		
ТЛ-10	10	0,5/Р	50; 100; 150; 200;	10	15
		Р/Р	300; 400; 600; 800; 1000		
		0,5/Р/Р	1500; 2000; 3000	20	30

ТПЛ-10К	10	0,5/P; P/P	10; 15; 30; 50; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500	10	15
---------	----	---------------	---	----	----

Примечание: Номинальный вторичный ток 1 и 5А.

5.6. Трансформаторы напряжения

Тип	U _н , В		S _н , ВА (при кл. точ.)		S _{max} , ВА
	ВН	НН	1	0,5	
НОС-0,5	380	100	50	25	100
	500	100	50	25	100
НОМ-6	3000	100	50	30	240
	6000	100	75	50	400
НОМЭ-6	6000	100	75	50	400
НТМК-10	10000	100	200	120	960
НТМИ-10-66	10000	100; 100/3	200	120	960
НОЛ-08-10	10000	100	150	75	640
	11000	100-110			
ЗНОЛ 06-10	10000/√3	100/3	150	75	640
	11000/√3	100/3-100			
НОМ-15	13800				
	15750	100	150	75	640
	18000				
ЗНОМ-15-63	6000/√3		75	50	400
	10000/√3	100/√3			
	13800/√3	100/√3	150	75	640
	15750/√3				

Сведения о силовых и измерительных трансформаторах читатель сможет найти также в [2,3, 16, 22,36].

ГЛАВА 6. СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

В главе приведены сведения и технические данные о синхронных генераторах и синхронных двигателях, выпускаемых отечественной промышленностью.

Синхронные машины используются как генераторы и двигатели. Синхронные генераторы вырабатывают почти всю электроэнергию, производимую и используемую на Земле. Синхронные двигатели, как правило - мощные (более 500 кВт), используются для электроприводов механизмов с нерегулируемой частотой вращения.

Синхронные машины, по конструкции делятся на явнополюсные (тихоходные) и неявнополюсные (быстроходные).

Диапазон мощностей выпускаемых генераторов - от нескольких киловатт (5кВт или 6,25 кВА для ЕСС - 52-4) до нескольких сотен и тысяч мегаватт; напряжений - от 230 В до 36,75 кВ. Генераторы подразделяются на турбогенераторы, непосредственно присоединяемые к газовым и паровым турбинам, гидрогенераторы, присоединяемые к гидротурбинам и генераторы общего назначения, приводимые во вращение, как правило, двигателями внутреннего сгорания. Турбогенераторы имеют водородное непосредственное, водородное косвенное, жидкостное и воздушное охлаждение.

Синхронные двигатели выпускаются в диапазоне мощностей от 132 до 30.000 кВт с частотой вращения от 250 до 3000 об/мин на напряжение 6 и 10 кВ, 50 Гц. Двигатели, как и генераторы, снабжаются электромашиными либо вентильными (тиристорными) системами возбуждения. Сведения о синхронных двигателях приведены в таблицах 6.2.1. - 6.2.5.

Вместе с тем в устройствах автоматики используется весьма широкий класс синхронных микродвигателей, сведения о которых в настоящем Справочнике не приводятся.

В таблице 6.3. представлены данные о некоторых типах мощных синхронных компенсаторов, применяемых для регулирований реактивной мощности в электрических сетях и системах.

6.1. Синхронные генераторы

Синхронные генераторы сравнительно малой мощности (от 5 до 125 кВт) серий ОС и ЕСС - трехфазные, 230/400 В, 50 Гц с частотами вращения 1000 и 1500 об/мин. Технические требования к этим генераторам определяются ГОСТ 22407-85. Генераторы устанавливаются на передвижных и стационарных установках. Генераторы снабжены устройствами для автоматического регулирования напряжения. Точность поддержания напряжения ±(2-5)%. Генераторы серии ГАБ входят, как правило, в комплект бензоэлектрических агрегатов. Частота вращения вала - 3000 об/мин. Генераторы ГСФ предназначены для работы в стационарных или передвижных дизель-электрических установках. Генераторы фланцевого исполнения, соединяются с дизелем посредством упругой пальчиковой муфты. Генераторы указан-

ных серий имеют самовозбуждение. Основные технические данные этих генераторов приведены в таблицах 6.1.1 - 6.1.3.

6.1.1. Синхронные генераторы серии ОС и ГСФ.

Типоразмер генератора	S _н , кВА	P _н , кВт	I _н , А	КПД, %
ОС-51	5	4	12,55/7,22	80
ОС-52	10	8	25,10/14,45	82
ОС-71	20	16	50,20/28,9	86,8
ОС-72	37,5	30	94,1/54,1	89
ОС-91	75	60	188,2/108,2	90,5
ОС-92	125	100	314/180	91,5
ГСФ-100М	120	100	314/181	80
ГСФ-200	250	200	625/361	80

6.1.2. Синхронные генераторы серии ГАБ

Тип генератора	P _н , кВт	U _н , В	I _н , А		Число фаз
			cos φ=1	cos φ=0,8	
ГАБ-2-Т/230-М1	2	230	5,0	6,3	3
ГАБ-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

6.1.3. Синхронные генераторы серии ЕСС

Типоразмер генератора	P _н , кВт	S _н , кВА	I _н , А	n _н , об/мин	η, %	m, кг	h, (габарит), мм
ЕСС-52-4	5	6,25	15,7 9,0	1500	80,2	125	180
ЕСС-62-4	12	15,0	37,7 21,7	1500	86	238	200
ЕСС-81-4	20	25,0	62,8 36,0	1500	87	349	250
ЕСС-82-4	30	31,5	94,0 54,0	1500	88	420	250
ЕСС-91-4	50	62,5	157,0 90,3	1500	90	590	315
ЕСС5-61-4	8	10	25,2 14,5	1500	84,7	160	200
ЕСС5-62-4	12	15	31,5 21,7	1500	85,0	189	200
ЕСС5-81-4	20	25	62,8 36	1500	86,0	300	250
ЕСС5-81-6	20	25	62,8 36	1000	86,0	300	250
ЕСС5-82-4	30	37,5	— 94	1500	88,2	340	250
ЕСС5-82-4	30	37,5	94 54	1500	88,2	340	250

ECC5-83-6	30	37,5	94 54	1000	88,2	360	250
ECC5-91-4	50	62,5	157 90	1500	89,3	490	315
ECC5-92-6	50	62,5	157 90	1200	89,6	540	315
ECC5-92-6	50	62,5	157 90	1000	89,6	540	315
ECC5-92-4	60	75,0	188,5 108	1500	90,5	540	315
ECC5-93-4	75	93,7	— 123	1500	91,0	605	315
ECC5-93-4	75	93,7	235 135	1500	91,0	605	315

Примечание: значения тока в числителе при U_н=230В, в знаменателе - при U_н=400 В.

6.1.4. Турбогенераторы. Общие характеристики

Тип	P _н , МВт	n _н , об/мин	U _н , кВ	Краткая характеристика
1	2	3	4	5
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, непосредственное охлаждение обмотки ротора водородом при избыточном давлении, заполнение корпуса статора водородом
ТТВ	200; 300	3000	15,75; 20	Непосредственное охлаждение обмотки статора и ротора водородом
ТВВ200 М	200	3000	15,75	Непосредственное охлаждение обмотки статора водой, непосредственное охлаждение обмотки ротора и активной стали водородом
ТТВ	500	1500; 3000	20	Непосредственное охлаждение обмотки статора и ротора водой и сердечников статора и ротора водородом
ТВМ	300; 500	3000	20; 36,75	Непосредственное охлаждение обмотки и сердечника статора изоляционным маслом, Непосредственное охлаждение ротора водой

6.1.5. Турбогенераторы серии Т

Тип	P _н , МВт	U _н , кВ	cos φ	КПД, %	Возбуждение		Масса генератора без воздухоохладителя, кг
					U _f , В	I _f , А	
Т-2,5-2	2,5	6,3; 13,5	0,8	97,3	80	244	11000
Т-4-2	4	6,3; 13,5	0,8	97,4	110	276	15000
Т-6-2	6	6,3; 10,5	0,8	97,6; 97,5	135	249; 251	18800
Т-12-2	12	6,3; 10,5	0,8	97,8; 97,7	225	288	25500
Т-20-2	20	10,5	0,8	97,6	195	548	60000

6.1.6. Турбогенераторы серии ТВВ

Тип	Рн, МВт	cos φ	Un, кВ	In, кА	Uфн, В	Iфн, А	КПД, %
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-1000-4	1000	0,9	24	26,73	467	6990	98,7

6.1.7. Гидрогенераторы. Общие характеристики

Тип	Sn, МВА	n, об/мин	Un, кВ	Краткая характеристика
1	2	3	4	5
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 обмотки 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, обратные двигатель-генераторы (для ГАЭС) с воздушным охлаждением
СВФ	590; 711	93,8; 142,8	15,75	Вертикальные с непосредственным охлаждением обмотки статора водой и форсированным охлаждением обмотки ротора, воздухом
ВГС	3,0-282	50-600	6,3-15,75	Вертикальные индивидуального исполнения, с косвенным воздушным охлаждением
ВГСФ	294	200	15,75	Вертикальные индивидуального исполнения, с косвенным воздушным охлаждением обмотки статора воздухом и форсированным охлаждением обмотки ротора воздухом
ВГСВФ	353	200	15,75	Вертикальные, с непосредственным охлаждением обмотки статора водой и форсированным охлаждением обмотки ротора воздухом

6.1.8. Технические данные гидрогенераторов

Тип	Sn, МВА	Un, кВ	n, об/мин	cos φ	η, %	Возбуждение		Масса		J, тм ²
						Iф, А	Uф, В	ротора	общая	
ВГС440/69-28	9,4	10,5	214	0,8	96,1	436	185	52	108	100
СГКВ480/115-64	20,0	3,15	93,8	1,0	96,3	950	295	62	170	162,5
ВГС525/125-28	26,9	10,5	214	0,8	96,3	1050	145	116	241	325
СГК2538/160-70	19,0	3,15	85,7	0,92	96,0	—	—	—	166	250
СВ712/227-24	306	15,75	250	0,85	98,18	2400	310	388	818	2000

СВО733/130-36	45,6	10	166,7	0,9	97,4	—	—	—	450	1270
ВГС800/110-52	35	10,5	115,4	0,8	96,7	—	—	—	345	1450
СВ808/130-40	64,7	10,5	150	0,85	97,7	1200	204	255	—	1875
ВГСФ930/233-30	294	15,75	200	0,85	98,1	1880	308	560	1150	5375
ВГСВ940/235/30	353	15,75	200	0,85	98,2	2450	300	648	1250	6625
СВО1000/260-40	236	15	150	0,95	99,0	—	—	—	1060	8000
СВ1070/145-52	100	13,8	115,4	0,8	97,6	—	—	—	700	6000
СВ1130/140-48	117,7	13,8	125	0,85	98,0	1300	191	—	—	7250
ВГС1190/215-48	282,5	15,75	125	0,85	98,4	1500	370	—	1212	1370
ВГС1260/147-68	97	13,8	88,25	0,85	97,5	1435	355	384	784	92500
СВФ1285/275-42	711	15,75	142,8	0,9	98,3	3500	530	935	1790	25400
СВ1500/200-88	127,8	13,8	68,2	0,9	97,6	1820	380	765	1350	25000
ВГС1525/135-120	67,3	10,5	50	0,85	97,2	1300	480	—	920	16750
СВФ1600/175-64	590	15,75	93,8	0,85	98,2	3680	615	884	1650	46750

6.2. Синхронные двигатели.

Приведены данные о мощных синхронных двигателях. Общие характеристики и область их использования приведены в таблицах 6.2.1-6.2.5

6.2.1. Общие характеристики синхронных двигателей

Тип	Рн, МВт	n, об/мин	Un, кВ	Краткая характеристика
СД2	0,132-1,0	500; 600; 750; 1000; 1500;	0,38; 6;	Горизонтальные, защищенные, с самовентиляцией; тиристорное возбуждение; общего назначения
СДН2, СДН3-3	0,315-4,0	300; 375; 500; 600; 750; 1000	6	Горизонтальные на стойковых подшипниках, открытые (СДН-2) и закрытые (СДН3-2), с 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); безщеточная 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 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
СДСЭ	0,63-3,2	100; 150	6	Закрытые, с принудительной вентиляцией по замкнутому циклу; тиристорное возбуждение; для привода мельниц

MC213; MC325	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	0,88-2,0	250; 300; 375	6	Взрывозащищенные; для привода поршневых компрессоров
СДЭ-2	0,5-2,5	1000	6;0	Защищенные, с самовентиляцией; тиристорное возбуждение; для привода экскаваторных агрегатов
СТД	0,63-5,0	3000	6;0	Закрытые, для работы в невзрывоопасной среде; бесщеточная система возбуждения; для привода быстроходных механизмов
СТДП	0,63-12,5	3000	6;10	Взрывозащищенные, продуваемые
СДЗ-2	0,25-1,0	600; 750; 1000; 1500	6	Закрытые, с самовентиляцией; тиристорное возбуждени; для привода дисковых мельниц

6.2.2. Синхронные турбродвигатели серии СТД и ТДС

Типоразмер двигателя	Pн, кВт	Sn, кВА	КПД, % при напряжении, кВ		Масса, т	
			6	10	Замкнутый цикл вентиляции	Разомкнутый цикл 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-1000-2ЗУ5	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-1600-2ЗУ5	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	10000	11400	97,8	97,9	26,52	-
СТД-12500-2УХЛ4	12500	14200	97,9	97,8	29,5	-
ТДС-20000-2УХЛ4	20000	22650	-	97,6	57,1	-
ТДС-31500-2УХЛ4	31500	35800	-	98	82,9	-

6.2.5. Синхронные двигатели серии СДК ($\cos \varphi=0,9$)

Типоразмер двигателя	Pн, кВт	Un, В	In, А	η , %	Iп Iном	Mп Mном	Ms=0,05 Mном	Mmax Mном	Возбуждение	
									Uf, В	If, А
Номинальная частота вращения 600 об/мин										
СДК2-16-24-10КУ4	400	6000	45,5	93,4	4,9	0,75	1,4	1,95	27	265
Номинальная частота вращения 514 об/мин										
СДК2-16-29-14КТ4	320	6000	37	93	5,72	0,93	1,2	2,66	32,7	262,8
СДК2-17-29-14КТ4	630	6000	71	94,3	4,83	0,75	1	2,31	47,8	270,6
Номинальная частота вращения 500 об/мин										
СДК2-16-24-12КУ4	315	6000	37	92,3	5,5	1,1	1,3	2,2	29	295
СДК2-16-36-12КУ4	500	6000	57,0	93,7	5,2	1	1,3	1,95	35	295
СДК2-17-26-12КУ4	630	6000	71	94,1	4,5	0,95	1	1,95	40	285
Номинальная частота вращения 375 об/мин										
СДК2-17-26-16КУ4	500	6000	57,0	93	4,5	0,8	1,1	2,10	43	305

6.3. Синхронные компенсаторы

Перевозбужденные синхронные двигатели, работающие в режиме холостого хода и генерирующие в систему дополнительную реактивную мощность, называют синхронными компенсаторами. Как правило - это крупные машины, в том числе с водородным охлаждением (КСВ). Некоторые данные о синхронных компенсаторах приведены в таблице 6.3.

Более подробные данные о синхронных двигателях и генераторах читатель может найти в [2, 11, 25].

6.3. Синхронные компенсаторы серий КС и КСВ

Тип	Sn, МВА	Un, кВ	nн, об/мин	Возбуждение				Масса, т		Потери, кВт	ОКЗ
				Uf, В	Ifн, А	Ifх, А	Ifн, А	ротора	общая		
КС16-6	16	6,3	1000	110	590	240	280	18,5	49,7	360	0,88
КС16-11	16	10,5	1000	110	580	220	300	18,5	50,2	370	0,75
КСВ50-11	50	11	750	160	1160	300	700	46,6	144,5	800	0,4
КСВ100-11	100	11	750	230	1350	405	730	77	220	1350	0,52
КСВ160-15	160	15,75	750	380	1600	500	890	110	303	1750	0,53

6.2.4. Синхронные двигатели серии СД2, СДН2 и СДНЗ

Тип	P _н , кВт	U _н , кВ	η, %	M _п max, Мн	Пусковые данные			Возбуждение		J, кгм ²	Масса, т	
					Ид	Мп, Мн	МО,06, Мн	U _{фн} , В	I _{фн} , А		ротора	общая
СД2-85/18-12	132	0,38	90,9	1,7	4,5	1,0	0,8	25	137	29	-	1,67
СД2-85/29-12	200	0,38	92,4	1,7	5,0	1,1	0,9	32	129	45	-	2,12
СД2-85/29-10	250	0,38	93,2	1,7	5,5	1,2	1,1	33	133	45	-	2,14
СД2-85/40-10	315	6	93,1	1,7	5,3	1,1	1,1	31	154	51	-	2,65
СД2-74/40-8	315	0,38	94,0	1,7	5,5	1,2	1,1	34	160	26	-	2,05
СД2-85/40-8	400	6	93,9	1,7	5,5	0,9	1,3	33	161	48	-	2,70
СД2-85/47-8	500	6	94,3	1,7	5,5	0,9	1,3	38	166	57	-	2,95
СД2-85/43-6	630	6	95,0	1,7	6,0	0,9	1,5	38	177	46	-	2,75
СД2-85/57-6	800	6	95,5	1,7	6,0	0,9	1,5	44	175	58	-	3,25
СД2-85/43-4	630	6	94,5	1,7	6,0	0,9	1,6	36	186	26	-	2,65
СД2-85/55-4	800	6	95,0	1,7	6,0	0,9	1,6	41	187	32	-	2,95
СД2-85/55-4	1000	6	95,5	1,7	6,0	0,9	1,6	47	183	40	-	-
17-26-20	315	6	91,0	2,6	4,5	0,9	1,0	41	277	275	1,8	4,7
17-31-20	400	6	91,7	2,7	4,5	0,75	1,0	46	296	318	2,1	5,5
СДНЗ2-20-49-20	3200	6	96,0	1,8	4,5	0,7	1,2	118	302	5500	-	24,5
17-26-20	500	6	92,5	2,1	4,6	0,9	1,1	46	296	275	1,8	4,8
17-31-16	630	6	93,2	2,0	4,5	0,85	1,1	48	304	320	2,2	5,4
СДНЗ2-19-39-16	1600	6	95,3	2,1	6,5	0,9	1,6	77	280	2100	-	16,5
17-31-12	800	6	94,3	1,9	4,7	1,0	1,1	46	298	310	2,2	5,6
СДН2-18-64-12	2500	6	96,2	1,8	6,5	1,4	1,4	77	260	1750	-	17,0
16-56-10	1000	6	95,3	1,9	5,4	0,8	1,4	44	274	223	2,9	6,5
16-59-8	1250	6	95,7	1,7	5,8	1,0	1,5	44	291	203	2,9	6,7
17-71-6	3150	6	96,9	1,7	6,6	1,3	1,4	58	281	435	4,7	10,9
17-89-6	4000	6	97,1	1,7	7,0	1,4	1,4	65	279	525	5,6	12,7

ГЛАВА 7. АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

В главе приведены основные сведения и технические данные асинхронных двигателей общепромышленных серий, снятых с производства, но доныне эксплуатируемых в массовом порядке (серия А2), до освоенных и выпускаемых отечественной промышленностью в самые последние годы (серии RA, 5A и 6A)

7.1. Основные сведения о серийных асинхронных двигателях

Асинхронные электродвигатели - самые распространенные из всех видов электрических машин из-за их простоты, надежности, меньшего в сравнении с другими машинами веса, габарита, стоимости и иных достоинств.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым и фазным роторами начиная с 1950 года разрабатывались и выпускались в нашей стране в виде единых серий: А-АО (1949-1951 годы), А2-АО2 мощностью 0,6-100 кВт (1958-1960) годы; А-АК мощностью 100-1000 кВт (1952-1956 годы); А2-АК2 мощностью 100-1000 кВт (1964-1965 годы); А3-АО3 мощностью 132-500 кВт, 4А и АИ (АИР) мощностью 0,06-400 кВт (до настоящего времени); АИ - асинхронный Интерэлектро;

В последние годы в России освоен выпуск новых серий асинхронных двигателей серий RA (0,37 - 100 кВт), 5A (5АН) (0,37-400 кВт) и 6A. Разработка 4А, АИ, RA, 5A и 6A базировалась, кроме отечественных стандартов, на рекомендациях МЭК (Международной электротехнической комиссии). В серии 4А 17 габаритов, число ступеней мощности составляет 33, высоты осей вращения 50-355 мм.

Асинхронные двигатели различаются по степени защиты (например: IP23, IP44), способу охлаждения (например: IC 01, IC 0141), способу монтажа (например: IM 1001). IP - означает International Protection, 23 - защищенное, 44 - закрытое исполнение. IC - International Cooling, 01 - машина с самовентиляцией, IC 0141 - машина, обдуваемая наружным вентилятором, расположенным на ее валу. IM - International Mounting; IM 1001 - машина на лапах, с двумя подшипниковыми щитами, с горизонтальным расположением вала, с цилиндрическим концом.

Машины подразделяются по климатическим условиям эксплуатации. Используются следующие обозначения климатического исполнения машин, эксплуатируемых на суше, реках, озерах для климатических районов: с умеренным климатом - У; с холодным климатом - ХЛ; с влажным тропическим ТВ; с сухим тропическим - ТС; с сухим влажным - Т; общеклиматическое исполнение - О.

Примеры обозначения асинхронных двигателей:

5A250M-4 - асинхронный двигатель 5 серии; 250 - высота оси вращения, мм; М - длина средняя корпуса по установочным размерам; 4 - число полюсов (1500 об/мин).

РА100М4 - российский асинхронный двигатель; 100 - высота оси вращения, мм; М - длина средняя корпуса по установочным размерам; 4 - число полюсов (1500 об/мин).

АИР132S6 - асинхронный двигатель Интерэлектро (международная организация стран СЭВ), Р - вариант увязки мощностей и установочных размеров; 132 - высота оси вращения, мм, S - длина малая корпуса по установочным размерам; 6 - число полюсов (1000 об/мин).

4А200L4УЗ, 4АН200L4УЗ - асинхронный двигатель 4 серии; закрытый обдуваемый, Н-защищенного исполнения; 200-высота оси вращения, L - большая длина корпуса по установочным размерам, 4 - число полюсов (1500 об/мин). У - для районов с умеренным климатом, 3 - категория размещения.

А02-81-2УЗ - асинхронный обдуваемый двигатель; 8-габарит; 1-первой длины; 2-двухполюсный (3000 об/мин); У-климатическое исполнение; 3-категория размещения.

МТКФ 311-6, МТКН-311-6 - асинхронный двигатель краново-металлургический, работающий при повышенных температурах; F,Н-классы нагревостойкости, 3-габарит; 1-первая серия; 1-первая длина; 6-число полюсов (1000 об/мин).

В таблице 7.1. приведены некоторые серии и типы асинхронных трехфазных двигателей общепромышленного применения, выпускавшихся в СССР и выпускаемых в России.

7.1. Некоторые серии трехфазных асинхронных двигателей

Серия, тип, высоты оси вращения	Pн, кВт	n (синхр.) об/мин	Un, В	Исполнение, область применения
<i>Двигатели с короткозамкнутым ротором</i>				
<i>Двигатели общего применения</i>				
РА (71-280мм)	0,37-180	750;1000;1500; 3000	220/380	защищенные и закрытые, обдуваемые, широкого применения
6А (315 мм)	90-200	750;1000;1500; 3000	220/380 380/660	закрытые, обдуваемые, широкого применения
5А (5АН) (71-335 мм)	0,37-400	750;1000;1500; 3000	220/380 380/660	защищенные и закрытые, обдуваемые, широкого применения
АИР (50-355мм)	0,19-315	750;1000;1500; 3000	220,380, 380/660, 220,380, 660	открытое, защищенное, закрытое, обдуваемое, продуваемое, широкого применения
4А (56-355 мм)	0,06-400	500;600;750; 1000; 1500;3000	220/380, 380/660, 220,380	защищенные и закрытые, обдуваемые, широкого применения
4АР	15-45	750;1000;1500	380/660, 220/380	закрытые, обдуваемые, с повышенным пусковым моментом
4АС	0,3-63 при ПВ=40%	750;1000;1500; 3000	220,380, 220/380 380/660	закрытые, обдуваемые, с повышенным скольжением
АН-2 (15-17-й)	500-2000	370;500;600;	6000	защищенные, для привода механизмов, не требующих регулирования частоты

габариты)		750;1000		вращения
АТД2	500-5000	3000	6000	с замкнутым или разомкнутым циклом вентиляции, для привода быстроходных механизмов
<i>Краново-металлургические двигатели</i>				
МТКФ	1,4-22 при ПВ=40%	750,1000	380/220; 500	характеризуются повышенной перегрузочной способностью, большими пусковыми моментами, изоляция класса F, для привода крановых механизмов
МТКН	3-37 при ПВ=40%	750;1000	380/220; 500	то же, изоляция класса H, 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)

7.2. Асинхронные двигатели новых серий РА и 6А

В последние годы в связи с распадом СССР и, соответственно, развитием единой электромашиностроительной промышленности, остро стал вопрос о производстве асинхронных двигателей в России. В рамках решения этой задачи Ярославским электромеханическим заводом (ЯЭМЗ) разработан и освоен выпуск новой серии асинхронных двигателей РА (российский асинхронный), в диапазоне мощностей от 0,37 до 100 кВт. Серия является развитием идей, заложенных в машинах 4А и АИ, и отвечает требованиям МЭК по всем параметрам. В таблице 7.2.1 приводятся данные, опубликованные разработчиками серии в [24], а в таблице 7.2.2 - данные из каталога ЯЭМЗа.

7.2.1. Основные данные новой серии РА

D _в , мм	H, мм	Мощность на валу P ₂ (кВт) для P ₀			
		3000 об/мин	1500 об/мин	1000 об/мин	750 об/мин
120	71	A 0,37	A 0,25	A 0,18	A 0,09
		B 0,57	B 0,37	B 0,25	B 0,12
120 (140)	80	A 0,75	A 0,50	A 0,37	A 0,18
		B 1,10	B 0,75	B 0,55	B 0,25
140	90	S 1,50	S 1,10	S 0,75	S 0,37
		L 2,20	L 1,50	L 1,10	L 0,55
150 (140)	100	L 3,0	LA 2,2	L 1,5	LA 0,75
			LB 3,0		LB 1,1
170 (206)	112	M 4,0	M 4,0	M 2,2	M 1,5

206	132	SA 5,5 SB 7,5	S 5,5 M 7,5	S 3,0 MA 4,0 MB 5,5	S 2,2 M 3,0
273	160	MA 11,0 MB 15,0 L 18,5	M 11,0 L 15,0	M 7,5 L 11,0	MA 4,0 MB 5,5 L 7,5
296 (273)	180	M 22,0	M 18,5 L 22,0	L 15,0	L 11,0
296	200	LA 30,0 LB 37,0	L 30,0	LA 18,5 LB 22,0	L 15,0
340 (296)	225	M 45,0	S 37,0 M 45,0	M 30,0	S 18,5 M 22,0
400 (340)	250	M 55,0	M 55,0	M 37,0	M 30,0
400	280	S 75,0 M 90,0	S 75,0 M 90,0	S 45,0 M 55,0	S 37,0 M 45,0

Примечание: D_н - наружный диаметр сердечников статоров, H - высота оси вращения; A, B - первая и вторая длины сердечника; S, M, L - первая, вторая и третья длины станины.

7.2.2. Технические данные двигателей серии RA

Тип двигателя	P _н , кВт	Масса, кг	γ, об/мин	η, %	cosφ	И _н , А	И _н , А	M _п , Мн	M _{max} , Мн	J, кг.м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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
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

Примечания: 1. Номинальные напряжения двигателей: 220, 380, 660, 220/380, 380/660 В. Токи указаны для напряжения 380 В. 2. Частота питающей сети 50 Гц (по заказу - 60 Гц) 3. Степень защиты: IP 44, IP 54, монтажное исполнение IM 1001, IM 2001, IM 3001.

Московским электромеханическим заводом имени Владимира Ильича освоено выпуск новой серии асинхронных электродвигателей *серии BA*, на частоту тока 50Гц с высотой оси вращения 315 мм.

Степень защиты: IP54 (закрытое), IP44

Монтажное исполнение: IM 1001

Климатическое исполнение: У3

В таблице 7.2.3 приведенные данные, представленные заводом - изготовителем в каталоге.

7.2.3. Технические данные двигателей серии 6А

Тип двигателя	P _н , кВт	U _н , В	n _н , об/мин	η, %	cosφ
6А315S2	160	380/660	3000	93,5	0,91
6А315M2	200	380/660	3000	93,7	0,91
6А315S4	160	380/660	1500	93,7	0,91
6А315M4	200	380/660	1500	94,2	0,92
6А315S6	110	220/380,380/660	1000	93,2	0,90
6А315M6	132	380/660	1000	93,7	0,91
6А315S8	90	220/380,380/660	750	93,2	0,83
6А315M8	110	220/380,380/660	750	92,2	0,83

7.3. Асинхронные двигатели серии 4А с короткозамкнутым ротором

Двигатели серии 4А основного исполнения рассчитаны на частоту 50 Гц, имеют степень защиты IP 44 или IP 23. В соответствии с ГОСТ 13267-73 имеют ряд мощностей от 0,06 до 400 кВт и оси вращения от 50 до 335 мм.

Двигатели мощностью от 0,06 до 0,37 кВт изготавливают на номинальные напряжения 220 В и 380 В; мощностью от 0,55 до 11 кВт - 220, 380, 660 В, мощностью от 132 до 400 кВт - 380/660 В.

7.3.1. Технические данные двигателей серии 4А, исполнение по степени защиты IP44, способ охлаждения ICA0141

Тип двигателя	P _н , кВт	При номинальной нагрузке			M _{max} M _н	M _л M _н	M _{пл} M _н	I _л I _н	γ, кг.м ²
		n _н , об/мин	η, %	cosφ					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Синхронная частота вращения 3000 об/мин									
4АА50А2У3	0,09	2740	60	0,7	2,2	2	1,2	5	0,245 10 ⁻⁴
4АА50В2У3	0,12	2710	63	0,7	2,2	2	1,2	5	0,268 10 ⁻⁴
4АА56А2У3	0,18	2800	66	0,76	2,2	2	1,2	5	4,15 10 ⁻⁴
4АА56В2У3	0,25	2770	68	0,77	2,2	2	1,2	5	4,65 10 ⁻⁴
4А63А2У3	0,37	2750	70	0,86	2,2	2	1,2	5	7,63 10 ⁻⁴
4А63В2У3	0,55	2740	73	0,86	2,2	2	1,2	5	9 10 ⁻⁴
4А71А2У3	0,75	2840	77	0,87	2,2	2	1,2	5,5	9,75 10 ⁻⁴
4А71В2У3	1,1	2810	77,5	0,87	2,2	2	1,2	5,5	10,5 10 ⁻⁴
4А80А2У3	1,5	2850	81	0,85	2,2	2	1,2	6,5	18,310 ⁻⁴
4А80В2У3	2,2	2850	83	0,87	2,2	2	1,2	6,5	21,3 10 ⁻⁴
4А90Л2У3	3	2840	84,5	0,88	2,2	2	1,2	6,5	35,3 10 ⁻⁴
4А100С2У3	4	2880	86,5	0,89	2,2	2	1,2	7,5	59,3 10 ⁻⁴
4А100Л2У3	5,5	2880	87,5	0,91	2,2	2	1,2	7,5	75 10 ⁻⁴
4А112М2У3	7,5	2900	87,5	0,88	2,2	2	1	7,5	1,0 10 ⁻²
4А132М2У3	11	2900	88	0,9	2,2	1,6	1	7,5	2,25 10 ⁻²
4А160S2У3	15	2940	88	0,91	2,2	1,4	1	7,5	4,75 10 ⁻²

4А160М2У3	18,5	2940	88,5	0,92	2,2	1,4	1	7,5	5,25 10 ⁻²
4А180S2У3	22	2940	88,5	0,91	2,2	1,4	1	7,5	7,0 10 ⁻²
4А180М2У3	30	2945	90,5	0,9	2,2	1,4	1	7,5	8,5 10 ⁻²
4А200М2У3	37	2945	90	0,89	2,2	1,4	1	7,5	14,5 10 ⁻²
4А200Л2У3	45	2945	91	0,9	2,2	1,4	1	7,5	16,8 10 ⁻²
4А225М2У3	55	2945	91	0,92	2,2	1,2	1	7,5	25 10 ⁻²
4А250S2У3	75	2960	91	0,89	2,2	1,2	1	7,5	46 10 ⁻²
4А250М2У3	90	2960	92	0,9	2,2	1,2	1	7,5	52 10 ⁻²
4А280S2У3	110	2970	91	0,89	2,2	1,2	1	7	1,09
4А280М2У3	132	2970	91,5	0,89	2,2	1,2	1	7	1,19
4А315S2У3	160	2970	92	0,9	0,9	1	0,9	7	1,4
4А315М2У3	200	2970	92,5	0,9	0,9	1	0,9	7	1,63
4А355S2У3	250	2970	92,5	0,9	0,9	1	0,9	7	2,85
4А355М2У3	315	2970	93	0,91	0,9	1	0,9	7	3,23

Синхронная частота вращения 1500 об/мин									
4АА50А4У3	0,06	1389	50	0,6	2,2	2	1,2	5	0,29 10 ⁻⁴
4АА50В4У3	0,09	1370	55	0,6	2,2	2	1,2	5	0,325 10 ⁻⁴
4АА56А4У3	0,12	1375	63	0,66	2,2	2	1,2	5	7·10 ⁻⁴
4АА56В4У3	0,18	1365	64	0,64	2,2	2	1,2	5	7,88 10 ⁻⁴
4АА63А4У3	0,25	1380	68	0,65	2,2	2	1,2	5	12,4 10 ⁻⁴
4АА63В4У3	0,37	1365	68	0,69	2,2	2	1,2	5	13 10 ⁻⁴
4А71А4У3	0,55	1390	70,5	0,70	2,2	2	1,6	4,5	13,8 10 ⁻⁴
4А71В4У3	0,75	1390	72	0,73	2,2	2	1,6	4,5	14,3 10 ⁻⁴
4А80А4У3	1,1	1420	75	0,81	2,2	2	1,6	5	32,3 10 ⁻⁴
4А80В4У3	1,5	1415	77	0,83	2,2	2	1,6	5	33,3 10 ⁻⁴
4А90Л4У3	2,2	1425	80	0,83	2,2	2	1,6	6	56 10 ⁻⁴
4А100S4У3	3,0	1435	82,0	0,83	2,4	2,0	1,6	6,0	86,8 10 ⁻⁴
4А100Л4У3	4,0	1430	84,0	0,84	2,4	2,0	1,6	6,0	1,13 10 ⁻²
4А112М4У3	5,50	1445	85,5	0,85	2,2	2,0	1,6	7,0	1,75 10 ⁻²
4А132S4У3	7,5	1455	87,5	0,86	3,0	2,2	1,7	7,5	2,75 10 ⁻²
4А132М4У3	11,0	1460	87,5	0,87	3,0	2,2	1,7	7,5	4 10 ⁻²
4А160S4У3	15,0	1465	88,5	0,88	2,3	1,4	1,0	7,0	10,3 10 ⁻²
4А160М4У3	18,5	1465	89,5	0,88	2,3	1,4	1,0	7,0	12,8 10 ⁻²
4А180S4У3	22,0	1470	90,0	0,90	2,3	1,4	1,0	6,5	19 10 ⁻²
4А180М4У3	30,0	1470	91,0	0,90	2,3	1,4	1,0	6,5	23,3 10 ⁻²
4А200М4У3	37,0	1475	91,0	0,90	2,5	1,4	1,0	7,0	36,8 10 ⁻²
4А200Л4У3	45,0	1475	92,0	0,90	2,5	1,4	1,0	7,0	44,5 10 ⁻²
4А225М4У3	55,0	1480	92,5	0,90	2,5	1,3	1,0	7,0	64 10 ⁻²
4А250S4У3	75,0	1480	93,0	0,90	2,3	1,2	1,0	7,0	1,02
4А250М4У3	90,0	1480	93,0	0,91	2,3	1,2	1,0	7,0	1,17
4А280S4У3	110,0	1470	92,5	0,90	2,0	1,2	1,0	5,5	2,3
4А280М4У3	132,0	1480	93,0	0,90	2,0	1,3	1,0	5,5	2,48
4А315S4У3	160,0	1480	93,5	0,91	2,2	1,3	0,9	6,0	3,08
4А315М4У3	200,0	1480	94,0	0,92	2,2	1,3	0,9	6,0	3,63
4А355S4У3	250,0	1485	94,5	0,92	2,0	1,2	0,9	7,0	6,0
4А355М4У3	315,0	1485	94,5	0,92	2,0	1,2	0,9	7,0	7,05
1000 об/мин (синхр.)									
4АА63А6У3	0,18	885	56,0	0,62	2,2	2,2	1,5	3,0	17,4 10 ⁻⁴
4АА63В6У3	0,25	890	59,0	0,62	2,2	2,2	1,5	3,0	19 10 ⁻⁴
4А71А6У3	0,37	910	64,5	0,69	2,2	2,0	1,8	4,0	19,3 10 ⁻⁴

4A71B6Y3	0,55	900	67,5	0,71	2,2	2,0	1,8	4,0	20,3 10 ⁻⁴
4A80A6Y3	0,75	915	69,0	0,74	2,2	2,0	1,6	4,0	46 10 ⁻⁴
4A80B6Y3	1,10	920	74,0	0,74	2,2	2,0	1,6	4,0	46,3 10 ⁻⁴
4A90L6Y3	1,50	935	75,0	0,74	2,2	2,0	1,7	4,5	73,5 10 ⁻⁴
4A100L6Y3	2,20	950	81,0	0,73	2,2	2,0	1,6	5,0	1,31 10 ⁻²
4A112MA6Y3	3,00	955	81,0	0,76	2,5	2,0	1,8	6,0	1,75 10 ⁻²
4A112MB6Y3	4,0	950	82,0	0,81	2,5	2,0	1,8	6,0	2,0 10 ⁻²
4A132S6Y3	5,50	965	85,0	0,80	2,5	2,0	1,8	6,5	4,0 10 ⁻²
4A132M6Y3	7,50	970	85,5	0,81	2,5	2,0	1,8	6,5	5,75 10 ⁻²
4A160S6Y3	11,0	975	86,0	0,86	2,0	1,2	1,0	6,0	13,8 10 ⁻²
4A160M6Y3	15,0	975	87,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,0	18,3 10 ⁻²
4A180M6Y3	18,5	975	88,0	0,87	2,0	1,2	1,0	5,0	22,0 10 ⁻²
4A200M6Y3	22,0	975	90,0	0,90	2,4	1,3	1,0	6,5	40 10 ⁻²
4A200L6Y3	30,0	980	90,5	0,90	2,4	1,3	1,0	6,5	45,3 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
750 об/мин (синхр.)									
4A71B8Y3	0,25	680	56,0	0,65	1,7	1,6	1,2	3,0	18,5 10 ⁻⁴
4A80A8Y3	0,37	675	61,5	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5	33,8 10 ⁻⁴
4A80B8Y3	0,55	700	64,0	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5	40,5 10 ⁻⁴
4A90LA8Y3	0,75	700	68,0	0,62	1,9	1,6	1,2	3,5	67,5 10 ⁻⁴
4A90LB8Y3	1,10	700	70,0	0,68	1,9	1,6	1,2	3,5	86,3 10 ⁻⁴
4A100L83	1,50	700	74,0	0,65	1,9	1,6	1,2	4,0	1,3 10 ⁻²
4A112MA8Y3	2,20	700	76,5	0,71	2,2	1,9	1,4	5,0	1,75 10 ⁻²
4A112MB8Y3	3,0	700	79,0	0,74	2,2	1,9	1,4	5,0	2,5 10 ⁻²
4A132S8Y3	4,0	720	83,0	0,70	2,6	1,9	1,4	5,5	4,25 10 ⁻²
4A132M8Y3	5,50	720	83,0	0,74	2,6	1,9	1,4	5,5	5,75 10 ⁻²
4A160S8Y3	7,50	730	86,0	0,75	2,2	1,4	1,0	6,0	13,8 10 ⁻²
4A160M8Y3	11,0	730	87,0	0,75	2,2	1,4	1,0	6,0	18 10 ⁻²
4A180M8Y3	15,0	730	87,0	0,82	2,0	1,2	1,0	6,0	25 10 ⁻²
4A200M8Y3	18,5	735	88,5	0,84	2,2	1,2	1,0	5,5	40 10 ⁻²
4A200L8Y3	22,0	730	88,5	0,84	2,0	1,2	1,0	5,5	45,3 10 ⁻²
4A225M8Y3	30,0	735	90,0	0,81	2,1	1,3	1,0	6,0	73,8 10 ⁻²
4A250S8Y3	37,0	735	90,0	0,83	2,0	1,2	1,0	6,0	1,16
4A250M8Y3	45,0	740	91,0	0,84	2,0	1,2	1,0	6,0	1,36
4A280S8Y3	55,0	735	92,0	0,84	2,0	1,2	1,0	5,5	3,18
4A280M8Y3	75,0	735	92,5	0,85	2,0	1,2	1,0	5,5	4,13
4A315S8Y3	90,0	740	93,0	0,85	2,3	1,2	0,9	6,5	4,93
4A315M8Y3	110,0	740	93,0	0,85	2,3	1,2	0,9	6,5	5,85
4A355S8Y3	132,0	740	93,5	0,85	2,2	1,2	0,9	6,5	9,05
4A355M8Y3	160,0	740	93,5	0,85	2,2	1,2	0,9	6,5	10,2
600 об/мин (синхр.)									
4A250S10Y3	30,0	590	88,0	0,81	1,9	1,2	1,0	6,0	1,36
4A250M10Y3	37,0	590	89,0	0,81	1,9	1,2	1,0	6,0	1,61
4A280S10Y3	37,0	590	91,0	0,78	1,8	1,0	1,0	6,0	3,6
4A280M10Y3	45,0	590	91,5	0,78	1,8	1,0	1,0	6,0	3,78

4A315S10Y3	55,0	590	92,0	0,79	1,8	1,0	0,9	6,0	5,25
4A315M10Y3	75,0	590	92,0	0,80	1,8	1,0	0,9	6,0	6,18
4A355S10Y3	90,0	590	92,5	0,83	1,8	1,0	0,9	6,0	9,33
4A355M10Y3	110,0	590	93,0	0,83	1,8	1,0	0,9	6,0	10,9
500 об/мин (синхр.)									
4A315S12Y3	45,0	490	90,5	0,75	1,8	1,0	0,9	6,0	5,25
4A315M12Y3	55,0	490	91,0	0,75	1,8	1,0	0,9	6,0	6,18
4A355S12Y3	75,0	490	91,5	0,76	1,8	1,0	0,9	6,0	9,33
4A355M12Y3	90,0	495	92,0	0,76	1,8	1,0	0,9	6,0	10,9

7.3.2. Технические данные двигателей серии 4А, исполнение по степени защиты IP23, способ охлаждения ICA01

3000 об/мин (синхр.)									
4AH160S2Y3	22,0	2915	88	0,88	2,2	1,3	1,0	7,0	4,25 10 ⁻²
4AH160M2Y3	30,0	2915	90,0	0,91	2,2	1,3	1,0	7,0	5,5 10 ⁻²
4AH180S2Y3	37,0	2945	91,0	0,91	2,2	1,2	1,0	7,0	8,0 10 ⁻²
4AH180M2Y3	45,0	2945	91,0	0,91	2,2	1,3	1,0	7,0	9,25 10 ⁻²
4AH200M2Y3	55,0	2940	91,0	0,90	2,5	1,3	1,0	7,0	16,0 10 ⁻²
4AH200L2Y3	75,0	2940	92,0	0,90	2,5	1,3	1,0	7,0	19,0 10 ⁻²
4AH225M2Y3	90,0	2945	92,0	0,88	2,2	1,2	1,0	7,0	23,8 10 ⁻²
4AH250S2Y3	110,0	2950	93,0	0,86	2,2	1,2	1,0	7,0	44,3 10 ⁻²
4AH250M2Y3	132,0	2945	93,0	0,88	2,2	1,2	1,0	7,0	49,5 10 ⁻²
4AH280S2Y3	160,0	2960	94,0	0,90	2,2	1,2	1,0	6,5	77,5 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	315,0	2970	94,5	0,92	2,1	1,0	0,9	7,0	2,38
4AH355M2Y3	400,0	2970	95,0	0,92	2,1	1,0	0,9	7,0	2,85
1500 об/мин (синхр.)									
AH160S4Y3	18,5	1450	88,5	0,87	2,1	1,3	1,0	6,5	9,25 10 ⁻²
4AH160M4Y3	22,0	1458	90,0	0,88	2,1	1,3	1,0	6,5	11,8 10 ⁻²
4AH180S4Y3	30,0	1465	90,0	0,84	2,2	1,2	1,0	6,5	17,8 10 ⁻²
4AH180M4Y3	37,0	1470	90,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5	21,8 10 ⁻²
4AH200M4Y3	45,0	1475	91,0	0,89	2,5	1,3	1,0	6,5	34,5 10 ⁻²
4AH200L4Y3	55,0	1475	92,0	0,89	2,5	1,3	1,0	6,5	42,3 10 ⁻²
4AH225M4Y3	75,0	1475	92,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5	61,8 10 ⁻²
4AH250S4Y3	90,0	1480	93,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5	88,3 10 ⁻²
4AH250M4Y3	110,0	1475	93,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5	95,8 10 ⁻²
4AH280S4Y3	132,0	1470	93,0	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	1,83
4AH280M4Y3	160,0	1470	93,5	0,90	2,0	1,2	1,0	6,0	2,13
4AH315S4Y3	200,0	1475	94,0	0,91	2,0	1,2	0,9	6,0	3,15
4AH315M4Y3	250,0	1475	94,0	0,91	2,0	1,2	0,9	6,0	3,7
4AH355S4Y3	315,0	1485	94,5	0,91	2,0	1,0	0,9	7,0	5,75
4AH355M4Y3	400,0	1485	94,5	0,91	2,0	1,0	0,9	7,0	7,0
1000 об/мин (синхр.)									
4AH180S6Y3	18,5	975	87,0	0,85	2,0	1,2	1,0	6,0	18,8 10 ⁻²
4AH180M6Y3	22,0	975	88,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,0	23,5 10 ⁻²
4AH200M6Y3	30,0	975	90,0	0,88	2,1	1,3	1,0	6,0	37,7 10 ⁻²
4AH200L6Y3	37,0	980	90,5	0,88	2,1	1,3	1,0	6,5	43,0 10 ⁻²
4AH225M6Y3	45,0	980	91,0	0,87	2,0	1,2	1,0	6,5	70,3 10 ⁻²
4AH250S6Y3	55,0	985	92,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,5	1,09
4AH250M6Y3	75,0	985	93,0	0,87	2,0	1,2	1,0	7,0	1,4

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
4AH315S6Y3	132.0	985	93,0	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	4,45
4AH315M6Y3	160.0	985	93,5	0,89	2,0	1,2	1,0	6,0	5,13
4AH355S6Y3	200.0	985	94,0	0,90	2,0	1,2	1,0	6,0	7,8
4AH355M6Y3	250.0	985	94,0	0,90	2,0	1,2	1,0	6,0	9,5
750 об/мин (синхр.)									
4AH180S8Y3	15.0	730	86,0	0,80	1,9	1,2	1,0	5,5	23,5 10 ⁻²
4AH180M8Y3	18.5	730	87,5	0,80	1,9	1,2	1,0	5,5	29,8 10 ⁻²
4AH200M8Y3	22.0	730	89,0	0,84	2,0	1,3	1,0	5,5	49,0 10 ⁻²

4AH200L8Y3	30.0	730	89,5	0,82	2,0	1,3	1,0	5,5	58,3 10 ⁻²
4AH225M8Y3	37.0	735	90,0	0,81	1,9	1,2	1,0	5,5	82,5 10 ⁻²
4AH250S8Y3	45.0	740	91,0	0,81	1,9	1,2	1,0	5,5	1,19
4AH250M8Y3	55.0	735	92,0	0,81	1,9	1,2	1,0	6,0	1,4
4AH280S8Y3	75.0	735	92,0	0,85	1,9	1,2	1,0	5,5	3,0
4AH280M8Y3	90.0	735	92,5	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	3,38
4AH315S8Y3	110.0	735	93,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	6,08
4AH315M8Y3	132.0	735	93,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,0	7,0
4AH355S8Y3	160.0	740	93,5	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	9,75
4AH355M8Y3	200.0	740	94,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5	11,9
600 об/мин (синхр.)									
4AH280S10Y3	45.0	585	90,0	0,81	1,8	1,0	1,0	5,5	3,23
4AH280M10Y3	55.0	585	90,5	0,81	1,8	1,0	1,0	5,5	3,75
4AH315S10Y3	75.0	590	91,0	0,82	1,8	1,0	0,9	5,5	5,63
4AH315M10Y3	90.0	590	91,5	0,82	1,8	1,0	0,9	5,5	6,63
4AH355S10Y3	110.0	590	92,0	0,83	1,8	1,0	0,9	5,5	9,68
4AH355M10Y3	132.0	590	92,5	0,83	1,8	1,0	0,9	5,5	11,0
500 об/мин (синхр.)									
4AH315S12Y3	55.0	490	90,5	0,78	1,8	1,0	0,9	5,5	5,63
4AH315M12Y3	75.0	490	91,0	0,78	1,8	1,0	0,9	5,5	6,63
4AH355S12Y3	90.0	490	91,5	0,77	1,8	1,0	0,9	5,5	9,68
4AH355M12Y3	110.0	490	92,0	0,77	1,8	1,0	0,9	5,5	11,0

7.4. Двигатели серии 4А с фазным ротором.

Двигатели с фазным ротором 4АК и 4АНК предназначены для приводов механизмов с тяжелыми условиями пуска, либо требующих дискретного или плавного регулирования частоты вращения. Двигатели выпускаются закрытые, обдуваемые (степень защиты IP44) и защищенные - IP23.

Высоты осей вращения для машин IP44 - 160-250 мм, для машин IP23-160-335 мм. Диапазон мощностей 5,5 - 400 кВт. Статоры машин унифицированы с двигателями основного исполнения. Роторы имеют выпуклую двухслойную петлевою обмотку при H=160-200 мм; для машин большей мощности (H=225-355 мм) - стержневую двухслойную обмотку. Обмотка ротора соединяется в звезду, ее концы присоединяются к контактным кольцам. Буква К в обозначении означает наличие фазного ротора с контактными кольцами.

7.4. Технические данные двигателей серии 4А с фазным ротором (4АК, 4АНК)

Типоразмер двигателя	P _н , кВт	KПД, %	cos φ	S _н , %	M _п max Мном	Ток ротора, А	Напряжение ротора, В	Масса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Синхронная частота вращения 1500 об/мин								
4AK160S4Y3	11	86,5	0,86	5	3	22	305	160
4AK160M4Y3	14	88,5	0,87	4	3,5	29	300	185
4AK180M4Y3	18	89	0,88	3,5	4	38	295	250
4AK200M4Y3	22	90	0,87	2,5	4	45	340	305
4AK200L4Y3	30	90,5	0,87	2,5	4	55	350	325
4AK225M4Y3	37	90	0,87	3,5	3	160	160	415
4AK250SA4Y3	45	91	0,88	3	3	170	230	555
4AK250SB4Y3	55	90,5	0,9	3	3	170	200	595
4AK250M4Y3	71	91,5	0,86	2,5	3	170	250	640
Синхронная частота вращения 1000 об/мин								
4AK160S6Y3	7,5	82,5	0,77	5	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	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	2,5	160	180	600
Синхронная частота вращения 750 об/мин								
4AK160S8Y3	5,5	80	0,7	6,5	2,5	14	300	170
4AK160M8Y3	7,5	82	0,7	6	3	16	290	200
4AK180M8Y3	11	85,5	0,72	4	3,5	25	270	260
4AK200M8Y3	15	86	0,7	3,5	3	28	360	300
4AK200L8Y3	18,5	86	0,73	3,5	3	40	300	320
4AK225M8Y3	22	87	0,82	4,5	2,2	140	102	400
4AK250S8Y3	30	88,5	0,81	4	2,2	155	125	540
4AK250M8Y3	37	89	0,8	3,5	2,2	155	148	595
Синхронная частота вращения 1500 об/мин								
4АНК160S4Y3	14	86,5	0,85	5	3	27	330	140
4АНК160M4Y3	17	88	0,87	5	3,5	34	315	160
4АНК180S4Y3	22	87	0,86	5,5	3,2	43	300	190
4АНК180M4Y3	30	88	0,81	4,5	3,3	63	290	220
4АНК200M4Y3	37	90	0,88	3	3	62	360	290
4АНК200L4Y3	45	90	0,88	3,5	3	75	375	315
4АНК225M4Y3	55	89,5	0,87	4	2,5	200	170	405
4АНК250SA4Y3	75	90	0,88	4,5	2,3	250	180	500
4АНК250SB4Y3	90	91,5	0,87	4	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	330	251	725
4АНК280M4Y3	160	92,5	0,88	2,6	2	330	300	775
4АНК315S4Y3	200	93	0,89	2,5	2	396	312	910
4АНК315M4Y3	250	93	0,9	2,5	2	425	360	990
4АНК355S4Y3	315	93,5	0,9	2,2	2	460	420	1240
4АНК355M4Y3	400	94	0,9	2	2	485	505	1380
Синхронная частота вращения 1000 об/мин								
4АНК180S6Y3	13	83,5	0,81	7	3	42	205	180
4АНК180M6Y3	17	85	0,82	6	3	32,5	335	200

Продолжение таблицы 7.4								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4АНК200М6У3	22	88	0,81	3,5	3	37	380	285
4АНК200Л6У3	30	88,5	0,82	4	3	46	375	315
4АНК225М6У3	37	89	0,86	4	1,9	180	140	400
4АНК250СА6У3	45	89,5	0,86	4	2,3	200	155	470
4АНК250СВ6У3	55	91	0,88	3,5	2,5	185	190	510
4АНК250М6У3	75	91,5	0,85	3	2,5	200	250	585
4АНК280С6У3	90	90	0,88	3,6	1,9	277	202	685
4АНК280М6У3	110	91,5	0,87	3,6	1,9	297	230	735
4АНК315С6У3	132	92	0,88	3	1,9	320	257	845
4АНК315М6У3	160	92,5	0,88	3	1,9	352	291	910
4АНК355С6У3	200	93	0,89	2,5	1,8	411	304	1180
4АНК355М6У3	250	93	0,89	2,5	1,8	401	380	1305
<i>Синхронная частота вращения 750 об/мин</i>								
4АНК180С8У3	11	85	0,72	5	3,2	22,5	315	195
4АНК180М8У3	14	86,5	0,69	4,5	3,5	28	310	225
4АНК200М8У3	18,5	86	0,78	4,5	2,5	30	380	285
4АНК200Л8У3	22	87	0,79	4,5	2,5	40	330	315
4АНК225М8У3	30	86,5	0,8	5	1,8	165	120	400
4АНК250СА8У3	37	87,5	0,8	5,5	2,2	190	115	475
4АНК250СВ8У3	45	89	0,82	4	2,2	190	140	515
4АНК250М8У3	55	89,5	0,83	3,5	2,2	185	190	575
4АНК280С8У3	75	90,5	0,84	4	1,9	257	190	700
4АНК280М8У3	90	90,5	0,84	4	1,9	267	214	755
4АНК315С8У3	110	91,5	0,84	3,5	1,9	311	225	910
4АНК315М8У3	132	92	0,84	3,5	1,9	364	247	980
4АНК355С8У3	160	92,5	0,86	2,7	1,7	353	285	1215
4АНК355М8У3	200	92,5	0,86	2,7	1,7	359	350	1360
<i>Синхронная частота вращения 600 об/мин</i>								
4АНК280С10У3	45	89	0,78	5	1,8	178	162	625
4АНК280М10У3	55	89,5	0,79	4,5	1,8	180	185	675
4АНК315С10У3	75	90	0,8	4,5	1,8	221	217	845
4АНК315М10У3	90	90,5	0,81	4,2	1,8	223	260	920
4АНК355С10У3	110	90,5	0,81	3,8	1,7	242	283	1180
4АНК355М10У3	132	91	0,81	3,6	1,7	257	330	1260
<i>Синхронная частота вращения 500 об/мин</i>								
4АНК315С12У3	55	89	0,75	5	1,8	235	165	845
4АНК315М12У3	75	90	0,75	5	1,8	221	207	920
4АНК355С12У3	90	89,5	0,73	4	1,7	259	222	1160
4АНК355М12У3	110	90	0,73	4	1,7	265	265	1245

7.5. Асинхронные двигатели большой мощности.

К ним относятся двигатели мощностью более 400 кВт. Промышленно выпускаются двигатели большой мощности серий АТД4, А4, ДА304, АДО, ВАН с короткозамкнутым ротором и двигатели серии АК4, ВАК3, АОК, АКСБ, а также другие.

Асинхронные турбодвигатели АТД4 основного исполнения выпускаются на напряжение 6 кВ, а также 10 кВ, диапазон мощностей от 500 до

8000 кВт выдерживают в течение срока службы до 10000 пусков. Обмотка ротора - литая алюминиевая в диапазоне мощностей до 1000 кВт, выше - из профильных медных стержней, впаянных в медные короткозамыкающие кольца.

Двигатели серии А4 и ДА304 выпускаются на напряжение 6 кВ, частоты вращения 1500, 750, 600, 500 об/мин. Диапазон мощностей А4 от 200 до 1000 кВт, ДА304 - от 200 до 800 кВт.

Двигатели серии АДО, 6кВ, диапазон мощностей от 1250 до 3150 кВт, синхронные частоты вращения - 600, 750, 1000 об/мин.

Двигатели ВАН - подвесной вертикальной установки на напряжение 6кВ, диапазон мощностей от 315 до 2500 кВт, синхронные частоты вращения: 375, 500, 600, 750, 1000 об/мин.

Двигатели с фазным ротором защищенного исполнения АК4 применяются для регулирования частоты вращения механизмов. Напряжение 6кВ, диапазон мощностей 250-1000 кВт, синхронные частоты вращения - 750, 1000, 1500 об/мин.

Двигатели с фазным ротором АОК2-560 и АОК-630 с высотами осей вращения 560 и 630 мм имеют мощности 200 и 500 кВт соответственно. Напряжение питания - 6 кВ.

Двигатели АКСБ с фазным ротором, предназначенные для привода буровых установок имеют диапазон мощностей (15 габарит) 600, 800, 1000 кВт. При половинной частоте вращения эти мощности уменьшаются вдвое. Напряжение - 6 кВ.

Двигатели ВАК3 с фазным ротором вертикального исполнения предназначены для привода главных циркуляционных насосов АЭС. Их мощность - 1600 и 3400 кВт, напряжение 6 кВ, 1000 об/мин. Диапазон регулирования частоты вращения: 250-990 и 100-990 об/мин.

Технические данные двигателей большой мощности приведены в таблице 7.5.

7.5. Технические данные двигателей большой мощности

Р _н , кВт	I _н , А	КПД %	cos φ	M _п Мном	I _п Iном	Масса, кг
<i>Серия АТД4</i>						
500	56,5	95,7	0,89	0,9	5,1	1930
630	72	95,7	0,88	1	5,3	2660
800	90	96	0,89	1	5,3	2820
1000	112,5	96,1	0,89	1	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	6160
3150	346	97,2	0,9	0,9	5,3	7010
4000	444	97,3	0,89	0,9	5,7	10100

5000	548	97,5	0,9	0,9	5,7	11000
6300	690	97,6	0,9	0,95	5,9	12300
8000	876	97,6	0,9	0,95	6	12320
Серия А4						
<i>(синхронная частота вращения 1500 об/мин)</i>						
400	47	94,2	0,87	1	5,7	
500	58	94,7	0,88	1	5,7	
630	72,5	95,1	0,88	1,2	5,7	
800	92	95,2	0,88	1	5,7	
1000	113	95,2	0,89	1	5,7	
<i>синхронная частота вращения 1000 об/мин</i>						
315	38	93,6	0,85	1	5,3	
400	47	94	0,86	1	5,3	
500	59,5	94,4	0,86	1	5,3	
630	74,5	94,7	0,86	1	5,3	
800	94,5	95	0,86	1	5,3	
<i>синхронная частота вращения 750 об/мин</i>						
250	32	93	0,81	1	4,8	
315	39,5	93,4	0,82	1	4,8	
400	50	93,8	0,82	1	4,8	
500	61,5	94,2	0,83	1	4,8	
630	77,5	95,5	0,83	1	4,8	
Серия АДО						
1250	168,1	95,4	0,75	1,3	6	
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	6,5	

7.6. Асинхронные двигатели серии АИ.

Серия двигателей АИ (Асинхронные Интерэлектро) были разработаны в рамках международной организации Интерэлектро специалистами бывших стран социалистического содружества (НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СРР, СССР, ЧССР и СФРЮ), в которых был освоен их выпуск. Двигатели серии АИ отвечают всем рекомендациям МЭК, отечественных стандартов и стандартов СЭВ (1348-78-4744-84). Двигатели основного исполнения имеют степень защиты IP54 и IP44. Двигатели с высотой оси вращения 200 мм и более имеют степень защиты IP23.

Способы охлаждения, принятые в серии - IC0141 для двигателей со степенью защиты IP54 и IP44. О1 означает обдув внешней поверхности двигателя вентилятором, посаженным на вал машины и охлаждающим ее окружающим воздухом. Цифра 41 означает, что воздух внутри машины циркулирует под действием ротора, либо дополнительного внутреннего вентилятора.

Машины имеют модификации: с фазным ротором (К), частотно регулируемые, многоскоростные, с повышенным скольжением (С), повышенным пусковым моментом (R), однофазные (У, Е), на частоту 60 Гц.

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

В таблице 7.6.1. приводятся технические данные двигателей серии АИ основного исполнения, 7.6.2. - двухскоростных двигателей, выполненных по варианту Р, а в таблице 7.6.3. - двигателей с фазным ротором закрытого IPS4 (IP44) исполнения АИРФ и защищенного IP23 исполнения - АИРФФ.

7.6.1. Технические данные двигателей серии АИ

Тип двигателя	P _н , кВт	КПД, %	cos φ	S _н , %	M _п , M _н	M _{max} , M _н	M _{min} , M _н	I _п , I _н	Момент инерции, кг м ²	Масса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Синхронная частота вращения 3000 об/мин</i>										
АИР50А2	0,09	60	0,75	11,5	2,2	2,2	1,8	4,5	0,00025	2,5
АИР50В2	0,12	63	0,75	11,5	2,2	2,2	1,8	4,5	0,00028	2,8
АИР56А2	0,18	68	0,78	9	2,2	2,2	1,8	5	0,00042	3,4
АИР56В2	0,25	69	0,79	9	2,2	2,2	1,8	5	0,00047	3,9
АИР63А2	0,37	72	0,86	9	2,2	2,2	1,8	5	0,00076	4,7
АИР63В2	0,55	75	0,85	9	2,2	2,2	1,8	5	0,0009	5,45
АИР71А2	0,75	78,5	0,83	6	2,1	2,2	1,6	6	0,00097	6,5
АИР71В2	1,1	79	0,83	6,5	2,1	2,2	1,6	6	0,0011	8,8

АИР80А2	1,5	81	0,85	5	2,1	2,2	1,6	7	0,0018	9,8
АИР80В2	2,2	83	0,87	5	2	2,2	1,6	7	0,0021	13,2
АИР90L2	3	84,5	0,88	5	2	2,2	1,6	7	0,0035	16,7
АИР100S2	4	87	0,88	5	2	2,2	1,6	7,5	0,0059	21,6
АИР100L2	5,5	88	0,89	5	2	2,2	1,6	7,5	0,0075	27,4
АИР112M2	7,5	87,5	0,88	3,5	2	2,2	1,6	7,5	0,01	41
АИР132M2	11	88	0,9	3	1,6	2,2	1,2	7,5	0,023	64
АИР160S2	15	90	0,89	3	1,8	2,7	1,7	7	0,039	100
АИР160M2	18,5	90,5	0,9	3	2	2,7	1,8	7	0,043	110
АИР180S2	22	90,5	0,89	2,7	2	2,7	1,9	7	0,057	160
АИР180M2	30	91,5	0,9	2,5	2,2	3	1,9	7,5	0,07	180
АИР200M2	37	91,5	0,87	2	1,6	2,8	1,5	7	0,13	220
АИР200S2	45	92	0,88	2	1,8	2,8	1,5	7,5	0,14	240
АИР225M2	55	92,5	0,91	2	1,8	2,6	1,5	7,5	0,22	320
АИР250S2	75	93	0,9	2	1,8	3	1,6	7,5	0,41	425
АИР250M2	90	93	0,92	2	1,8	3	1,6	7,5	0,46	455
<i>Синхронная частота вращения 1500 об/мин</i>										
АИР50А4	0,06	53	0,63	11	2,3	2,2	1,8	4,5	0,000029	2,6
АИР50В4	0,09	57	0,65	11	2,3	2,2	1,8	4,5	0,000033	2,9
АИР56А4	0,12	63	0,66	10	2,3	2,2	1,8	5	0,00070	3,35
АИР56В4	0,18	64	0,68	10	2,3	2,2	1,8	5	0,00079	3,9
АИР63А4	0,25	68	0,67	12	2,3	2,2	1,8	5	0,0012	4,7
АИР63В4	0,37	68	0,7	12	2,3	2,2	1,8	5	0,0014	5,6
АИР71А4	0,55	70,5	0,7	9,5	2,3	2,2	1,8	5	0,0013	7,8
АИР71В4	0,75	73	0,76	10	2,2	2,2	1,6	5	0,0014	8,8
АИР80А4	1,1	75	0,81	7	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0032	9,9
АИР80В4	1,5	78	0,83	7	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0033	12,1
АИР90L4	2,2	81	0,83	7	2,1	2,2	1,6	6,5	0,0056	17

АИР100S4	3	82	0,83	6	2	2,2	1,6	7	0,0087	21,6
АИР100L4	4	85	0,84	6	2	2,2	1,6	7	0,011	27,3
АИР112M4	5,5	85,5	0,86	4,5	2	2,5	1,6	7	0,017	41
АИР132S4	7,5	87,5	0,86	4,0	2	2,5	1,6	7,5	0,028	58
АИР132M4	11	87,5	0,87	3,5	2	2,7	1,6	7,5	0,04	70
АИР160S4	15	90	0,89	3	1,9	2,9	1,8	7	0,078	100
АИР160M4	18,5	90,5	0,89	3	1,9	2,9	1,8	7	0,1	110
АИР180S4	22	90,5	0,87	2,5	1,7	2,4	1,5	7	0,15	170
АИР180M4	30	92	0,87	2	1,7	2,7	1,5	7	0,19	190
АИР200M4	37	92,5	0,89	2	1,7	2,7	1,6	7,5	0,28	245
АИР200S4	45	92,5	0,89	2	1,7	2,7	1,6	7,5	0,34	270
АИР225M4	55	93	0,89	2	1,7	2,6	1,6	7	0,51	335
АИР250S4	75	94	0,88	1,5	1,7	2,5	1,4	7,5	0,89	450
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	6,5	2,3	594
АИР280M4	132	94	0,93	2,2	1,6	2,2	1	6,5	2,5	752
АИР315S4	160	93,5	0,91	2	1,4	2	1	5,5	3,1	896
АИР315M4	200	94	0,92	2	1,4	2	0,9	5,5	3,6	1000
АИР355S4	250	94,5	0,92	2	1,4	2	0,9	7	6	1275
АИР355M4	315	94,5	0,92	2	1,4	2	0,9	7	7	1480
<i>Синхронная частота вращения 1000 об/мин</i>										
АИР63A6	0,19	56	0,62	14	2	2,2	1,6	4	0,0018	4,65
АИР63B6	0,25	59	0,62	14	2	2,2	1,6	4	0,0022	5,6
АИР71A6	0,37	65	0,65	8,5	2	2,2	1,6	4,5	0,0017	7,8
АИР80B6	1,1	74	0,74	8	2	2,2	1,6	4,5	0,0046	13,4
АИР90L6	1,5	76	0,72	7,5	2	2,2	1,6	6	0,0073	16,9
АИР100L6	2,2	81	0,74	5,5	2	2,2	1,6	6	0,013	22,8
АИР112MA6	3	81	0,76	5	2	2,2	1,6	6	0,017	35
АИР112MB6	4	82	0,81	5	2	2,2	1,6	6	0,021	40,4
АИР132S6	5,5	85	0,8	4	2	2,2	1,6	7	0,04	57
АИР132M6	7,5	85,5	0,81	4	2	2,2	1,6	7	0,058	68
АИР160S6	11	88	0,83	3	2	2,7	1,6	6,5	0,12	100
АИР160M6	15	88	0,85	3	2	2,7	1,6	6,5	0,15	120
АИР180M6	18,5	89,5	0,85	2	1,8	2,4	1,6	6,5	0,2	180
АИР200M6	22	90	0,83	2	1,6	2,4	1,4	6,5	0,36	225
АИР200L6	30	90	0,85	2,5	1,6	2,4	1,4	6,5	0,4	250
АИР225M6	37	91	0,85	2	1,5	2,3	1,4	6,5	0,61	305
АИР250S6	45	92,5	0,85	2	1,5	2,3	1,4	6,5	1	390
АИР250M6	55	92,5	0,86	2	1,5	2,3	1,4	6,5	1,1	430
АИР280S6	75	92,5	0,9	2,2	1,3	2,2	1	6,5	2,9	637
АИР280M6	90	93	0,9	2,2	1,4	2,4	1	6,5	3,4	702
АИР315S6	110	93	0,92	2,3	1,4	2,3	1	6	4	847
АИР315M6	132	93,5	0,9	2,3	1,4	2,3	1	6,5	4,5	950
АИР355S6	160	94	0,9	2,2	1,6	2	1	7	7,3	1136
АИР355M6	200	94,5	0,9	2,2	1,6	2	0,9	7	8,8	1280
<i>Синхронная частота вращения 750 об/мин</i>										
АИР71B8	0,25	56	0,65	8	1,8	1,9	1,4	4	0,0019	7,8
АИР80A8	0,37	60	0,61	6,5	1,8	1,9	1,4	4	0,0034	13,8
АИР80B8	0,55	64	0,63	6,5	1,8	1,9	1,4	4	0,0041	13,5
АИР90LA8	0,75	70	0,66	7	1,6	1,7	1,2	3,5	0,0067	19,7
АИР90LB8	1,1	72	0,70	7	1,6	1,7	1,2	3,5	0,0086	22,3
АИР100L8	1,5	76	0,73	6	1,6	1,7	1,2	5,5	0,013	31,3
АИР112MA8	2,2	76,5	0,71	5,5	1,8	2,2	1,4	6	0,017	36
АИР112MB8	3	79	0,74	5,5	1,8	2,2	1,4	6	0,025	41

АИР132S8	4	83	0,7	4,5	1,8	2,2	1,4	6	0,042	56
АИР132M8	5,5	83	0,74	5	1,8	2,2	1,4	6	0,057	70
АИР160S8	7,5	87	0,75	3	1,6	2,4	1,4	5,5	0,12	100
АИР160M8	11	87,5	0,75	3	1,6	2,4	1,4	6	0,15	120
АИР180M8	15	89	0,82	2,5	1,6	2,2	1,5	5,5	0,23	180
АИР200M8	18,5	89	0,81	2,5	1,6	2,3	1,4	6	0,36	225
АИР200L8	22	90	0,81	2,5	1,6	2,3	1,4	6	0,4	250
АИР225M8	30	90,5	0,81	2,5	1,4	2,3	1,3	6	0,61	305
АИР250S8	37	92,5	0,78	2	1,5	2,3	1,4	6	1,1	400
АИР250M8	45	92,5	0,79	2	1,4	2,2	1,3	6	1,2	430
АИР280S8	55	92	0,86	3	1,3	2,2	1	6	3,2	643
АИР280M8	75	93	0,87	3	1,4	2,2	1	6	4,1	735
АИР315S8	90	93	0,85	1,5	1,2	2,2	1	6	4,9	927
АИР315M8	110	93	0,86	1,5	1,1	2,2	0,9	6	5,8	1001
АИР355S8	132	93,5	0,85	2	1,2	2	0,9	6,5	9	1175
АИР355M8	160	93,5	0,85	2	1,2	2	0,9	6,5	10	1280

7.6.2. Технические данные двухскоростных двигателей серии АИ

Тип двигателя	P _н , кВт	n _н , об/мин	I _н , А при 380 В	КПД, %	cos φ	И _н	М _н	М _п /М _н	М _т /М _н	Момент инерции, кг·м ²	Масса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Синхронная частота вращения 3000/1500 об/мин</i>											
<i>Схема соединения обмотки ΔУУ</i>											
АИР56A4/2	0,1, 0,14	1400 2800	0,55 0,55	45 50	0,61 0,7	3,5 4	1,8 1,5	1 0,8	2,1 2,1	7·10 ⁻⁴	3,6
АИР56B4/2	0,12 0,18	1330 2660	0,6 0,67	49 57	0,62 0,72	3,5 4	1,6 1,6	1 0,8	1,9 1,9	3,8·10 ⁻⁴	3,9
АИР63A4/2	0,19 0,265	1448 2880	0,79 0,88	55 61	0,66 0,75	3,5 4	1,6 1,2	1 0,8	1,8 1,8	0,0012	5
АИР63B4/2	0,265 0,37	1448 2880	1,03 1,06	57 61	0,70 0,88	3,5 4	1,6 1,2	1 0,8	2 1,7	0,0015	5,7
АИР71A4/2	0,48 0,62	1365 2775	1,27 1,53	70 69	0,82 0,89	4,5 4,5	1,5 1,5	1,4 1,3	1,9 1,9	0,0013	8,1
АИР71B4/2	0,71 0,85	1365 2775	1,76 2,06	73 73	0,84 0,86	4,5 4,5	1,75 1,85	1,5 1,4	1,9 2	0,0015	9,3
АИР80A4/2	1,12 1,5	1410 2730	2,96 3,63	74 73	0,78 0,86	5 5	1,9 1,9	1,6 1,5	2,2 2	0,0034	12,2
АИР80B4/2	1,5 2	1410 2760	3,85 4,7	75 75	0,79 0,86	5 5	2 1,5	1,6 2,1	2 2,1	0,0035	14,6
АИР90L4/2	2 2,65	1405 2775	4,7 4,49	77 78	0,84 0,94	4,5 5	2,1 2	1,7 1,6	2,3 2,1	0,0056	19,7
АИР100S4/2	3 3,75	1425 2850	6,62 7,91	82 80	0,84 0,90	5,5 5,5	2 2	1,6 1,6	2,4 2,4	0,0085	23,7
АИР100L4/2	4,25 4,75	1410 2850	8,95 9,57	82 82	0,88 0,92	5,5 6	2,0 2,2	1,6 1,6	2,2 2,4	0,011	30
АИР112M4/2	4,2 5,3	1440 2870	8,84 11,08	83 79	0,87 0,92	6,5 6,5	1,6 1,7	1,2 1,2	2 2,2	0,016	41,5/49
АИР132S4/2	6,0 7,1	1455 2910	12,11 14,96	86,5 81	0,87 0,89	7,5 7,5	1,5 1,5	1,2 1	2,7 2,7	0,027	58/70
АИР132M4/2	8,5 9,5	1455 2925	16,96 19,32	87,5 83	0,87 0,9	7,5 7,5	2 1,8	1,2 1	2,5 3	0,038	70,5/83,5
АИР160S4/2	11	1460	22,2	89,5	0,84	7	1,6	1,6	2,9	0,08	100/13

	14	2900	27,6	85,5	0,90	7	1,6	1	2,9		0
АИР160М4/2	14	1465	27,6	89,5	0,86	7	1,5	1,5	2,9	0,1	110/14
	17	2925	32,8	86,5	0,91	7	1,6	1	2,9		5
АИР180С4/2	18,5	1470	36,7	90	0,85	6,5	1,6	1,4	2,4	0,16	170
	21	2940	42,2	85	0,89	6,5	1,4	1,3	2,4		
АИР180М4/2	22	1470	41,7	91	0,88	7	1,6	1,4	2,7	0,2	190
	27	2940	50,7	88	0,92	7	1,7	1	2,7		
АИР200М4/2	27,5	1470	54,7	92	0,83	7	2,2	2,1	2,5	0,27	245
	34	2940	63,8	90	0,9	7,3	1,6	1,4	2,5		
АИР200Л4/2	33,5	1465	65	91	0,86	7,0	2	1,7	2,1	0,32	270
	38,5	2940	69,9	91	0,92	7,3	1,8	1,4	2,3		
АИР225М4/2	42	1480	82,2	92,5	0,84	7	2,2	1,9	2,4	0,5	340
	48	2955	90,5	90,5	0,89	7,5	2	1,7	2,4		
<i>Синхронная частота вращения 750/1500 об/мин</i>											
<i>Схема соединения обмотки ΔУУ</i>											
АИР90Л8/4	0,8	710	327	62	0,6	3	1,7	1,6	2	0,0075	19,3
	1,32	1410	3,11	75	0,86	5	1,5	1,3	2		
АИР100С8/4	1	720	3,56	70	0,61	4	1,2	1,1	2	0,0096	22,4
	1,7	1425	3,76	78	0,88	5	1,1	1	1,8		

АИР100Л8/4	1,4	720	4,8	74	0,6	4	1,6	1,5	2,1	0,012	26,7
	2,36	1425	4,97	81	0,89	5,5	1,4	1	1,9		
АИР112М8/4	1,9	710	5,57	74	0,7	5	1,5	1,2	1,8	0,017	36/43,5
	3	1420	6,83	75	0,89	6	1,2	1	2		
АИР112МВ8/4	2,2	715	6,3	77	0,69	5	1,8	1,2	2,4	0,025	41/48,5
	3,6	1425	7,97	78	0,88	6	1,3	1	2,2		
АИР132С8/4	3,6	720	8,78	80	0,69	5	1,5	1,2	2	0,042	56,5/68,5
	5,3	1440	11	81	0,88	6	1,3	1	2		
АИР132М8/4	5	715	13	80	0,79	5,5	1,9	1,2	2,5	0,057	70,0/82
	7,5	1440	16	82	0,9	6	1,2	1	2,4		
АИР160С8/4	6	730	16,7	78	0,73	5,5	1,5	1	2	0,12	100/12
	9	1460	18,5	83	0,87	7,5	1,2	0,8	2		5
АИР160М8/4	9	730	23,6	81,5	0,7	5,5	1,5	1	2	0,15	120/15
	13	1460	26,4	84	0,89	7	1,2	0,8	2		5
АИР180М8/4	13	730	30,9	86,5	0,71	5,5	1,8	1,6	2,7	0,25	180
	18,5	1455	35,3	87,5	0,89	7	1,5	1	2,4		
АИР200М8/4	17	735	39,8	86,5	0,74	6	1,5	1,3	1,8	0,41	240
	25	1465	47,7	87,5	0,91	7	1,4	1,1	2		
АИР200Л8/4	20	735	46,3	87,5	0,75	5,5	1,5	1,3	1,8	0,46	265
	28	1465	53,1	88	0,91	6	1,4	1,1	2		
АИР225М8/4	23	735	53,9	90	0,72	6	2,3	1,8	2,3	0,69	325
	34	1470	63,8	90	0,90	7	1,6	1,4	2,3		
<i>Синхронная частота вращения 1000/1500 об/мин</i>											
<i>Две независимые обмотки. Схема соединения обмотки УУУУУУ</i>											
АИР90Л6/4	1,32	950	3,82	72	0,73	4	1,6	1,5	2,2	0,0073	20,5
	1,80	1440	4,33	77	0,82	5	1,5	1,2	2,3		
АИР100С6/4	1,70	935	4,36	76	0,78	4,5	1,3	1,3	1,8	0,0085	22,3
	2,24	1420	4,83	80	0,88	5,5	1,3	1,2	1,9		
АИР100Л6/4	2,12	945	5,65	77	0,74	4,5	1,4	1,3	2	0,013	28,2
	3,15	1425	6,96	80	0,86	4,5	1,5	1,4	2,1		
АИР112М6/4	3,2	970	9,1	77,5	0,69	5,5	2,0	1,2	2,7	0,017	40,5/48
	4,5	1435	9,8	80	0,87	6	1,5	1	2,1		
АИР132С6/4	5	965	12,4	82	0,75	5,5	1,5	1,2	2,5	0,038	56,5/68,5
	5,5	1440	11,3	82	0,9	5,5	1,5	1	2,2		

АИР132М6/4	6,7	970	15,9	84,5	0,76	6	1,9	1,3	2,6	0,055	68,5/81,5
	7,5	1440	15,1	84	0,9	6	1,5	1	2,2		
<i>Схема соединения УУ/Δ</i>											
АИР160С6/4	7,5	975	16,9	86,5	0,78	6,5	1,8	1,7	2,8	0,12	100/12
	8,5	1455	16,4	87,5	0,9	6	1,5	1,3	2,2		5
АИР160М6/4	11	975	24,2	87,5	0,79	6,5	1,7	1,7	2,8	0,15	120/15
	13	1455	24,7	88	0,91	6	1,4	1,3	2,1		5
АИР180М6/4	15	980	34,0	87	0,77	6,5	2,2	2,0	3	0,24	180
	17	1455	33,0	87	0,9	6,0	1,6	1,5	2,3		
АИР200М6/4	20	985	42,2	89	0,81	6,5	1,9	1,8	2,3	0,41	240
	22	1470	42,2	89	0,89	6	1,5	1,4	1,9		
АИР200Л6/4	25	980	56,8	88	0,76	7	2,3	2,2	2,5	0,46	265
	28	1465	54	88,5	0,89	6	1,8	1,5	2		
<i>Синхронная частота вращения 750/1000 об/мин</i>											
<i>Две независимые обмотки. Схема соединения УУУУУУ</i>											
АИР100С8/6	1	720	3,20	72	0,66	4	1,5	1,4	2,1	0,0085	21,7
	1,25	970	3,43	77	0,72	5,5	1,5	1	2,2		
АИР100Л8/6	1,32	710	4,22	71	0,67	4	1,6	1,4	1,9	0,012	26,7
	1,8	955	4,67	76	0,77	5	1,4	0,9	2		
АИР112М8/6	1,7	720	5,8	73	0,61	5	1,9	1,2	2,2	0,017	35,5/43,5
	2,2	960	6,37	76	0,75	5,5	1,2	1	2,2		
АИР112МВ8/6	2,2	720	6,77	76	0,65	5	2	1,2	2,2	0,025	40,5/48,5
	2,8	960	6,9	78	0,79	5,5	1,4	1,0	2,2		
<i>Синхронная частота вращения 500/1000 об/мин</i>											
<i>Схема соединения обмотки ΔУУ</i>											
АИР112МВ12/6	0,7	465	4,52	49	0,48	3	2,5	2	2,8	0,025	48
	1,8	890	4,38	71	0,88	4	1,5	1,2	1,8		
АИР160С12/6	3,5	485	14,7	71	0,51	4	1,6	1,5	2,5	0,12	100/12
	7,1	965	14,4	85	0,88	5	1,2	1	2,1		5
АИР160М12/6	4,5	48,5	18	74,5	0,51	4	1,8	1,6	2,6	0,15	120/15
	10	96,0	20,3	85	0,88	5	1,2	1	2		5
АИР180М12/6	7,5	490	21,9	80	0,65	4,5	1,6	1,3	2,1	0,25	180
	13	980	25,4	86,5	0,9	6	1,4	1	2,1		
АИР200М12/6	9	490	27,6	82,5	0,6	4	1,5	1,4	1,8	0,41	240
	14	980	28,1	89	0,85	6,5	1,7	1,5	2		
АИР200Л12/6	10	485	30,3	83,5	0,6	4	1,7	1,5	1,8	0,46	265
	17	975	33,6	89,5	0,86	6	1,7	1,5	2,1		
АИР225М12/6	13	485	39,2	84	0,6	4	1,6	1,5	1,8	0,69	325
	22	980	43,2	90	0,86	6	1,4	1,5	2		
АИР132С8/6	3,2	725	8,92	79	0,69	5,5	1,5	1,2	2,2	0,042	56,5/68,5
	4	965	9,38	80	0,81	6	1,5	0,8	2,2		
АИР132М8/6	4,5	725	11,1	84	0,73	5,5	1,7	1,2	2,4	0,057	68,5/81,5
	5,5	970	12	84	0,83	6	1,5	1	2,4		
АИР160С8/6	7,5	720	18,2	84,5	0,74	5	1,6	1,5	2,2	0,12	100/12
	8,5	970	18,1	86	0,83	6	1,4	1,3	2,2		5
АИР160М8/6	11	725	26,9	85	0,73	5,5	1,8	1,7	2,4	0,15	120/15
	13	970	27,8	86,5	0,82	6,5	1,6	1,5	2,4		5
АИР180М8/6	13	735	28,4	87	0,8	6	1,5	1,2	2,3	0,25	180
	15	985	29,4	89	0,87	7	1,9	1,4	2,9		
АИР200М8/6	15	735	34	89,5	0,75	6	2,3	2	2,2	0,41	240
	19	980	37,9	89,5	0,85	6	1,9	1,5	2		
АИР200Л8/6	18,5	735	41,6	90	0,75	6	2,2	1,9	2,2	0,46	265
	23	980	45,1	90	0,86	6	2,0	1,6	2,1		
АИР225М8/6	30	735	70,3	90	0,72	6	2,2	2	2,5	0,69	325
	37	980	72,7	91	0,85	6,5	2	1,9	2,5		

7.6.3. Двигатели серии АИРФ и АИРНФ с фазным ротором

Условное обозначение размеров	Номинальная мощность двигателей, кВт при 2р					
	4		6		8	
	АИРФ			АИРНФ		
100S	2,2	-	-	-	-	-
100L	3,0	1,5	-	-	-	-
112M	4	2,2; 3	-	-	-	-
132S	5,5	4	-	-	-	-
132M	7,5	5,5	-	-	-	-
160S	11	7,5	5,5	-	-	-
160M	15	11	7,5	-	-	-
180M	18,5	15	11	-	-	-
200M	22	18,5	15	37	22	18,5
200L	30	22	18,5	45	30	22
225M	37	30	22	55	37	30
250S	45; 55	37; 45	30; 37	75; 90	45; 55	37; 45
250M	75	55	45	110	75	55
280S	90	75	55	132	90	75
280M	110	90	75	160	110	90
315S	132	110	90	200	132	110
315M	160	132	110	250	160	132
355S	200	160	132	315	200	160
355M	250	200	160	400	250	200

7.7. Крановые и краново-металлургические асинхронные двигатели серий МТФ, МТКФ, МТКН.

Двигатели этих серий выпускались для электроприводов крановых механизмов общепромышленного назначения (МТФ и МТКФ) и приводов металлургических и иных производств, где приводы работают при повышенных температурах (МТА и МТКА).

Двигатели рассчитаны для работы в повторно-кратковременном режиме (ПВ=40%), обладают повышенной перегрузочной способностью, большими пусковыми моментами при сравнительно небольших пусковых токах. Классы нагревостойкости F (TI=155 °C) и H (TI=180 °C). Двигатели имели две модификации: с короткозамкнутым (МТК) и фазным (МТ) ротором. Номинальное напряжение двигателей 220/280 и 500 В.

7.7.1. Крановые электродвигатели серии МТКФ и МТКН с короткозамкнутым ротором

Тип двигателя	P _н , кВт, при ПВ=40%	n _н , об/мин	cos φ	η, %	M _{тmax} , Нм	M _н , Нм	I _н при 380 В, А	J, кгм ²	Масса, кг
МТКФ011-6	1,4	875	0,66	61,5	42	42	15	0,02	47
МТКФ012-6	2,2	880	0,69	67	67	67	22	0,0275	53
МТКФ111-6	3,5	885	0,79	72	105	104	35	0,045	70
МТКФ112-6	5	895	0,74	74	175	175	53	0,065	80
МТКФ211-6	7,5	880	0,77	75,5	220	210	78	0,11	110
МТКФ311-8	11	910	0,76	77,5	390	380	130	0,213	155
МТКФ312-6	15	930	0,78	81	600	590	205	0,3	195
МТКФ411-6	22	935	0,79	82,5	780	720	275	0,475	255
МТКФ412-6	30	935	0,78	83,5	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

МТКФ412-8	22	700	0,69	80,5	1000	950	295	0,75	315
МТКН111-6	3	910	0,7	68	99	98	32	0,045	70
МТКН112-6	4,5	900	0,75	71,5	158	157	50	0,065	80
МТКН211-6	7	895	0,7	73	230	220	88	0,11	110
МТКН311-6	11	910	0,76	77,5	390	380	130	0,213	155
МТКН312-6	15	930	0,78	81	600	590	205	0,3	195
МТКН411-6	22	935	0,79	82,5	780	720	275	0,475	255
МТКН412-6	30	935	0,78	83,5	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

7.7.2. Крановые электродвигатели серии МТФ с фазным ротором 50 Гц, 220/380 и 500 В

Тип двигателя	P _н , кВт, при ПВ=40%	n _н , об/мин	cos φ	η, %	M _{тmax} , Нм	J, кгм ²	Масса, кг
МТФ011-6	1,4	885	0,65	61,5	40	0,0213	51
МТФ012-6	2,2	890	0,68	64	57	0,0288	58
МТФ111-6	3,5	895	0,73	70	87	0,0488	76
МТФ112-6	5	930	0,7	75	140	0,0675	88
МТФ211-6	7,5	930	0,7	77	195	0,115	120
МТФ311-6	11	945	0,69	79	320	0,225	170
МТФ312-6	15	955	0,73	82	490	0,313	210
МТФ411-6	22	965	0,73	83,5	650	0,5	280
МТФ412-6	30	970	0,71	85,5	950	0,675	345
МТФ311-8	7,5	695	0,68	73	270	0,275	170
МТФ312-8	11	705	0,71	77	430	0,388	210
МТФ411-8	15	710	0,67	81	580	0,538	280
МТФ412-8	22	720	0,63	82	900	0,75	345
МТН111-6	3	895	0,67	65	85	0,0488	76
МТН112-6	4,5	910	0,71	69	120	0,0675	88
МТН211-6	7	920	0,64	73	200	0,115	120
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

7.8. Двигатели серии АО2.

Двигатели общего назначения серии АО2 и А2 сняты с производства и заменены сериями 4А, 4АМ (модернизированный), АИ (АИР, АИС), а в последние годы - РА и 5А. Однако, до настоящего времени, в эксплуатации по различным данным находится до миллиона машин серии АО2 и А2.

Двигатели серии АО - асинхронные, обдуваемого исполнения со станиной и подшипниковыми щитами из чугуна, либо из алюминиевых сплавов (АОЛ), выпускались на напряжение 220,380, 660 В (1-5 габариты) и 220/380, 380/660 В (6-9 габариты).

Технические данные двигателей серии; АО2 (АОЛ2) 1-9 габаритов приведены в таблице 7.8. Обозначение двигателя, например: АО2-61-4У3, обозначает: асинхронный закрытого обдуваемого исполнения с чугунными станиной и подшипниковыми щитами, 6 габарита, первой длины сердечника статора, четырехполюсный, климатического исполнения У, категории размещения 3.

7.8. Двигатели серии АО2 (АОЛ2)

Типоразмер двигателя	P_n , кВт	S_n , %	КПД, %	$\cos \phi$	M_{\max} Мном	M_n Мном	I_n Ином
1	2	3	4	5	6	7	8
АОЛ2-11-2У3	0,8	5,7	78	0,86	2,2	1,9	7
АОЛ2-12-2У3	1,1	5,7	79,5	0,87	2,2	1,9	7
АОЛ2-21-2У3	1,5	5	80,5	0,88	2,2	1,8	7
АОЛ2-22-2У3	2,2	5	83	0,89	2,2	1,8	7
АО2-31-2У3	3	4	84,5	0,89	2,2	1,7	7
АОЛ2-31-2У3	3	4	84,5	0,89	2,2	1,7	7
АО2-32-2У3	4	4	85,5	0,89	2,2	1,7	7
АОЛ2-32-2У3	4	4	85,5	0,89	2,2	1,7	7
АО2-41-2У3	5,5	3,5	86	0,89	2,2	1,6	7
АО2-42-2У3	7,5	3,5	87	0,89	2,2	1,6	7
АО2-51-2У3	10	3	88	0,89	2,2	1,5	7
АО2-52-2У3	13	3	88	0,89	2,2	1,5	7
АО2-62-2У3	17	3	88	0,9	2,2	1,2	7
АО2-71-2У3	22	3	88	0,9	2,2	1,1	7
АО2-72-2У3	30	3	89	0,9	2,2	1,1	7
АО2-81-2У3	40	2,7	89	0,91	2,2	1	7
АО2-82-2У3	55	2,7	90	0,92	2,2	1	7
АО2-91-2У3	75	1,8	90	0,92	2,2	1	7
АО2-92-2У3	100	1,8	91,5	0,92	2,2	1	7
АОЛ2-11-4У3	0,6	10	72	0,76	2,2	1,8	7
АОЛ2-12-4У3	0,8	10	74,5	0,78	2,2	1,8	7
АОЛ2-21-4У3	1,1	7	78	0,8	2,2	1,8	7
АОЛ2-22-4У3	1,5	7	80	0,81	2,2	1,8	7
АОЛ2-31-4У3	2,2	4,7	82,5	0,83	2,2	1,8	7
АО2-32-4У3	3	4,7	83,5	0,84	2,2	1,8	7
АОЛ2-32-4У3	3	4,7	83,5	0,84	2,2	1,8	7
АО2-41-4У3	4	4	86	0,85	2,2	1,5	7
АО2-42-4У3	5	3,5	87	0,86	2	1,5	7
АО2-51-4У3	7,5	3,3	88,5	0,87	2	1,4	7

АО2-52-4У3	10	3,3	88,5	0,87	2	1,4	7
АО2-61-4У3	13	3,3	88,5	0,89	2	1,3	7

АО2-62-4У3	17	3,3	89	0,89	2	1,3	7
АО2-71-4У3	22	3,3	90	0,9	2	1,2	7
АО2-72-4У3	30	3,3	91	0,91	2	1,2	7
АО2-81-4У3	40	3	91,5	0,91	2	1,1	7
АО2-82-4У3	55	2,7	92,5	0,92	2	1,1	7
АО2-91-4У3	75	2	92,5	0,92	2	1,1	7
АО2-92-4У3	100	2	93	0,92	2	1,1	7
АОЛ2-11-6У3	0,4	9	68	0,65	2,2	1,8	6,5
АОЛ2-12-6У3	0,6	9	70	0,68	2,2	1,8	6,5
АО2-21-6У3	0,8	7	73	0,71	2,2	1,8	6,5
АОЛ2-21-6У3	0,8	7	73	0,71	2,2	1,8	6,5
АОЛ2-22-6У3	1,1	7	76	0,73	2,2	1,8	6,5
АО2-31-6У3	1,65	7	79	0,75	2,2	1,8	6,5
АОЛ2-31-6У3	1,5	7	79	0,75	2,2	1,8	6,5
АО2-32-6У3	2,2	7	81	0,77	2,2	1,8	6,5
АОЛ2-32-6У3	2,2	7	81	0,77	2,2	1,8	6,5
АО2-41-6У3	3	5	81,5	0,78	1,8	1,3	6,5
АО2-42-6У3	4	5	83	0,79	1,8	1,3	6,5
АО2-51-6У3	5,5	3,5	85,5	0,81	1,8	1,3	6,5
АО2-52-6У3	7,5	3,5	87	0,82	1,8	1,3	6,5
АО2-61-6У3	10	3,5	88	0,89	1,8	1,2	7
АО2-62-6У3	13	3,5	88	0,89	1,8	1,2	7
АО2-71-6У3	17	3,5	90	0,9	1,8	1,2	7
АО2-72-6У3	22	3,5	90,5	0,9	1,8	1,2	7
АО2-81-6У3	30	3	91	0,91	1,8	1,1	7
АО2-82-6У3	40	2,5	91,5	0,91	1,8	1,1	7
АО2-91-6У3	55	2	92,5	0,92	1,8	1,1	7
АО2-92-6У3	75	2	92,5	0,92	1,8	1,1	7
АО2-41-8У3	2,2	6	79,5	0,69	1,7	1,2	7
АО2-42-8У3	3	6	80	0,7	1,7	1,2	7
АО2-51-8У3	4	3,5	84	0,71	1,7	1,2	7
АО2-52-8У3	5,5	3,5	85	0,72	1,7	1,2	7
АО2-61-8У3	7,5	3,3	86,5	0,81	1,7	1,2	7
АО2-62-8У3	10	3,3	87,5	0,81	1,7	1,2	7
АО2-71-8У3	13	3,3	89	0,83	1,7	1,1	7
АО2-72-8У3	17	3,3	89,5	0,83	1,7	1,1	7

7.9. Асинхронные двигатели серии 5А (5АН, 5АНК)

Асинхронные двигатели этой серии выпускаются в последние годы Владимирским электромоторным заводом (ВЭМЗ) и Московским электро-механическим заводом им. Владимира Ильича (ЗВИ). Мощность двигателей серии привязана к установочным размерам по ГОСТ 28330-89. Для поставок на экспорт двигатели этой серии изготавливаются по нормам CENELEK-DOCUMENT 28/64. Двигатели серии 5А полностью взаимозаменяемы с соответствующими типами электродвигателей серий 4А и АИР.

Технические данные двигателей серии 5А (табл. 7.9.1-7.9.3) приведены по каталогам заводов - изготовителей ЗВИ и ВЭМЗ. Номинальные мощности указаны для длительного режима работы S1 от сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220,380,660 В.

7.9.1. Асинхронные двигатели серии 5А

Тип двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	Сos φ	Масса, кг
5АМ315М2	200	2960	95,6	0,93	1110
5АМ315S2	160	2960	95	0,92	970
5АМ280М2	132	2960	94,7	0,93	770
5АМ280S2	110	2960	94,3	0,93	720
5АМ250М2	90	2940	93	0,92	505
5АМ250S2	75	2940	93	0,91	475
5А225М2	55	2940	93,5	0,91	340
5А200L 2	45	2940	93,4	0,90	255
5А200М2	37	2940	93	0,90	235
5А160М2	18,5	2925	91	0,90	138
5А160S2	15	2925	90,5	0,89	126
5А80МВ2	2,2	2850	82,5	0,86	15,5
5А80МA2	1,5	2850	81,5	0,84	14
5АМ315М4	200	1480	96	0,89	1150
5АМ315S4	160	1480	96	0,89	1110
5АМ280М4	132	1480	95,5	0,88	885
5АМ280S4	110	1480	95,3	0,87	780
5АМ250М4	90	1478	94	0,88	515
5АМ250S4	75	1478	94	0,87	480
5А225М4	55	1470	93,3	0,85	345
5А200L 4	45	1465	92,5	0,85	270
5А200М4	37	1465	92	0,86	245
5А160М4	18,5	1455	90	0,86	140
5А160S4	15	1450	89	0,86	127
5А80МВ4	1,5	1410	77	0,82	14,7
5А80МA4	1,1	1410	75	0,80	13
5АМ315М6	132	985	95	0,88	1010
5АМ315S6	110	985	95	0,88	960
5АМ280М6	90	985	94,5	0,86	780
5АМ280S6	75	985	94,5	0,86	745
5АМ250М6	55	980	92,5	0,85	450
5АМ250S6	45	980	92,5	0,83	430
5А225М6	37	980	91	0,83	330
5А200L6	30	978	90	0,84	245
5А160М6	15	970	88,5	0,84	150
5А160S6	11	970	88,5	0,83	124
5А80МВ6	1,1	930	73	0,72	16
5А80МA6	0,75	930	71	0,70	14

5АМ315М8	110	740	94	0,84	1025
5АМ315S8	90	740	94,5	0,84	965
5АМ280М8	75	740	93,9	0,84	790
5АМ280S8	55	740	93,8	0,85	725
5АМ250М8	45	735	92,5	0,76	460
5АМ250S8	37	735	92	0,75	430
5А225М8	30	735	90,5	0,79	340
5А200L8	22	735	90	0,80	260
5А200М8	18,5	735	89,8	0,79	240
5А160М8	11	725	87,5	0,75	149
5А160S8	7,5	725	87	0,75	123
5А80МВ8	0,55	700	61	0,64	15,7
5А80МA8	0,37	675	60	0,62	13,5
5АМ315М10	75	590	93,5	0,83	975
5АМ315S10	55	590	93,5	0,83	925
5АМ280М10	45	590	92,5	0,81	760
5АМ280S10	37	590	92,4	0,81	710
5АМ315М12	55	490	93	0,76	975
5АМ315S12	45	490	93	0,76	925

7.9.2. Асинхронные двигатели серии 5АН защищенного исполнения

Тип двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	КПД, %	Сos φ	Масса, кг
5АН250М2	132	2940	94	0,9	500
5АН250S2	110	2940	93,5	0,88	455
5АН225М2	90	2950	94	0,92	322
5АН200L2	75	2940	93	0,88	270
5АН200М2	55	2940	93	0,88	240
5АН250М4	110	1470	94	0,85	510
5АН250S4	90	1470	94	0,85	455
5АН225М4	90	1475	93	0,85	314
5АН200L4	55	1470	92,5	0,88	280
5АН200М4	45	1470	92,5	0,87	250
5АН250М6	75	985	93	0,82	480
5АН250S6	55	985	95,5	0,82	410
5АН225М6	45	980	91,8	0,84	303
5АН200L6	37	980	91	0,81	255
5АН200М6	30	980	90,5	0,81	230
5АН250М8	55	740	92	0,75	475
5АН250S8	45	740	91	0,75	410
5АН225М8	37	735	90,4	0,80	315
5АН200L8	30	735	90,5	0,82	270
5АН200М8	22	735	90,5	0,82	240

7.9.3. Асинхронные двигатели с фазным ротором серии 5АНК

Тип двигателя	Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	КПД, %	Сос ф.
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

7.10. Асинхронные микродвигатели.

К микродвигателям относят машины мощностью до 600 Вт. Асинхронные микродвигатели общего назначения выпускаются трехфазные, однофазные и универсальные, способные работать как в трехфазном, так и в однофазном режимах (серия УАД). Номинальное напряжение микродвигателей: 127, 220, 380 В, 50 Гц.

Данные о микродвигателях серии АИР приведены в таблице 7.6., серии 4А - в таблице 7.3., а серии РА - в таблице 7.2. Диапазон мощностей микродвигателей этих серий - от 90 до 550 Вт.

Технические данные об однофазных микродвигателях приведены в таблицах 7.10.1 и 7.10.2, об универсальных двигателях серии УАД - в 7.10.3, об однофазных конденсаторных двигателях серии 5АЕУ - в 7.10.4.

7.10.1. Однофазные асинхронные двигатели серии АОЛБ с пусковым сопротивлением

Тип	P _н , Вт	Номинальные данные					cos φ	I _н , А	M _п , Мн	M _н , Мн	Масса, кг в форме исполнения		J _{рот} , 10 ⁻³ кг м ²
		n _н , об/мин	I _н , А при U _н , В			η, %					Ш2/Ф3	Ф3	
АОЛБ011-4		1370	1,05	0,61	0,35	22	0,62	6,5	1,0	1,4	3,0	2,9	1,2
АОЛБ012-4	30	1390	1,38	0,80	0,46	28	0,62	6,5	1,0	1,4	3,5	3,4	1,4
АОЛБ11-4	50	1420	1,90	1,10	0,65	34	0,62	7,5	1,2	1,8	4,7	4,5	2,2
АОЛБ12-4	80	1420	2,50	1,45	0,85	41	0,62	7,5	1,2	1,8	5,6	5,4	2,6
АОЛБ21-4	120	1420	3,30	1,90	1,10	47	0,62	7,5	1,2	1,8	7,3	7,0	5,2
АОЛБ22-4	180	1420	4,30	2,50	1,45	53	0,62	7,5	1,2	1,8	8,8	8,5	6,4
АОЛБ31-4	240	1440	5,70	3,30	1,90	60	0,62	7,5	1,2	1,9	23	21	15
АОЛБ32-4	400	1440	7,60	4,40	2,55	67	0,62	7,5	1,2	1,9	30	27	21
АОЛБ011-2	30	2880	0,85	0,49	0,28	41	0,68	8,0	1,0	1,4	3,1	3,0	1,2
АОЛБ012-2	50	2880	1,18	0,68	0,39	48	0,70	8,0	1,0	1,4	3,5	3,4	1,4
АОЛБ11-2	80	2890	1,75	1,00	0,60	51	0,72	7,5	1,0	2,2	4,9	4,7	2,2
АОЛБ12-2	120	2890	2,40	1,40	0,80	55	0,72	7,5	1,0	2,2	5,8	5,6	2,6
АОЛБ21-2	180	2890	3,30	1,90	1,10	59	0,72	7,5	1,0	2,2	7,5	7,2	5,2
АОЛБ22-2	240	2890	4,70	2,70	1,50	63	0,72	7,5	1,0	2,2	9,1	8,2	6,4
АОЛБ31-2	400	2920	6,55	3,80	2,15	66	0,72	9,0	1,0	2,2	23	21	10
АОЛБ32-2	600	2940	9,50	5,50	3,20	69	0,72	9,0	1,0	2,2	30	27	16

7.10.2. Однофазные асинхронные двигатели серии АВЕ

Тип двигателя	P _н , Вт	n _н , об/мин	I _н , А, при U _н , В		η, %	cos φ	M _н	M _п	I _н	Масса, кг, при исполнении		J _{рот} , 10 ⁻³ кг м ²	C _p , мкФ, при U _н =220 В
			127	220						при включенном C _p	Ш2Р		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
АВЕ041-2	18	2700	0,40	0,23	40	0,90	1,5	0,5	2,5	1,5	1,4	1,25	0,75
АВЕ042-2	30	2700	0,49	0,28	50	0,90	1,5	0,5	3,0	1,90	1,75	1,6	1,25
АВЕ051-2	50	2700	0,74	0,43	55	0,90	1,7	0,45	3,0	2,6	2,3	3,6	3,0
АВЕ052-2	80	2700	1,11	0,66	58	0,95	1,7	0,45	3,5	2,9	2,7	4,7	4,0
АВЕ061-2	120	2700	1,40	0,845	66	0,95	1,8	0,45	3,5	4,4	4,1	8,2	6,0
АВЕ062-2	180	2700	2,20	1,27	68	0,96	1,8	0,45	3,5	5,3	4,9	11,0	6,0
АВЕ071-2	270	2800	3,20	1,85	70	0,95	1,8	0,45	4,5	6,9	6,4	31,0	6,0
АВЕ072-2	400	2800	4,60	2,66	72	0,95	1,8	0,45	4,5	8,4	7,9	38,0	8,0
АВЕ041-4	10	1300	0,274	0,158	30	0,90	1,5	0,5	2,5	1,5	1,4	1,25	1,0
АВЕ042-4	18	1300	0,386	0,223	40	0,90	1,5	0,5	2,5	1,9	1,75	1,6	1,0

7.10.3. Универсальные асинхронные двигатели серии УАД
а) в трехфазном режиме

Тип двигателя	P _н , Вт	n _н , об/мин	I _н , А	η, %	M _м /M _н	M _п /M _н	I _п /I _н
УАД-12	1,5	2700	0,055	14	2,5	2,5	2
УАД-22	4	2700	0,08	28	2	1,5	2
УАД-32	7	2700	0,11	30	2	2	2,5
УАД-42	13	2700	0,13	45	2	2	3,2
УАД-52	20	2700	0,17	55	2	2	4,5
УАД-62	40	2700	0,25	60	1,5	1,5	6
УАД-72	70	2700	0,4	65	1,5	1,5	6
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	1280	0,13	20	1,5	1,5	2
УАД-54	9	1280	0,17	25	1,5	1,5	2,5
УАД-64	20	1280	0,23	40	1,5	1,5	3
УАД-74	30	1280	0,3	50	1,5	1,5	3,5

б) в однофазном режиме

Тип двигателя	P _н , Вт	n _н , об/мин	I _н , А	η, %	M _м /M _н	M _п /M _н	I _п /I _н	C, мкФ
УАД-12	1	2750	0,055	10	2	0,5	2	0,5
УАД-22	3	2750	0,08	20	2	0,5	2	1
УАД-32	5	2750	0,11	25	1,5	0,3	2,5	1,5
УАД-42	10	2750	0,13	44	1,5	0,3	3	1,5
УАД-52	18	2750	0,19	50	1,5	0,3	3,5	2
УАД-62	30	2750	0,3	54	1,5	0,2	4	4
УАД-72	50	2750	0,42	60	1,5	0,1	5	5
УАД-24	1	1280	0,055	9	1,5	0,5	1,5	0,5
УАД-34	2	1280	0,09	11	1,5	0,5	1,5	1
УАД-44	4	1300	0,14	14	1,5	0,5	1,5	2
УАД-54	8	1300	0,16	25	1,5	0,5	2	3
УАД-64	15	1300	0,23	35	1,5	0,3	2,5	3
УАД-74	55	1300	0,3	45	1,5	0,2	3	4

7.10.4. Однофазные конденсаторные двигатели серии 5АЕУ

Тип двигателя	P _н , Вт	n _н , об/мин	η, %	cosφ	C, мкФ	Масса, кг
5АЕУ80	1,5	28050	74,0	0,96	40	16,1
5АЕУ80	1,1	2850	70,0	0,92	30	14,6
5АЕУ80	1,1	1410	74,0	0,97	40	15,3
5АЕУ80	0,75	1425	71,0	0,95	30	13,6

Примечания: 1. Сеть напряжением 220 В, 50 Гц.
2. Данные приводятся по каталогу ВЭМЗ.

На рис. 7.1 - 7.4 представлены чертежи и эскизы асинхронных двигателей серий 4А и АИ с короткозамкнутыми и фазными роторами закрытого и защищенного исполнения.

Более подробные сведения об асинхронных машинах читатель найдет в литературе [2, 11, 23, 24, 25, 26, 27, 28].

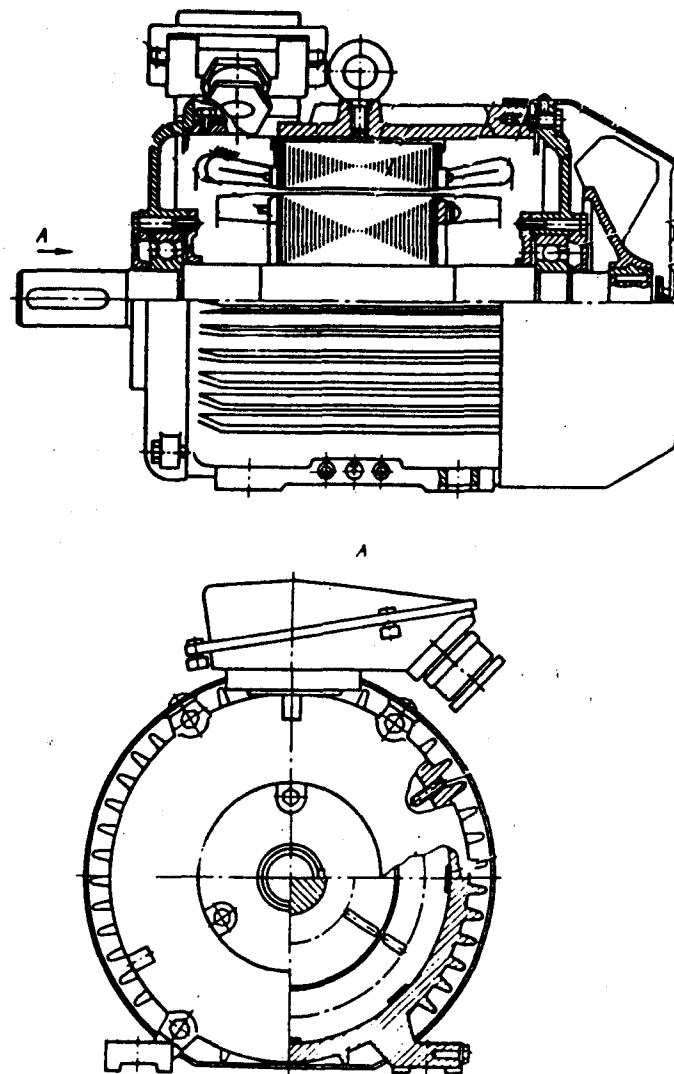


Рис.7.1. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором со степенью защиты IP44 (54) исполнения IM1001 и h= 160 мм

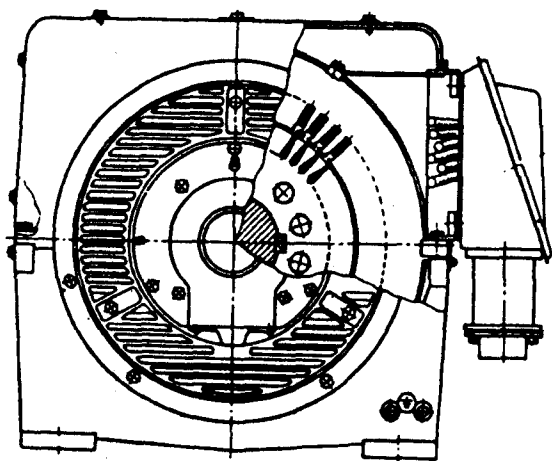
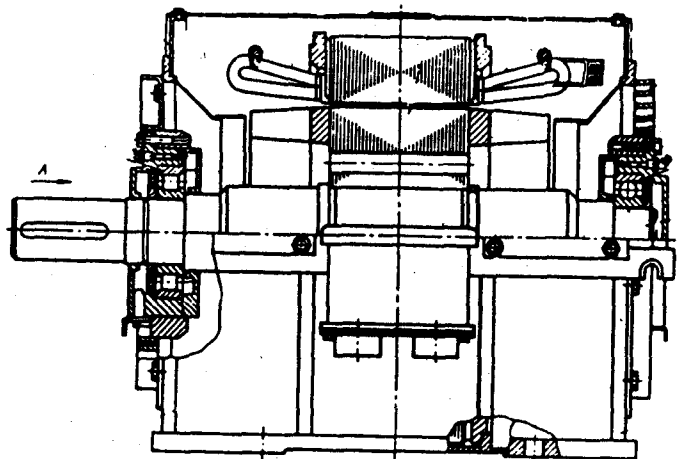


Рис.7.2. Асинхронные двигатели серий 4А и АИ с короткозамкнутым ротором со степенью защиты IP23 и $h = 280-335$ мм.

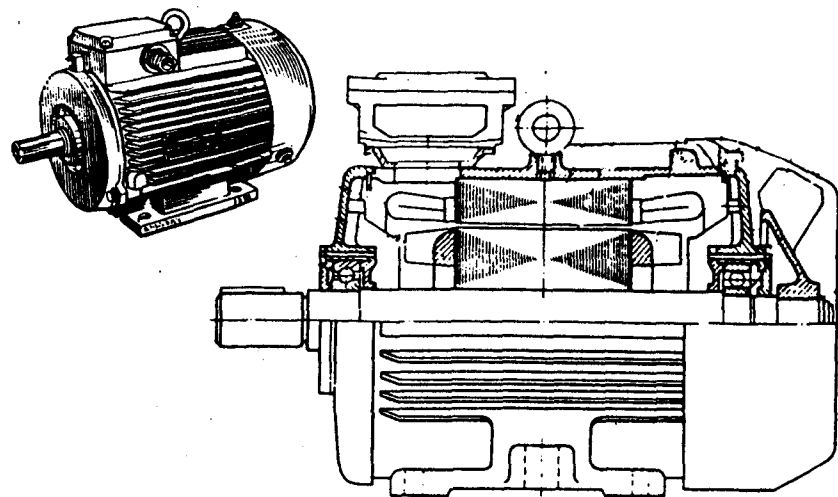


Рис.7.3. Асинхронный двигатель серии АИ с короткозамкнутым ротором степень защиты IP54 (общий вид и чертеж)

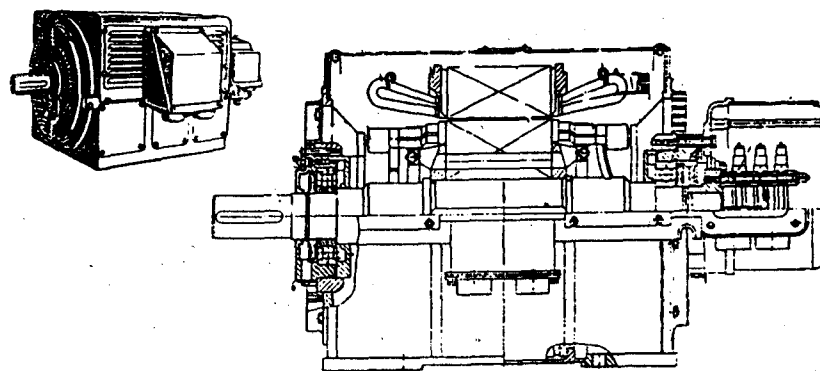


Рис. 7.4. Асинхронный двигатель с фазным ротором серии 4А со степенью защиты IP23 (общий вид и чертеж).

ГЛАВА 8. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Машины постоянного тока находят широкое применение главным образом как двигатели в регулируемых электроприводах постоянного тока. Генераторы постоянного тока используются в качестве возбудителей для питания обмоток возбуждения мощных синхронных машин, цеховых сетей постоянного тока, для зарядки аккумуляторов и т.д.

Кроме того, выпускаются универсальные коллекторные двигатели, способные работать от сетей как постоянного так переменного тока (УЛ, УМТ, МУН). Машины постоянного тока унифицированы. Устаревшая единая серия двигателей постоянного тока П 1-11 габаритов была заменена серией 2П, в рамках которой выпускались двигатели в диапазоне мощностей 0,37-200 кВт с высотами осей вращения от 90 до 315 мм, а также мощные двигатели серии П2 и МП, диапазон мощностей от 315 до 12500 кВт, частот вращения от 32 до 500 об/мин.

Двигатели серии 2П имеют степень защиты IP22 (защищенные), IP44, IP54, закрытые, охлаждение с самовентиляцией (Н), с независимой вентиляцией от постороннего вентилятора (Ф). Машины закрытого исполнения обозначаются, соответственно: Б и О.

Машины серии 2П заменяются новой серией 4П. По ряду конструктивных особенностей (деталям, сборочным единицам, способу охлаждения, защиты и т.д.) машины этой серии унифицированы с асинхронными машинами серий 4А и АИ.

Двигатели защищенного и закрытого исполнения с независимой вентиляцией от постороннего вентилятора (4ПФ, 4ПО) допускают при номинальной нагрузке регулирование частоты вращения от номинальной до единиц оборотов в минуту.

8.1. Двигатели постоянного тока серий 2ПА, 2ПФ, 4ПБ, 4ПФ

8.1.1. Двигатели постоянного тока серии 2ПА

h, мм	Pн, кВт	Uн, В	nн, об/мин	nmax, об/мин	η, %	Rл, Ом	Rоп, Ом	Rов, Ом	Lл, мГн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
90	0,17	110	750	3000	47,5	5,84	4,40	610	128
		220	750	1500	48,5	27,2	16,2	162	514
	0,25	110	1060	4000	56	3,99	2,55	610	78,7
		220	1120	2000	57	15,47	11,2	612	297
	0,37	110	1500	3000	61,5	2,52	1,47	610	48
		220	1500	2250	61,5	10,61	6,66	612	190
	0,71	110	2360	4000	69,5	1	0,54	470	18
		220	2360	3540	70	3,99	2,55	123	79
	1	110	3000	4000	71,5	0,6	0,35	365	12
		220	3000	4000	72,5	2,52	1,47	92	48
100	0,37	110	750	3000	60	2,69	1,62	470	89
		220	750	1500	59,5	11,78	6,7	120	343
	0,5	110	1000	4000	65	1,79	0,93	470	53
		220	1000	2000	66	7,05	4,62	120	222
	0,75	110	1500	4000	71	0,805	0,57	359	26

1,2	220	1500	4300	71,5	3,4	2,05	103	104
	110	2120	4000	75	0,436	0,355	359	14
	220	2200	4000	76,5	1,792	0,93	103	53
	220	3000	4000	78,5	0,201	0,135	265	6,6
2	220	3000	4000	79	0,805	0,57	73	26
	110	800	3000	59	1,29	1,12	233	13,9
	220	800	2500	60,5	5,07	4,5	61,4	58
	110	1060	4000	63	0,788	0,682	233	9,3
0,85	220	950	3500	64	3,85	3,08	61,4	44
	110	1500	4000	70	0,42	0,355	181	4,8
	220	1500	4000	70	1,77	1,55	44	19,5
	110	2120	4000	76	0,196	1,134	156	2,3
2,5	220	2200	4000	76	0,788	0,682	39,4	9,3
	110	3150	4000	78,5	0,084	0,089	129	1
	220	3000	4000	79	0,42	0,356	33,6	4,8
	110	750	3000	68	0,472	0,308	134	9,7
1,6	220	750	2500	68,5	1,88	1,39	35	38,6
	110	1000	4000	72	0,271	0,204	5,7	5,7
	220	1000	3000	73,5	1,08	0,763	134	22,9
	440	1000	25000	73	4,54	3,26	35	91,5
4	110	1500	4000	77,5	0,14	0,094	134	2,8
	220	1500	4000	79	0,564	0,336	35	11
	440	1500	3750	79	2,28	1,44	42	42
	110	2200	4000	81	0,067	0,049	111	1,4
7	220	2240	4000	83	0,226	0,166	25,6	4,6
	440	2240	4000	83	0,906	0,692	18	18
	220	3000	4000	84	0,14	0,094	111	2,8
	440	3000	4000	85	0,564	0,366	25,6	11
10,5	110	750	3000	75,5	0,138	0,135	128	5,04
	220	750	2500	76,5	0,732	0,485	34,3	20,2
	440	750	1850	76	3,15	2,21	85	85
	110	950	4000	78,5	0,11	0,078	108	3,1
4,5	220	1000	3000	79,5	0,411	0,304	26,8	10,5
	440	950	2500	79	1,78	1,44	48,8	48,8
	110	1600	4000	83	0,037	0,024	82	1
	220	1500	4000	83	0,183	0,135	21,9	5
7,5	440	1500	3750	84	0,732	0,485	20	20
	220	2120	4000	85,5	0,081	0,056	61,5	2,2
	440	2360	4000	86,5	0,279	0,175	16,4	7,5
	220	3150	4000	87	0,037	0,024	53,1	1
18	440	3150	4000	87,5	0,145	0,101	12,6	4

5,6	110	750	3000	78,5	0,084	0,056	74,8	2,73	
	220	750	3500	79	0,338	0,221	17,5	10,9	
	440	750	1850	79,5	1,5	0,825	47	47	
180	8	110	1000	3500	81,5	0,058	0,037	98	27
		220	1060	3000	83	0,181	0,122	23	1,9
	440	1000	2500	82	0,902	0,54	74,8	6,1	
		17,5							
15	110	1500	3500	85,5	-	-	-	-	
	220	1500	4000	85,5	0,084	0,056	55,5	2,7	
	440	1500	3500	86	0,338	0,221	15	11	
	220	2240	3500	88	0,038	0,025	49,2	1,2	
26	440	2240	3500	89	0,15	0,092	12,8	4,9	
	220	3000	3500	89,5	0,022	0,015	55,5	0,68	
	12,8								
37	440	3150	3500	79,5	0,084	0,056	61	2,2	
	12,8								
8,5	110	800	3000	81	0,047	0,029	61,6	1,59	
	220	800	2500	82	0,188	0,116	17,1	6,4	
	440	800	1850	82	0,796	0,506	61,6	25,5	
	110	1120	3500	84	0,026	0,016	17,1	0,9	
13	220	1120	3000	85	0,106	0,061	53	3,6	

200	22	440	1000	2500	84,5	0,485	0,303	15	16,8
	36	220	1500	3500	87,5	0,047	0,029	61	1,6
		440	1500	3500	87,5	0,246	0,13	17	8,1
60	440	2200	3500	89,5	0,026	0,016	46	0,9	
									2200
	440	3150	3500	90,5	0,047	0,029	35	1,6	
225	7,5	220	1500	1800	77	0,350	0,1010		82,43
	11	220	600	2100	79,5	0,202	0,06888		62,25
	15	220	750	2500	80,5	0,146	0,0637		62,25
	22	220	1000	2500	82	0,086	0,0429		62,6
	37	220	1500	3000	86,5	0,0366	0,0159		45,75
250	15	440	1500	1850	86,5	0,168	0,0678		43
	18	220	530	1500	80	0,142	0,078		37,9
	22	220	630	2100	80,5	0,11	0,054		37,9
		440	600	2800	80,5	0,57	0,25		37,9
	37	220	750	2000	81	0,074	0,039		37,9
		440	850	2400	81	0,235	0,096		28,7
	50	220	1060	2500	85	0,035	0,019		28,7
		440	1060	2500	85	0,152	0,078		28,7
	55	220	1500	1800	87	0,11	0,054		29,8
		440	1500	2800	87	0,0185	0,0098		26,8
280	22	440	1700	2800	87	0,059	0,026		20,2
	30	220	530	1250	83	0,062	0,033		39,6
	45	220	600	1500	84,5	0,046	0,022		23
		440	600	1500	84,5	0,185	0,0817		30
	75	220	750	2000	86	0,034	0,015		28
		440	750	1200	86,5	0,137	0,0618		30
	90	220	1000	2250	88,5	0,016	0,0083		22,8
		440	1180	2400	88,5	0,046	0,0022		25
	110	220	1500	1500	89	-	-		-
		440	1500	2600	89,5	0,0075	0,0038		22,8
		440	1500	2250	89,5	0,034	0,0154		30

315	45	220	600	1500	85,5	0,03	0,014		34,08
	55	440	600	1500	85,5	0,12	0,058		25,6
		440	750	1800	87	0,068	0,028		18,8
	100	440	1000	2250	88	0,04	0,024		25,6
	110	220	1000	2250	89	0,0082	0,0045		18,8
	160	220	1500	2400	90	0,004	0,0025		25,6
		440	1900	2400	90	0,0116	0,0071		25,6

Примечание: Климатическое исполнение двигателей - УХ, категория размещения - 4, длина сердечника якоря - М, первая.

8.1.2. Двигатели постоянного тока серии 2ПФ

h, мм	P _н , кВт	U _н , В	P _н , об/мин	P _{макс} , об/мин	η, %	R _я , Ом	R _{дп} , Ом	R _{ов} , Ом	I _я , мГн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
132L	2,8	110	750	3750	66,5	0,269	0,22	89	5,7
		220	750	2500	67	1,08	0,915	25	23
		440	750	1850	69	4,05	2,92	76	86
	4,2	110	950	4000	72	0,167	0,124	20,6	3,5
		220	1000	3000	73	0,67	0,445	76	14
		440	1000	2500	73	2,8	1,96	20,6	55
	5,5	110	1500	4200	79	0,08	0,066	76	1,8
		220	1600	4200	80,5	0,269	0,22	20,6	5,7
		440	1600	3750	80,5	1,08	0,915	167	23

	7,5	110	2200	4000	83	0,055	0,039	43	1,1
		220	2120	4000	83,5	0,167	0,124	76	3,5
	11	440	2200	4000	86	0,67	0,445	20,6	13,8
		440	3000	4000	85,5	0,08	0,066	76	1,8
160M	4,2	110	800	3750	74,5	0,11	0,087	53,1	3,1
		220	750	2500	73	0,516	0,407	12,6	14
		440	750	1850	73	2,06	1,785	82	56
	6	110	1000	4000	78	0,081	0,056	21,9	2,2
		220	1000	3000	79	0,326	0,208	53,1	9
		440	1000	2500	79	1,304	1,05	12,6	46
	7,5	220	1500	4200	83	0,145	0,101	82	4
		440	1600	3750	83,5	0,516	0,407	21,9	14
		440	2240	4000	87	0,081	0,056	53,1	2,2
	13	440	2240	4000	87	0,278	0,175	12,6	
		220	3150	4000	87	0,037	0,024	53,1	0,99
		440	3150	4000	88	0,145	0,101	12,6	4
180L	10	110	750	3300	77,5	0,065	0,044	72	2,2
		220	750	2500	79	0,203	0,145	20	7,3
		440	750	1850	78	0,99	0,644	46,7	32
	14	220	1000	3300	82	0,136	0,084	13	4,4
		440	1000	2500	83	0,585	0,462	46	20
		220	1500	3500	87	0,065	0,044	13	2,2
	18,5	440	1500	3500	87	0,26	0,183	72	9
		220	2120	3500	89	0,042	0,03	20	0,81
		440	2200	3500	89,5	0,136	0,084	46,7	4,4
	32	440	3150	3500	90,5	0,065	0,044	13	2,2
								86	
								23	
							46		
							13		
32	440	3150	-	-	-	-	46,7	4,4	
							13,0		

200L	15	110	750	3300	82	0,031	0,02	42	1,2	
		220	750	2500	82,5	0,125	0,08	10,6	4,6	
		440	800	1850	83,5	0,5	0,264	55	18,6	
	20	220	1000	3300	85,5	0,083	0,053	15	3,2	
		440	1000	2500	85,5	0,286	0,168	31	10	
	30	220	1500	3500	88,5	0,031	0,02	7	1,2	
440		1500	3500	88,5	0,125	0,08	31,7	4,6		
440		2360	3500	90,5	0,055	0,037	-	2,1		
55	440	3150	3500	91	0,031	0,02	31,7	1,2		
225L	15	220	500	1800	77,5	0,196	0,079		39,5	
		220	600	2100	83	0,161	0,074		52,3	
		440	750	1500	83	0,473	0,208		49,1	
	22	220	750	2500	83,2	0,095	0,05		52,3	
		220	1060	2500	85	0,049	0,02		39,6	
		440	1060	2250	85	0,196	0,08		39,6	
250L	22	220	500	1500	78	0,122	0,064		33,4	
		26,5	440	600	1800	81,5	0,38	0,195		34,7
		20,8	220	600	2100	82,2	0,082	0,047		33,4
	30	220	750	1500	84,3	0,05	0,031		33,4	
		440	750	2000	84,3	0,261	0,115		33,4	
		440	750	2000	83,2	0,051	0,031		33,4	
	45	37	220	750	2000	83,2	0,122	0,064		25,1
			340	750	2000	83,2	0,122	0,064		25,1
		45	220	1000	2500	86	0,03	0,016		25,1
			340	1180	2500	86	0,065	0,031		33,4
		71	440	1000	1500	86	0,122	0,064		33,4
			440	1500	2800	88,5	0,65	0,031		31,2
75	220	1500	2800	89,5	0,0128	0,0077		23,5		

280L	37	220	500	1250	83,2	0,05	0,025		26,7
		440	500	1250	83,2	0,2	0,092		19,7
	45	220	600	1500	85,5	0,037	0,017		25,2
	55	440	600	1200	85,5	0,15	0,06		19,7
		220	750	1900	87,5	0,025	0,012		25,2
	85	440	750	1000	87,5	0,0992	0,052		26,7
	13,2	440	1000	2250	88,7	0,05	0,025		19,7
		220	1500	2600	91	0,006	0,034		25,2
	440	1500	1900	91	0,025	0,012		25,2	
315M	45	440	500	1250	86	0,162	0,073		25
	55	220	600	1500	87	0,029	0,004		34
		440	600	1500	87	0,12	0,057		25,6
	75	220	750	1700	88,5	0,014	0,0083		18,8
		440	750	1800	88,5	0,068	0,0082		18,8
	100	440	1000	2200	88	0,04	0,0024		25,6
	110	220	1000	2250	89	0,0082	0,0045		18,8
	160	220	1500	2400	90	0,004	0,0025		25,6
		440	1900	2400	90	0,012	0,0071		25,6

Примечание: Климатическое исполнение двигателей - УХ, категория размещения - 4, М-первая, L - вторая длина сердечника якоря.

8.1.3. Двигатели постоянного тока серий 4ПО

Типоразмер двигателя	P _н , кВт	U _н , В	I _н , А	n _н , об/мин	P _{мех.} , об/мин
4ПО80А1	0,18	110	3,5	1000	2000
		220	1,6		
	0,25	110	4,1	1500	3000
		220	1,7		
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		
4ПО80В1	0,37	110	4,8	1000	4000
		220	2,4		2000
	0,55	50	14,5		-
		75	10,2		-
	110	110	7,7	1500	4000
		220	3		4000
	0,75	110	10,2		4000
		220	5	2200	4000
	1,1	50	31,2		
		75	21,1	3000	4000
		110	15,2		
		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	1500	4000
		220	5,1		4000
	1,1	110	14	2200	4000
		220	6,7		
1,5	110	20	3000	4000	

4ПО100S2	0,55	220	9,7		4000
		110	8,6		3000
	0,75	220	3,8	750	1500
		110	10,4		4000
	0,55	220	4,8	1000	2000
		75	11,9	1000	-
	1,1	110	13,8		
		220	6,1	1500	4000
1,5	110	19,3			
	220	9,5	2200	4000	
2,2	110	26,2			
	220	13,4	3000	4000	
4ПО100L1	0,75	110	11		3000
		220	5,2	750	11500
	1,1	110	15,4		4000
		220	7,2	1000	2000
	1,5	110	19		
		220	9,3	1500	4000
	2,2	110	28		
		220	13,9	2200	4000
	3	110	37,2		
		220	18,4	3000	4000

4ПО112M1	1,5	110	19		
		220	9	1000	2000
	2,2	110	26		
		220	12,8	1500	3000
	3	110	34,7		
220		17	2200	4000	
4ПО112M2	1,5	110	19,1		
		220	9,6	750	1500
	2,2	110	27,9		
		220	13,6	1000	2000
	3	110	33,8		
		220	16,6	1500	3000
	4	110	45		
		220	22	2200	4000
	5,5	110	60		
		220	30	3000	4000

8.1.4. Двигатели постоянного тока серии 4ПБ

Типоразмер двигателя	P _н , кВт	U _н , В	I _н , А	n _н , об/мин	P _{мех.} , об/мин
4ПБ80А1	0,14	110	2,8		
		220	1,2	1000	2500
	0,18	110	2,9		
		220	1,3	1500	4000
0,37	110	5,9			
	220	2,8	3000	4000	
4ПБ80А2	0,18	110	2,9		4000
		220	1,3	1000	2500
	0,25	110	3,7		
		220	1,6	1500	4000
	0,37	110	5,0		
		220	2,4	2200	4000
0,55	110	8,1			

4ПБ80В1	0.25	220	3,8	3000	4000	
		110	3,8	4000	4000	
	0.37	220	1,8	1000	2500	
		110	5,1	1500	4000	
	0.55	220	2,4	1500	4000	
		110	7,3	2200	4000	
0.75	220	3,5	2200	4000		
	110	9,3	3000	4000		
0.75	220	4,5	3000	4000		
	110	4,2	4000	4000		
4ПБ100S1	0.25	220	1,9	750	2500	
		110	6,1	1000	4000	
	0.4	220	2,8	1000	4000	
		110	7,7	1500	4000	
	0.55	220	3,6	1500	4000	
		110	9,6	2200	4000	
	0.75	220	4,6	2200	4000	
		110	13,9	3000	4000	
	1.1	220	6,7	3000	4000	
		110	5,4	750	3000	
	4ПБ100S2	0.37	220	2,6	750	2000
			110	7	1000	4000
0.5		220	3,3	1000	4000	
		110	9,3	1500	4000	
0.75		220	4,5	1500	4000	
		110	13,3	2200	4000	
1.1	220	6,5	2200	4000		
	110	17,8	3000	4000		
1.5	220	8,7	3000	4000		
	110	6	3000	3000		
4ПБ100L1	0.4	220	3,1	750	2000	
		110	8	1000	4000	
	0.6	220	3,8	1000	2500	
		110	10,6	1500	4000	
	0.9	220	5,2	1500	4000	
		110	15,3	1500	4000	
	1.3	220	7,4	2200	4000	
		110	20,7	2200	4000	
	1.8	220	10	3000	4000	
		110	8	750	2500	
4ПБ112M1	0.5	220	3,9	750	2000	
		110	10,5	1000	3000	
	0.75	220	5	1000	2500	
		110	14	1500	4000	
	1.1	220	6,7	1500	4000	
		110	18,3	2200	4000	
	1.5	220	9,1	2200	4000	
		110	25,6	3000	4000	
	2.2	220	12,5	3000	4000	
		110	13	1000	2500	
	4ПБ112M2	1	220	6,4	1000	4000
			110	17,6	1500	4000
1.5		220	8,8	2200	4000	
		110	25,3	2200	4000	

8.1.5. Двигатели постоянного тока серии 4ПФ

Типоразмер двигателя	Рн, кВт	И _н , А	КПД, %	Пн, об/мин	П _{max} , об/мин	
<i>Номинальное напряжение 220В</i>						
4ПФ112S	4	24	72,3	900	5000	
	3,15	19,8	69,3	750		
	2	14,5	57,6	450		
4ПФ112M	4,25	26,4	68	730		
	3	20,1	60,3	475		
4ПФ112L	3,55	24,5	60,1	425		
4ПФ132S	15	85,4	77,9	1400	4500	
	7,5	43,6	76	1000		
	6	32,7	74	875		
	4,25	26,9	65	580		
	4ПФ132M	11	61,5	78,5		1060
8,5		48,6	76	875		
8		47,3	68	600		
4ПФ132L	11	62,8	76	800		
	8,5	54,4	68	515		
4ПФ160S	15	79,6	80,7	850		4000
	11	66,2	70,5	530		
4ПФ160M	15	85,6	75,3	580		
4ПФ180	17	99,4	73	500		
4ПФ180M	20	114,5	75	475		
<i>Номинальное напряжение 440В</i>						
4ПФ112S	7,5	19,2	87,1	2120	5000	
	5,5	14,9	81,4	1450		
	4,25	12,6	74	975		
	3,14	9,9	69	730		
4ПФ112M	7,5	19,6	82,5	1450		
	5,5	16,6	74,1	900		
	4,25	13,3	67,4	690		
4ПФ112L	10	26,3	81,2	1320		
	7,5	21,5	81	975		
	5,5	17	70,8	690		
4ПФ132S	30	76,7	87,1	3070	4500	
	18,5	47,8	85	2180		
	15	41,7	80	1400		
	5,5	15,7	73	800		
4ПФ132M	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		
	15	40,8	81	1030		
	11	30,7	78	825		
4ПФ160S	30	78,6	84	1450	4500	
	18,5	48,6	82	1090		
	15	42,5	76,1	730		
4ПФ160M	22	56,8	84,5	1090		
	18,5	49,6	80,8	775		
4ПФ160L	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		
4ПФ180M	45	115,6	86	1060		
	37	97,6	83	825		
4ПФ200M	55	144	84,9	1000		
4ПФ200L	75	191	87,3	1060		
4ПФ225M	90	230	90	1000		
4ПФ225L	110	282	87	4000		

4ПФ250М	132	336	87	1000	3500
4ПФ250L	160	402	89		
4ПФ200М	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
4ПФ225М	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
4ПФ250М	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

8.1.6. Мощные двигатели постоянного тока серий П и МП

Типоразмер двигателя	Рн, кВт	Un, В	In, А	n _н , об/мин	Mн, кНм	J, 10 ³ кгм ²	Масса, 10 ³ кг	КПД, %
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	10200	60/120	1364	77,5	169	94,8
П2-26/150-10	10000	930	11350	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	943,7
МП2500-63	12500	930	14150	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	2 1000	440	2 2480	315/800	2 30,3	0,91	27,2	93,6
3МП3000-315	3 1000	440	3 2480	315/800	3 30,3	1,4	39,6	93,3
2МП3200-300	2 1600	465	2 3660	300/500	2 50,9	2,5	45	93,9
2МП11200-300	2 5600	930	2 6325	300/500	2 178,3	27,5	116	95,2
2МП14200-200	2 7100	930	2 7985	200/400	2 339	60	165	95,6
2МП14200-125	2 7100	930	2 8000	125/250	2 542	95,0	232	95,4
2МП14200-50	2 6300	930	2 7280	50/100	2 1203	212,5	316	92,8

8.2. Крановые и краново-металлургические двигатели

Крановые и краново-металлургические двигатели постоянного тока серии Д предназначены для электроприводов крановых механизмов, экскаваторов, механизмов металлургического производства и иных, работающих в условиях повышенной влажности, температуры, запыленности и вибраций. Двигатели обладают высокими динамическими характеристиками. Максимальная частота вращения в три раза превышает номинальную. Двигатели имеют класс изоляции обмоток Н (ТИ-180). Выпускаются на напряжение 220 и 440 В. Режимы работы - длительный (ПВ=100%) и повторно-кратковременный (ПВ=40%). Двигатели серии Д удовлетворяют рекомендациям МЭК.

8.7. Крановые двигатели постоянного тока серии Д на напряжение 220 В

Тип	Закрытые в часовом режиме и продуваемые в длительном режиме (ПВ=100%)				Закрытые в повторно-кратковременном режиме (ПВ=40%)					
	Рн, кВт	Частота вращения n, об/мин, при возбуждении			Мощность Р, кВт, и частота вращения n, об/мин, при возбуждении					
		С	СШ	Ш	С		СШ		Ш	
		Р	n	Р	n	Р	n	Р	n	
<i>Тихоходные</i>										
Д-12	2,5	1100	1175	1180	2,4	1150	2,4	1230	2,4	1230
Д-21	4,5	900	1050	1030	3,6	1040	3,6	1140	3,6	1080
Д-22	6,0	850	1050	1100	4,8	970	4,8	1120	4,8	1150
Д-31	8,0	800	870	840	6,8	900	6,8	910	6,8	880
Д-32	12,0	675	780	770	9,5	760	9,5	840	9,5	800
Д-41	16,0	650	700	690	13,0	730	13,0	740	13,0	720
Д-806	22,0	575	650	650	19,0	640	17,0	730	16,0	710
Д-808	37,0	525	575	575	24,0	615	24,0	650	22,0	630
Д-810	55,0	500	-	550	35,0	610	-	-	29,0	600
Д-812	75,0	475	-	515	47,0	560	-	-	38,0	565
Д-814	110,0	460	-	500	66,0	565	-	-	55,0	560
Д-816	150,0	450	-	480	85,0	540	-	-	70,0	535
Д-818	185,0	410	-	450	100,0	515	-	-	83,0	470
<i>Быстроходные</i>										
Д-21	5,5	1200	1450	1440	4,4	1340	4,4	1550	4,4	1500
Д-22	8,0	1200	1390	1510	6,5	1300	6,5	1475	6,5	1570
Д-31	12,0	1100	1280	1360	9,5	1190	9,5	1360	9,5	1420
Д-32	18,0	960	1100	1190	13,5	1100	13,0	1200	13,0	1240
Д-41	24,0	970	1120	1100	18,0	1060	18,0	1160	17,5	1160
Д-806	32,0	900	980	1000	23,0	1010	23,0	1060	21,0	1060
Д-808	47,0	720	800	800	30,0	850	30,0	860	26,0	825

Примечание: С - серийное (последовательное), Ш - шунтовое (параллельное), СШ - смешанно-серийное - шунтовое возбуждение.

8.3. Генераторы постоянного тока

Генераторы постоянного тока используются в качестве возбудителей для мощных синхронных машин, цеховых сетей постоянного тока, для зарядки аккумуляторов. Ниже приведены данные генераторов серии 2ПН.

8.3.1. Генераторы постоянного тока серии 2ПН

Типоразмеры генератора	P _н , кВт	U _н , В	n _н , об/мин	КПД, %
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
	4	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
230			1500	79
8,5		460	1500	78
		115	3000	83,5
	230	3000	85	
	2ПН160МУХЛ4	3	115	1000
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
22	230	3000	87,5	
	2ПН180МУХЛ4	5,5	115	1000
230			1000	79,5
11		115	1500	83
		230	1500	84
		460	1500	84,5
30	230	3000	89	

2ПН180ЛУХЛ4	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
230			1000	82
115			1500	85,5
18,5		230	1500	87
		460	1500	86,5
45	220/320	3000	89	
	2ПН200ЛУХЛ4	22	230	1500
460			1500	87
55		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
230			1500	87
	55	460	1500	86
		2ПН250ЛУХЛ4	37	230
71	230			1500
2ПН280МУХЛ4	90	230	1500	89,5
		460	1500	90
2ПН280ЛУХЛ4	110	460	1500	90
		2ПН315МУХЛ4	90	115
90	115			1500
160	460		1500	90
2ПН315ЛУХЛ4	180	230	1500	89

8.4. Универсальные коллекторные двигатели.

Отечественная промышленность выпускает серии (УЛ, УМТ, МУН) универсальных коллекторных двигателей, работающих как от сети постоянного тока, так и переменного тока. Двигатели этого типа имеют якорь с коллектором и обмотку возбуждения с дополнительными средними выводами. К этим выводам и подключается переменное напряжение. В режиме двигателя постоянного тока к сети подключается вся обмотка возбуждения. Такой двигатель имеет мягкие механические характеристики; подобные характеристикам двигателей постоянного тока последовательного возбуждения.

Универсальные машины находят применение в бытовой и специальной технике, как исполнительные двигатели.

8.4.1. Универсальные коллекторные двигатели серии УЛ

Тип	Pн, Вт	n, об/мин	In, А, при Un, В			η, %	cos φ	J rot, 10 ⁻³ кгм ²
			110	220	220			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
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

Примечание: Двигатели серии УЛ выпускаются либо на лапах и с фланцевым креплением исполнения Щ2/Ф3, либо только с фланцевым креплением - исполнения Ф3.

На рис. 8.1 и 8.2. представлены чертежи конструкций машин постоянного тока серий соответственно 2П и 4П.

Более подробные сведения о машинах постоянного тока читатель может найти также в [2,11,27].

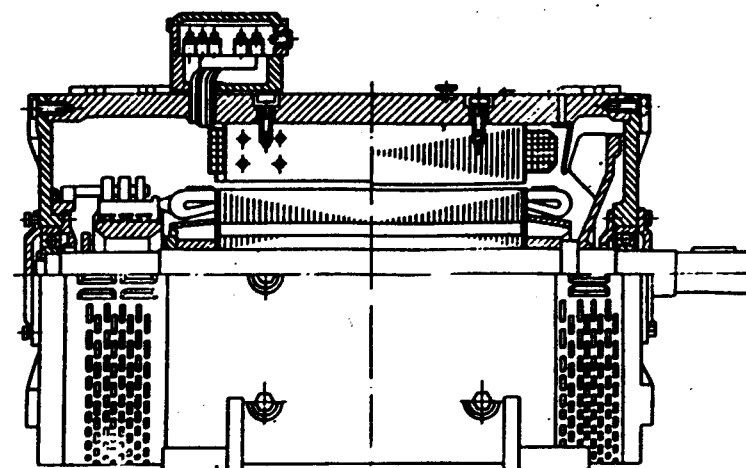


Рис. 8.1. Машина постоянного тока серии 2П

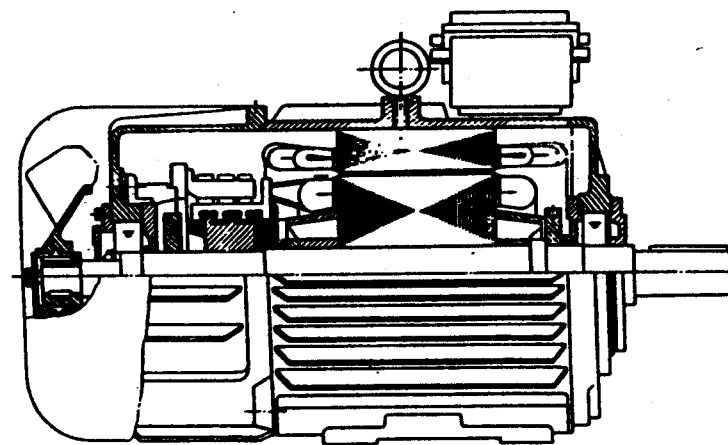


Рис.8.2. Машина постоянного тока серии 4П

ГЛАВА 9. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДО 1000 В.

В главе приведены сведения и технические данные об электрических аппаратах низкого напряжения: автоматических выключателях, контакторах, реле, герконах, пускорегулирующих реостатах и др.

Электрические аппараты служат для коммутации, сигнализации и защиты электрических сетей и электроприемников, а также управления электротехническими и технологическими установками.

Электрические аппараты классифицируют по различным признакам:

1) по величине рабочего напряжения - низковольтные (до 1000 В и высоковольтные (более 1000 В);

2) по величине рабочего или коммутируемого тока - слаботочные (аппараты управления, защиты, сигнализации) и сильноточные, используемые в силовых цепях;

3) по выполняемой функции:

- коммутирующие аппараты: выключатели, разъединители, контакторы, магнитные пускатели;

- управления, защиты, сигнализации: реле различного типа, путевые и конечные выключатели (контактные и бесконтактные);

- командные: кнопки управления, ключи, командоконтроллеры и командо-аппараты;

- аппараты защиты: разрядники, плавкие предохранители.

К электрическим аппаратам относят также пускорегулировочные сопротивления.

9.1. Автоматические выключатели.

Автоматические выключатели обеспечивают одновременно функции коммутации силовых цепей (токи от единиц ампер до десятков тысяч) и защиты электроприемника, а также сетей, от перегрузки и коротких замыканий. Аппараты имеют тепловой расцепитель и, как правило, электродинамический расцепитель. Автоматы, как правило, снабжаются дугогасящими устройствами в виде фибровых пластин либо дугогасящих камер.

Автоматы выбирают по их номинальному току. Уставки токов расцепителей определяют по следующим соотношениям:

1. Для силовых одиночных электроприемников: ток уставки теплового расцепителя:

$$I_T \geq 1,25 I_n,$$

ток уставки электродинамического расцепителя,

$$I_T \geq 1,2 I_{пуск},$$

где I_n - номинальный ток электроприемника

$I_{пуск}$ - пусковой ток электродвигателя.

2. Для группы силовых (двигательных) электроприемников: соответственно:

$$I_T \geq 1,1 I_{max}; \quad I_T \geq 1,2 (I_{пуск} + I_{max}),$$

где I_{max} - наибольший суммарный ток группы электроприемников в номинальном режиме.

Автоматы используются для коммутации и защиты цепей электроустановок различного назначения, электродвигателей. Они устанавливаются в шкафах отходящих линий комплектных трансформаторных подстанций (КТП) и т.д.

Автоматы выпускаются на переменные напряжения от 220 до 660 В и постоянные - от 110 до 440 В с ручным и электродвигательным приводом. Наибольшее применение получили автоматы следующих серий:

1. "Электрон" для установки в распределительных устройствах на постоянное напряжение до 440 В и переменное до 660 В. Отключают ток от 50.000 до 160.000 А.

2. АЕ-1000, АЕ-2000 для защиты цепей и электроприемников от перегрузки и коротких замыканий.

Напряжения: переменные 380, 660 В, постоянные - 110, 220 В.

Отключаемые токи от 1000 до 10.000 А

3. А-3000 - наиболее распространенная серия.

Напряжения: переменные 380, 660 В, постоянные до 440 В.

В этой серии выпускаются автоматы на повышенные частоты: А-3123, 380 В, 400 Гц, 15 А и А - 3124, 380 В, 40 А и 1500 Гц.

В таблицах 9.1.1. - 9.1.3 приведены технические данные некоторых автоматов.

9.1.1. Технические данные автоматов "Электрон"

Параметр	Тип автомата				
	Э06	Э10	Э16	Э25	Э40
Номинальный ток, А	630	1000	1600	2500	4000
Коммутационная способность, кА	50	84	84	105	160
Габаритные размеры, мм	470x400x320	580x570x430	730x580x570	550x520x450	600x570x410

9.1.2. Автоматические воздушные выключатели серии А3000

Тип	Номинальный ток, А	Напряжение, В	Число полюсов	Ток уставки, А	Предельный ток отключения, кА		Время отключения, С	Габаритные размеры, мм
					постоянный	переменный		
А3160	50	110, 220	1, 2, 3	15-50	1,6-3,6	2,5-4,5	0,025	158x105x89
А3110	100	220	2,3	15-100	5	2,5-10	0,015	237x105x112

A3120	200	220	2,3	15-100	20	18	0,015	258x153x105
A3130	200	220	2,3	100-200	17-28	14-25	0,015	300x199x106
A3140	600	220	2,3	100-200	17-28	14-25	0,015	561x217x141
A3710Б- A3740Б	160- 630	440- 660	2,3	250- 600	25-50 110	32-40 40-60	0,03 -	225x500x190
A3710Ф- A3730Ф	160- 630	220- 380	2,3	-	25-50	25-50	-	225x400x160

9.1.3. Технические данные автоматов из серии АК, АЕ, АС, АП

Тип	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Число полюсов	Ток уставки, А	Предельный ток отключения, кА		Время отключения, с	Привод	Габариты
					постоянный	переменный			
АК-63	63	200-440	2,3	0,63-63	5	9	0,03	Ручной	145x68x124
АК-50	50	320-400	2,3	2-50	4,5	9	0,04		113x81x117
АП-50	50	220-500	2,3	1,6-50	1,252	0,3-2	0,02		210x160x143
А-63	25	110-220	1	0,63-25	2	2,5	-		134x28x88
АЕ-1000	25	240	1	6-25	-	1,5	-		90x21x77
АЕ-2000	25, 63, 100	220-500	1, 2, 3		10	16	-		220x112x115
АС-25	25	220-380	2,3	1-20	3,2	2	-		73x90x109
АВ-45/1000	6000	500	1	-	-	до 200	-	Электро-двигательный	1216x500x695
АСТ-2/3	25	380	2,3	-	90	-	0,08	Электро-магнитный	120x75x95
АЕ-2443	16, 20, 25, 5, 31, 40, 50, 63	380		-	-	-	-	ручной	-

9.2. Контактторы, магнитные пускатели.

Контактторы переменного и постоянного тока являются коммутационными аппаратами с самовозвратом. В контактторах не предусмотрены защиты, присущие автомату. Контактторы обеспечивают большое число включений и отключений (циклов) при дистанционном управлении ими. Число этих циклов для контактторов разной категории изменяется от 30 до 3600 в час.

Контактторы имеют главные (силовые) контакты и вспомогательные или блок-контакты, предназначенные для организации цепей управления и

блокировки. Главные контакты, как правило, снабжаются специальными дугогасительными устройствами.

Контактторы выпускаются переменного тока (типа К и КТ) и постоянного (типа КП, КМ, КПД). Основные данные о контактторах приведены в таблицах 9.2.1. и 9.2.2.

9.2.1. Контактторы переменного тока

Тип	Номинальные		Число полюсов	Допустимая частота включений, 1/ч	Дополнительные сведения
	Напряжение, В	Ток, А			
КТ6000	380 и 660	100, 160, 250, 400, 630, 1000	2, 3, 4 и 5	1200	Для тяжелых режимов работы:
КТ700	380 и 660	100, 160	2, 3, 4 и 5	600	-
КВДК630	660	630	3	3800	Вакуумный контактор
КТД121	<500	40	3	1200	-
КТПВ600	<380	63, 100, 160, и 250	2	1200	Для управления асинхронными двигателями в тяжелых условиях смешанного питания металлургических приводов
К1000	<1600	400 (без охлаждения водой) 800 (при охлаждении водой и частоте 800 Гц)			Контактторы на повышенную частоту тока от 500 до 8000 Гц

9.2.2. Контактторы постоянного тока

Тип	Номинальные		Обмотка		Отключение	Допустимая частота срабатывания, 1/ч	Назначение особенности конструкции, дополнительные сведения.
	Напряжение, В	Ток, А	Напряжение, В	Включение			
КП1	220	20, 40, 75	110	0,1	0,04	1200	
КП2			220				
КП7	660	2500	110, 220	0,2-0,3	0,1	240	
КП207	600	2500	110, 220	0,25	0,07	240	
КПВ600	220	63, 100, 160, 250, 630	110, 220	0,2	0,25	300-1200	Для тяжелых режимов работы
КМВ621	220	50	48-220	-	0,05	-	Для управления электромагнитными приводами высоковольтных выключателей
КПД100	220	25-250	110-140	-	-	1200	Для крановых установок и электротранспорта

Магнитные пускатели предназначены для пуска, остановки, реверсирования и тепловой защиты главным образом асинхронных двигателей.

Наибольшее применение находят магнитные пускатели с контактными системами и электромагнитным приводом типов ПМЕ, ПМА, ПА (ПАЕ). Пускатели выполняются открытого, защищенного, пылебрызгонепроницаемого исполнения, реверсивные и неререверсивные, с тепловой защитой и без нее.

Некоторые данные о пускателях серий ПМЕ и ПАЕ приведены в таблице 9.2.3.

9.2.3 Магнитные пускатели серий ПМЕ и ПАЕ

Тип	Номинальный ток, А при напряжениях 380/500 В	Габаритные размеры, мм	Наличие теплового реле
ПМЕ-001	3/1,5	75x65x119	Нет
ПМЕ-002	3/1,5	121x83x101	Есть
ПМЕ-003	3/1,5	90x150x118	Нет
ПМЕ-004	3/1,5	135x150x118	Есть
ПМЕ-111	10/6	68x85x84	Нет
ПМЕ-112	10/6	154x102x91	Есть
ПМЕ-113	10/6	164x90x106	Нет
ПМЕ-114	10/6	232x90x107	Есть
ПМЕ-211	25/14	102x90x118	Нет
ПМЕ-212	25/14	195x98x126	Есть
ПМЕ-213	25/14	130x205x155	Нет
ПМЕ-214	25/14	180x205x155	Есть
ПАЕ-311	40/21	214x114x144	Нет
ПАЕ-312	40/21	275x114x121	Есть
ПАЕ-313	40/21	214x239x114	Нет
ПАЕ-314	40/21	264x239x121	Есть
ПАЕ-411	63/35	290x183x135	Нет
ПАЕ-412	63/35	290x183x135	Есть
ПАЕ-413	63/35	275x343x135	Нет
ПАЕ-414	63/35	275x343x135	Есть
ПАЕ-511	110/61	335x200x156	Нет
ПАЕ-512	110/61	335x200x156	Есть
ПАЕ-513	110/61	320x338x170	Нет
ПАЕ-514	110/61	320x338x170	Есть
ПАЕ-611	146/80	380x230x190	Нет
ПАЕ-612	146/80	380x230x190	Есть
ПАЕ-613	146/80	385x435x190	Нет
ПАЕ-614	146/80	385x435x190	Есть

Пускатели серии ПМА предназначены для управления асинхронными двигателями в диапазоне мощностей от 1,1 до 75 кВт на напряжение 380-660 В. Пускатели серии ПМЕ, ПАЕ обладают коммутационной способностью до 2×10^6 и частотой включений в час до 1200. Выбор контакторов и пускателей осуществляется по номинальному напряжению сети, номинальному напряжению питания катушек контакторов и пускателей, по номинальному коммутируемому току электроприемника.

9.3. Реле

Реле управления, защиты и автоматики предназначены для организации управления, контроля, автоматизации процессами, реализуемыми электротехническими установками, а также защиты электрооборудования и электрических сетей от коротких замыканий, неполнофазных режимов и т.д.

Реле выполняют свои функции путем измерения и коммутации цепей управления, автоматики, защиты, переходя из одного фиксированного положения в другое.

По принципу действия реле подразделяются на электромагнитные, электромеханические, электротепловые, электроннеуманические и другие.

По контролируемой или воспроизводимой величине различают реле напряжения и тока, реле времени, реле давления, реле уровня и т.д.

Широко применяется широкий класс реле с использованием герметичных контактов (герконов), срабатывающих под воздействием магнитного поля. Герконы делятся на замыкающие, размыкающие, переключающие и коммутируют небольшие токи - токи цепей управления. Выпускаются также силовые герконы на напряжение коммутируемой цепи 380, 400 и 415 В и токи включения до 180А, токи отключения до 60А при номинальном токе 6,3 А.

Наиболее широкий класс - электромагнитные реле. Эти реле по принципу действия аналогичны контакторам и магнитным пускателям. Реле состоит из магнитопровода, на котором закреплена катушка и якоря, связанного с контактной системой и оттягиваемого пружиной.

При включении катушки на постоянное или переменное напряжение якорь притягивается к магнитопроводу, замыкая одни контакты реле и размыкая другие. Включение и выключение (время срабатывания) реле весьма мало.

Если на магнитопровод поместить медную, латунную или алюминиевую массивную гильзу, то получим реле времени, создающее выдержку времени на отключение.

Широко распространены электромеханические реле времени с микродвигателями и редуктором с очень большим передаточным отношением, связанным с барабаном и контактной системой. Такие реле обеспечивают выдержки времени до десятков минут и позволяют одновременно обеспечить разные выдержки времени для разных цепей.

Реле напряжения и тока служат для контроля наличия или отсутствия напряжений и токов в электрических цепях и сетях. Они выполняют функции защиты от потери напряжения, обрыва фазы (фаз), коротких замыканий.

Реле автоматики обеспечивают измерение, контроль электрических и неэлектрических величин, сигнализацию о состоянии системы, счет числа дискретных электрических и неэлектрических величин.

В некоторых случаях реле выполняют двойную функцию - коммутации силовых цепей и управление (защита) этими цепями. Такие реле называют реле-контакторы. Данные о реле - контакторах приведены в таблице 9.3.1.

9.3.1. Реле - контакторы

Тип	Число контактов	Номинальное напряжение, В		Длительный ток контактов, А	Допустимая частота срабатываний, ч ⁻¹
		постоянное	переменное		
ПЭ-20	4р+4з	-	12-240	5	-
ПЭ-21	4-8	12-220	12-380	5	3000
ПЭ-23	3з+3р	12-110	12-240	4	3000
РП-23	5	12-220	-	-	-
РП-41, РП-42	8, 4	12-220	-	10	-
ЭП-41В	3-6	-	36-500	16	1200
РП-8, РП-9	7, 7, 1, 3	24-220	24-220	-	-
РП-11, РП-12					
РПМ-0	4-12	-	12-500	12	2000
МКУ-48с	2-6	12-220	24-380	5	3600
МКУ-48г	2-8	12-220	24-380	5	3600

Примечание: р - размыкающие, з - замыкающие контакты.

Данные о реле тока и напряжения приведены в таблице 9.3.2.

9.3.2. Реле тока и напряжения

Тип	Назначение реле и его особенности	Характеристическая величина	Пределы уставки номинала	Число контактов		Ток через контакты, А	
				р	з	отключаемый	включаемый
РЭВ-820	Реле контроля напряжения и промежуточные реле постоянного тока	12-220 В	0,25-0,6	1-2	1-2	2,5	20
РЭВ-830	Реле контроля тока в цепях постоянного тока	1,5-600 А	0,3-0,65	3	-	1-5	10-15
РЭВ-310	Реле тока и напряжения (постоянный ток)	12-220 В 1,5-600 А	0,3-0,65	1	1	0,3	-
РЭВ-200	Максимальные реле тока постоянного тока	1,5-600 А	-	2	-	-	-
РН-50	Реле напряжения	12-400 В	0,5-2,0	1	1	2	2

Реле автоматики объединяют широкий класс электромагнитных и электромеханических реле, включая шаговые искатели, реле угловой скоро-

сти, счетно-шаговые реле и т.д. Данные о некоторых типах реле автоматики приведены в таблице 9.3.3.

В таблице 9.3.5. приведены данные о некоторых реле времени.

9.3.3. Реле автоматики

Наименование	Тип реле	Номинальное напряжение или ток срабатывания
Реле импульсной сигнализации	РИС-ЭЗМ РИС-ЭЗМ-02	220 В =18; 60; 220 В
Реле сигнальные	РУ-21	=0,01-4 А (токовые) =12; 48; 220 В (напряжения)
Сигнальные устройства	ЭС-41	От 0,01 до 0,5 В
Блоки сигнальных реле	СЭ-2	От 0,01 до 1,0 А
Реле счетно-импульсное	Е-531	220 и 380 В
Реле счетно-шаговое	Е-526	127; 220 и 380 В
Реле обрыва фаз	Е-511	380 В
Реле счета импульсов	РСИ-1 РСИ-2	380 В =220 В
Шаговые искатели	ШИ-25, ШИ-50	=24; 48; 60 В
Реверсивные шаговые искатели	РШИ-25	=90 В; 127; 220; 380 В
Реле угловой скорости	РС-2М	220 В

Данные о выпускаемых промышленностью герконах и реле, на основе их использования приведены в таблицах 9.3.4, 9.3.6.

9.3.4. Технические данные герконов

Тип	Размер баллона, мм	Максимальная коммутируемая мощность, Вт	Максимальный коммутируемый ток, А	Максимальное коммутируемое напряжение, В	Время срабатывания, мс	Время отпускания, мс
КЭМ-1	54x50	15	0,5	220	3,0	0,8
КЭМ-2	3x20	7,5	0,25	180	1,0	0,3
КЭМ-3	4x18	7,5	1,0	127	1,5	2,3
КЭМ-6	4,1x36	12	0,2	125	2,0	0,5
МК-10-3	2,3x10,5	0,6	0,03	36	0,8	0,3
МК-16-3	2,8x16	0,3	0,01	30	1,0	0,5
МК-27-3	3,8x16	10	0,3	100	1,5	2,3
МК-27-М	4x28	1,0	0,01	300	2,0	1,5
МУК-1А-1	3x21,5	15	0,5	110	2,0	0,3
МК-52-3В	5,4x53	50	-	5000	3,0	2,0
МК-27-П	5x53	10-12	0,2	110	2,0	3,5
КЭМ-4	-	250	2	100	10,0	8,0

9.3.5. Реле времени.

Реле	Особенности конструкции	Напряжение, В	Диапазон выдержки времени, с	Число контактов		Ток через контакты, А	
				з	р	длительный	выключаемый
РЭВ-810	Постоянного тока. Замыкание с помощью магнитного демпфирования (медная гильза, залитое алюминием основание)	12, 24, 48, 110, 220	0,25-3,8	1,2	1,2	10	1-40
Е-510	Моторные постоянного тока (программные)	110, 220	1-360	-	4	5	20-10
ЭВ-100	Постоянного тока с инерционным механизмом	24, 48, 110, 220	0,1-20	1	-	3-5	2
ЭВ-200	Переменного тока с инерционным механизмом	127, 220, 380	0,1-20	1	-	3-5	1-5
РВ-4	Моторные переменного тока	127, 220, 380	-	1	-	-	2,5
РЭВ-800	Постоянного тока с магнитным демпфированием	12, 24, 48, 110, 220	0,25-5,5	1,2	1,2	10	-
РЭВ-80	Постоянного тока с магнитным демпфированием	2, 24, 48, 110, 220	0,25-1,3	1,2	1,2	10	1-15
РС-30	На герконах	24 - 240	1-90	-	-	2,5	10-80
РВГ-20111	То же	12, 24	0,2-0,7	-	-	1,0	-
ВЛ-23	Полупроводниковые	110, 220	1-100; 0,1-10 мин	-	-	-	-
ВЛ-37	То же	24	0,1-10; 0,2-200	-	-	4	-

9.3.5. Реле на герконах

Параметры	РЭС42 на одном КЭМ-2		РЭС43 на двух КЭМ-2		РЭС44 на трех КЭМ-3	
	12	27	12	27	12	27
Рабочее напряжение, В	12	27	12	27	12	27
Напряжение срабатывания, В	6,5	14	5,5	11,5	6,0	15,0
			5,5	14,0	6,0	13,5
Напряжение отпускания, В	1,2	3,0	1,0	2,0	1,0	2,5
			1,0	2,5	1,0	2,0
Время срабатывания/время отпускания (при работе одной обмотки), мс	1/0,3	1/0,3	1/0,3	1/0,3	1/0,3	1/0,3
Сопrotивление обмотки, Ом	820	4000	230	1200	190	900
			230	1200	190	900
Число витков обмотки	5500	12000	1900	4850	1650	3060

9.4. Командоаппараты, командоконтроллеры, кнопки, выключатели, переключатели

Командоаппараты контроллеры, магнитные станции, кнопки управления, выключатели относятся к низковольтным аппаратам (до 1000 В) и применяются для управления электроприводами, электрическими сетями, электрооборудованием технологических установок.

Командоаппараты конструктивно представляют собой многосекционные кулачковые аппараты для разно- и одновременной коммутации нескольких цепей. Командоаппараты, как правило, используют для управления магнитными станциями или магнитными контроллерами. Командоаппараты и командоконтроллеры способны коммутировать токи до 10-15 А при напряжении до 500 В и 440 В (постоянное). Данные командоаппаратов приведены в таблице 9.4.1.

9.4.1. Командоаппараты

Вид аппарата	Серия	Напряжение, В	Ток, А	Особенности устройства и назначение
Командоконтроллер	КП-1000	500	10	Барабанный с кулачковыми шайбами для дистанционного управления магнитными контроллерами и аппаратами в крановых и металлургических приводах
Командоаппарат	КА-21-17	380, 220	4	Кулачковый регулируемый с микропереключателями
Командоаппарат	КА11	30	0,5	На магнитоуправляемых контактах (герконах) для управления металлургическими установками
Командоаппараты	КА410А	500	до 16	Кулачковые регулируемые для автоматизированных электроприводов
Кнопки и кнопочные посты	КУ-120	380, 220	4	Для дистанционного управления электромагнитными аппаратами
Командоаппараты	КА-4000	500, 440	до 15	Кулачковые регулируемые для цепей управления дистанционными или автоматизированными электроприводами.

Магнитные станции

Для управления электротехническими установками с номинальными токами более тысячи ампер и мощностями до 100 кВт используются магнитные станции, включающие командный аппарат или кнопочные посты, реле управления и защиты и контакторы постоянного или переменного тока, располагаемые на специальных панелях и устанавливаемые, как правило, в шкафах.

Данные о некоторых магнитных станциях и контроллерах приведены в таблице 9.4.2.

9.4.2. Магнитные станции и контролеры

Серия, тип	Номинальные			Назначение, область применения
	ток, А	напряжение, В	мощность, кВт	
Магнитный ПСМ80	80	380	17,6	Управление трехфазными подъемными электромагнитами
Магнитный К и КС	—	380	1,4-30	Крановые механизмы горизонтального передвижения и подъема
Магнитные Т и ТС (рельсовые)	—	220 380	45-80	То же
ППК	10-63	500	—	Пакетно-кулачковые для ручного управления короткозамкнутыми двигателями и переключений в цепях управления электроприводом
ККТ-60А	—	до 500	<75	Крановые кулачковые для управления крановыми двигателями и изменения схемы главной цепи
ЭКГ-ВЖ с двигательным приводом	1300	3100	—	Переключение под нагрузкой ступеней вторичной обмотки трансформаторов на электровозах

Для ручного включения, отключения, переключения цепей бытовых и промышленных электроустановок служат выключатели и переключатели. В таблице 9.4.3. приведены некоторые типы этих аппаратов и области применения.

9.4.3. Выключатели и переключатели

Серия, тип	Номинальные		Назначение, область применения
	напряжение, В	ток, А	
<i>Выключатели</i>			
МП20	220	4	Бытовые стиральные машины
МП31	12-40=	4	Цепи постоянного тока
ВК11	250	6	Бытовые приборы
ВШ00	880	10-25	Станки и механизмы

	220=		То же
БРК-20	660	160	Угольные комбайны и машины
<i>Переключатели</i>			
ППГ	550	15	
ЭП-11УЗ	380, 220=	1,5	Лифты
ПУ-11	380	6-25	Электронагревательные приборы
ПК12-23	250	10-16	Бытовые электромашины
ПМП	380	10-30	Радиоустройства
ВКМ-В35	380, 220=	2,5	Цепи управления электроприводами
В23-140	220	0,6	Ручной электроинструмент
ПМГ	24=	0,25	—
ПКУ-3	220 500, 220=	10	Схемы автоматики и электропривода
ПЕ	220 500, =	12	Управление электромагнитными аппаратами
ПКП, ПКВ	380	10-160	—

Рубильники и пакетные выключатели

Рубильники различных типов применяются для отключения силовых цепей с созданием видимого разрыва цепи. Рубильники выпускаются двухполюсные для цепей постоянного тока и трехполюсные для цепей переменного тока. Диапазон номинальных токов от нескольких десятков до нескольких тысяч ампер.

Для коммутации силовых цепей широко используются пакетные выключатели.

Некоторые данные об этих аппаратах приведены в таблице 9.4.4.

9.4.4. Рубильники, пакетные выключатели

Наименование	Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А		Число полюсов
			постоянный	переменный	
Рубильники-разъединители с приводом от маховика	P2124/2	500 =	800	800	2
	P234/2		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		
Пакетные выключатели	ПВМ1-10	220 =	6,3	4	1
	ПВМ2-10	380	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
	ПВМ3-60		63	40	3
	ПВМ3-100		100	63	3
	ПВМ3-250		250	160	3

9.5. Бесконтактные аппараты.

Под бесконтактными здесь понимаются коммутирующие аппараты на базе полупроводниковых приборов - тиристорные пускатели, магнитные усилители, работающие в релейном режиме, бесконтактные датчики, путевые выключатели и переключатели. В таблице 9.5.1. приведены данные о некоторых тиристорных пускателях, выпускаемых промышленностью серийно.

В основе работы этих аппаратов лежит особенность тиристора скачком переходить из практически полностью закрытого состояния (ток утечки не превышает 0,005% от номинального) в полностью открытое. Падение напряжения на открытом тиристоре не превышает 0,25% от номинального.

9.5.1. Трехфазные тиристорные пускатели

Параметр	ПТ-16-380-У5, ПТ-16-380Р-У5	ПТ-40-380-У5, ПТ-40-380Р-У5	ПТК-100-380-БПК- 1000	ПТУ-63-380
Назначение	Включение и отключение асинхронных двигателей	Включение, отключение и реверс асинхронных двигателей	Для коммутации и защиты от перегрузок, коротких замыканий, обрыва фаз	Для коммутации и защиты от коротких замыканий и перегрузок
Номинальное напряжение, В	380	380	380	380
Номинальный ток, А	16	40	100	63
Ток включения, А	100-130	200-360	—	—
Ток отключения, А	16-25	40-63	—	—
Стойкость при сквозных токах, А:				
термическая (при 0,1 с)	400	900	—	—
электродинамическая	560	1650	—	—
Ток утечки, мА	20	20	20	20
Сопротивление изоляции в холодном состоянии, МОм	50	50	—	—
Коммутационная способность, А	400	900	1000	1700
Включающая способность, А	580	1650	1700	1700

9.6. Предохранители плавкие.

Предохранители предназначены для защиты электрических сетей, электроустановок, электродвигателей от коротких замыканий.

Промышленностью выпускаются различные виды предохранителей. Корпус предохранителя изготавливается из фарфора или стекла в виде поллой трубки (НПН) или полого параллелепипеда (ПН), заполняемого, как правило, кварцевым песком для локализации дуги, возникающей при сгора-

нии плавкой вставки. Калиброванные плавкие вставки изготавливают из легкоплавкого металла или сплава.

Предохранители - плавкие вставки выпускаются также в виде совмещенных рубильников-предохранителей для неавтоматического отключения цепей напряжением до 500 В и защиты от токов короткого замыкания и перегрузки. Тип этих аппаратов: РПП 11, номинальный ток 80 - 250 А. Быстродействующие предохранители типа ПП, ППД используются для защиты полупроводниковых установок от коротких замыканий.

Параметры некоторых предохранителей приведены в таблицах 9.6.1., 9.6.2.

9.6.1. Параметры некоторых быстродействующих предохранителей

Тип	Ток, А	Напряжение, В	Интеграл квадрата тока, А ² с	Предельный ток отключения, А	Относительное напряжение
ППД12-43133	1600	150	1100	100	1,6
ППД12-40433	6300	450	3000	200	1,8
ПП51-3340354	160	380	10	—	—
ПП41	31-630	760	1350 при 630 А	100	1,5
		440			
ПП57-31	100	До 660	1,4	—	—
ПП57-34	250	До 660	1,3	—	—
ПП57-37	400	До 660	140	—	—
ПП57-39	630	До 1150	300	—	—
ПП57-40	800	До 1250	—	—	—
ПП71	550-750	1300	—	40	1,5
ПП61	40-160	380	100	100	1,5

9.6.2. Параметры предохранителей типа ПР-2, 500 В

Тип предохранителя	Номинальный ток, А	Номинальные токи плавких вставок, А	Предельный ток отключения при напряжении		Габаритные размеры, мм
			380 В	500 В	
ПР-2-15	15	6; 10; 15	8000	7000	171x24,5x33
ПР-2-60	60	15; 20; 25; 35; 45; 60	4500	3500	173x30,5x43
ПР-2-100	100	60; 80; 100	—	—	247x43x56
ПР-2-200	200	100; 125; 160; 200	11000	10000	296x56x76,5
ПР-2-350	350	200; 225; 260; 300; 350	13000	11000	346x72x10
ПР-2-600	600	350; 430; 500; 600	23000	—	442x140x154
ПР-2-1000	1000	600; 700; 850; 1000	20000	20000	580x155x154

9.7. Резисторы и реостаты силовые.

Силовые резисторы и реостаты служат для пуска, регулирования частоты вращения и электрического торможения двигателей, регулирования тока возбуждения машин и т.д.

Резисторы делятся на низковольтные (до 500 В) и высоковольтные (более 1000 В), малоамперные (до 10 А) и многоамперные (более 10 А), низкоомные (до 10 Ом) и высокоомные (более 10 Ом). По способу изготов-

ления резистивных элементов, которые соединяются в ящики или блоки сопротивлений, различают: литые, штампованные ленточные, витые круглые проволочные, витые круглые ленточные, витые овальные проволочные и витые овальные ленточные.

Наибольшее применение для изготовления регистров и реостатов получили проводниковые материалы: константан, манганин, хромоникелевые сплавы, железохромоалюминиевые сплавы (фехрали), хромоалюминиевые сплавы, литейный чугун и сталь. Характеристики некоторых из этих металлов и сплавов приведены в главе 4.

В таблицах 9.7.1.-9.7.4. приведены параметры некоторых резистивных элементов и блоков (ящиков) резисторов на основе этих элементов.

9.7.1. Литые элементы типа СЖ

Тип	Сопротивление при 20 °С, Ом	Длительно допустимый ток, А	Кратковременная нагрузка (5 мин.), А	Масса, кг
СЖ 60	0,0044	220	465	1,77
СЖ 61	0,0057	190	420	1,45
СЖ 62	0,0075	160	360	1,5
СЖ 63	0,0095	140	310	1,3
СЖ 64	0,0145	120	255	1,3
СЖ 65	0,0215	95	200	1,2
СЖ 66	0,0325	72	150	1,3
СЖ 67	0,0495	60	115	1,2
СЖ 68	0,06	55	100	1,3
СЖ 69	0,091	46	80	1,3

9.7.2. Штампованные элементы типа ШЭ

Тип	Сопротивление при 20 °С	Длительно допустимый ток, А	Кратковременная нагрузка, А				Превышение температуры, °С
			60 с	30 с	10 с	2 с	
ШЭ 1	0,042	35	55	75	125	290	150
ШЭ 2	0,021	50	105	138	250	580	150
ШЭ 3	0,014	60	155	210	350	860	150

9.7.3. Штампованные ленточные элементы типа ЛФ

Тип	Сопротивление при 20 °С, Ом	Длительно допустимый ток, А	Рабочая температура, °С	Масса, кг
ЛФ1	0,32	140	450	4,5
ЛФ2	0,45	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	-

Примечание: однотипные элементы ЛФ с различным сопротивлением изготавливаются из ленты шириной 60 мм различной толщины от 0,25 до 1,1 мм.

9.7.4. Блоки резисторов и ящиков резисторов

Тип	Количество элементов, их тип	Сопротивление ступени, Ом	Мощность, кВт	Длительно допустимый ток, А	Масса, кг
БТС-1	12 (ЛФ11)	1,52	2340	до 540	1020
БТС-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 (ЛФ1)	3,32	1200	-	750
ЛФ-238	4 (ЛФ10)	1-0,22	-	190	46,5
		2-0,037	-	265	
		3-0,019	-	400	
ЛФ-269	3 (ЛФ116)	1-0,351	-	100	45,5
		2-0,132	-	150	
		3-0,089	-	200	
СН-12	6 (ШЭ)	-	12,0	до 60	140
СН-16	8 (ШЭ)	-	16,0	до 60	160
СН-20	10 (ШЭ)	-	20,0	-	185
СН-24	12 (ШЭ)	-	24,0	-	210
СН-28	14 (ШЭ)	-	28,0	-	240
ЯС-1	40 (ЭС)	3,0-8,0	до 5,8	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)	0,2x11-260x11	-	1,2-42	15-20
ЯС-4	5	0,098-6,85	-	24-215	17-22
ЯСТ-1	12x3	0,9x3-2,4x3	-	39-24	25-21,7
ЯСТ-2	6x3	0,03x3-0,48x3	-	215-54	36-22,6

Пусковые, пускорегулирующие реостаты и реостаты возбуждения

Промышленностью выпускаются пусковые и пускорегулирующие реостаты типа РП, РЗП и РЗР для двигателей постоянного тока со встроенным контактором типа КРМ-200 и реостаты типа ПР для пуска асинхронных двигателей с фазным ротором мощностью до 29 кВт, а также реостаты типа РМ для асинхронных двигателей мощностью от 50 до 500 кВт с напряжением роторной цепи до 1200 В.

Реостаты РП, РЗП и РЗР выпускаются на напряжения постоянного тока 110, 220 и 440 В. Мощность двигателей при 110 В - до 19 кВт, при 220 и 440 В - до 42 кВт.

Реостаты возбуждения предназначены для регулирования тока возбуждения машин постоянного и переменного тока. частоты вращения двигателей постоянного тока, при постоянном напряжении до 440 В. Основные типы реостатов возбуждения: Р, РПВ, РВМ, РЭВ, МР. Диапазон токов реостатов 10-350 А. Диапазон мощностей 0,15-90 кВт. Реостаты имеют ручной привод, а реостаты РТМ и РВМ-электродвигательный.

В таблицах 9.7.5 и 9.7.6.приведены параметры некоторых типов пусковых, пускорегулирующих реостатов и реостатов возбуждения.

9.7.5. Пусковые реостаты.

Тип	Предельный ток, А	Мощность кВт	Число ступеней пуск/регулир.	Тип	Предельный ток, А	Мощность, кВт	Число ступеней
Постоянного тока				9.7.6. Реостаты возбуждения			
РП2512	30	-	4/-	Р-21	-	0.15	42
РП2522	50	-	9/-	РПВ-01	10	0.6	2x17
РП2531	100	-	12/-	РПВ-11	10	0.9	2x17
РП2543	200	-	12/-	РВМ-1	30	2.0	100
РЗП-2А	40	-	7/-	РВМ-2	60; 120	12.0	130; 92
РЗП-3	120	-	8/-	РВМ-3	60; 120	36.0	130; 92
РЗП-4	200	-	12/-	РЭВ-01А	15	0.3; 0.45	32
РЗР-21	40	-	6/10	РЭВ-11Б	15	0.65	40
РЗР-31	120	-	7/15	РЭВ-21А	15	0.9	60
РЗР-42	200	-	10/20	РЭВ-31А	15	1.2	64
Переменного тока				РЭВ-41А	25	2.5	120
РМ-1530	250	50	8	МР-120	350; 125	18	34; 44
РМ-16540	400	75, 100	9	МР-160	350; 125	24	34; 44
РМ-1651	500	150, 175	9	МР-240	350; 125	36	34; 44
РМ-16760	600	200, 300	10, 11	МР-360	350; 125	54	34; 44
РМ-1670	750	500	11	МР-440	350; 125	66	34; 44
				МР-520	350; 125	78	34; 44
				МР-600	350; 125	90	34; 44

Реостаты серии Р широко используются в сетях напряжением до 250 В для регулирования скорости двигателей, тока подзарядки аккумуляторных батарей и т.д. Их данные приведены в таблице 9.7.7.

9.7.7. Реостаты типа 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

9.8. Конденсаторы и конденсаторные установки.

Силовые или косинусные конденсаторы и установки на их основе используются в качестве местных источников реактивной мощности. Их применение позволяет разгрузить электрические сети от реактивной составляющей тока и тем самым с одной стороны уменьшить сечение выбираемых проводов, шин, кабелей, с другой стороны уменьшить потери электроэнергии.

Реактивная мощность компенсирующих устройств определяется по выражению:

$$Q = kP (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2), \text{ кВар,}$$

где Р - расчетная активная мощность электроприемников цеха или предприятия. кВт;

φ_1 и φ_2 - углы сдвига фаз до и после компенсации реактивной мощности;

К - коэффициент повышения коэффициента мощности ($\cos \varphi$) путем организационных мероприятий, $k=0,9$ для практических расчетов.

В таблицах 9.8.1. и 9.8.2. приведены технические данные силовых (косинусных) конденсаторов и компенсирующих устройств до 1000 В внутренней установки.

9.8.1. Силовые (косинусные) конденсаторы

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

9.8.2. Комплектные конденсаторные установки

Тип установки	Напряжение, кВ	Номинальная мощность, кВАр	Масса, кг
УКЛ (П) НО, 38-150-50У3	0,38	150	335
УКЛ (П) НО, 38-300-50У3	0,38	300	575
УКН 0,38-75У3	0,38	75	175
УКТ 0,38-75У3	0,38	75	75
УКН 0,38-150У3	0,38	150	175
УКТ 0,38-150У3	0,38	150	300
ККУ 0,38-Мс БРВ-2	0,38	160	716
ККУ 0,38-Вс НД-2	0,38	280	1071

Сведения о приведенных в разделе аппаратах и устройствах читатель найдет в литературе [2, 7, 10, 14, 15, 16, 21, 22, 31, 32, 36, 36].

ГЛАВА 10. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ .

В этом разделе представлены сведения о высоковольтных выключателях, разъединителях, предохранителях, комплектных трансформаторных подстанциях 6 (10) /0,4 кВ.

10.1. Масляные выключатели.

Масляные выключатели предназначены для включения и отключения высоковольтных сетей под нагрузкой, а также при коротких замыканиях в сетях и электроприемниках. Разрыв цепи и гашение дуги в этих выключателях происходит в масле. В обозначении выключателей первая буква В означает выключатель, вторая М - масляный, третья - тип исполнения выключателя, Э - экскаваторный, Г - горшковые исполнения полюсов, а также тип привода выключателя, ПЭ - привод электромагнитный встроенный, ПП - привод пружинный встроенный, М - маломасляный со встроенным ПП, Г - маломасляный генераторный, ВК - выкатного типа с внешними розеточными контактами и т.д.

В таблице 10.1. приведены некоторые типы масляных выключателей напряжений до 10 кВ и их параметры.

10.1. Масляные выключатели.

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	4-секундная термическая стойкость, кА	Номинальный ток отключения, кА	Собственное время включения с приводом, с	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	0,3	-	140 145	ПЭ-11 ПП-67
ВМПГ-10	10	630 1000	20	20	0,3	-	140 145	ППВ-10
ВМПЭ-10	10	630 1000 1600	20 31,5	20 31,5	0,3	0,12	225 335	Встроенный, электромагнитный
ВММ-10	10	400 630	10	10	0,2	0,12	94	Встроенный, пружинный
ВММ-10*	10	400	10	10	0,2	0,12	93,5	Встроенный, пружинный
ВК-10	10	630 1000 1600	20	20			150	Встроенный, пружинный
			31,5	31,5	0,075	0,07	180	
МГТ-10-3200-45		3200	45	45	0,4	0,15	-	ПЭ-21,
МГТ-10-4000-45	10	4000						ПЭ-21А
МГТ-10-500-45		5000						
МГТ-10-5000-63	10	5000	64	63	0,4	0,15	-	ПЭ-21, ПЭ-21А

10.2. Электромагнитные выключатели.

Электромагнитные выключатели этого типа отключают цепи высокого напряжения путем размыкания их главными, а затем дугогасительными контактами, расположенными в дугогасящих камерах. Магнитное дутье для перемещения дуги внутрь пакетов керамических пластин и последующего гашения осуществляется катушками магнитного дутья.

Технические данные электромагнитных выключателей приведены в таблице 10.2. В обозначении аппарата (например АВЭ-10-1600-31,5) содержатся: номинальное напряжение (10 кВ), номинальный ток (1600 А), отключаемый ток (31,5 кА).

10.2. Электромагнитные выключатели

Тип выключателя	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 (5с)	0,05	-	0,4	610
ВЭМ-10Э-1250/12,5	20 (5с)	0,05	-	0,4	600
ВЭМ-10Э-1000/20	20	0,05	-	0,4	600
ВЭМ-10Э-1250/20	20	0,05	-	0,4	599
ВЭ-10-1250-20	20	0,06	0,075	0,075	522
ВЭ-10-1600-20	20	0,06	0,075	0,075	522
ВЭ-10-2500-20	20	0,06	0,075	0,075	533
ВЭ-10-3600-20	20	0,06	0,075	0,075	565
ВЭ-10-1250-31,5	31,5	0,06	0,075	0,075	563
ВЭ-10-1600-31,5	31,5	0,06	0,075	0,075	563
ВЭ-10-2500-31,5	31,5	0,06	0,075	0,075	574
ВЭ-10-3600-31,5	31,5	0,06	0,075	0,075	606

10.3. Разъединители внутренней и наружной установки 10 кВ.

Разъединители внутренней установки типа РВО, РВФ, РВЗ предназначены для отключения и создания видимого разрыва в сетях 6 кВ и более. Входящие в обозначение буквы обозначают: Р-разъединитель, В-внутренней установки, О-однополюсный, Ф-фигурный, З - наличие ножей заземления, Л - наличие линейного контакта, Д - двухколонковая конструкция. Разъединители наружной установки выделяются буквой Н в обозначении.

Разъединители выпускаются на номинальные токи от 400 до 2000 А - внутренней установки и от 200 до 5000 А наружной.

Технические данные разъединителей внутренней установки до 10 кВ приведены в таблице 10.3.1; наружной - в 10.3.2.

10.3.1. Разъединители внутренней установки

Тип	Предельный сквозной ток короткого замыкания, кА		4-секундный ток термической стойкости, кА	Масса разъединителя и одного полюса (полное исполнение), кг
	амплитудный	действующий		
РВО-6/400	50	29	16	5,9
РВО-6/630	60	35	20	6,3
РВО-6/1000	120	71	40	12,5
РВ-6/400	50	29	16	24
РВ-6/630	60	35	20	27
РВ-6/1000	120	71	40	42
РВЗ-6/400	50	29	16	28
РВЗ-6/630	60	35	20	29
РВЗ-6/1000	81	47	40	46
РВФ-6/400	50	29	16	35
РВФ-6/630	60	35	20	38
РВФ-6/1000	81	47	40	67
РВО-10/400	50	29	16	5,9
РВО-10/630	60	35	20	6,3
РВО-10/1000	120	71	40	12,5
РВ-10/400	50	29	16	26
РВ-10/630	60	35	20	28
РВ-10/1000	120	71	40	44
РВЗ-10/400	50	29	16	30
РВЗ-10/630	60	35	20	32
РВЗ-10/1000	81	47	40	48
РВФ-10/400	50	29	16	41
РВФ-10/630	60	35	20	45
РВФ-10/1000	81	47	40	83
РЛВОМ-10/1000	81	47	40	16,19
РВР-III-10/2000	85	-	31,5	82
РВРЗ-III-10/2000	85	-	31,5	112

10.3.2. Разъединители наружной установки

Тип разъединителя	Амплитуда предельного сквозного тока короткого замыкания, кА	Ток термической стойкости, кА		Масса, кг
		главных ножей (4с)	заземляющих ножей (1с)	
РЛН-6/200	15	5 (10с)	-	12
РЛН-6/400	25	10 (10с)	-	12
РЛН-10/200	15	5 (10с)	-	20
РЛН-10/400	25	10 (10с)	-	20
РЛН-10/600	35	14 (10с)	-	20
РЛНД-10/400	25	10	10	96*
РЛНД-10/630	80	-	-	-
РОН-10К/5000	180	31,5	31,5	105

10.4. Комплектные трансформаторные подстанции 10 кВ

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) предназначены для непосредственного электроснабжения электроприемников. КТП подразделяют на подстанции наружной установки и внутренней установки в цехах, зданиях в непосредственной близости от потребителей.

КТП выпускаются на напряжения 6 (10)/0,4 кВ в диапазоне мощностей от 25 кВА до 2500 кВА. КТП имеют шкафы ввода высшего напряжения ВН (6 либо 10 кВ) и низшего напряжения НН (0,4 кВ), силовой масляный трансформатор - один - однострановые, или два - двухтрансформаторные КТП. Мощность КТП определяется мощностью трансформатора. КТП снабжается коммутирующими аппаратами. На стороне ВН это могут быть разъединители, выключатели нагрузки, устанавливаемые с предохранителями типа ПК 6(10). На стороне НН используются автоматические выключатели типа А 3100, А 3700, АВМ, "Электрон" и другие. Оборудование монтируется в стандартных шкафах, в том числе - аппараты и приборы измерения и защиты.

Некоторые типы КТП наружной и внутренней установки и их показатели приведены в таблицах 10.4.1. и 10.4.2.

10.5. Комплектные конденсаторные установки 6 (10) кВ.

Комплектные конденсаторные установки (ККУ) используют на стороне ВН для компенсации реактивной мощности. ККУ выпускают как для внутренней так и наружной (Н) установки. В некоторых типах ККУ предусматривается автоматическое регулирование реактивной мощности благодаря встроенным блокам типа БРВ. Номинальное напряжение указано в марке ККУ. Типы и размеры ККУ, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в таблице 10.5.

10.5. Комплектные конденсаторные установки

Марка	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-II	500	3050	846	2870	1718
КУН6-II	420	2060	1745	2350	1200
КУН10-II	400	2060	1745	2350	1400
КУ6-1 с БРВ-1	330	2350	846	2870	1118
КУ6-II с БРВ-1	500	3050	846	2870	1578
КУ10-II с БРВ-1	500	3050	846	2870	1718
КУ10-1 с БРВ-1	330	2350	846	2870	1218
УК6-450	450	2480	850	2000	690
УК10-450	450	2480	850	2000	690

10.4.1. КТП наружной установки.

Наименование показателей	КТП100-6(10)/0,4; КТП140-6(10)/0,4; КТП163-6(10)/0,4	КТП100-6(10)/0,4; КТП160-6(10)/0,4	КТП250-6(10)/0,4; 250	КТП400У1 400	КТП-630У1; КТП-1000У1; 2КТП-630У1; 2КТП-1000У1
	Номинальная мощность, кВА	100; 160			630; 1000; 2х630; 2х1000
Тип силового трансформатора	ТМ-25/6(10); ТМ-40/6(10); ТМ-63/6(10)	ТМ-100/6(10); ТМ-160/6(10)	ТМ-250/6(10)	ТМФ-400/6(10)	ТМЗ-630/6 (10); ТМЗ-1000/6 (10)
	Тип коммутационного аппарата на стороне ВН	РВ-10-250; ПК-6(10)	РВ-10-250; ПК-6(10)	ВНЛ1 - 17с приводом ПРА - 17 (в шкафу типа ВВН-1); ПК-6 (10)	
Тип коммутационного аппарата на стороне НН:	A3124 (40 и 60 А)	A3134 (200А)	A3144 (400А)	АВМ-10СВ (в шкафу типа КБН-1); 2 шт. БПВ-2;	АВМ-20СВ (в шкафу типа КБН-1 или КБН-2)
	АП50-2М; А3124 (30, 40 и 60 А)	A3124 (100А)	A3134 (200А); A3124 (100А)	4 шт. БПВ-1 (в шкафу КБН-1)	АВМ-4В, АВМ-10В или АВМ-20В (в шкафах типа КБН-4 или КБН-5)
	3+1(осв.)	3+1(осв.)	4+1(осв.)	5 или 6	АВМ-20СВ (в шкафу типа КБН-3)
Количество отходящих линий					7-9
Габариты КТП, мм	1300	1300	1500	4060	Определяется заказом 1185; 1255 2000
	1150	1150	2100	1220	
	2740	2740	2900	2000	
Масса КТП, в кг	740-995	1110-1385	1850	2880	Определяется заказом

10.4.2. КТП внутренней установки

Наименование показателей	КТП-160; КТП-250; КТП-400	КТП-СН-0,5	КТП-400	КТП-М-1000 КТП-М-1600	КТП-2500	
	Номинальная мощность, кВА	160; 250; 400	400; 630; 1000	400	1000; 1600	2500
Номинальное напряжение, кВ	6(10)/0,4-0,23	6(10)/0,4-0,23	6(10)/0,4-0,23	6(10)/0,4-0,23	6(10)/0,4-0,23	6(10)/0,4-0,23
	Тип силового трансформатора	ТМЗ	ТСЗ, ТСЭС	ТМФ	ТМЗ; ТНЗ	ТНЗ
Шкафы ввода ВН:	ШВВ-3 ВН-11	Кабельная коробка Глухой ввод	ВВ-1; ВВ-2 ВНП1-17; ПК-6(10)	ШВВ-3; ШВВ-5 ВН-11	ШВВ-3; ШВВ-5 ВН-11	
	Шкафы НН:	ШВ-А ШЛ-в	4ШН; 5ШН 4ШН; 6ШН 5ШН-600	КБ-1; КБ-2; КБ-4 КБ-5а; КБ-5б	ШНВ-2М; ШНВ-3М ШНС-2М ШНЛ-1М ШНЛ-2М	ШНВ-2К ШНС-3К ШНЛ-2К ШНЛ-3К
Типы коммутационных аппаратов на вводах и секционных отходящих линиях	A3744С A3712Б; A3722Б; A3734С; A3744С	Э-16В; Р-2515 A3710-A3740	АВМ-10СВ БПВ-1; БПВ-2	Э-40В; Э-25В Э-16В; Э-0,6В	Э-40В; Э-25В Э-25В; Э-16В	

Более подробные сведения об электрических аппаратах и установках высокого напряжения читатель может найти в литературе [1, 2, 3, 7, 9, 10, 12, 14].

ГЛАВА 11. ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В главе приводятся общие сведения об элементах электроснабжения электроприемников, стандартные ряды напряжений, расчете и выборе сечений проводов, кабелей, коммутационной аппаратуры, сведения об осветительных приборах и приборах учета электроэнергии.

11.1. Общие вопросы электроснабжения. Параметры напряжения.

Электроснабжение электроприемников - это совокупность электротехнических устройств для передачи, преобразования, распределения и потребления электрической энергии

Электроснабжение электроприемников осуществляется, обычно, по стандартным для электропотребителей схемам. На рис.11.1 представлена радиальная однолинейная схема электроснабжения для передачи электроэнергии от повышающей подстанции генерирующей электростанции до электроприемника напряжением 0,4 кВ.

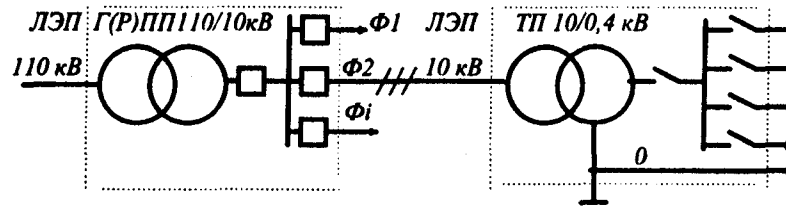


Рис.11.1. Типовая радиальная схема электроснабжения

Электрическая энергия от генерирующей станции на напряжении, как правило, 110-750 кВ передается по линиям электропередач (ЛЭП) на главные (районные) понижающие подстанции (Г(Р)ПП), на которых напряжение снижается до 10(6)-35 кВ. От распределительных устройств Г(Р)ПП это напряжение по воздушным либо кабельным ЛЭП (фидерам Φ_1 - Φ_i) передается к трансформаторным подстанциям ТП, расположенным в непосредственной близости от электропотребителей. На ТП величина напряжения снижается до 0,4 кВ и по воздушным или кабельным линиям поступает непосредственно к потребителю электрической энергии. При этом линии имеют четвертый (нулевой) провод 0, позволяющий получить фазное напряжение 220 В, а также обеспечивать защиту электроустановок.

Стандартные ряды напряжений

Стандартные ряды напряжений источников электроэнергии определяются ГОСТ-23366-78:

для переменного тока:

6; 12; 28,5; 42; 62; 115; 120; 208; 230; 400; 690 В;
1,2; 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,7; 18; 20; 24; 27; 38,5; 121; 242; 347; 525; 787 кВ,

для постоянного тока:

6; 9; 12; 28,5; 48; 62; 115; 230; 460; 690; 1200; 3300; 6600 В.

Стандартный ряд напряжений для приемников электроэнергии при переменном и постоянном напряжении:

1,2; 2,4; 6; 9; 12; 27; 40; 60; 110; 220; 380; 660 В;
1,14; 3; 6; 10; 20; 35; 110; 220; 330; 500; 750; 1150 кВ.

Стандартные частоты переменного тока

В соответствии с ГОСТ 6697-83 установлены номинальные значения частот переменного тока:

для источников электроэнергии: 50, 400, 1000, 10000 Гц,

для преобразователей и приемников электроэнергии: 50, 400, 1000, 2000, 4000, 10000 Гц.

Для ручного электроинструмента и установок электрического нагрева допускается применение частоты 200 Гц.

Допустимые отклонения напряжения и частоты

В соответствии с ГОСТ 13109-67 допустимые отклонения напряжения в питающих сетях составляют:

-2,5 - +5 % для приборов рабочего освещения,

-5 - +10 % для электродвигателей и аппаратов управления,

Допустимые отклонения частоты (усредненная за 10 мин):

$\pm 0,1$ Гц, не более.

11.2. Воздушные и кабельные ЛЭП напряжением 6(10) и 0,4 кВ

Для непосредственного электроснабжения потребителей используются воздушные или кабельные ЛЭП напряжением 6(10) кВ для питания ТП и высоковольтных электроприемников и воздушные, либо кабельные ЛЭП напряжением 380/220 В для питания непосредственно низковольтных электроприемников.

Воздушные ЛЭП.

Воздушные ЛЭП-10 (6) кВ находят наиболее широкое применение в сельской местности и в небольших городах. Это объясняется их меньшей стоимостью по сравнению с кабельными линиями, меньшей плотностью застройки и т.д.

В воздушных ЛЭП применяют алюминиевые и сталеалюминиевые провода, в последних внутренний стальной провод или стальной трос обеспечивают необходимую механическую прочность проводов. В исключительных случаях на основе технико-экономических расчетов для воздушных ЛЭП используются медные провода. Сведения об алюминиевых, сталеалюминиевых и медных проводах приведены в главе 4.

Провода подвешиваются на железобетонных или деревянных опорах при помощи подвесных или штыревых изоляторов. Для воздушных ЛЭП используются неизолированные провода. Исключением являются вводы в здания - изолированные провода, протягиваемые от опоры ЛЭП к изоляторам, укрепленным на крюках непосредственно на здании.

Наименьшая допустимая высота расположения нижнего крюка на опоре (от уровня земли) составляет: в ЛЭП напряжением до 1000 В для промежуточных опор от 7 до 7,4 м, для переходных опор - 8,5 м. В ЛЭП напряжением более 1000 В высота расположения нижнего крюка для промежуточных опор составляет 8,5 м, для угловых (анкерных) опор - 8,35 м.

Наименьшие допустимые сечения алюминиевых (А), сталеалюминиевых (АС) и стальных (С) проводов воздушных ЛЭП напряжением более 1000 В, выбираемые по условиям механической прочности с учетом возможной толщины их обледенения, приведены в таблице 11.2.1.

11.2.1. Минимальные допустимые сечения проводов воздушных ЛЭП напряжением более 1000 В

Характеристика ЛЭП	Сечение проводов, кв. мм		
	марки А	марки АС	марки С
Без пересечений с коммуникациями, при толщине обледенения, мм:	до 10	25	25
	до 15 и более	35	25
Переходы через судоходные реки и каналы, при толщине обледенения, мм:	до 10	25	25
	до 15 и более	35	25
Пересечение с инженерными сооружениями:	с линиями связи	35	25
	с надземными трубопроводами	35	не допускается
	с канатными дорогами	35	не допускается
Пересечение с железными дорогами, при толщине обледенения, мм:	до 10	35	не допускается
	15 и более	50	не допускается
Пересечение с автомобильными дорогами, при толщине обледенения, мм:	до 10	25	25
	15 и более	35	25

Для воздушных ЛЭП напряжением до 1000 В по условиям механической прочности применяются провода, имеющие сечения не менее, мм²: -алюминиевые - 16, сталеалюминиевые - 10, стальные однопроволочные - диаметром 4 мм.

11.2.2. Допустимые расстояния от нижних проводов воздушных ЛЭП напряжением до 1000 В и до 10 кВ и их опор до объектов

Объекты	До 1000 В	До 10 кВ
- до зданий и сооружений, м,	1,5	3
- выступающих частей зданий и сооружений, м,	1,5	2
- до кроны деревьев, м,	1	2
- до поверхности земли в населенной местности, м,	6	7
Расстояние от опор воздушных ЛЭП до объектов, не менее		
Водо-, газо-, теплопроводные и канализационные трубы	1	
Колодцы подземной канализации, водоразборные колонки	2	
Бензоколонки	10	
Кабельные линии	1	

На воздушных ЛЭП напряжением до 1000 В устанавливают заземляющие устройства. Расстояние между ними определяется числом грозových часов в году: до 40 часов - не более 200 м, более 40 часов - не более 100 м. Сопротивление заземляющего устройства - не более 30 Ом.

Силовые кабельные ЛЭП

Силовые кабельные ЛЭП применяются для подземной и подводной передачи электроэнергии на высоком и низком напряжениях. Трассу выбирают исходя из условий наименьшего расхода кабеля и обеспечения его наибольшей защищенности от механических повреждений при раскопках, от коррозии, вибрации, перегрева и т. д.

Кабельные ЛЭП прокладывают в траншеях по непроезжей части улиц, под тротуарами, по дворам и т.д. Кабель не должен проходить под существующими или предполагаемыми к постройке зданиями и сооружениями, под проездами, насыщенными подземными коммуникациями.

В местах пересечения с различными трубопроводами (теплопроводы, водопроводы и др.), кабелями связи и иными коммуникациями силовые кабели прокладывают в асбоцементных трубах или железобетонных блоках с соблюдением расстояний между кабелями и другими коммуникациями, установленными ПУЭ. При прохождении кабелей через стены и перекрытия кабели прокладывают в отрезках неметаллических труб.

После прокладки концы кабелей должны быть временно загерметизированы. Соединение и оконцевание кабелей осуществляется при помощи

кабельных муфт и воронок. Для оконцевания жил используются кабельные наконечники. Сведения о кабельной продукции приведены в главе 4.

11.3. Расчет и выбор сечений проводов, кабелей, шин.

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

- 1) провода, кабели, 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+5%) для осветительной нагрузки и ±5% для силовой;
- 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 ПУЭ выбор сечения проводов осуществляется по экономической плотности тока.

Расчетная максимальная токовая нагрузка I_{max} :

а) для трехфазной четырехпроводной и трехпроводной сети:

$$I_{max} = P_{max} 10^3 / \sqrt{3} U_{ли} \cos \varphi, A;$$

б) для двухфазной сети с нулевым проводом

$$I_{max} = P_{max} 10^3 / 2 U_{нф} \cos \varphi, A;$$

в) для однофазной сети

$$I_{max} = P_{max} 10^3 / U_{нф} \cos \varphi, A;$$

где P_{max} - расчетная максимальная нагрузка, кВт;

$U_{нф}$, $U_{ли}$ - номинальное фазное и линейное напряжение, В;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности нагрузки.

При укладке кабелей в траншеях вводится коэффициент снижения нагрузки $K = (0,75 - 0,9)$, а существенное отклонение температуры окружающей среды от определенных ГОСТом, учитываются дополнительным коэффициентом K_m , определяемым ПУЭ.

Таким образом, длительно допустимая токовая нагрузка I_q и расчетная максимальная связаны соотношением:

$$I_q \geq I_{max} / K_m K.$$

Значения допустимой токовой нагрузки I_q приведены в таблицах главы 4, по которым выбирают стандартные сечения проводов, кабелей, шин.

Расчет и выбор сечений с учетом *потери напряжения* для линий напряжением менее 1000В можно выполнять по упрощенной формуле:

$$\Delta U\% = 10^5 \sum_{k=1}^n P_k l_k / U_{ли}^2 \gamma S,$$

где P_k - мощность приемника, присоединенного к сети длиной l_k 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;

S - сечение фазных проводов, жил кабелей, шин, мм²;

γ - удельная проводимость (Омм)⁻¹,

$U_{ли}$ - линейное номинальное напряжение, В.

При заданной потере напряжения $\Delta U\%$ сечение проводов S можно определить:

$$S = 10^5 \sum P_k l_k / \Delta U\% U_{ли}^2 \gamma.$$

Выбранные провода, кабели и шины проверяют по термической устойчивости.

11.4. Расчет токов короткого замыкания и выбор автоматических выключателей и предохранителей

Расчет токов короткого замыкания необходим для правильного выбора и отстройки защитной аппаратуры. Ток короткого замыкания возникает при соединении токоведущих частей фаз между собой или с заземленным корпусом электроприемника в схемах с глухо-заземленной нейтралью и нулевым проводом. Его величина может быть определена по формуле:

$$I_{окз} = U_{\phi} / (Z_n + Z_T), A,$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение сети, В,

Z_n - сопротивление петли фаза-нуль, Ом, $Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$,

R_n - активное сопротивление одного провода цепи короткого замыкания,

X_n - индуктивное сопротивление, рассчитываемое по удельному индуктивному сопротивлению, равному 0,6 Ом/км,

Z_T - полное сопротивление фазной обмотки трансформатора на стороне низшего напряжения:

$$Z_T = U_R\% U_n / \sqrt{3} I_n 100, Ом,$$

U_n , I_n - номинальные напряжение и ток трансформатора,

$U_R\%$ - напряжение короткого замыкания трансформатора в %,

Величины U_n , I_n и $U_n\%$ для соответствующего трансформатора приводятся в главе 5.

Выбор электрического аппарата осуществляется по его функциональному назначению, по роду напряжения и тока, по величине мощности.

Следует иметь в виду современную тенденцию, заключающуюся в том, что, при выборе между предохранителями и автоматическими выключателями, предпочтение отдается последним в силу их большей надежности, лучшей защиты от неполнофазных режимов, универсальности и т. д.

Выбор аппаратов по напряжению заключается в соответствии номинального напряжения, указанного в паспорте аппарата, и его рода (переменное, постоянное) номинальному напряжению питающей сети. При выборе аппарата по току следует учесть, что его номинальный ток должен быть не меньше рабочего тока установки.

Выбор автоматических выключателей.

Автоматические выключатели выбираются прежде всего по номинальным значениям напряжения и тока. Затем определяются токи уставки теплового и электромагнитного расцепителей.

Тепловой расцепитель автомата защищает электроустановку от длительной перегрузки по току. Ток уставки теплового расцепителя принимается равным на 15-20% больше рабочего тока:

$$I_{tr} = (1,15-1,2) I_r,$$

где I_r - рабочий ток электроустановки, А.

Электромагнитный расцепитель автомата защищает электроустановку от коротких замыканий. Ток уставки электромагнитного расцепителя определяется из следующих соображений: автомат не должен срабатывать от пусковых токов двигателя электроустановки $I_{пускдв}$, а ток срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{эм}$ выбирается кратным току срабатывания теплового расцепителя:

$$I_{эм} = K I_{tr},$$

где $K = 4,5 - 10$ - коэффициент кратности тока срабатывания электромагнитного расцепителя.

Выбранный автоматический выключатель проверяется по чувствительности и по отключающей способности. Автоматы с номинальным током до 100 А должны срабатывать при условии, что:

$$1,4 \cdot I_{эм} \leq I_{окз},$$

где $I_{окз}$ - ток однофазного короткого замыкания.

Автоматы с номинальным током более 100 А должны срабатывать при:

$$1,26 \cdot I_{эм} \leq I_{окз}.$$

Чувствительность автомата, имеющего только тепловой расцепитель, определяется соотношением:

$$3 \cdot I_{tr} = I_{окз}.$$

Отключающая способность автомата электромагнитным расцепителем определяется величиной тока трехфазного короткого замыкания $I_{т.к.з}$

$$I_{эм откл.} \leq I_{т.к.з}.$$

Выбор предохранителей.

Ток плавкой вставки предохранителя выбирается в соответствии с выражением:

$$3 \cdot I_{пл} = I_{окз}.$$

Ток плавкой вставки предохранителей, используемых для защиты асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором:

$$I_{пл} = I_{пуск} / \beta,$$

где $I_{пуск}$ - пусковой ток двигателя, А,

β - коэффициент, зависящий от условий пуска, при средних условиях пуска $\beta = 2,5$.

11.5. Приборы электрического освещения.

Отечественной промышленностью выпускаются широкий спектр электроосветительных приборов:

- лампы накаливания обычные типов Б, БК, Г
- лампы накаливания с отражающим слоем типа ЗШ, ЗС, ЗК,
- люминесцентные лампы низкого давления типа ЛДЦ, ЛД, ЛХБ, ЛТБ, ПБ
- газоразрядные лампы высокого давления типа ДРЛ, ДРИ, ДКСГ и ДНаТ.

11.5.1. Лампы накаливания на напряжение 220 В

Тип	Номинальная мощность, Вт	Световой поток, лм	Тип	Номинальная мощность, Вт	Световой поток, лм
В	15 25	105 220	Г	150	2000
Б, БК	40	415 460	Г	200	2920
Б, БК	60	715 790	Г	300	4610
Б, БК	75	950 1020	Г	500	8300
Б, БК	100	1350 1450	Г Г	750 1000	13100 18600

Газоразрядные лампы. Принцип их действия заключается в возникновении излучения видимого диапазона световых волн в результате электрического разряда в среде инертных газов, паров металлов или их смесей.

Обозначения ламп расшифровываются следующим образом:

ЛДЦ - люминесцентная, дневного света, улучшенной светопередачи,

ЛД - люминесцентная, дневного света,

ЛХБ - люминесцентная, холодно-белого света,
 ЛТБ - люминесцентная тепло-белого света,
 ЛБ - люминесцентная, белого света,
 ДРЛ - дуговая ртутная лампа высокого давления,
 ДРИ - дуговая ртутная лампа высокого давления с иодинами,
 ДНаТ - дуговая натриевая лампа высокого давления.

11.5.2. Люминесцентные лампы

Тип	Мощность, Вт	Ток лампы, А	Световой поток, лм
ЛДЦ	40	0,43	2100
	80	0,86	3610
ЛД	40	0,43	2340
	80	0,86	4070
ЛХБ	40	0,43	2780
	80	0,86	4600
ЛТБ	40	0,43	2780
	80	0,86	4720
ЛБ	40	0,43	3000
	80	0,86	5220

11.5.3. Газоразрядные лампы высокого давления

Тип	Номинальная мощность, Вт	Ток лампы, А	Световой поток, клм	Срок службы, тыс. час
ДРЛ 80	80	-	2,3	6
ДРЛ 125	125	-	3,7	6
ДРЛ 250	250	-	8,2	8
ДРЛ 400	400	-	14,4	10
ДРЛ 700	700	-	25,9	10
ДРЛ 1000	1000	-	37,4	10
ДРИ 250	250	2,5	18,7	4,5
ДРИ 400	400	3,5	32	4,5
ДРИ 700	700	5,6	59,5	3
ДРИ 1000	1000	9,5	90	1
ДРИ 1000	1000	9,5	80	1
ДРИ 2000*	2000	10,8	190	1
ДРИ 3500*	3500	18,8	300	1
ДНаТ 250	250	2,5	25	10
ДНаТ 400	400	3,5	40	10

Примечание. Лампы ДРИ 2000 и ДРИ 3500 включаются на напряжении 380 В, остальные - на 220 В.

Для включения газоразрядных ламп используется пускорегулирующая аппаратура. Технические данные приведены в таблице 11.5.4.

11.5.4. Пускорегулирующие аппараты для газоразрядных ламп

Тип пускорегулирующего аппарата	Мощность лампы, Вт	Пусковой ток, А	Рабочий ток, А	Минимальная температура окружающего воздуха, °С
<i>Стартерные пускорегулирующие аппараты</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	-
1УБЕ-20К/220-ВП-20	40	0,75	0,43	-
1УБИ-80К/220-ВП-06	80	1,7	0,86	-
<i>Пуско-регулирующие аппараты для ламп ДРЛ</i>				
ДБИ- 125 ДРЛ / 220-В	125	2,4	1,15	-25
ДБИ- 250 ДРЛ / 220-В	250	2,5	2,15	-25
ДБИ- 400 ДРЛ / 220-В	400	7,15	3,25	-25
ДБИ- 125 ДРЛ / 220-Н	125	2,4	1,15	-5
ДБИ- 400 ДРЛ / 220-Н	400	7,25	3,25	0
ДБИ- 700 ДРЛ / 220-Н	700	12	5,45	0

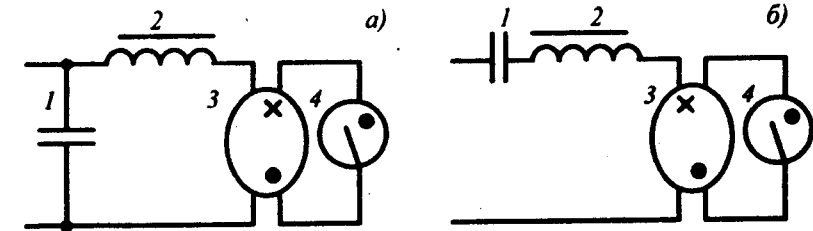


Рис. 11.2. Схемы включения люминесцентных ламп с параллельным а) и последовательным включением емкости б). 1 - конденсатор, 2 - дроссель, 3 - лампа, 4 - стартер.

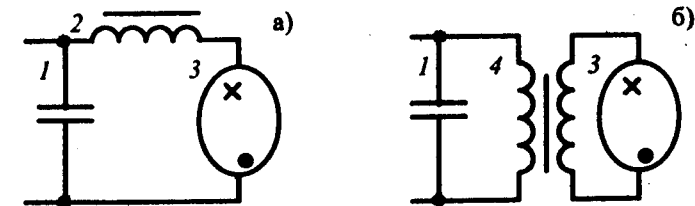


Рис. 11.3 Схемы включения ламп типа ДРЛ с дросселем а) и с трансформатором б). 1 - конденсатор, 2 - дроссель, 3 - лампа, 4 -

трансформатор

Для подключения ламп к однофазной сети переменного тока 220 или 380 В применяются схемы с дросселями и трансформаторами при параллельном либо последовательном включении конденсаторов.

11.6. Измерение электрической энергии

Измерение и учет потребленной электрической энергии осуществляется электрическими счетчиками. Счетчики подразделяются на однофазные и трехфазные. Последние делятся на счетчики активной и реактивной энергии.

Для измерения и учета количества электроэнергии в однофазных сетях напряжением 220 В применяются однофазные счетчики типов СО-И446, СО-5У и др., в трехфазных трехпроводных и четырехпроводных сетях используются счетчики серий СА3 и СА4, а также счетчики реактивной энергии серии СР.

Счетчики имеют измерительные токовые обмотки *ОТ* и обмотки напряжения *ОН*. Токовые обмотки однофазных счетчиков включаются в рассечку цепи непосредственно. Токовые обмотки трехфазных счетчиков в зависимости от номинального тока могут включаться в цепь непосредственно, либо через трансформаторы тока. Схемы включения счетчиков представлены на рис. 11.4 - 11.6, а технические данные некоторых типов счетчиков приведены в таблице 11.6.

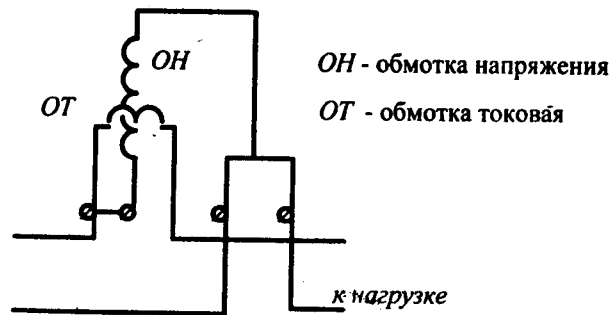


Рис.11.4. Схема включения однофазного счетчика типа СО

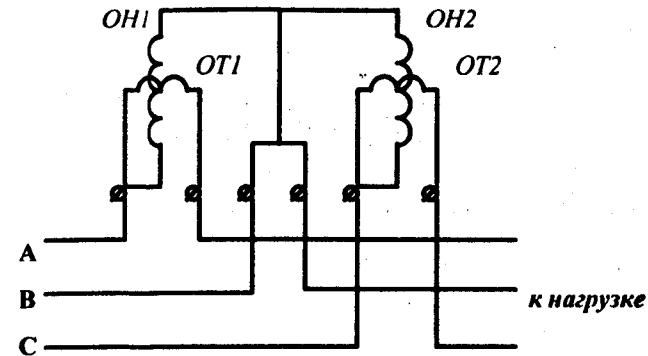


Рис.11.5. Схема включения трехфазного счетчика активной энергии типа СА3 в трехпроводной цепи

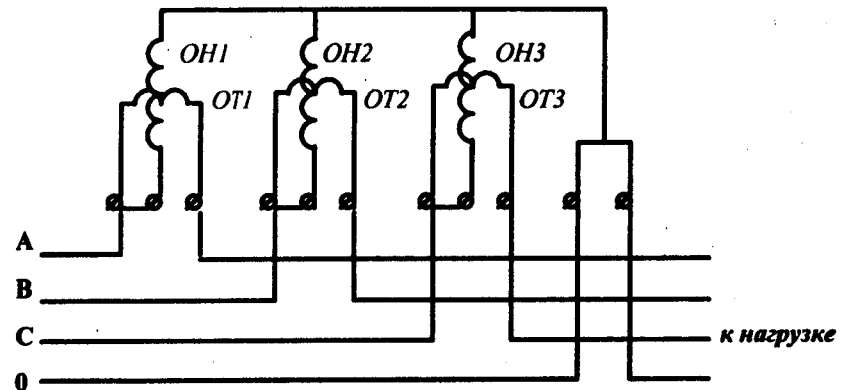


Рис.11.6. Схема включения трехфазного счетчика активной энергии типа СА4 в четырехпроводной цепи

Оплата за потребленную электроэнергию производится в соответствии с установленными тарифами. Существует два вида тарифов: одноставочный и двухставочный.

По одноставочному тарифу оплачивают электроэнергию потребители с присоединенной мощностью до 750 кВА.

Двухставочный тариф применяется для предприятий и потребителей с присоединенной мощностью 750 кВА и более. Двухставочный тариф состоит из годовой платы за каждый кВт заявленной потребителем максимальной мощности, участвующей в максимуме нагрузки энергосистемы

(основная ставка), и платы за каждый кВтч отпущенной потребителю активной электроэнергии (дополнительная ставка).

При расчетах с предприятиями используются надбавки и скидки к тарифу за электроэнергию за компенсацию реактивной мощности, потребляемой электроприемниками предприятия.

11.6. Технические данные счетчиков электрической энергии

Тип счетчика	Класс точности	Подключение токовой обмотки	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В
<i>Однофазные счетчики активной энергии</i>				
СО-И446	2.5	Непосредственно	10 - 30	127 - 220
СО-5У	2.5	Непосредственно	10 - 30	220
<i>Трехфазные счетчики активной энергии</i>				
СА3-И681	1	Через трансформатор тока	Первичный 10-10000 Вторичный 5	220, 380
СА4-И682	1	Через трансформатор тока	Первичный 10-10000 Вторичный 5	220, 380
СА4-И672Д	2	Непосредственно Через трансформатор тока	5, 10 Первичный 20-15000 Вторичный 5	220, 380 220, 380
<i>Счетчики реактивной энергии</i>				
СР-И673Д	3 2	Непосредственно Через трансформатор тока	5, 10 Первичный 20-15000 Вторичный 1,5 и 5	220, 380 220, 380

11.7. Внутренние и наружные электрические проводки.

Электрической, проводкой или, сокращенно, *электропроводкой* называется совокупность проводов и кабелей с системой их крепления и защитными конструкциями, коммутирующей и защитной аппаратурой для непосредственного питания электроприемников. Электропроводки делятся на наружные, выполненные вне помещений и внутренние, выполненные в помещениях. По способу выполнения проводки подразделяют на открытые, выполненные по поверхностям стен и потолков, и скрытые, выполненные в стенах, потолках, в каналах строительных конструкций.

Сведения о проводах и кабелях приведены в главе 4. Характеристики электропроводок и типы помещений приведены в таблице 11.7.1

11.7.1. Характеристики электропроводок

Способ прокладки проводов и кабелей	Характеристики проводов и кабелей	Для каких помещений применяется
<i>Открытая электропроводка</i>		
На изолирующих опорах: -на роликах и клищах, на	Провода незащищенные.	В сухих и влажных

<p>изоляторах, -на роликах, предназначенных для применения в сырых местах</p> <p>На поверхности стен, потолков, полосах и иных несущих конструкциях</p> <p>На лотках и в коробах с открываемыми крышками На канатах</p>	<p>одножильные, Провода скрученные двухжильные, провода незащищенные одножильные</p> <p>Кабели в неметаллической и металлической оболочках Провода незащищенные и защищенные одно- и многожильные, кабели в неметаллической и металлической оболочках То же</p> <p>Специальные провода с несущим канатом, провода незащищенные, одно- и многожильные. Кабели в неметаллической и металлической оболочках</p>	<p>помещениях В сухих помещениях В помещениях всех видов и для наружных установок, в т. ч. под навесами Для наружных установок</p> <p>В помещениях всех видов и для наружных установок,</p> <p>В помещениях всех видов В помещениях всех видов. Для наружных установок - специальные провода с несущим канатом или кабели</p>
<i>Открытая или скрытая электропроводка</i>		
<p>В металлических гибких рукавах. В стальных трубах и глухих стальных коробах. В неметаллических трубах и коробах из трудногорюемых материалов. В трубах изоляционных с металлической оболочкой</p>	<p>Провода незащищенные и защищенные одно- и многожильные, кабели в неметаллической и оболочке</p>	<p>В помещениях всех видов и для наружных установок. <i>Запрещается:</i> применение изоляционных труб с металлической оболочкой в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках. применение стальных труб и стальных глухих коробов с толщиной стенок 2 мм и менее в сырых и особо сырых помещениях и наружных установках</p>
<i>Скрытая электропроводка</i>		
<p>В неметаллических трубах из сгораемых материалов. В замкнутых каналах строительных конструкций. Под штукатуркой Замонolithicная в строительных конструкциях при их изготовлении</p>	<p>То же</p> <p>Провода незащищенные</p>	<p>То же</p> <p>В сухих, влажных и сырых помещениях</p>

В сырых, особо сырых и жарких помещениях провода прокладывают на изоляторах, укрепляемых на крюках, штырях, якорях и полужакорях. Типы изоляторов: ТФ, РФО, ШФН, НС. Маркировка изоляторов обозначает: Т - телефонный, Ф - фарфоровый, Н - низковольтный, О - ответвительный, С - стеклянный.

Для прокладки проводов по деревянным конструкциям используются ролики типов РП-2, РП-6, РП-16, РП-35, РП-70, РП-95, укрепляемые при помощи шурупов или глухарей.

11.7.2. Выполнение электропроводок по условиям пожарной безопасности

Характеристика проводов, кабелей, труб и коробов	Прокладка по основаниям и конструкциям		
	из сгораемых материалов	из трудносгораемых материалов	из несгораемых материалов
<i>Открытая электропроводка</i>			
Незащищенные провода	На роликах, изоляторах или с подкладкой под провода несгораемых материалов	Непосредственно	Непосредственно
Защищенные провода и кабели в оболочках: - из сгораемых материалов - из трудносгораемых и несгораемых материалов	То же	Непосредственно	Непосредственно
	Непосредственно	Непосредственно	Непосредственно
Трубы и короба: - из сгораемых материалов - из трудносгораемых материалов - из несгораемых материалов	Запрещается Запрещается Непосредственно	Запрещается Непосредственно Непосредственно	Запрещается Непосредственно Непосредственно
<i>Скрытая проводка</i>			
Незащищенные провода	С прокладкой несгораемых материалов и последующим оштукатуриванием или защитой со всех сторон сплошным слоем других несгораемых материалов	Непосредственно	Непосредственно
Защищенные провода и кабели в оболочке: - из сгораемых материалов - из трудносгораемых и несгораемых материалов	То же	Непосредственно	Непосредственно
	С прокладкой несгораемых материалов Непосредственно	Непосредственно Непосредственно	Непосредственно Непосредственно
Трубы и короба: - из сгораемых материалов	Запрещается С подкладкой под трубы несгораемых мате-	Замоноличивание	Замоноличивание

- из трудносгораемых материалов - из несгораемых материалов	риалов, последующим оштукатуриванием Непосредственно	Непосредственно Непосредственно	Непосредственно Непосредственно
--	---	------------------------------------	------------------------------------

Выбор сечения проводников производится по условиям их нагрева, потери напряжения и механической прочности. За расчетный ток принимается получасовой максимум тока электропотребителя и по справочным данным для допустимых токовых нагрузок (глава 4) выбирается сечение провода или кабеля так, чтобы расчетный ток не превышал длительно допустимый.

Наименьшие допустимые сечения токопроводящих жил проводов и кабелей выбирается в соответствии с таблицей 11.7.3.

11.7.3. Наименьшие сечения токопроводящих жил проводов и кабелей, мм²

Конструкции и способ прокладки проводов и кабелей	Медные жилы	Алюминиевые жилы
Скрученные двухжильные провода с многопроволочными жилами для прокладки на роликах	1,0	-
Изолированные провода, прокладываемые внутри помещений: на роликах на изоляторах	1,0 1,5	2,5 4,0
Изолированные провода в наружных электропроводках	2,5	4,0
Изолированные провода и кабели в трубах, металлорукавах	1,0	2,0
Кабели и защищенные изолированные провода в стационарной электропроводке без труб, металлорукавов и глухих коробов	1,0	2,0
Шнур для присоединения бытовых электроприемников	0,35	-
Кабель для присоединения переносных и передвижных электроприемников	0,75	-

Более подробные сведения об элементах систем электроснабжения читатель может найти в литературе [2,14,17,31,32,33].

ГЛАВА 12. АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В главе приведены сведения об автономных невозобновляемых и возобновляемых источниках электроэнергии. Под невозобновляемыми источниками понимаются передвижные дизельные и бензиновые электростанции. Возобновляемые источники - это ветроэлектрические станции (ВЭС), гелиоэлектрические станции (ГелЭС), малые и микрогидроэлектрические станции (МГЭС). Кроме того приведены технические данные отечественных свинцово-кислотных, никель-железных, никель-кадмиевых силовых аккумуляторов.

12.1. Автономные дизельэлектрические и бензоэлектрические агрегаты и станции.

Автономные источники электроэнергии - дизельные или бензиновые электроагрегаты и электростанции - могут быть использованы для временного или постоянного электропитания потребителей, удаленных от питающих линий электропередач энергосистемы. Агрегат представляют собой установленные на общей раме или платформе и соединенные между собой муфтой дизель (бензиновый двигатель) и синхронный генератор с системой управления.

Дизельэлектрические агрегаты и электростанции

Дизельэлектрические агрегаты и электростанции выпускаются отечественной промышленностью серийно в соответствии с ГОСТ 13822-82 в диапазоне мощностей от 4 до 5000 кВт на напряжения от 230 до 10500 В. Некоторые сведения о них приведены в таблице 12.1.1.

12.1.1. Дизельные электроагрегаты и электростанции

Число фаз	Напряжение, В	Частота, Гц	Мощность, кВт
Электроагрегаты передвижные			
1	230	400	8
3	230	400	8, 16, 30, 60, 100, 200
3	230	50	4, 8, 16, 30, 60, 100
3	400	50	4, 8, 16, 30, 60, 100, 200, 500, 630, 1000
Электроагрегаты стационарные			
3	230	50	4, 8, 16, 30, 60
3	400	50	8, 16, 30, 60, 100, 200, 315, 500, 630
3	6300	50	500, 630, 1000, 1600, 2000, 5000
3	10500	50	500, 1000, 1600, 2000, 3150, 5000
Электростанции			
3	230	400	8, 16, 30, 60, 100, 200

3	230	50	8, 16, 30, 60
3	400	50	8, 16, 30, 60, 100, 200, 315, 500, 1000
3	6300	50	1000
3	10500	50	1000

Примечание: Значения мощностей приведены для индуктивно-активной нагрузки при номинальном коэффициенте мощности $\cos \varphi = 0,8$.

Бензиновые электроагрегаты и электростанции

В бензоэлектрических агрегатах используются большей частью однофазные и трехфазные синхронные генераторы серии ГАБ, а также генераторы постоянного тока. Некоторые технические данные о бензоэлектрических агрегатах и бензоэлектрических станциях, соответствующих ГОСТ 21671-82, приведены в таблице 12.1.2.

12.1.2. Бензиновые электроагрегаты и электростанции

Род тока	Напряжение, В	Частота, Гц	Мощность, кВт
Электроагрегаты			
~ однофазный	115	400	0,5; 1
~ однофазный	230	400	0,5; 2; 4
~ однофазный	230	50	0,5; 1; 2; 4
~ трехфазный	230	50	1; 2; 4; 8; 16; 30
~ трехфазный	400	50	2; 4; 8; 16; 30
~ трехфазный	230	400	4; 8; 16; 30
постоянный	28,5	-	0,5; 1; 2; 4; 8
постоянный	115	-	2; 4; 8; 16
постоянный	230	-	16
Электростанции			
~ однофазный	230	50	0,5; 1; 2; 4;
~ трехфазный	230	50	4; 8; 16; 30;
~ трехфазный	400	50	16; 30
~ трехфазный	230	400	16; 30
постоянный	28,5	-	0,5; 1; 2; 4
постоянный	115	-	2; 4; 8

Примечание: Значения мощностей приведены для индуктивно-активной нагрузки при номинальном коэффициенте мощности $\cos \varphi = 0,8$.

12.2. Ветроэлектрические станции

Разработка ВЭС в СССР началась в предвоенные годы. Были выпущены промышленные образцы ВЭС мощностью до 100 кВт.

ВЭС и водоподъемные устройства (ВПУ) были разработаны и до последних лет серийно выпускались отечественной промышленностью. Лидерами в этой отрасли являлись НПО "Ветроэн" Минсельхоза СССР и НПО "Азимут" Всероссийского института электрификации сельского хозяйства. Сведения об этих ВЭС и ВПУ приведены в таблице 12.2.1.

12.2.1. Технические данные унифицированных ветроэлектрических и ветромеханических водоподъемных устройств

Технические характеристики	УВЭВ-6	АВЭУ-4	УВЭВ-1	УВМв-4	УВМ-2
Производительность, м ³ /ч	6,0	-	0,8	2,0	0,5
Высота подъема воды, м	30	-	10	30	20
Диаметр ветроколеса, м	6,0	6,6	2,4	4,0	2,6
Расчет. Скорость ветра, м/с	7,5	9,0	6,0	6,0	7,0
Номинальная мощность, кВт	3-4	4,0	-	1,6	0,4
Высота опоры, м	5,5	9,0	5,0	4,0	4,0
Масса, кг	1800	1200	130	750	215
Экономия топлива, т. усл. топ	3,9	6,4	0,5	1,5	0,6

Унифицированные установки типа УВЭВ-6, АВЭУ-4м, УВЭВ-1 используются как для подъема воды из шахтных колодцев и скважин с помощью электрических насосов, так и для целей электроснабжения и теплоснабжения автономных потребителей.

Установки типа УВМ предназначены для подъема воды из шахтных колодцев с помощью механического насоса винтового типа.

Выпускаются также маломощные (до 160 Вт) ВЭС типов КВФУ-100, Ветэн-0,16, Ветен-8, АВЭ-0,14 и другие.

В таблице 12.2.2 приведены данные о ВЭС, выпускаемых в России серийно либо в виде опытных образцов.

12.2.2. Характеристики современных ВЭС

Мощность, кВт	Расчетная скорость ветра, м/с	Напряжение, В	Изготовители
1000	13.5	паралл. с сетью	МКБ «Радуга», г. Дубна, АО ТМЗ, Москва
8	7.2	220	то же
1.5	5.6	220	то же
250	13	паралл. с сетью	НПО «Ветроэн», г. Реутов
4	9	220	З-д «Ветроэнергомаш», г. Астрахань совместно НПО «Ветроэн», г. Реутов
1.1	7	220	СП «ЛМВ Ветроэнергетика», г. Хабаровск
2.5	12	220	
3.6	12	220	
10	12	220	
0.25	8	220	АО «Молинос», г. Москва
0.2	6	-	
0.3	10	-	
1.0	10	220	
1.0	7.2	220	
0.55	10	220	НПО «Энергия», г. Воронеж
1.0	10	220	ЦНИИ «Электроприбор», г. С.-Петербург

12.3. Комплексные фотоэлектрические солнечные системы

В России разработаны и выпускаются комплексные фотоэлектрические солнечные системы и солнечные элементы. Первые - в ВИЭСХ г. Москва, вторые - в НПО «Муссон» и НПФ «Солнечный ветер» г. Краснодар.

Сведения о комплексных фотоэлектрических солнечных системах приведены в таблице 12.3.1, а сведения о кремниевых солнечных элементах - в таблице 12.3.2.

12.3.1. Комплексные фотоэлектрические солнечные системы

Тип	Мощность, Вт	Напряжение, В	Емкость буферного аккумулятора, Ач
ФЭСК-15	15	12	20
ФЭСК-30	30	12	40
ФЭСК-60	60	12	80
ФЭСК-90	90	12	100

12.3.2. Кремниевые солнечные фотоэлементы

Тип элементов	Напряжение холостого хода, В	Ток короткого замыкания, А	Напряжение при максимальной нагрузке, В	Ток при максимальной мощности, А	КПД, %
Псевдоквадратные 100x100мм с диагональю 125 мм	0,59 - 0,6	2,8 - 3,2	0,48 - 0,5	2,6 - 2,8	13 - 14
Круглые с диаметром 100 мм	0,59 - 0,6	2,1 - 2,2	0,48 - 0,5	1,9 - 2,0	12 - 13

12.4. Малые ГЭС и микроГЭС.

Разработка и выпуск отечественных малых ГЭС и микроГЭС в России осуществляется в последние годы рядом производителей.

Малыми называют комплексные гидроэлектростанции в пределах мощностей от 100 до нескольких тысяч кВт. Малые ГЭС классифицируют в зависимости от типа гидроагрегата. Соответственно различают гидроагрегаты с пропеллерными турбинами, с радиально-осевыми турбинами и с ковшовыми турбинами. В таблице 12.4.1 приведены данные о некоторых типах малых ГЭС

МикроГЭС имеют мощность от 100 кВт и ниже - до нескольких сотен ватт., в таблице 12.4.2 - приведены технические данные о некоторых типах микроГЭС.

12.4.1. Малые ГЭС

Параметры	Тип гидроагрегата			
	ГА1	ГА8	Пр15	Пр30
Гидроагрегаты с пропеллерными турбинами				
Мощность, кВт	100-130	150-1350	до 130	до 290
Напор, м	3,5 - 9,0	10 ± 25	2 - 12	4 - 30
Расход, куб.м /с	2,3 - 6,2	2,2-7	0,44 -1,5	0,38 - 1,3
Частота вращения ротора турбины, об/мин	200 - 350	500; 600	600; 750; 1000	750; 1000 1500
Номинальное напряжение, В	400; 6000	400; 6000 1000	230/400	230/400
Номинальная частота тока, Гц	50 ± 2,5	50 ± 2,5	50 ± 2,5	50 ± 2,5
Гидроагрегаты с радиально-осевыми турбинами				
	ГА2	ГА4	ГА9	ГА11
Мощность, кВт	1000	750	3300	5800
Напор, м	30 - 100	25 - 60	70 - 120	80 - 160
Расход, куб.м /с	0,4 - 1,2	0,4 - 1,4	0,8 - 3,2	1 - 4,3
Частота вращения ротора турбины, об/мин	1000; 1500	1000	750; 1000	750; 1000
Номинальное напряжение, В	400; 6000	400; 6000	6000; 10000	6000; 10000
Номинальная частота тока, Гц	50 ± 2,5	50 ± 2,5	50 ± 2,5	50 ± 2,5
Гидроагрегаты с ковшовыми турбинами				
	ГА5	ГА10		
Мощность, кВт	145 - 620	290-3000		
Напор, м	150-250	200-450		
Расход, куб.м /с	0,13-0,33	0,19-0,9		
Частота вращения ротора турбины, об/мин	500-600	750-1000		
Номинальное напряжение, В	400; 6000	400; 6000; 10000		
Номинальная частота тока, Гц	50 ± 2,5	50 ± 2,5		

12.4.2. МикроГЭС

Типы микроГЭС	Параметры					
	Мощность, кВт	Напор, м	Расход, куб.м/с	пн, об/мин	Uн, В	fн, Гц
МикроГЭС с пропеллерными турбинами						
МикроГЭС 10ПР	0,6-4	2-4,5	0,07-0,14	1000	230 ± 20	50 ± 2,5
МикроГЭС 10ПР	2,2-10	4,5-8	0,10-0,21	1500	230 ± 20	50 ± 2,5
МикроГЭС 15ПР	1,3-5	1,75-3,5	0,10-0,20	1000	230 ± 20	50 ± 2,5
МикроГЭС 15ПР	3,5-15	3,5-7	0,15-0,30	1500	230 ± 20	50 ± 2,5
МикроГЭС 50ПР	10-50	4-10	0,36-0,80	600-750	230 ± 20	50 ± 2,5
МикроГЭС с диагональными турбинами						
МикроГЭС 50D	10-50	10-25	0,05-0,28	1500-3000	230 ± 20	50 ± 2,5
МикроГЭС 100D	100	25-55	0,19-0,25	3000	230 ± 20 400 ± 20	50 ± 2,5

12.5. Аккумуляторы

Свинцовые стационарные аккумуляторы используются на электрических станциях и подстанциях, телефонных узлах связи в режимах постоянного подзаряда и разряда. **Стартерные** - главным образом, для запуска двигателей внутреннего сгорания. Выпускаются Курским и Подольским аккумуляторными заводами.

12.5.1. Свинцовые кислотные стационарные аккумуляторы -

Тип батареи	Uн, В	Qн, Ач	Масса, кг	Тип батареи	Uн, В	Qн, Ач	Масса, кг
СК-2	2,0	72	17,50	СК-48	2,0	1728	329
СК-3	2,0	108	24	СК-52	2,0	1872	352
СК-4	2,0	144	32,6	СК-56	2,0	2016	377
СК-4	2,0	180	36	СК-60	2,0	2160	400
СК-6	2,0	216	45,5	СК-64	2,0	2304	423
СК-8	2,0	288	51,5	СК-68	2,0	2448	236
СК-10	2,0	360	67	СК-72	2,0	2592	470
СК-12	2,0	432	73	СК-76	2,0	2736	494
СК-14	2,0	504	17,5	СК-80	2,0	2880	516
СК-16	2,0	276	24	СК-84	2,0	3024	538
СК-18	2,0	648	32,6	СК-88	2,0	3168	564
СК-20	2,0	720	36	СК-92	2,0	3312	587
СК-24	2,0	864	138	СК-104	2,0	3744	659
СК-28	2,0	1008	209	СК-112	2,0	4032	708
СК-32	2,0	1152	232	СК-116	2,0	4176	732
СК-36	2,0	1296	236	СК-120	2,0	4320	756
СК-40	2,0	1440	281	СК-124	2,0	4464	781
СК-44	2,0	1584	306	СК-128	2,0	4608	788
СКЭ-44	2,0	1584	271	СК-132	2,0	4752	829
СКЭ-48	2,0	1728	294	СК-136	2,0	2896	855

12.5.2. Свинцовые стартерные аккумуляторные батареи

Тип батареи	Uн, В	Qн, Ач	I разр, А	Масса, кг	Тип батареи	Uн, В	Qн, Ач	I разр, А	Масса, кг
МТС-9	12	9	27	3,25	6СТ-75ЭМ	12	75	225	30,5
МТС-9А	12	9	27	3,10	6СТ-75ТМ	12	75	225	28,4
6СТ-44А	12	44	220	14,5	6СТ-77А1	12	77	350	20,5
6СТ-55А	12	55	270	16	6СТ-90А	12	90	430	27
6СТ-55А1	12	55	275	15,5	6СТ-90ЭМ	12	90	270	35,7
6СТ-55П	12	55	255	18,3	6СТ-110А	12	110	470	32,3
6СТ-55ТМ	12	55	255	19	6СТ-132П	12	132	396	43,6
6СТ-55ЭМ	12	55	255	21	6СТ-132ТМ	12	132	396	44,6
6СТ-60П	12	60	180	20,5	6СТ-132ЭМ	12	132	396	51,0
6СТ-60ЭМ	12	60	180	25	6СТ-140А	12	140	560	42,5
6СТ-66А1	12	60	300	18,5	6СТ-182ЭМ	12	182	560	42,5

6СТ-190А	12	190	570	52,5	6ТСТС-140А	12	140	840	52,5
6СТ-190ТМ	12	190	570	72,5	6ТСТС-140М	12	140	840	55,5

Примечание: Масса указана с учетом залитого электролита.
Ток разряда приведен для температуры -18° С.

Щелочные никель-кадмиевые никель-железные аккумуляторы используются для питания приборов и аппаратов средств связи, электрооборудования на железнодорожном транспорте, трамваях троллейбусах и метрополитене. Буквы в обозначениях расшифровываются: Т - тяговый, ТП - тепловозный, В - вагонный, ВН - высокий, модернизированный, У и Т - климатическое исполнение. Сведения о них приведены в таблицах 12.3.3 и 12.3.4.

12.5.3. Щелочные никель-кадмиевые аккумуляторы

Тип батареи	U _н , В	Q _н , Ач	Масса, кг
НК-13	1,2	13	0,75
5НК-13	6,0	13	4
НК-55	1,2	55	2,78
5НК-55	6,0	55	16,8
НК-80	1,2	80	4,46
5НК-80	28,8	80	26,30
НК-125	1,2	125	6,70
5НК-125	6,0	125	46,8
75КН-150Р	90	150	-

Примечание: Масса указана с учетом залитого электролита.

12.5.4. Никель-железные аккумуляторы

Тип батареи	U _н , В	Q _н , Ач	Масса, кг	Тип батареи	U _н , В	Q _н , Ач	Масса, кг
ТНЖ-250 У2	1,2	250	18	ТНЖ-400У2	1,2	400	24
22ТНЖ-250МУ2	26,4	250	390	40ТНЖ-400У2	48	400	900
30ТНЖ-250МУ2	36	250	484	ТНЖ-450У2	1,2	450	24
ТНЖ-300У2	1,2	300	15,5	40ТНЖ-450У2	48	450	967
34ТНЖ-300МУ2	40,8	300	650	ТНЖ-525У2	1,2	525	30
ТНЖ-320У2	1,2	320	16,5	24ТНЖ-525У2	28,8	525	724
27ТНЖ-320У2	36	320	448	90ВНЖ-350У2	108	350	1815
ВНЖ-350У2	1,2	350	14	48ТН-450У2	96	450	2250

Более подробные сведения об автономных источниках электрической энергии читатель найдет в [37, 40, 44, 45].

ГЛАВА 13. СИЛОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Диоды предназначены для выпрямителей, преобразователей частоты, устройств импульсной техники, блоков питания, радиоустройств и т.д. Диапазон выпрямленных токов от единиц до тысячи и более ампер, допустимых обратных напряжений - от десятков до тысячи вольт.

Диоды выпускаются в пластмассовых (например, КД 299), металлических (Д4-143) корпусах, с естественным охлаждением, принудительным, на охлаждающих и т.д.

В таблицах приняты следующие основные обозначения:

$I_{пр}$ - прямой постоянный ток, А;

$I_{пр.н}$ - ток, максимально допустимый в течение времени t_n , А

t_n - время импульса, мкс;

$I_{обр}$ - обратный ток или ток утечки, мкА;

$U_{обр}$ - наибольшее длительно допустимое обратное напряжение, В

$U_{пр}$ - падение напряжения на открытом диоде при токе $I_{пр}$, В

f - предельно допустимая рабочая частота кГц;

T - диапазон допустимых рабочих температур, °С.

13.1. Основные технические параметры силовых диодов

Тип прибора	$I_{пр}$ max, А	$I_{пр.н}$ max, А	t_n , мкс	$I_{обр}$ max, мкА	$U_{обр}$ max, В	$U_{обр.н}$ max, В	$U_{пр}$ max, В	$I_{пр}$, А	f, кГц	T, °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2Д203А-КД203М	10	100	5000	1500	420	600	1,0	10	1,0	-60...+125
КД206А	10	100	100	700	400		1,2	1,0	1,0	-60...+125
КД206Б	10	100	100	700	500		1,2	1,0	1,0	-60...+125
КД206В	10	100	100	700	600		1,2	1,0	1,0	-60...+125
2Д210А-КД210Г1	10	50	5000	1500		800	1,0	10	1,0	-60...+125
2Д213А-2Д213Г6	10	100	10000	200	200	200	1,0	10	100	-60...+125
2Д222АС-2Д222ЕС	3	150	10000	2000	20	20	0,6	3	200	-60...+125
2Д231А	10	150	10000	50	150	150	1,0	10	200	-60...+125
2Д231Б	10	150	10000	50	200	200	1,0	10	200	-60...+125
2Д231В	10	150	10000	50	150	150	1,0	10	200	-60...+125
2Д231Г	10	150	10000	50	200	200	1,0	10	200	-60...+125
2Д239А	20	80	50	20	100	100	1,4	20	500	-60...+125
2Д239Б	20	80	50	20	250	150	1,4	20	500	-60...+125
2Д239В	20	80	50	20	200	200	1,4	20	500	-60...+125
КД244А	10	100	10000	100	100	100	1,3	10	200	-45...+100
КД244Б	10	100	10000	100	100	100	1,3	10	200	-45...+100
КД244В	10	100	10000	100	200	200	1,3	10	200	-45...+100
КД244Г	10	100	10000	100	200	200	1,3	10	200	-45...+100
2Д245А	10	100	50	100	400	400	1,4	10	200	-60...+125
2Д245Б	10	100	50	100	200	200	1,4	10	200	-60...+125
2Д245В	10	100	50	100	100	100	1,4	10	200	-60...+125
2Д250А	10	40	10000	50	125	125	1,4	10	100	-60...+100

2Д251А	10	150	10000	50	50	50	1	10	200	-60...+125
2Д251Б	10	150	10000	50	70	70	1	10	200	-60...+125
2Д251В	10	150	10000	50	100	100	1	10	200	-60...+125
2Д251Г	10	150	10000	50	50	50		10	200	-60...+125
2Д251Д	10	150	10000	50	70	70	1	10	200	-60...+125
2Д251Е	10	150	10000	50	100	100	1	10	200	-60...+125
2Д252А	30	60		2000	80	80	0,95	30	200	-60...+125
2Д250Б	30	60		2000	100	100	0,95	30	200	-60...+125
2Д250В	20	40		2000	120	120	0,95	30	200	-60...+125
КД2989А	20	60	10000	200	600	600	1,4	20	100	-45...+100
КД2989А1	20	60	10000	200	600	600	1,4	20	100	-45...+100
КД2989Б	20	60	10000	200	400	400	1,4	20	100	-45...+100
КД2989Б1	20	60	10000	200	400	400	1,4	20	100	-45...+100
КД2989В	20	60	10000	200	200	200	1,4	20	100	-45...+100
КД2989В1	20	60	10000	200	200	200	1,4	20	100	-45...+100
2Д2990А	20	66	10000	100	600	600	1,4	20	200	-45...+100
2Д2990Б	20	66	10000	100	400	400	1,4	20	200	-60...+125
2Д2990В	20	66	10000	100	200	200	1,4	20	200	-60...+125
КД2994А	20	80	10000	100	100	100	1,4	20	200	-60...+125
2Д2995А	25	75		10	50	50	1,1	30	200	-60...+125
2Д2995Б	25	75		10	70	70	1,1	30	200	-60...+125
2Д2995В	25	75		10	100	100	1,1	30	200	-60...+125
2Д2995Г	25	75		10	150	150	1,1	30	200	-60...+125
2Д2995Д	25	75		10	200	200	1,1	30	200	-60...+125
2Д2995Е	25	75		10	100	100	1,1	30	200	-60...+125
2Д2995Ж	25	75		10	150	150	1,1	30	200	-60...+125
2Д2995И	25	75		10	200	200	1,1	30	200	-60...+125
КД2995А	25	75		10	50	50	1,1	30	200	-60...+125
КД2995Б	25	75		10	70	70	1,1	30	200	-60...+125
КД2995В	25	75		10	100	100	1,1	30	200	-60...+125
КД2995Г	25	75		10	150	150	1,1	30	200	-60...+125
КД2995Д	25	75		10	200	200	1,1	30	200	-60...+125
КД2995Е	25	75		10	100	100	1,1	30	200	-60...+125
2Д2997А	30	100	50	200	200	250	1	30	100	-60...+125
2Д2997Б	30	100	50	200	100	200	1	30	100	-60...+125
2Д2997В	30	100	50	200	50	100	1	30	100	-60...+125
КД2997А	30	100	50	200	200	250	1	30	100	-45...+125
КД2997Б	30	100	50	200	100	200	1	30	100	-45...+125
КД2997В	30	100	50	200	50	100	1	30	100	-45...+125
2Д2998А	30	600	10000	20000	15	15	0,6	30	200	-60...+125
2Д2998Б	30	600	10000	20000	25	25	0,68	30	200	-60...+125
2Д2998В	30	600	10000	20000	35	35	0,68	30	200	-60...+125
КД2998А	30	450	10000	20000	15	15	0,6	30	200	-45...+100
КД2998Б	30	450	10000	20000	20	20	0,6	30	200	-45...+100
КД2998В	30	450	10000	20000	25	25	0,7	30	200	-45...+100
КД2998Г	30	450	10000	20000	35	35	0,7	30	200	-45...+100
КД2998Д	30	450	10000	20000	30	30	0,7	30	200	-45...+100
2Д2999А	20	100	50	200	200	250	1	20	100	-60...+125
2Д2999Б	20	100	50	200	100	200	1	20	100	-60...+125
2Д2999В	20	100	50	200	50	100	1	20	100	-60...+125
КД2999А	20	100	50	200	200	250	1	20	100	-45...+125
КД2999Б	20	100	50	200	100	200	1	20	100	-45...+125
КД2999В	20	100	50	200	50	100	1	20	100	-45...+125

13.2. Диоды автотракторные

Тип прибора	I _{пр} max, А	I _{пр.и} max, А	t _и , мс	I _{обр} max, мА	U _{обр} max, В	U _{пр} max, В	f, кГц	T, °С
Д104-10	10	210	10	-	100	1,4	1,3	-50...+175
Д104-16	16	340	10	-	100	1,4	1,3	-50...+175
Д104-20	20	400	10	-	100	1,4	1,3	-50...+175
Д204-10	10	210	10	-	100	1,4	1,3	-50...+175
Д204-16	16	340	10	-	100	1,4	1,3	-50...+175
Д204-20	20	400	10	-	200	1,4	1,3	-50...+175

13.3. Диоды низкочастотные

Тип прибора	I _{пр} max, А	I _{пр.и} max, А	t _и , мс	I _{обр} max, мВ А	U _{обр} max, В	U _{пр} max, В	f, кГц	T, °С
Д112-10	10	230	10	1,0	100-1400	1,35	1,35	-50...+190
Д112-16	16	270	10	1,0	100-1400	1,35	1,35	-50...+190
Д112-25	25	230	10	1,0	100-1400	1,35	1,35	-50...+190
Д122-32	32	440	10	6,0	100-1400	1,35	1,35	-50...+190
Д122-40	40	500	10	6,0	100-1400	1,35	1,35	-50...+190
Д132-50	50	1100	10	8,0	100-1400	1,35	1,35	-50...+190
Д132-80	80	1200	10	8,0	100-1400	1,35	1,35	-50...+190
Д (141-253)	А	кА	мс	мА	кВ	В	кГц	°С
Д141-100	100		10	20	0,3-1,6	1,45	0,5	-60...+190
Д151-160	160	3,0	10	20	0,3-1,6	1,35	0,5	-60...+150
Д161-200	200	6,0	10	40	0,3-1,6	1,35	0,5	-60...+150
Д161-320	320	8,2	10	50	0,3-1,6	1,35	0,5	-60...+150
Д171-400	400	12,0	10	50	0,3-1,6	1,5	0,5	-60...+150
Д133-500	500	10,0	10	50	1-4	1,7	0,5	-60...+190
Д133-800	800	13,0	10	50	1-4	1,6	0,5	-60...+190
Д143-1000	1000	20,0	10	75	1-4	1,55	0,5	-60...+190
Д253-1600	1600	30,0	10	75	0,4-2,0	1,5	0,5	-60...+190

13.4. Диоды лавинные

Тип прибора	I _{пр} max, А	I _{пр.и} max, А	t _и , мс	I _{обр} max, мВ А	U _{обр} max, В	U _{пр} max, В	f, кГц	T, °С
ДЛ112-10	10	230	10	21	400-1500	1,35	-	-50...+160
ДЛ112-25	25	300	10	9,0	400-1500	1,35	-	-50...+160
ДЛ122-40	40	440	10	4,0	400-1500	1,35	-	-50...+160
ДЛ132-50	50	1100	10	4,0	400-1500	1,35	-	-50...+160
ДЛ132-80	80	1320	10	8,0	400-1500	1,35	0,5	-50...+160
ДЛ161-200	200	6000	10	25,0	400-1400	1,45	0,5	-60...+140
ДЛ171-320	320	8200	10	25,0	400-1400	1,45	0,5	-60...+140
ДЛ123-320	320	6000	10	25,0	400-1400	1,7	0,5	-60...+140
ДЛ133-500	500	7500	10	25,0	400-1400	1,8	0,5	-60...+140

13.5. Диоды частотные (быстровосстанавливающиеся)

Тип прибора	I _{пр} max, А	I _{пр.и} max, А	t _и , мс	I _{обр} max, мВ А	U _{обр} max, В	U _{пр} max, В	f, кГц	T, °С
Д4151-80	80	2700	10	25,0	500-1400	1,83	2-25	-60...+140
Д4151-100	100	3000	10	25,0	500-1400	1,83	2-25	-60...+140
Д4161-125	125	5000	10	35,0	500-1400	1,8	2-25	-60...+140
Д4161-160	160	5500	10	35,0	500-1400	1,8	2-25	-60...+140
Д4171-250	250	88000	10	60,0	500-1400	2,1	2-25	-60...+140
Д4171-320	320	10000	10	60,0	500-1400	2,1	2-25	-60...+140
Д4143-800	800	14000	10	40	600-1800	3,0	25	-60...+175
Д4143-1000	1000	17000	10	40	600-1800	2,3	25	-60...+175

13.6. Диодные лавинные столбы

Тип прибора	I _{пр} max, А	I _{пр.и} max, А	t _и , мс	I _{обр} max, мВ А	U _{обр} max, В	U _{пр} max, В	f, кГц	T, °С
СДЛ 0,4-750	0,4	60	10	-	75000	-	0,5	-40...+125
СДЛ 0,4-1250	0,4	60	10	-	125000	-	0,5	-40...+125
СДЛ 0,4-2500	0,4	60	10	-	150000	-	0,5	-40...+125
СДЛ 2-100	2,0	240	10	-	10000	-	0,5	-40...+125
СДЛ 2-100	2,0	240	10	-	50000	-	0,5	-40...+125
10СДЛ 2-100	2,0	240	10	-	100000	-	0,5	-40...+125
15СДЛ2-100	2,0	240	10	-	150000	-	0,5	-40...+125

На рис. Д1-Д6 представлены эскизы диодов и обозначения исполнения их корпусов.

Более подробные сведения о диодах приведены в [8, 30, 36].

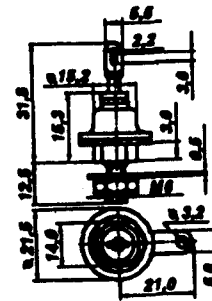
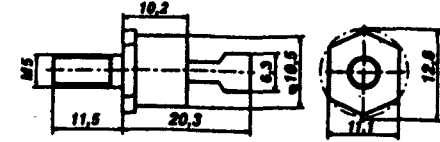
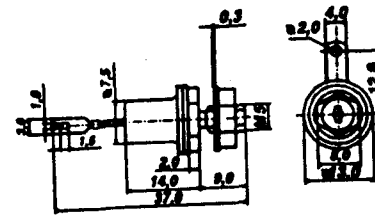


Рис. Д1 КДЮ-11-4



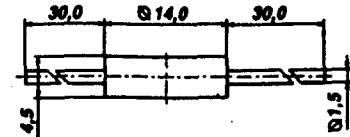
КД-11

Рис. Д2



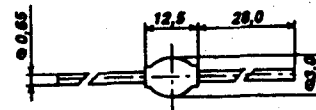
КДЮ-11-2

Рис. Д3



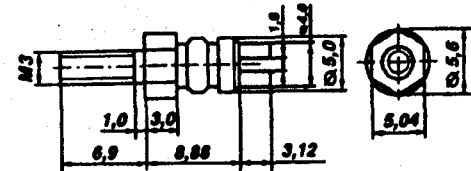
КД-23

Рис. Д4



КД-29В

Рис. Д5



КД-10

Рис. Д6

Эскизы диодов и обозначения исполнения их корпусов

ГЛАВА 14. ТИРИСТОРЫ

Тиристоры подразделяются по быстрдействию на низкочастотные и частотные. Используются в различных преобразователях напряжения и частоты, в том числе для регулируемых электроприводов и устройств гибкой связи для линий электропередач постоянного тока, коммутационной и регулирующей аппаратуре, в бытовой технике. Сведения о низкочастотных тиристорах приведены в таблицах 14.1. и 14.2. Быстродействующие тиристоры применяются в преобразователях и других электроустановках, где требуются прежде всего малые времена включения и выключения. Они отличаются высокой нагрузочной способностью по току при высоких частотах (таблица 14.3.).

Симметричные тиристоры (симисторы) обладают симметричной вольтамперной характеристикой и обеспечивают управление в прямом и обратном направлениях. Используются симисторы в преобразователях, регуляторах напряжения, бесконтактных выключателях и других устройствах (таблица 14.4.).

Сведения о тиристорах-диодах приведены в таблице 14.5.

Диапазон выпрямленных (средних) токов силовых тиристоров от 10 до 4000 А, диапазон обратных напряжений - от нескольких десятков до 4000 В.

Допустимая температура окружающей среды от - 50 до +45 °С при давлении 0,085-0,105 МПа и относительной влажности 98%. Допустимая температура перехода от - 50 до 125 °С. Критическая скорость нарастания напряжения (du/dt), В/мкс - в диапазоне от 50 до 1000. Критическая скорость нарастания тока (di/dt), А/мкс - в диапазоне от 100 до 1000.

Конструктивные исполнения силовых тиристоров, как и диодов, главным образом, штыревое и таблеточное.

Типы применяемых охладителей типа 0131-0281, ОА и др.

Обозначение основных параметров

P_{max} - наибольшая длительно рассеиваемая мощность.

I_{oc} - ток в открытом состоянии (средний) постоянный.

I_{ocm} - максимальный средний ток в обратном проводящем состоянии (для тиристор-диодов).

I_{zc} - ток в закрытом состоянии постоянный.

U_y - напряжение управления постоянное.

U_{oc} - напряжение на тиристоре в открытом состоянии.

U_{zc} - длительно допустимое повторяющееся обратное напряжение в закрытом состоянии.

$t_{вкл.}$ - время включения

14.1. Тиристоры типа КУ

Тип прибора	P max, Вт	I _{oc} max, А	I _{zc} max, mA	U _{oc} max, В	U _{zc} max, В	U _y min/max, В	dU _{oc} /dt max, В/мкс	dI _{oc} /dt max, А/мкс	t _{вкл.} мкс
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2У202Д	20И	10,0	10	1,5	100	<7	5	-	150
2У202Д1	20И	10,0	10	1,5	100	<7	5	-	150
2У202Е	20И	10,0	10	1,5	100	<7	5	-	150
2У202Е1	20И	10,0	10	1,5	100	<7	5	-	150
2У202Ж	20И	10,0	10	1,5	200	<7	5	-	150
2У202Ж1	20И	10,0	10	1,5	200	<7	5	-	150
2У202И	20И	10,0	10	1,5	200	<7	5	-	150
2У202И1	20И	10,0	10	1,5	200	<7	5	-	150
2У202К	20И	10,0	10	1,5	300	<7	5	-	150
2У202К1	20И	10,0	10	1,5	300	<7	5	-	150
2У202Л	20И	10,0	10	1,5	300	<7	5	-	150
2У202Л1	20И	10,0	10	1,5	300	<7	5	-	150
2У202М	20И	10,0	10	1,5	400	<7	5	-	150
2У202М1	20И	10,0	10	1,5	400	<7	5	-	150
2У202Н	20И	10,0	10	1,5	400	<7	5	-	150
2У202Н1	20И	10,0	10	1,5	400	<7	5	-	150
КУ215А	40	10,0	10И	3,0	1000И	<50И	500	1000	150
2У215А	40	10,0	10И	3,0	1000И	<50И	500	1000	150
КУ215Б	40	10,0	10И	3,0	800И	<50И	250	600	150
2У215Б	40	10,0	10И	3,0	800И	<50И	250	600	150
КУ215В	40	10,0	10И	3,0	600И	<50И	250	400	200
КУ222А	150	10	10И	3,5	2000И	<50И	200	1000	170
2У222А	150	10	10И	3,5	2000И	<50И	200	1000	170
КУ222Б	150	10	10И	3,5	2000И	<50И	200	1000	300
2У222Б	150	10	10И	3,5	2000И	<50И	200	1000	300
КУ222В	150	10	10И	3,5	1600И	<50И	200	1000	170
2У222В	150	10	10И	3,5	1600И	<50И	200	1000	170
КУ222Г	150	10	10И	3,5	1600И	<50И	200	1000	300
2У222Г	150	10	10И	3,5	1600И	<50И	200	1000	300

КУ222Д	150	10	10И	3,5	1200И	<50И	200	1000	170
2У222Д	150	10	10И	3,5	1200И	<50И	200	1000	300
2У229А	150И	200И	1,0	50И	1000	<20И	50	500	15
2У229Б	150И	200И	1,0	50И	1000	<20И	50	500	35
2У229В	150И	200И	1,0	50И	1000	<20И	50	500	35
2У229Г	150И	200И	1,0	50И	1000	<20И	50	500	50
2У229Д	150И	200И	1,0	50И	1000	<20И	50	500	50
2У229Е	150И	200И	1,0	50И	800	<20И	50	500	15
2У229Ж	150И	200И	1,0	50И	800	<20И	50	500	50
2У229И	150И	200И	1,0	50И	800	<20И	50	500	50
2У229К	150И	200И	1,0	50И	600	<20И	50	500	15
2У229Л	150И	200И	1,0	50И	600	<20И	50	500	50
2У229М	150И	200И	1,0	50И	1000	<20И	50	500	35
2У229Н	150И	200И	1,0	50И	800	<20И	50	500	35

KY701A	100	20	6,0	3,0	800	3/5	100	100	30
2Y701A	100	20	3,5	2,0	800	<3,5	120	100	30
KY710Б	100	20	6,0	2,0	800	3/5	100	100	60
2Y701Б	100	20	3,5	2,0	800	<3,5	120	100	40
KY701В	100	20	6,0	3,0	800	3/5	100	100	40
2Y701В	100	20	3,5	2,0	600	<3,5	120	100	30
KY701Г	100	20	6,0	2,0	800	3/5	100	100	120
2Y701Г	100	20	3,5	2,0	600	<3,5	120	100	40
KY701Д	100	20	6,0	3,0	600	3/5	100	100	30
KY701Е	100	20	6,0	2,0	600	3/5	100	100	60
KY701Ж	100	20	6,0	3,0	600	3/5	100	100	40
KY701И	100	20	6,0	2,0	600	3/5	100	100	120
KY702A	150	20	20И	3,5	2000И	<7	200	100	150
2Y702A	150	20	15И	3,5	2000И	<7	120	100	135
KY702Б	150	20	20И	3,5	2000И	<7	200	100	250
2Y702Б	150	20	15И	3,5	2000И	<7	250	100	250
KY702В	150	20	20И	3,5	1600И	<7	200	100	150
2Y702В	150	20	15И	3,5	1600И	<7	120	100	250
KY702Г	150	20	20И	3,5	1600И	<7	200	100	250
2Y702Г	150	20	15И	3,5	1600И	<7	250	100	250
KY702Д	150	20	20И	3,5	1200И	<7	200	100	150
KY702Е	150	20	20И	3,5	1200И	<7	200	100	250
KY706A	150	40	20И	3,0	1600И	25/40И	200	1000	150
2Y706A	150	40	1,5	2,5	1600И	25/40И	200	1000	130
KY706Б	150	40	20И	3,0	1200И	25/40И	200	1000	150
2Y706Б	150	40	1,5И	2,5	1200И	25/40И	200	1000	130
KY706В	150	40	20И	3,0	1000И	25/40И	200	1000	150

12.2. Тиристоры низкочастотные

Тип прибора	I _{осм.} А	I _{сч.} мА	I _{вкл.} мА	U _{осм.} В	U _{зсм.} В	U _{ум.} В	t _{вкл.} мкс	Тип рекомендуемого охладителя
1	2	3	4	5	6	7	8	9
T112-10	10	2,5	100	1,85	от	7,5	10	011-60
T112-16	16	2,5	100	1,85	100	7,5	10	011-60
T122-20	20	3,0	130	1,75	до	7,5	10	0221-60
T122-25	25	3,0	130	1,75	1200	7,5	10	0221-60
T132-40	40	5,0	150	1,75	от	9,0	10	0231-80
T132-50	50	5,0	150	1,75	100	9,0	10	0231-80
T142-63	63	6,0	210	1,65	до	10,0	10	0241-80
T142-80	80	6,0	210	1,65	200	10,0	10	0241-80
T151-100	100	15	700	1,85	от	5,5	25	0151-80
T161-125	125	15	700	1,75	300	5,5	25	0171-80
T161-160	160	15	700	1,75	до	5,5	25	0171-80
T171-200	200	30	700	1,75	до	5,5	25	0181-110
T171-250	250	30	700	1,75	1600	5,5	25	0181-110
T171-320	320	30	700	1,60	до	5,5	25	0181-110
<i>Тиристоры таблеточного исполнения</i>								
T123-200	200	15	700	1,9	400-1600	9,0	25	0123-100
T132-250	250	15	700	1,75	400-1200	9,0	25	0123-100
T123-320	320	15	700	1,65	400-800	9,0	25	0123-100
T133-320	320	35	700	2,0	900-2000	9,0	25	0143-150
T133-400	400	30	700	1,75	400-1600	9,0	25	0143-150
T143-400	400	50	700	2,15	1800-2400	9,0	30	0243-150

T143-500	500	30	700	1,80	400-1600	9,0	25	0243-150
T143-630	630	30	700	1,75	400-1200	9,0	25	0243-150
T153-630	630	50	700	2,1	1300-2400	9,0	30	0153-150
T153-800	800	50	700	1,9	1000-1800	9,0	30	0153-150
T253-800	800	70	700	2,1	2000-2400	9,0	30	0153-150
T253-1000	1000	70	700	1,8	1000-1800	9,0	30	0153-150
T253-1250	1250	70	700	1,6	400-1200	9,0	30	0153-150
<i>Тиристоры лавинные низкочастотные</i>								
TЛ171-250	250	35	600	2,05	700-	6,0	10	0281-80
TЛ171-320	320	35	600	1,65	-1100	6,0	10	0281-110

12.3. Тиристоры быстродействующие ТБ

Тип прибора	I _{осм.} А	I _{сч.} мА	I _{вкл.} мА	U _{осм.} В	U _{зсм.} В	U _{ум.} В	t _{вкл.} мкс	Тип рекомендуемого охладителя
TБ151-50	50	20	300	2,50	500-	5	2	0151-80
TБ151-63	60	20	300	2,15	до	5	2	0151-80
TБ161-80	80	30	400	2,60	до	5	2	0161-80
TБ161-100	100	30	400	2,15	до	5	2	0161-80
TБ171-160	160	40	500	2,0	до	5	2	0181-110
TБ171-200	200	40	500	1,75	-1200	5	2	0181-110
<i>Тиристоры таблеточного исполнения</i>								
TБ133-200	200	40	500	2,4	600-	5	2	
TБ133-250	250	50	500	2,0	до	5	2	
TБ143-320	320	50	600	2,5	до	5	2,5	0343-150
TБ143-400	400	70	600	2,1	до	5	3,2	
TБ153-630	630	40	700	2,2	-1200	5	3,2	
TБ153-800	800	70	700	2,2	600-	5	3,2	
TБ253-800	800	70	700	1,8	до	5	4,0	0350-350
TБ253-1000	1000	70	700	2,25	-1400	5	4,0	

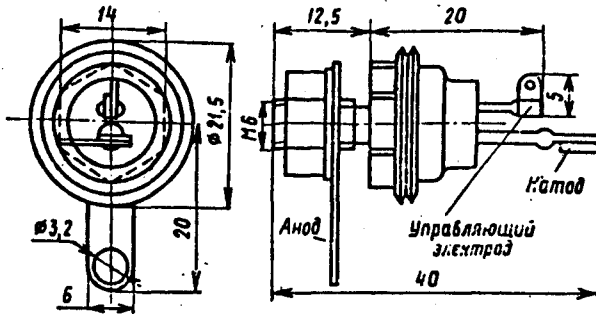
12.4. Тиристоры симметричные ТС

Тип прибора	I _{осм.} А	I _{сч.} мА	I _{вкл.} мА	U _{осм.} В	U _{зсм.} В	U _{ум.} В	t _{вкл.} мкс	Тип рекомендуемого охладителя
ТС161-160	160	15	500	1,75	от200	8,5	20	0171-80
ТС161-200	200	15	500	1,6	до1200	8,5	20	0171-80
ТСJ71-250	250	25	500	1,7	до1200	8,5	20	0181-80
ТС171-320	320	25	500	1,5	до1200	8,5	20	0181-80

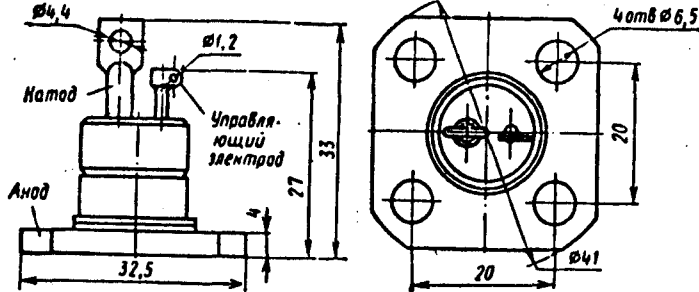
12.5. Тиристоры-диоды быстродействующие ТД4

Тип прибора	I _{осм.} А	I _{сч.} мА	I _{вкл.} мА	U _{осм.} В	U _{зсм.} В	U _{ум.} В	t _{вкл.} мкс	Тип рекомендуемого охладителя
ТД4171-125/50	125	50	350	2,2	1600-	5	32-	0181-110
ТД4171-160/63	160	63	350	2,2	-1600	5	-63	0181-110
ТД4153-320/125	320	125	350	2,7	600-	6	32-	0153-150
ТД4153-400/160	400	160	350	2,7	-1600	6	-63	0153-150

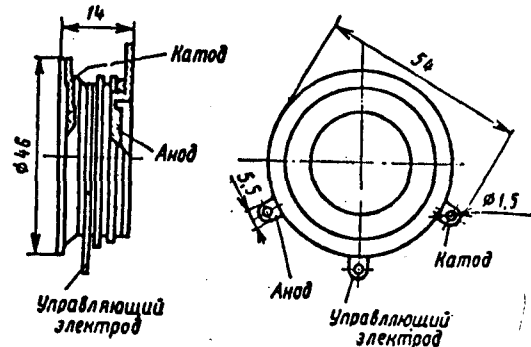
2У201(А-Л), КУ201(А-Л)
2У202(Д-Н), КУ202(А-Н)



2У215(А,Б), КУ215(А-Б)



2У222(А-Г), КУ222(А-Г)



Эскизы тиристоров

ГЛАВА 15. ТРАНЗИСТОРЫ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Транзисторы большой мощности биполярные до 100 Вт и силовые с током коллектора до 100 А широко используются в преобразователях, переключателях и усилительных устройствах, в регулируемых электроприводах. Транзисторы соответствуют ТУ 16-729.308-81, ТУ 16-729. 911-81 и другим стандартам и выпускаются в штыревом (транзисторы ТК 142 от 40 до 63 А и ТК 152 от 80 до 100 А) и фланцевом исполнении.

Транзисторы допускают эксплуатацию при температуре окружающей среды от 60 до +45 °С при атмосферном давлении 0,085-0,105 Мпа, относительной влажности 98% при 35 °С. Максимально допустимая температура перехода от - 45, - 60 до +125, +100.

Обозначение основных параметров:

$P_{к\max}$ - наибольшая постоянная мощность, рассеиваемая коллектором.

$I_{к\max}$ - длительно допустимый наибольший постоянный ток коллектора.

$I_{кн\max}$ - наибольший допустимый импульсный ток коллектора ($t_n=10\text{мс}$).

$U_{кэ\max}$ - наибольшее постоянное напряжение коллектор-эмиттер.

$U_{кэи\max}$ - наибольшее импульсное напряжение коллектор-эмиттер.

$U_{кэнас}$ - напряжение насыщения коллектор-эмиттер.

$I_{кн}$ - ток насыщения коллектора.

$h_{21э}$ - коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером.

$I_{Б\max}$ - наибольший допустимый постоянный ток базы.

$U_{ЭБ\max}$ - наибольшее допустимое постоянное напряжение эмиттер-база.

$f_{гр}$ - допустимая (граничная) частота.

Сведения о биполярных низкочастотных транзисторах серии КТ приведены в таблице 15.1.

В таблице 15.2. приведены основные данные о силовых кремниевых транзисторах серии ТК.

15.1. Транзисторы низкочастотные серии КТ

Тип прибора	Структура	$P_{к\max}$, Вт	$I_{к\max}$, А	$U_{кэ\max}$, В	$h_{21э}$ min/max	$f_{гр}$, МГц	$U_{кэ\max}$, В
1	2	3	4	5	6	7	8
КТ504А	NPN	10	1,0	350	15/140	20,0	1,0
2Т504А		10	1,0	350	15/140	20,0	1,0
КТ504Б		10	1,0	200	15/140	20,0	1,0
2Т504Б		10	1,0	200	15/140	20,0	1,0
КТ504В		10	1,0	275	15/140	20,0	1,0
2Т504В		10	1,0	275	15/140	20,0	1,0
КТ505А	PNP	5	1,0	300	25/140	20,0	1,8
2Т505А		5	1,0	300	25/140	20,0	1,8
КТ505Б		5	1,0	250	25/140	20,0	1,8
2Т505Б		5	1,0	250	25/140	20,0	1,8
2Т505В		5	0,02	400	15/100	5,0	1,0
КТ506А		NPN	5	2,0	800	30/150	10,0
2Т506А	5		2,0	800	30/150	10,0	0,6

KT506B		5	2,0	600	30/150	10,0	0,6	
2T506B		5	2,0	600	30/150	10,0	0,6	
KT626A	PNP	9,0	1,5	45	40/250	75	1,0	
KT626B		9,0	1,5	60	30/100	75	1,0	
KT626Г		9,0	1,5	80	40/120	75	1,0	
KT626Д		9,0	1,5	20	15/60	45	1,0	
KT626E		9,0	1,5	20	40/250	45	1,0	
KT626Ж		9,0	1,5	30	80/200	80	0,25	
KT646A		NPN	9,0	1,5	25	150/300	80	0,25
KT646B			3,5	1,0	40	40/200	250	0,85
KT646B			3,5	1,0	50	150/300	250	0,25
KT653A		NPN	3,5	1,0	60	100/250	250	0,12
KT653B	5,0		1,0	130	40/150	50	0,5	
KT683A	NPN	5,0	1,0	130	80/250	50	0,5	
KT683B		8,0	1,0	150	40/120	50	0,45	
KT683B		8,0	1,0	120	80/240	50	0,45	
KT683Г		8,0	1,0	120	40/120	50	0,45	
KT683Г		8,0	1,0	100	40/120	50	0,45	
KT683Д		8,0	1,0	60	80/240	50	0,45	
KT683E		8,0	1,0	60	160/480	3,0	0,45	
2T708A		PNP	5,0	2,5	100	500/1800	3,0	2,0
2T708B			5,0	2,5	80	750/2100	3,0	2,0
2T709A			5,0	2,5	60	750/2100	3,0	2,0
2T709B	30		10,0	100	500/1800	3,0	2,0	
2T709B	30		10,0	60	750/2100	3,0	2,0	
2T709B	30		10,0	60	750/2100	3,0	2,0	
KT710A	NPN	50	5,0	300	3,5/10	3,0	3,5	
KT712A	PNP	50	10,0	200	500/1000	3,0	2,0	
KT712B		50	10,0	160	400/1000	3,0	2,0	
2T718A	NPN	200	16,0	160	15/40	0,2	1,0	
2T718B		200	10,0	400	20/60	0,2	1,0	
KT719A	NPN	10	1,5	120	20/275	3,0	0,6	
KT720A	PNP	10	1,5	120	20/275	3,0	0,6	
KT721A	NPN	25	3,0	120	20/275	3,0	0,6	
KT722A	PNP	25	3,0	120	20/275	3,0	0,6	
KT723A	NPN	60	10,0	120	20/275	3,0	4,0	
KT724A	PNP	60	10,0	120	20/275	3,0	4,0	

KT728A	NPN	115	15,0	60	20/70	2,5	1,1	
KT805AM	NPN	30	5,0	160	15/60	20,0	2,5	
KT805BM		30	5,0	135	15/60	20,0	2,5	
KT805BM		30	5,0	135	15/60	20,0	2,5	
KT805ГМ		30	5,0	70	25/80	20,0	3,0	
KT808AM	NPN	70	10,0	130	20/125	7,0	2,0	
KT808A1		70	10,0	130	20/125	7,0	2,0	
KT808BМ		70	10,0	100	20/125	7,0	2,0	
KT808B1		70	10,0	100	20/125	7,0	2,0	
KT808BM		70	10,0	80	20/125	7,0	2,0	
KT808B1		70	10,0	80	20/125	7,0	2,0	
KT808ГМ		70	10,0	70	20/125	7,0	2,0	
KT808Г1		70	10,0	70	20/125	7,0	2,0	
KT812A		NPN	50	8,0	400	4/10	1,0	2,5
2T812A			50	10,0	500	5/30	1,0	2,5
2T812B	50		8,0	500	4/10	1,0	2,5	
2T812B	50		10,0	400	5/30	1,0	2,5	
KT816A	PNP	25	3,0	40	25/275	3,0	0,33	
KT816B		25	3,0	45	25/275	3,0	0,33	
KT816B		25	3,0	60	25/275	3,0	0,33	

KT816Г	NPN	25	3,0	100	25/275	3,0	0,33	
KT817A		25	3,0	40	25/275	3,0	0,33	
KT817B		25	3,0	45	25/275	3,0	0,33	
KT817B		25	3,0	60	25/275	3,0	0,33	
KT817Г		25	3,0	100	25/275	3,0	0,33	
KT818A		PNP	60	10,0	40	15/225	3,0	2,0
KT818AM			100	10,0	40	15/250	3,0	2,0
KT818A1			100	15,0	40	15/275	3,0	2,0
2T818A			100	15,0	100	20/200	3,0	1,0
KT818B			60	10,0	50	20/225	3,0	2,0
KT818BМ	100		10,0	50	20/225	3,0	2,0	
KT818B1	100		15,0	50	20/275	3,0	2,0	
2T818B	100		15,0	80	20/200	3,0	1,0	
KT818B	60		10,0	70	15/225	3,0	2,0	
KT818BM	100		10,0	70	15/225	3,0	2,0	
KT818B1	100	15,0	70	15/275	3,0	2,0		
2T818B	100	15,0	60	20/200	3,0	1,0		
KT818Г	NPN	60	10,0	90	12/225	3,0	2,0	
KT818ГМ		100	10,0	90	12/225	3,0	2,0	
KT818Г1		100	15,0	90	12/275	3,0	2,0	
KT819A		60	10,0	40	15/275	3,0	2,0	
KT819AM		100	15,0	40	15/275	3,0	2,0	
KT819A1		100	15,0	40	15/275	3,0	2,0	
2T819A		100	15,0	100	20/200	3,0	1,0	
KT819B		60	10,0	50	20/275	3,0	2,0	
KT819BМ		100	15,0	50	20/275	3,0	2,0	
KT819B1		100	15,0	50	20/275	3,0	2,0	
2T819B	100	15,0	80	20/200	3,0	1,0		
KT819B	60	10,0	70	15/275	3,0	2,0		
KT819BM	100	15,0	70	15/275	3,0	2,0		
KT819B1	100	15,0	70	15/275	3,0	2,0		
2T819B	100	15,0	60	20/200	3,0	1,0		
KT819	60	10,0	100	12/275	3,0	2,0		
KT819ГМ	100	15,0	100	12/275	3,0	2,0		
KT819Г1	100	15,0	90	12/275	3,0	2,0		

KT822A-1	PNP	20	2,0	45	>25	3,0	0,6
KT822B-1		20	2,0	60	>25	3,0	0,6
KT822B-1		20	2,0	100	>25	3,0	0,6
KT823A-1	NPN	20	2,0	45	>25	3,0	0,6
KT823B-1		20	2,0	60	>25	3,0	0,6
KT823B-1		20	2,0	100	>25	3,0	0,6
2T825A	PNP	125	20,0	100	500/18000	4,0	2,0
2T825B		125	20,0	80	750/18000	4,0	2,0
2T825B		125	20,0	60	750/18000	4,0	2,0
KT825Г		125	20,0	90	750/18000	4,0	2,0
KT825Д		125	20,0	60	750/18000	4,0	2,0
KT825E		125	20,0	30	750/18000	4,0	2,0
2T826A	NPN	15	1,0	700	10/120	6,0	2,5
2T826B		15	1,0	700	10/120	6,0	2,5
2T826B		15	1,0	700	10/120	6,0	2,5
KT827A	NPN	125	20,0	100	750/18000	4,0	2,0
2T827A		125	20,0	100	750/18000	4,0	2,0
KT827B		125	20,0	80	750/18000	4,0	2,0
2T827B		125	20,0	80	750/18000	4,0	2,0
KT827B		125	20,0	60	750/18000	4,0	2,0
2T827B		125	20,0	60	750/18000	4,0	2,0
2T828A	NPN	50	5,0	800	2,2/25	4,0	3,0

2T828Б		50	5,0	600	2,2/25	4,0	3,0
KT829A	NPN	60	8,0	100	750/	4,0	2,0
KT829B		60	8,0	80	750/	4,0	2,0
KT829Г		60	8,0	45	750/	4,0	2,0
KT830А		5,0	2,0	30	20/50	4,0	0,8
2T830A	PNP	5,0	2,0	30	25/55	4,0	0,6
KT830Б		5,0	2,0	60	20/50	4,0	0,8
2T830Б		5,0	2,0	50	25/55	4,0	0,6
KT830В		5,0	2,0	80	20/50	4,0	0,8
2T830В		5,0	2,0	70	25/55	4,0	0,6
KT830Г		5,0	2,0	100	20/50	4,0	0,8
2T830Г		5,0	2,0	90	25/55	4,0	0,6
KT831A	NPN	5,0	2,0	30	20/150	4,0	0,8
2T831A		5,0	2,0	30	25/200	4,0	0,6
KT831Б		5,0	2,0	60	20/150	4,0	0,8
2T831Б		5,0	2,0	50	25/200	4,0	0,6
KT831В		5,0	2,0	80	20/150	4,0	0,8
2T831В		5,0	2,0	70	25/200	4,0	0,6
KT831Г		5,0	2,0	100	20/150	4,0	0,8
2T831Г		5,0	2,0	90	20/150	4,0	0,6
KT834A	NPN	100	15,0	500	150/3000	4,0	2,0
2T834A		100	15,0	500	150/3000	4,0	2,0
KT834Б		100	15,0	450	150/3000	4,0	2,0
2T834Б		100	15,0	450	150/3000	4,0	2,0
KT834В		100	15,0	400	150/3000	4,0	2,0
2T834В		100	15,0	400	150/3000	4,0	2,0
KT835A	PNP	6,2	3,0	30	25/125	1,0	0,35
KT835Б		6,2	7,5	30	10/100	1,0	2,5
2T836A	PNP	5,0	3,0	90	20/250	4,0	0,6
2T836Б		5,0	3,0	85	20/250	4,0	0,35
2T836В		5,0	3,0	60	20/250	4,0	0,45

KT837A	PNP	30	7,5	70	10/40	1,0	2,5
2T837A		30	8,0	70	15/120	3,0	0,9
KT837Б		30	7,5	70	20/80	1,0	2,5
2T837Б		30	8,0	55	30/150	3,0	0,9
KT837В		30	7,5	70	50/150	1,0	2,5
2T837В		30	8,0	40	40/180	3,0	0,9
KT837Г		30	7,5	70	10/40	1,0	0,9
2T837Г		30	8,0	70	15/120	3,0	0,9
KT837Д		30	7,5	55	20/80	1,0	0,9
2T837Д		30	7,5	55	30/150	3,0	0,9
KT837Е		30	7,5	55	50/150	1,0	0,9
2T837Е		30	7,5	55	50/150	3,0	0,9
KT837Ж		30	7,5	40	10/40	1,0	0,5
KT837И		30	7,5	40	20/80	1,0	0,5
KT837К		30	7,5	40	50/150	1,0	0,5
KT837Л		30	7,5	70	10/40	1,0	2,5
KT837М		30	7,5	70	20/80	1,0	2,5
KT837Н		30	7,5	70	50/150	1,0	2,5
KT837П		30	7,5	55	10/40	1,0	0,9
KT837Р		30	7,5	55	20/80	1,0	0,9
KT837С	30	7,5	55	50/150	1,0	0,9	
KT837Т	30	7,5	40	10/40	1,0	0,5	
KT837У	30	7,5	40	20/80	1,0	0,5	
KT837Ф	30	7,5	40	50/150	1,0	0,5	

KT837X	NPN	30	7,5	70	15/60	1,0	0,5	
KT838A		52	5,0	700	5/35	10,0	5,0	
KT838Б		52	5,0	650	6/45	10,0	5,0	
2T839A		50	10,0	700	10/40	20,0	1,5	
KT840A	NPN	60	6,0	400	10/60	8,0	3,0	
KT840Б		60	6,0	350	10/60	8,0	3,0	
KT840В	NPN	60	6,0	375	10/100	8,0	3,0	
KT841A		30	10,0	600	12/45	10,0	1,5	
2T841A		50	10,0	600	12/45	5,0	1,5	
KT841Б		50	10,0	400	12/45	10,0	1,5	
2T841Б		50	10,0	400	12/45	5,0	1,5	
KT841В		50	10,0	800	10/40	10,0	1,5	
KT842A		PNP	50	5,0	300	15/80	20,0	1,8
2T842A			50	5,0	300	15/80	20,0	1,8
KT842Б	50		5,0	200	15/80	20,0	1,8	
2T842Б	NPN	50	5,0	200	15/80	20,0	1,8	
KT846A		52	5,0	700	6/35	5,0	1,5	
KT846Б		52	5,0	600	6/35	5,0	1,5	
KT846В		52	5,0	700	6/35	2,0	1,5	
KT847A	NPN	125	15,0	650	8/25	15,0	1,5	
2T847A		125	15,0	650	8/25	15,0	1,5	
KT847Б		125	15,0	650	8/25	15,0	1,5	
2T847Б	NPN	125	15,0	650	8/25	15,0	1,5	
KT848A		35	15,0	520	20/80	3,0	2,0	
2T848A		35	15,0	400	20/60	3,0	2,0	
KT848Б		35	15,0	400	20/80	3,0	2,0	
KT850A	NPN	25	2,0	200	40/200	20,0	1,0	
KT850Б		25	2,0	250	20/80	20,0	1,0	
KT850В		25	2,0	150	20/80	20,0	1,0	

KT851A	PNP	25	2,0	200	40/200	20,0	1,0
KT851Б		25	2,0	250	20/80	20,0	1,0
KT851В	PNP	25	2,0	150	20/80	20,0	1,0
KT852A		50	2,5	100	500/3000	7,0	2,5
KT852A		50	2,5	80	500/3000	7,0	2,5
KT852Б		50	2,5	60	500/3000	7,0	2,5
KT852Г		50	2,5	45	500/3000	7,0	2,5
KT853A		PNP	60	8,0	100	750/3000	7,0
KT853Б	60		8,0	80	750/3000	7,0	2,0
KT853В	60		8,0	60	750/3000	7,0	2,0
KT853Г	60		8,0	45	750/3000	7,0	2,0
KT854A	NPN	60	10,0	500	20/80	10,0	2,0
KT854Б		60	10,0	300	20/80	10,0	2,0
KT855A	PNP	40	5,0	250	20/80	5,0	1,0
KT855Б		40	5,0	150	20/80	5,0	1,0
KT855В		40	5,0	150	15/60	5,0	1,0
KT856A		75	10,0	800	10/60	10,0	1,5
KT856A1	NPN	50	10,0	800	10/60	10,0	1,5
2T856A		75	10,0	950	10/30	10,0	1,5
KT856Б		75	10,0	600	10/60	10,0	1,5
KT856Б1		50	10,0	600	10/60	10,0	1,5
2T856Б		75	10,0	750	10/60	10,0	1,5
2T856В		75	10,0	550	10/60	10,0	1,5
2T856Г		75	10,0	950	10/60	10,0	1,5
KT857A	NPN	60	7,0	250	7/25	9,9	1,0
2T858A	NPN	60	7,0	400	10/60	9,9	1,0
KT858Б		40	7,0	400	10/60	9,9	1,0
KT859A	NPN	40	3,0	800	10/60	9,9	1,5

2T862A		70	15,0	250	10/100	20,0	2,0
KT862B		50	15,0	250	12/100	20,0	2,0
2T862B		50	15,0	250	10/100	20,0	2,0
KT862B	NPN	50	10,0	350	10/60	20,0	1,5
2T862B		50	10,0	350	12/50	20,0	1,5
KT862Г		50	10,0	400	12/50	20,0	1,5
2T862Г		50	10,0	400	12/50	20,0	1,5
2T863A	NPN	50	10,0	30	100/500	4,0	0,3
KT863B		50	10,0	30	70/300	4,0	0,5
KT864A	NPN	100	10,0	200	40/200	15,0	2,0
KT865A	PNP	100	10,0	200	40/200	15,0	2,0
KT866A	NPN	30	20,0	160	15/100	6,0	1,5
2T866A		30	20,0	160	15/100	6,0	1,5
KT867A	NPN	100	25,0	200	12/100	6,9	1,0
2T867A		100	25,0	200	12/100	6,9	1,2
KT868A	NPN	70	6,0	400	10/60	8,0	1,5
KT868B		70	6,0	375	10/60	8,0	1,5
KT872A		100	8,0	700	6/35	3,0	1,0
KT872B	NPN	100	8,0	700	6/35	3,0	1,0
KT872B		100	8,0	600	6/35	3,0	1,0
KT874A		75	30,0	100	15/50	20,0	1,2
2T874A	NPN	75	30,0	100	15/50	20,0	1,0
KT874B		75	30,0	120	10/40	20,0	1,2
KT874B		75	30,0	120	10/40	20,0	1,0

KT878A		100	30,0	900	12/50	10,0	1,5
2T878A		100	25,0	800	12/50	10,0	1,5
KT878B	NPN	100	30,0	800	12/50	10,0	1,5
2T878B		100	25,0	600	12/50	10,0	1,5
KT878B		100	30,0	600	12/50	10,0	1,5
2T878B		100	25,0	600	12/50	10,0	1,5
KT879A		250	50,0	200	10/40	10,0	2,0
2T879A	NPN	250	50,0	200	20/80	10,0	1,2
KT879B		250	50,0	150	10/40	10,0	2,5
2T879B		250	50,0	200	15/60	10,0	2,0
2T880A		10	2,0	100	80/250	30,0	0,35
2T880B	PNP	10	2,0	80	80/250	30,0	0,35
2T880B		10	2,0	50	80/250	30,0	0,35
2T881A		10	2,0	100	80/250	30,0	0,35
2T881B	NPN	10	2,0	80	80/250	30,0	0,35
2T881B		10	2,0	50	80/250	30,0	0,35
KT886A1	NPN	75	10,0	1400	6/25	15,0	1,0
KT886B1		75	10,0	1000	6/25	15,0	1,0
KT890A		120	20,0	650	180/750	40,0	1,6
KT890A1		60	20,0	650	180/750	40,0	1,8
KT890B	NPN	120	20,0	500	180/750	40,0	1,6
KT890B1		60	20,0	500	180/750	40,0	1,8
KT890B		120	20,0	350	180/750	40,0	1,6
KT892A		100	15,0	350	300/6000	20,0	1,8
2T892A		100	15,0	400	300/6000	20,0	1,8
KT892B	NPN	100	15,0	400	300/6000	20,0	1,8
2T892B		100	15,0	350	300/6000	20,0	1,8
KT892B		100	15,0	300	300/6000	20,0	1,8
2T892B		100	15,0	300	300/6000	20,0	1,8
KT894A9		80	8,0	700	10/60	7,0	2,0
KT894A91	NPN	40	8,0	700	10/60	7,0	1,5
KT894B9		80	8,0	500	10/60	7,0	2,0

KT894B91		80	8,0	500	10/60	7,0	1,5
KT895A9	NPN	80	8,0	700	40/100	7,0	1,0
KT895A91		34	8,0	700	40/100	7,0	1,0
KT896A	PNP	75	20,0	90	750/1800	7,0	2,0
KT896B		75	20,0	60	750/1800	7,0	2,0
KT897A	NPN	150	20,0	350	400/1200	10,0	1,6
KT897B		150	20,0	200	400/1200	10,0	1,6
KT898A		125	20,0	350	400/1200	10,0	1,6
KT898A1	NPN	60	20,0	350	400/1200	10,0	1,6
KT898B		125	20,0	200	400/1200	10,0	1,6
KT898B1		60	20,0	200	400/1200	10,0	1,6
KT8101A	NPN	150	16,0	200	20/80	10	2,0
KT8101B		150	16,0	160	20/80	10	2,0
KT8102A	PNP	150	16,0	200	20/80	10	2,0
KT8102B		150	16,0	160	20/80	10	2,0
KT8106A	NPN	125	20,0	90	750/18000	4,0	2,0
KT87106B		125	20,0	60	750/18000	4,0	2,0
KT8107A		100	8,0	700	2,3/10	6,9	1,0
KT8107A1		100	8,0	700	2,3/10	6,9	1,0
KT8107B	NPN	100	8,0	700	2,3/10	6,9	3,0
KT8107B1		100	8,0	700	2,3/10	6,9	3,0
KT8107B		100	8,0	700	2,3/10	6,9	1,0

KT8107B1		100	8,0	700	2,3/10	6,9	1,0
KT8107Г	NPN	100	8,0	700	2,3/10	6,9	3,0
KT8107Г1		100	8,0	700	2,3/10	6,9	3,0
KT8107Д2		100	8,0	1200	1,7/8	6,9	1,0
KT8107E2		100	8,0	1200	1,7/8	6,9	1,0
KT8109A	NPN	40	5,0	350	180/750	9,9	2,0
KT8110A		60	7,0	400	15/30	3,0	0,8
KT8110B	NPN	60	7,0	400	15/30	3,0	0,8
KT8110B		60	7,0	400	15/30	3,0	0,8
KT8111A9		125	20,0	100	750/18000	1,0	2,0
KT8111B9	NPN	125	20,0	80	750/18000	1,0	2,0
KT8111B9		125	20,0	60	750/18000	1,0	2,0
KT8115A	PNP	65	8,0	100	3000/10000	1,0	2,0
KT8116A	NPN	65	8,0	100	1000/10000	1,0	2,0
KT8117A	NPN	100	10,0	400	10/50	1,0	1,5
KT8118A	NPN	50	1,5	800	10/50	1,0	2,0
KT8121A		100	8,0	1500	10/50	3,0	1,0
KT8121A1		100	8,0	1500	10/50	3,0	1,0
KT8121A2	NPN	100	8,0	1500	10/50	3,0	1,0
KT8121B		100	8,0	1500	12/60	3,0	1,0
KT8121B1		100	8,0	1500	12/60	3,0	1,0
KT8121B2		100	8,0	1500	12/60	3,0	1,0
KT8126A	NPN	80	4,0	400	6/60	4,0	1,5
KT8134A	PNP	25	4,0	20	40/250	3,0	0,4
KT8135A	NPN	25	4,0	20	40/250	3,0	0,4
KT8137A	NPN	40	1,5	700	80/25	4,0	0,5
KT8141A		60	8,0	100	750/10000	7,0	2,0
KT8141B		60	8,0	80	750/10000	7,0	2,0
KT8141B	NPN	60	8,0	60	750/10000	7,0	2,0
KT8141Г		60	8,0	45	750/10000	7,0	2,0
KT8144A	NPN	175	25,0	800	10/50	1,0	1,5
KT8144B		175	25,0	600	10/50	1,0	1,5
KT8146A	NPN	175	15,0	800	5/45	5,0	1,5
KT8146B		175	15,0	600	5/45	5,0	1,5

КТ8147А	NPN	175	10,0	700	10/45	5,0	1,0
КТ8147Б		175	10,0	500	10/45	5,0	1,0
КТ8149А	PNP	115	15,0	70	20/100	3,0	1,1
КТ8149А1		115	15,0	70	20/100	3,0	1,1
КТ8149А2		115	10,0	70	20/100	3,0	1,1
КТ8150А	NPN	115	15,0	70	20/100	3,0	1,1
КТ8150А1		115	15,0	70	20/100	3,0	1,1
КТ8150А2		115	10,0	70	20/100	3,0	1,1
2Т903А	NPN	30	3,0	60	15/70	2,0	2,0
2Т903Б		30	3,0	60	40/180	2,0	2,0
КТ904А	NPN	5,0	0,8	60	10/60	5,0	1,0
2Т904А		5,0	0,8	65	10/60	5,0	0,6
КТ904Б		5,0	0,8	60	10/60	5,0	1,0
КТ907А	NPN	13,5	1,0	60	10/60	5,0	1,0
2Т907А		13,5	1,0	100	10/80	10,0	0,65
КТ907Б		13,5	1,0	60	10/60	5,0	1,0
КТ908А	NPN	50,0	10,0	100	8/60	10,0	1,5
2Т908А		50,0	10,0	100	8/60	10,0	1,5
КТ908Б		50,0	10,0	60	2/80	10,0	1,5

КТ909А	NPN	27	2,0	60	15/60	10,0	0,3
2Т909А		27	2,0	60	15/60	10,0	0,3
КТ909Б		54	4,0	60	15/60	10,0	0,3
2Т909Б		54	4,0	60	15/60	10,0	0,3
КТ909В		27	2,0	60	15/60	10,0	0,3
КТ909Г		54	4,0	60	15/60	10,0	0,3

15.2. Транзисторы силовые серии ТК

Тип прибора	$I_{к1}$ max, А		$U_{кз1}$ max, В	$U_{кз2}$ max, В	$h_{21э}$ min/max	$U_{бб}$ max, В	$I_{б}$ max, А	
	А	А						
ТК335-16	16	10	300-	1,5	8	7	5	
ТК335-20	20	12,5		1,5	10	7	6	
ТК335-25	25	16		1,5	10	7	7	
ТК335-32	32	20		1,5	10	7	10	
ТК335-40	40	25	-600	1,5	8	7	12	
ТК435-10	10	6		1,5-2,5	8	7	3	
ТК435-16	16	10		1,5-2,5	8	7	5	
ТК435-20	20	12,5		1,5-2,5	8	7	6	
ТК435-25	25	16	-800	1,5-2,5	8	7	7,5	
ТК435-332	32	20		1,5-2,5	8	7	10	
ТК135-16	16	10		45-	0,6-2	10/100	7	3,5
ТК135-25	25	16			0,6-2	10/100	4/6	5,0
ТК235-32	32	20	0,6-2		10/100	4/6	6,5	
ТК235-40	40	25	0,6-2		10/100	4/6	8	
ТК235-50	50	32	-540	0,6-2	10/100	4/6	10	
ТК235-63	63	40		0,6-2	10/100	4/6	13	
ТК142-40	40	25		0,6-2	10/100	4/6	8	
ТК142-63	63	40		0,6-2	10/100	4/6	13	
ТК152-80	80	50	-540	0,6-2	10/100	4/6	16	
ТК152-100	100	63		0,6-2	10/100	4/6	20	

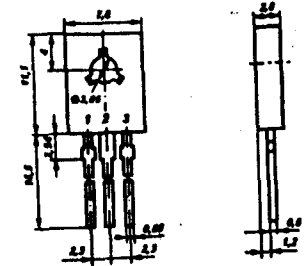
На рисунках Т.1 - Т.8 представлены эскизы транзисторов, данные о которых приведены в главе.

Сведения о транзисторах приведены также в [8,30, 36].



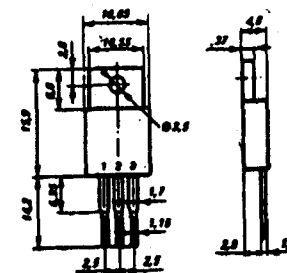
Вариант исполнения	Обозначение вывода		
	1	2	3
1	Э	Б	К

Рис. Т1 КТ-2-7



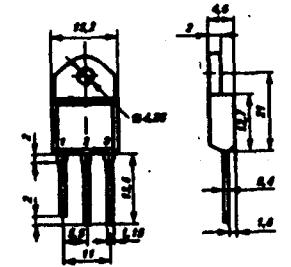
Вариант исполнения	Обозначение вывода		
	1	2	3
1	Э	К	Б
2	3	С	И

Рис.Т2 КТ-27-2



Вариант исполнения	Обозначение вывода		
	1	2	3
1	Б	К	Э
2	Э	К	Б

Рис.Т3 КТ-28-2



Вариант исполнения	Обозначение вывода		
	1	2	3
1	Б	К	Э
2	3	С	И

Рис.Т4 КТ-43-1

Эскизы транзисторов и обозначения исполнения корпусов

ГЛАВА 16. ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

В главе приведены сведения, связанные с поражающим фактором электрического тока на организм человека, использованием защитных средств и устройств в целях безопасной эксплуатации электротехнических установок.

16.1. Основные понятия и определения

Электробезопасностью в соответствии с ГОСТ 12.1.009-76 называется система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

К поражению электрическим током может привести прикосновение человека к токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением. Поражение проявляется в парализующем и разрушительном воздействии тока на внешние и внутренние органы - кожный покров, мышцы, органы дыхания, сердце, нервную систему.

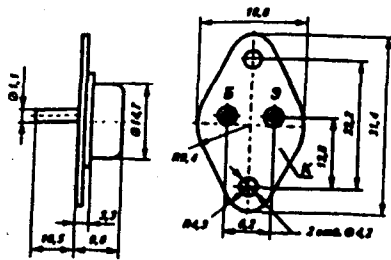
Степень поражения током зависит от ряда факторов, в том числе от величины сопротивления человеческого тела. Это сопротивление зависит от толщины и состояния кожного покрова, его влажности или сухости, состояния здоровья человека, длительности прохождения тока, вида одежды и обуви и т.д. В зависимости от перечисленных обстоятельств оно изменяется в весьма широких пределах от 500 до 100000 Ом. При расчетах сопротивление принимают равным 1000 Ом при напряжении прикосновения 50 В.

Степень поражения зависит от длительности прохождения тока через организм или участок тела человека. Наибольшим сопротивлением обладает кожа человека. Вместе с тем, протекание тока через неё приводит к её обугливанию и последующему резкому снижению общего электрического сопротивления тела и нарастанию тока, вызывающего тепловое разрушение внутренних органов.

Человек ощущает ток величиной в 0,005 А. Ток величиной в 0,05 А считается опасным для жизни, а так в 0,1 А - смертельным. Величина тока, протекающего через организм зависит также от напряжения прикосновения.

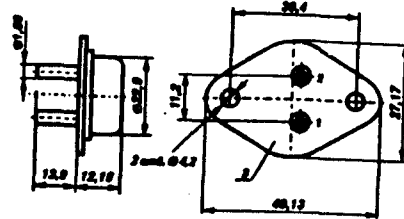
Напряжением прикосновения называется величина, соответствующая разности потенциалов между двумя точками в цепи тока, которых одновременно может коснуться человек.

Допустимые величины напряжения прикосновения и тока в аварийных режимах электроустановок, проходящего через человека, при длительности воздействия тока более 1 с определяются таблицей 16.1:



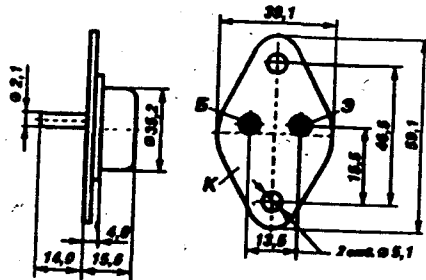
КТ-8

Рис.Т5



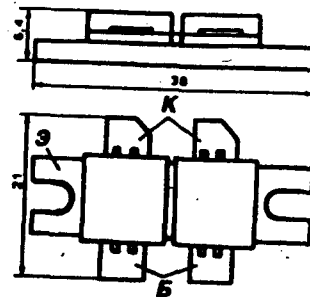
Вариант исполнения	Обозначение выводов		
	1	2	3
1	Б	Б	К
2	Б	Б	К

Рис.Т6 КТ-9



КТЮ-9-4

Рис.Т7



КТ-15

Рис.Т8

Эскизы транзисторов и обозначения исполнения корпусов

16.1. Допустимые величины напряжений и токов прикосновения

Вид тока	Частота, Гц	Напряжение, В	Ток, мА
переменный ток	50	36	6
переменный ток	400	36	8
постоянный ток	0	40	15

Электроустановки классифицируются по виду принимаемых мер электробезопасности на следующие виды:

- 1) электроустановки напряжением выше 1000 В в сетях с эффективно заземленной нейтралью (с большими токами замыкания на землю);
- 2) электроустановки напряжением выше 1000 В в сетях с изолированной нейтралью (с малыми токами замыкания на землю);
- 3) электроустановки напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью;
- 4) электроустановки напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью.

Глухозаземленной называется нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно, либо через малое сопротивление.

Заземляющим устройством называют совокупность электрически надежно связанных *заземлителя* и заземляющих проводников.

Заземлитель - это металлические (как правило, стальные) стержни, заглубленные в землю. Число стержней и глубина, на которую их вбивают, зависят от типа грунта и иных факторов и определяются ПУЭ.

Классификация помещений по электробезопасности.

Помещения, в которых устанавливается электрооборудование, разделяются на следующие виды:

- 1) сухие (относительная влажность не превышает 60%);
- 2) влажные (относительная влажность не превышает 75%);
- 3) особо сырые (относительная влажность близка к 100%);
- 4) жаркие (температура постоянно или периодически более 1 суток превышает +35 °С);
- 5) пыльные (с выделением технологической пыли);
- 6) с химически активной средой (наличие агрессивных газов, паров, жидкостей, разрушающих изоляцию и токоведущие части электроустановки).

По степени опасности поражения людей электрическим током помещения, в которых имеется электрооборудование, делятся на следующие виды:

- 1) помещения без повышенной опасности,
- 2) помещения с повышенной опасностью,

3) особо опасные помещения.

16.2. Основные технические и организационные мероприятия по безопасному проведению работ в действующих электроустановках

В соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок и ГОСТ 12.1.019-79 для защиты персонала от случайного прикосновения к токоведущим частям электрооборудования предусмотрены следующие основные *технические меры*:

- 1) ограждение токоведущих частей;
- 2) применение блокировок электрических аппаратов;
- 3) установка в РУ заземляющих разъединителей;
- 4) устройство защитного отключения электроустановок;
- 5) заземление или зануление электроустановок;
- 6) выравнивание электрических потенциалов на поверхности пола (земли) в зоне обслуживания электроустановок;
- 7) применение разделяющих трансформаторов, применение малых напряжений;
- 8) применение устройств предупредительной сигнализации;
- 9) защита персонала от воздействия электромагнитных полей;
- 10) использование коллективных и индивидуальных средств защиты.

11) выполнение требований *системы стандартов безопасности труда* (ССБТ).

Работы, проводимые в действующих электроустановках, делятся на следующие категории:

- 1) проводимые при полном снятии напряжения;
- 2) проводимые с частично снятым напряжением;
- 3) без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях;
- 4) без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

К *техническим мероприятиям*, выполняемым для обеспечения безопасного ведения работ с полным или частичным снятием напряжения в установках до 1000 В, относятся:

- 1) отключение всех силовых и других трансформаторов со стороны высшего и низшего напряжения с созданием видимого разрыва цепей;
- 2) наложение переносных заземлений. При их отсутствии - принятие дополнительных мер: снятие предохранителей, отключение концов питающих линий, применение изолирующих накладок в рубильниках, и автоматах и другие;

3) проверка отсутствия напряжения указателем напряжения, который предварительно должен быть проверен путем приближения к токоведу-

щим частям, находящимся под напряжением. Проверка осуществляется в диэлектрических перчатках. Применение контрольных ламп разрешается при линейном напряжении до 220 В.

К *техническим мерам*, обеспечивающим безопасность работ без снятия напряжения относятся:

- 1) расположение рабочего места электромонтера таким образом, чтобы токоведущие части, находящиеся под напряжением, либо перед ним, либо с одной стороны;
- 2) использование защитных средств;
- 3) использование глухой, чистой и сухой спецодежды с длинными застегивающимися рукавами и головного убора.

Организационные меры для обеспечения безопасности работ - это выполнение работ в электроустановках *по наряду, распоряжению, в порядке текущей эксплуатации.*

1. **Работы по наряду.** Наряд - это *письменное задание*, определяющее место, время начала и завершения работ, условия их безопасного ведения, состав бригады и лиц, ответственных за безопасность работ. Наряд составляется на бланке установленной формы. По наряду выполняются следующие работы:

- 1) с полным снятием напряжения;
- 2) с частичным снятием напряжения;
- 3) без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением.

2. **Работы по распоряжению.** Распоряжение - это задание на работу в электроустановках, *записанное в оперативном журнале.* Распоряжение имеет разовый характер, выдается на одну работу и действует на одну смену или в течение часа. По распоряжению выполняются работы:

1) без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, продолжительностью не более одной смены (уборка помещений закрытых РУ, ремонт осветительной аппаратуры и замена ламп, уход за щеточно-коллекторными узлами электрических машин и др.);

2) внеплановые кратковременные и небольшие по объему (до 1 часа), вызванные производственной необходимостью, с полным или частичным снятием напряжения, а также без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением (работы на кожухах электрооборудования, измерения токоизмерительными клещами, смена предохранителей до 1000 В, проверка нагрева контактов штангой, определение места вибрации шин штангой, фазировка, контроль изоляторов штангой. Эти работы выполняются не менее чем двумя рабочими в течение не более 1 часа);

3) некоторые виды работ с частичным или полным снятием напря-

жения в установках до 1000 В продолжительностью не более одной смены (ремонт магнитных пускателей, пусковых кнопок, автоматических выключателей, контакторов, рубильников и прочей подобной аппаратуры; установленной вне щитов и сборок; ремонт отдельных электроприемников; ремонт отдельно расположенных блоков управления и магнитных станций, смена предохранителей и другие. Работы выполняются двумя рабочими).

3. **В порядке текущей эксплуатации** выполняют работы по специальному перечню с последующей записью в оперативный журнал: все виды работ по распоряжению, обслуживание наружного и внешнего освещения с уведомлением оперативного персонала о времени и месте работы.

16.3. Защитные средства

К защитным средствам относятся приборы, аппараты, устройства и инструмент, предназначенные для защиты персонала от поражения электрическим током. Защитные средства, сроки их периодичности испытания и осмотра приведены в таблице 16.3.

16.3. Защитные средства и периодичность их испытания

Защитные средства	Напряжение электроустановки, кВ	Срок периодических	
		испытаний	осмотров
Изолирующая штанга (кроме измерительной)	Ниже 110 кВ	1 раз в год	1 раз в год
Измерительная штанга	Ниже 110	1 раз в 3 мес., но не реже 1 раза в год	-
Изолирующие клещи	1 - 35	1 раз в два года	1 раз в год
Токоизмерительные клещи	до 10	То же	1 раз в 6 мес.
Указатель напряжения (изолирующая часть)	Ниже 110	То же	То же
Указатель напряжения (собственно указатель)	До 220	То же	То же
Указатель напряжения (токоискатель)	До 500	1 раз в два года	Перед использованием
Трубки для фазировки	До 10	1 раз в год	1 раз в 6 мес.
Изолирующие средства ремонтных работ под напряжением	Ниже 110	1 раз в 6 мес.	То же
Инструмент с изолирующими ручками	До 1	1 раз в год	То же
Перчатки резиновые диэлектрические	До или выше 1	1 раз в 6 мес.	То же
Боты резиновые диэлектрические	Для всех напряжений	1 раз в три года	1 раз в 6 мес.
Галоши резиновые диэлектрические	До 1	1 раз в год	То же

Коврик резиновый диэлектрический	До 1 или выше 1	1 раз в два года	1 раз в год
Изолирующая подставка	До	-	1 раз в 2 года
Изолирующая жесткая накладка	До 10	1 раз в год	1 раз в год
Изолирующая резиновая накладка	До 1	1 раз в 3 года	То же
Колпак диэлектрический резиновый	До 10	То же	То же
Предохранительный пояс	-	1 раз в 6 мес.	-
Страховочный канат	-	То же	-

При вводе в эксплуатацию электроустановок напряжением до 1000 В предусматривается минимальная норма комплектов защитных средств: указатель напряжения - один, изолирующие клещи - одни, диэлектрические перчатки и галоши - по две пары, электромонтерский инструмент с изолирующими ручками - не менее двух комплектов, переносные заземления - не менее двух штук, предупреждающие плакаты - не менее двух комплектов, диэлектрические коврики - два, временные ограждения - не менее двух комплектов, защитные очки - одна пара, противогаз - один.

16.4. Защитное заземление и защитное зануление

Защитное заземление и зануление, а также другие технические устройства и способы применяют для защиты от поражения электрическим током и обеспечения условий отключения при повреждении изоляции электроустановок.

Защитным заземлением называется электрическое соединение металлических частей электроустановки с заземлителем (рис. 16.4).

Заземлителем называют металлические детали, углубляемые в землю, изготовляемые, как правило, из низкоуглеродистой стали различного профиля: уголок, полоса, прут и др. Заземлители в виде штырей, забиваемые в землю, называют электродами. Они могут быть одиночными или групповыми. Групповые электроды электрически соединенные общей полосой образуют *заземляющий контур*.

Заземление снижает до безопасного значения напряжение прикосновения человека; поскольку человек оказывается при повреждении изоляции включенным в электрическую цепь параллельно заземлителю, сопротивление которого по сравнению с сопротивлением человека значительно меньше. Это существенно снижает величину тока $I_ч$, протекающего через человека, коснувшегося поврежденной установки.

Различают заземление в системах с изолированной нейтралью (рис. 16.4, а) и с глухозаземленной нейтралью (рис. 16.4, б).

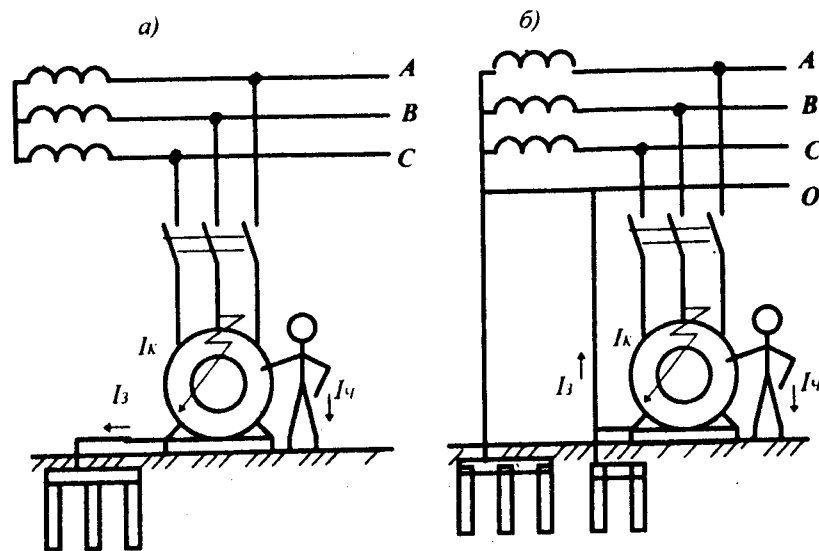


Рис. 16.4. Схемы защитного заземления а) и зануления б) в трехфазной установке

Занулением называется преднамеренное соединение частей электроустановок, нормально не находящихся под напряжением, с глухо заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухо заземленным выводом источника однофазного тока, с глухо заземленной средней точкой источника постоянного тока. Зануление применяется в электроустановках напряжением до 1000 В.

Защитное действие зануления заключается в том, что при повреждении изоляции фазы или фаз установки возникает ток короткого замыкания I_k , который немедленно отключается защитным аппаратом.

Для электроустановок с занулением выполняется повторное заземление, заключающееся в присоединении металлических нетоковедущих частей установки к заземлителю (рис. 16.4, б).

Заземление и зануление следует применять:

1) при напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока - во всех случаях;

2) при напряжении выше 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока - в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках.

Заземление или зануление не требуется при напряжении до 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока во всех случаях.

Заземлению или занулению подлежат:

1) корпуса электрических машин, аппаратов, трансформаторов, светильников и т.д.;

2) приводы электрических аппаратов;

3) вторичные обмотки измерительных трансформаторов;

4) корпуса щитов, шкафов управления, распределительных щитов, щитков освещения и т.д.;

5) металлические конструкции распределительных устройств, металлические кабельные муфты, металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей, стальные трубы электропроводок и др.;

6) металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников;

7) металлические оболочки и броня силовых и контрольных кабелей и проводов напряжением до 42 В переменного и 110 В постоянного тока, проложенных на общих металлических конструкциях.

Наименьшие сечения заземляющих и нулевых защитных проводников в электроустановках напряжением до 1000 В приведены в таблице 16.4.1.

16.4.1. Наименьшие сечения заземляющих и нулевых защитных проводников в электроустановках до 1000 В

Проводник	Медь, мм ²	Алюминий, мм ²
Голые проводники при открытой прокладке	4	6
Изолированные провода	1,5	2,5
Заземляющие и нулевые жилы кабелей и многожильных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами	1	2,5

15.4.2. Наименьшие размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников

Наименование и форма	В зданиях	В наружных установках	В земле
Круглые, диаметр, мм	5	6	10
Прямоугольные:			
сечение, мм ²	24	48	48
толщина, мм	3	4	4
Угловая сталь, толщина полок, мм	2	2,5	4
Газопроводные трубы, толщина			

стенки, мм	2,5	2,5	3,5
Тонкостенные трубы, толщина стенок, мм	1,5	2,5	Не допускаются

Важное значение при устройстве заземлений имеет учет сопротивлений грунтов. Значения удельных сопротивлений грунтов для величин их влажности 10-20 % и воды приведены в таблице 16.4.3.

16.4.3. Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов и воды, ρ , Ом м

Вид грунта	ρ , Ом м	Вид грунта и воды	ρ , Ом м
Песок	400-700	Чернозем	9-20
Супесок	200-300	Торф	10-20
Суглинок	40-150	Речная вода (равнинная)	50
Глина	40	Морская вода	0,2
Садовая земля	40		

Сопротивление заземляющего устройства

Сопротивление заземляющего устройства должно быть не более:

1) в установках выше 1000 В с глухозаземленной нейтралью 0,5 Ом с учетом естественных заземлителей;

2) в установках выше 1000 В с изолированной нейтралью - $125 / I$ Ом для заземляющего устройства, используемого одновременно для установок до 1000 В, $250 / I$ Ом - только для установок выше 1000 В, где I - расчетный ток замыкания на землю;

3) в установках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью - 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В. При удельном сопротивлении земли ρ более 10 Ом м указанные нормы увеличиваются в отношении $\rho / 100$, но не более десятикратного.

4) в установках до 1000 В с изолированной нейтралью - 4 Ома. При номинальных мощностях трансформаторов до 100 кВА - не более 10 Ом.

Переносные заземления

Переносные заземления служат для защиты людей, работающих на отключенных токоведущих частях, от поражения электрическим током от ошибочно поданного или наведенного в цепи напряжения. Технические данные переносных заземлений, используемые для работы в распределительных устройствах на напряжение до 1000 В (РУ) и на воздушных линиях на напряжение до 1000 В (ВЛ), представлены в таблице 16.4.4, а в 16.4.5 - 16.4.6 - типы переносных заземлений и оперативных изолирующих штанг, выпускаемых отечественной промышленностью.

16.4.4. Технические данные переносных заземлений

Параметры	Для РУ	Для ВЛ
Трехсекундный ток термической устойчивости, кА	2,5	2,5
Длина соединительного провода между зажимами, мм	1500	800
Длина заземляющего провода, мм	2000	9000
Общая длина провода, мм	5000	12200
Сечение провода, кв. мм	16	16
Длина штанги с зажимом, мм	1100	420
Масса комплекта, кг	1,82	5,3

16.4.5. Типы переносных заземлений для РУ и ЛЭП 0,4-10 кВ

Тип заземлителя	ЗПВЛ-1	ПЗРУ-1	ЗПВЛ-10
Напряжение, кВ	1	1	10
Сечение заземляющего провода, кв. мм	16	16	25
Предельный ток короткого замыкания, кА/с	2 / 2,8	2 / 2,8	6 / 1
Количество зажимов	5	3	3
Длина заземляющего спуска, м	9	2	10
Количество штанг	5	3	1
Длина штанги, м	0,2	0,2	1,0

16.4.6. Штанги оперативные изолирующие

Тип штанги	Рабочее напряжение, кВ	Масса
ШО	до 10	1,0
ШО-15М	до 15	1,2
ШОУ-15	до 15	1,5
ШОУ-35	35	1,7
ШОУ-110	110	2,7
ШОУ-220	220	2,8

Более подробные сведения по материалам, изложенным в главе, читатель найдет в литературе [2, 17, 31, 33, 34, 35, 36].

ГЛАВА 17. ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

17.1. Основные понятия и классификация электроприводов

Электроприводом называется электромеханическое устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в механическую энергию вращательного, либо поступательного движения и включающее электромеханический преобразователь (двигатель) и устройство управления двигателем.

Один из вариантов блок-схемы ЭП приведен на рис. 17.1.

В общем случае ЭП включает преобразователь Π , электромеханический преобразователь (электродвигатель) ЭМП(Д), рабочий механизм РМ, устройство (или устройства) обратной связи УОС, суммирующий узел СУ. Преобразователь Π , устройства обратной связи УОС и суммирующий узел СУ образуют устройство управления УУ. В зависимости от типа ЭП в УУ могут входить и другие элементы управления.

Преобразователь Π предназначен для преобразования напряжения сети $U_{\text{сети}}$ в напряжение $U_{\text{пр}}$ другой частоты и величины, напряжение той же частоты и переменной величины, постоянное напряжение, изменяющееся по величине, и др. Это напряжение подается на ЭМП(Д), который, развивая на валу вращающий момент M , непосредственно или через передаточное устройство приводит в движение (вращательное или поступательное) рабочий механизм РМ с моментом сопротивления M_c .

УОС служит для контроля, измерения и последующего учета ЭП регулируемой величины (на рис. 17.1 — частоты вращения ω).

СУ осуществляет функцию суммирования задающего напряжения $U_{\text{зад}}$ и напряжения обратной связи по частоте вращения или иной величине $U_{\text{ос}}$. Результирующее напряжение управления $U_{\text{рез}}$, равное разности между задающим напряжением и напряжением обратной связи, определяет выходные параметры преобразователя и, следовательно, скорость вращения двигателя.

Блок-схема (рис. 17.1) соответствует структуре автоматизированных электроприводов — наиболее массовому типу ЭП. Другие типы ЭП могут иметь структуру большей или меньшей сложности.

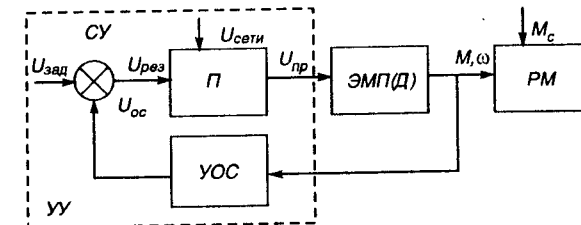


Рис. 17.1. Вариант блок-схемы электропривода

Классификация электроприводов

В соответствии с ГОСТ — 16593 ЭП классифицируются по следующим характеристикам:

По количеству и связи исполнительных, рабочих органов.

1. Индивидуальный, в котором рабочий исполнительный орган приводится одним самостоятельным двигателем, приводом.

2. Групповой, в котором один двигатель приводит в действие исполнительные органы РМ или несколько органов одной РМ.

3. Взаимосвязанный, в котором два или несколько ЭМП или ЭП электрически или механически связаны между собой с целью поддержания заданного соотношения или равенства скоростей, или нагрузок, или положения исполнительных органов РМ.

4. Многодвигательный, в котором взаимосвязанные ЭП, ЭМП обеспечивают работу сложного механизма или работу на общий вал.

5. Электрический вал, взаимосвязанный ЭП, в котором для постоянства скоростей РМ, не имеющих механических связей, используется электрическая связь двух или нескольких ЭМП.

По типу управления и задаче управления.

1. Автоматизированный ЭП, управляемый путем автоматического регулирования параметров и величин.

2. Программно-управляемый ЭП, функционирующий через посредство специализированной управляющей вычислительной машины в соответствии с заданной программой.

3. Следящий ЭП, автоматически обрабатывающий перемещение исполнительного органа РМ с заданной точностью в соответствии с произвольно меняющимся сигналом управления.

4. Позиционный ЭП, автоматически регулирующий положение исполнительного органа РМ.

5. Адаптивный ЭП, автоматически избирающий структуру или параметры устройства управления с целью установления оптимального режима работы.

По характеру движения.

1. ЭП с вращательным движением.

2. Линейный ЭП с линейными двигателями.

3. Дискретный ЭП с ЭМП, подвижные части которого в установившемся режиме находятся в состоянии дискретного движения.

По наличию и характеру передаточного устройства.

1. Редукторный ЭП с редуктором или мультипликатором.

2. Электрогидравлический с передаточным гидравлическим устройством.

3. Магнетогидродинамический ЭП с преобразованием электрической энергии в энергию движения токопроводящей жидкости.

По роду тока.

1. Переменного тока.

2. Постоянного тока.

По степени важности выполняемых операций.

1. Главный ЭП, обеспечивающий главное движение или главную операцию (в многодвигательных ЭП).

2. Вспомогательный ЭП.

17.2. Элементы механики электропривода

Уравнение движения ЭП

$$M = M_C \pm J d\omega/dt, \text{ Нм,}$$

где M — вращающий момент двигателя, Нм; M_C — приведенный к валу двигателя момент сопротивления РМ, Нм; J — приведенный к валу двигателя момент инерции ЭП, Нм²; ω — угловая частота вращения двигателя, рад/с.

Величина $M_{\text{дин}} = J d\omega/dt$ называется динамическим или избыточным моментом ЭП. Положительный динамический момент обеспечивает разгон ЭП, отрицательный — замедление.

Мощность двигателя

$$P = M\omega, \text{ Вт.}$$

Поскольку $\omega = 2\pi n/60 = n/9,55$ (где n измеряется в об/мин), то:

$$P = Mn/9550, \text{ Вт.}$$

Номинальный момент двигателя можно вычислить по приводимым в паспорте номинальной мощности P_H и номинальной скорости вращения двигателя n_H

$$M_H = 9550 P_H/n_H, \text{ Нм.}$$

Приведенный к валу двигателя момент сопротивления

$$M_C = M_{PM}/j\eta, \text{ Нм,}$$

где j и η — соответственно передаточное отношение и КПД передачи.

Приведенный к валу двигателя момент инерции ЭП, в котором сочетаются вращательное и поступательное движения (например, ЭП лифта)

$$J = J_D + J_{PM} \omega_{PM}^2/\omega^2 + Gv^2/g\omega^2,$$

где J_D — моменты инерции ротора двигателя; J_{PM} — момент рабочего механизма (редуктора и шкива); ω_{PM} — частота вращения рабочего механизма, рад/с; G — вес перемещаемого посредством ЭП груза, кг; v — линейная скорость перемещения груза м/с; g — ускорение силы тяжести, 9,8 м/с².

Определение времени ускорения и замедления ЭП

Время t_{1-2} ускорения или замедления ЭП от частоты вращения ω_1 до ω_2 определяется путем интегрирования уравнения движения ЭП

$$t_{1-2} = \int_{\omega_1}^{\omega_2} (J d\omega/dt)/(M - M_C), \text{ с.}$$

В простейшем случае, когда $M = \text{const}$, $M_C = \text{const}$, $J = \text{const}$, получим:

$$t_{1-2} = J(\omega_2 - \omega_1)/(M - M_C), \text{ с.}$$

В частном случае, при пуске двигателя до частоты вращения ω_c , время пуска t_{II} определяется выражением:

$$t_{II} = J \omega_c / (M - M_c), \text{ с.}$$

17.3. Режимы работы электроприводов

Нагрев и охлаждение двигателей в ЭП

При включении двигателя в сеть и наличии на его валу нагрузки происходит его нагрев, зависящий от тепловых потерь ΔP , времени нагрева t , теплоемкости C и теплоотдачи двигателя A . Эти величины связаны между собой уравнением теплового баланса электродвигателя:

$$\Delta P dt = C dt + A \tau dt, \text{ Вт} \cdot \text{с},$$

где τ — превышение температуры двигателя над температурой охлаждающей среды, которую принимают, как правило, равной $+40^\circ \text{C}$.

Решение этого уравнения дает зависимость изменения превышения температуры двигателя во времени. Зависимость имеет экспоненциальный характер (рис. 17.2):

$$\tau = \tau_{уст} (1 - e^{-t/T_H}) + \tau_{нач} e^{-t/T_H},$$

где $\tau_{уст}$ — установившееся превышение температуры, $^\circ \text{C}$; $\tau_{нач}$ — начальное превышение температуры, $^\circ \text{C}$; T_H — постоянная времени нагрева, $T_H = C \cdot A$, с.

Номинальные режимы работы электродвигателей

Режимы работы стандартизованы. Различают три основных режима: *длительный* (обозначается символом S1), *кратковременный* (S2) и *повторно-кратковременный* (S3).

Длительный — это режим, в котором превышение температуры двигателя достигает установившегося значения. Длительный режим подразделяют на два вида: *а* — режим с постоянной нагрузкой, *б* — режим с переменной нагрузкой. К типу *а* относятся ЭП вентиляторов, насосов, компрессоров, транспортеров, текстильных станков и др. К типу *б* — ЭП поршневых компрессоров, прокатных станков, токарных, фрезерных, сверлильных станков и др.

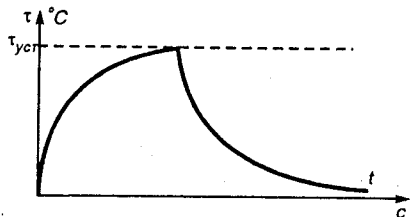


Рис. 17.2. Кривые нагрева и охлаждения электродвигателя

Режим работы ЭП отражают при помощи *нагрузочных диаграмм* (НД), которые представляют собой зависимость мощности P , момента M или тока двигателя I от времени t .

Примеры НД для длительного режима и кривая нагрева приведены на рис. 17.3.

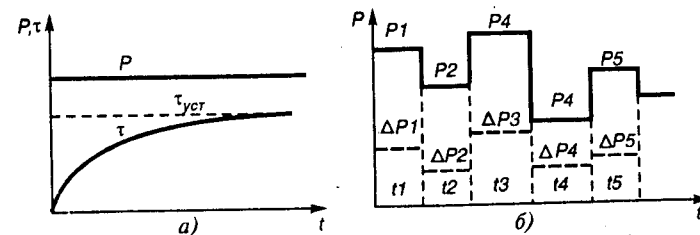


Рис. 17.3. Нагрузочные диаграммы для длительного режима: *а* — с постоянной нагрузкой, *б* — с переменной нагрузкой

В *кратковременном режиме* двигатель работает непродолжительное время, в течение которого превышение его температуры не достигает установившегося значения, а после отключения он успевает охладиться до температуры охлаждающей среды (рис. 17.4, *а*). В этом режиме работают ЭП шлюзов, задвижек нефте- и газопроводов, и др.

Повторно-кратковременным называют режим, в котором кратковременные периоды включения двигателя чередуются с периодами пауз, причем в период нагрузки превышение температуры двигателя не достигает установившегося значения, а при отключении не успевает достичь температуры охлаждающей среды (рис. 17.4, *б*).

Свойства двигателей в повторно-кратковременном режиме зависят от *продолжительности включения* (ПВ). Как видно из диаграммы (рис. 17.4, *б*), двигатель нагружен в течение времени t_p , а в течение времени t_0 следует пауза. Их сумма составляет время цикла t_{II} .

ПВ — это величина, равная отношению времени работы двигателя под нагрузкой ко времени цикла, измеряемое в процентах:

$$\text{ПВ} = 100 t_p / (t_p + t_0) = (t_p / t_{II}) 100\%.$$

ПВ стандартизованы и составляют 15, 25, 40, 60%. Значение ПВ указывается на паспорте двигателя.

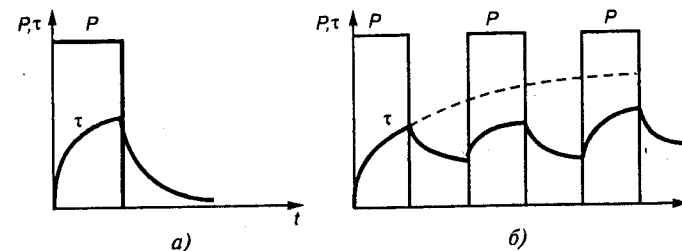


Рис. 17.4. Нагрузочные диаграммы и диаграммы нагрева: *а* — для кратковременного режима работы, *б* — для повторно-кратковременного режима работы

Двигатель мощностью $P_{Н1}$ с ПВ1 может быть использован при другой ПВ2. Мощность P_2 , на которую можно при этом нагружать двигатель, определяется приближенным соотношением:

$$P_2 = P_{Н1} \sqrt{ПВ1/ПВ2}, \text{ Вт.}$$

17.4. Расчет мощности и выбор электродвигателей

Выбор электродвигателя предполагает:

выбор рода тока и номинального напряжения осуществляют, исходя из экономических соображений, с учетом того, что самыми простыми, дешевыми и надежными являются асинхронные двигатели, а самыми дорогими и сложными — двигатели постоянного тока;

выбор номинальной частоты вращения;

выбор конструктивного исполнения двигателя выполняют, учитывая три фактора: защиту его от воздействия окружающей среды, способ и обеспечение охлаждения и способ монтажа.

Расчет мощности двигателей для длительного режима работы

При *постоянной нагрузке* (см. рис. 17.3, а) определяется мощность P_C или момент M_C механизма, приведенные к валу двигателя, и по каталогу выбирается двигатель, имеющий ближайшую не меньшую номинальную мощность P_H : $P_H \geq P_C$.

Для тяжелых условий пуска осуществляется проверка величины пускового момента двигателя так, чтобы он превышал момент сопротивления механизма. Пусковой момент:

$$M_{П} = M_H \lambda, \text{ а } M_H = P_H \omega_H,$$

где λ — кратность пускового момента двигателя, выбираемый по каталогу.

При *длительной переменной нагрузке* (см. рис. 17.3, б) определение номинальной мощности двигателя производят по методу средних потерь, либо методу эквивалентных величин (мощности, момента или тока).

Расчет мощности двигателя по методу средних потерь.

Метод основан на предположении, что при равенстве номинальных потерь двигателя ΔP_H и средних потерь, определяемых по диаграмме нагрузки, температура двигателя не будет превышать допустимую

$$\tau_H = \Delta P_H / A = \Delta P_{CP} / A, \text{ } ^\circ\text{C.}$$

1. Определяется средняя мощность нагрузки

$$P_{CP} = (P_1 t_1 + P_2 t_2 + \dots + P_n t_n) / (t_1 + t_2 + \dots + t_n), \text{ кВт.}$$

2. Предварительно подбирается двигатель с номинальной мощностью P_H . При этом:

$$P_H = (1,2 \text{ — } 1,3) P_{CP}, \text{ кВт.}$$

3. Определяются номинальные потери выбранного двигателя

$$\Delta P_H = P_H (1 - \eta_H) / \eta_H, \text{ кВт.}$$

4. Определяются по диаграмме потери $\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_n$

$$\Delta P_n = P_n (1 - \eta_n) / \eta_n, \text{ кВт,}$$

где η_n — КПД, соответствующий мощности P_n и зависящий от загрузки двигателя, т. е. $k = P_n / P_H$

$$\eta_n = 1 / \{1 + (1/\eta_H - 1) [(a/k + k)/(a + 1)]\},$$

где a — отношение постоянных потерь в двигателе к номинальным.

5. Определяются по диаграмме средние потери

$$\Delta P_{CP} = (\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \dots + \Delta P_n t_n) / (t_1 + t_2 + \dots + t_n), \text{ кВт.}$$

6. Проверяется условие равенства средних и номинальных потерь. При их расхождении более чем на 10% подбирают другой двигатель и повторяют расчет.

Расчет мощности двигателя по методу эквивалентных величин.

Метод основан на понятии среднеквадратичного или эквивалентного тока (мощности, момента). Переменные потери в двигателе пропорциональны квадрату тока нагрузки. *Эквивалентным, неизменным по величине током называют ток, создающий в двигателе такие же потери, как и изменяющийся во времени фактический ток нагрузки.*

1. Определяют величину эквивалентного тока

$$I_{\text{Э}} = \sqrt{(I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n) / (t_1 + t_2 + \dots + t_n)}, \text{ А.}$$

2. По каталогу выбирают двигатель, номинальный ток которого равен или несколько больше $I_{\text{Э}}$.

3. Двигатель проверяют по перегрузочной способности: отношение наибольшего момента сопротивления к номинальному не должно превышать допустимого значения, приводимого в каталогах (см. гл. 6 и 7).

Если мощность и вращающий момент двигателя пропорциональны величине тока, то для расчета можно воспользоваться выражениями для эквивалентной мощности

$$P_{\text{Э}} = \sqrt{(P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n) / (t_1 + t_2 + \dots + t_n)}, \text{ кВт,}$$

или эквивалентного момента

$$M_{\text{Э}} = \sqrt{(M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n) / (t_1 + t_2 + \dots + t_n)}, \text{ Нм.}$$

Расчет мощности двигателей для повторно-кратковременного и кратковременного режимов работы

Повторно-кратковременный режим работы (рис. 17.4, б).

1. По нагрузочной диаграмме определяют среднюю мощность P_{CP} .

2. Выбирают двигатель, номинальная мощность которого не меньше средней мощности.

3. Определяют эквивалентную мощность $P_{\text{Э}}$ (или $M_{\text{Э}}$).
 4. Эквивалентную мощность (момент, ток) пересчитывают для ближайшего стандартного значения $P_{\text{ВНОМ}}$:

$$P = P_{\text{Э}} \sqrt{P_{\text{В}}/P_{\text{ВНОМ}}}, \text{ кВт},$$

$$M = M_{\text{Э}} \sqrt{P_{\text{В}}/P_{\text{ВНОМ}}}, \text{ Нм},$$

$$I = I_{\text{Э}} \sqrt{P_{\text{В}}/P_{\text{ВНОМ}}}, \text{ А}.$$

5. По каталогу выбирают двигатель с номинальной мощностью $P_{\text{Н}}$ при $P_{\text{ВНОМ}}$ так, чтобы $P_{\text{Н}} \geq P$.

6. Выбранный двигатель проверяют по перегрузочной способности. *Кратковременный режим работы* (см. рис. 17.4, а).

Для этого режима используются двигатели кранового типа с продолжительностью 15, 30, 60 и 90 мин, для которых указываются соответствующие номинальные мощности. Мощность двигателя определяется по методу эквивалентных величин.

В этом режиме могут использоваться и двигатели, рассчитанные на длительный режим работы. Двигатель выбирают заниженной мощности. Следовательно, ток двигателя в период работы в этом режиме может существенно превышать номинальный, однако превышение температуры при этом не должно быть больше допустимого

$$t_{\text{УСТ}} = \Delta P_{\text{КР}}/A = (K + I_{\text{КР}}^2 R), \text{ } ^\circ\text{С}.$$

Ток двигателя в кратковременном режиме работы, допустимый в течение времени $t_{\text{КР}}$:

$$I_{\text{КР}} = I_{\text{Н}} \sqrt{(1+b)/(1-b)}, \text{ А},$$

где $b = e^{-t_{\text{КР}}/T_{\text{Н}}}$, $T_{\text{Н}}$ — постоянная времени нагрева двигателя, с.

Коэффициент тепловой перегрузки двигателя

$$p_{\text{T}} = \Delta P_{\text{КР}}/\Delta P_{\text{Н}} = (K + I_{\text{КР}}^2 R)/(K + I_{\text{Н}}^2 R) \text{ или}$$

$$p_{\text{T}} = 1/(1 - e^{-t_{\text{КР}}/T_{\text{Н}}}).$$

Если постоянные потери неизвестны, то для номинального режима их ориентировочно принимают равными переменным потерям в двигателе:

$$K = I_{\text{Н}}^2 R, \text{ Вт}.$$

Если известны потери $\Delta P_{\text{КР}}$ и $\Delta P_{\text{Н}}$, то постоянная времени определяется из соотношения

$$T_{\text{Н}} = t_{\text{КР}}/\ln[p_{\text{T}}/(p_{\text{T}} - 1)], \text{ с}.$$

17.5. Механические свойства электродвигателей и способы регулирования частоты их вращения

Механические свойства электродвигателей определяются, главным образом, их механическими характеристиками.

Механической характеристикой называют зависимость частоты вращения двигателя от развиваемого им на валу момента

$$\omega = f(M).$$

Механическими характеристиками обладают также рабочие механизмы

$$\omega_{\text{С}} = f(M_{\text{С}}).$$

Согласование механических характеристик рабочего механизма и двигателя — одна из важных задач выбора двигателя.

Двигатель постоянного тока независимого возбуждения (рис. 17.5)

Уравнение механической характеристики имеет вид

$$\omega = U/k\Phi - M(R_{\text{Я}} + R_{\text{Д}})/(k\Phi)^2, \text{ рад/с},$$

где U — напряжение, приложенное к цепи якоря, В; Φ — магнитный поток, Вб; $R_{\text{Я}}$, $R_{\text{Д}}$ — сопротивление якоря и добавочное в его цепи, Ом; k — конструктивные постоянные двигателя,

$$k = pN/2\pi a,$$

где p — число пар полюсов двигателя; N — число активных проводников якоря двигателя; a — число параллельных ветвей обмотки якоря.

Вращающий момент двигателя

$$M = k\Phi I_{\text{Я}}, \text{ Нм}.$$

ЭДС двигателя постоянного тока

$$E = k\Phi \omega, \text{ В}.$$

При постоянном магнитном потоке $\Phi = \text{const}$, полагая $c = k\Phi$,

$$E = c\omega, \text{ В}.$$

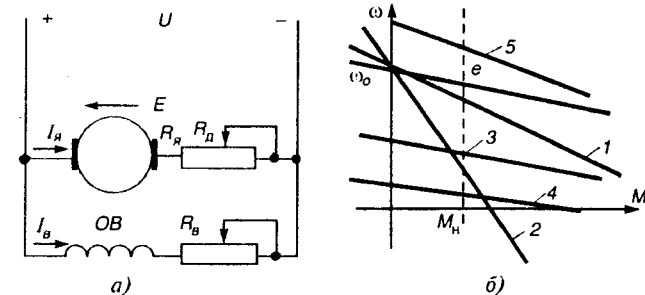


Рис. 17.5. Схема включения (а) и механические характеристики (б) двигателя постоянного тока параллельного (независимого) возбуждения

Тогда выражение для вращающего момента

$$M = EI_{\text{я}}/\omega, \text{ Нм.}$$

1. Механическая характеристика e , полученная для условий $R_{\text{д}}=0$, $R_{\text{в}}=0$, т. е. напряжение на якоре и магнитный поток двигателя равны номинальным значениям, называется *естественной*.

2. Если $R_{\text{д}} > 0$ ($R_{\text{в}}=0$), то получаются искусственные — *реостатные* характеристики 1 и 2, проходящие через точку ω_0 — *скорость идеального холостого хода машины*. Чем больше $R_{\text{д}}$, тем характеристики круче.

3. Если изменять напряжение на зажимах якоря посредством преобразователя при условии, что $R_{\text{д}}=0$ и $R_{\text{в}}=0$, то искусственные механические характеристики имеют вид 3 и 4 и проходят параллельно естественной и тем ниже, чем меньше величина напряжения.

4. При номинальном напряжении на якоре ($R_{\text{д}}=0$) и уменьшении магнитного потока ($R_{\text{в}} > 0$) характеристики имеют вид 5 и проходят тем выше естественной и круче ее, чем меньше магнитный поток.

Двигатель постоянного тока последовательного возбуждения (рис. 17.6)

Уравнение механической характеристики имеет вид

$$\omega = U/k\Phi I_{\text{я}} - M(R_{\text{я}} + R_{\text{ов}} + R_{\text{д}})/(k\Phi I_{\text{я}})^2, \text{ рад/с}$$

или

$$\omega = U/\sqrt{k\alpha M} - (R_{\text{я}} + R_{\text{ов}} + R_{\text{д}})/k\alpha, \text{ рад/с,}$$

где $R_{\text{ов}}$ — сопротивление обмотки последовательного возбуждения, Ом, α — коэффициент линейной зависимости (в первом приближении) магнитного потока от тока якоря.

Регулирование частоты вращения двигателя осуществляют путем введения в цепь якоря дополнительного сопротивления. Чем оно больше по величине, тем круче проходят механические характеристики. Регулируют скорость также путем шунтирования якоря.

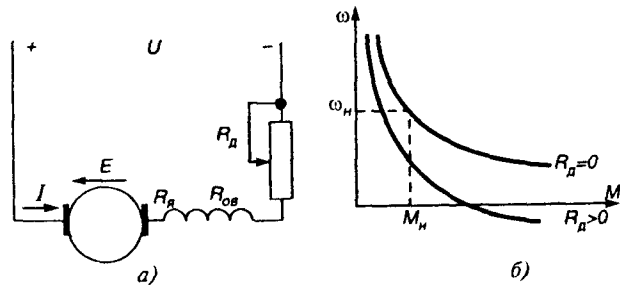


Рис. 17.6. Схема включения (а) и механические характеристики (б) двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

Асинхронный двигатель

Упрощенное уравнение механической характеристики имеет вид

$$M = 2M_{\text{М}}/(s/s_{\text{М}} + s_{\text{М}}/s),$$

где $M_{\text{М}}$ — максимальный или критический момент двигателя, Нм; s — скольжение; $s_{\text{М}}$ — критическое скольжение, соответствующее $M_{\text{М}}$.

Скольжение определяет меру отставания скорости вращения ротора ω от синхронной скорости ω_1 магнитного поля статора

$$s = (\omega_1 - \omega)/\omega_1; \quad \omega_1 = 2\pi f_1, \text{ рад/с.}$$

Критическое скольжение

$$s_{\text{М}} = R_2^1/(\pm\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2^1)^2}).$$

Максимальный момент определяется выражением

$$M_{\text{М}} = 3U_{\Phi}^2/\{2\omega_1 [R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2^1)^2}]\},$$

где R_1, R_2^1 — активные сопротивления статора и приведенное роторной цепи, Ом; X_1, X_2^1 — индуктивные сопротивления статора и приведенное роторной цепи, Ом; U_{Φ} — фазное напряжение, В.

Для практических расчетов, если неизвестны параметры двигателя, величину $s_{\text{М}}$ можно определить из уравнения механической характеристики, положив $s = s_{\text{Н}}$, $aM = M_{\text{Н}}$.

Способы регулирования асинхронного двигателя при регулировании скорости вращения представлены на рис. 17.7

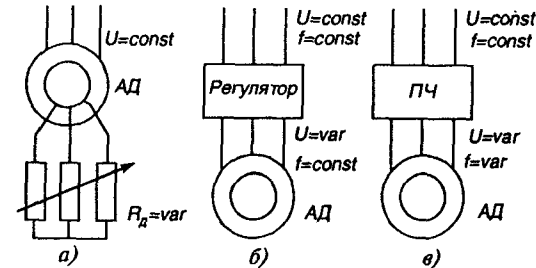


Рис. 17.7. Схемы включения асинхронного двигателя при регулировании скорости вращения: а — изменением сопротивления роторной цепи, б — изменением сопротивления статора, в — изменением частоты и напряжения, подводимого к статору

Синхронный двигатель (рис. 17.8)

Механическая характеристика: $M = \text{const}$.

Угловая характеристика: $M = M_{\text{max}} \sin\theta$; $M_{\text{max}} = 3U_1 E_0/\omega X_1$, где E_0 — ЭДС, наводимая в статоре, В; X_1 — индуктивное сопротивление статора, Ом; θ — угол нагрузки машины.

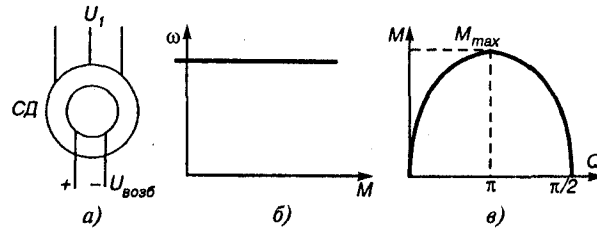


Рис. 17.8. Схема включения:
а — механическая, б — угловая, в — характеристики синхронного двигателя

17.6. Регулирование скорости вращения электроприводов

Регулированием называют преднамеренное изменение скорости вращения ЭП системой управления в целях реализации заданного алгоритма управления. Алгоритм управления — последовательность простых операций, приводящая к решению задачи управления.

Показатели регулирования.

1. Диапазон регулирования — это отношение наибольшей скорости вращения, получаемой в ЭП, к наименьшей (рис. 17.9, а):

$$D = \omega_{\max} / \omega_{\min}.$$

2. Плавность регулирования, определяемая как отношение скоростей на двух соседних ступенях регулирования:

$$K = \omega_k / \omega_{k+1}, \text{ при этом } \omega_k > \omega_{k+1}.$$

Плавность тем выше, чем K ближе к единице.

3. Стабильность скорости вращения при изменении нагрузки соответствует отношению приращения момента на данной характеристике к приращению скорости:

$$C = \Delta M / \Delta \omega.$$

Стабильность тем выше, чем меньше изменение скорости при увеличении нагрузки на валу двигателя.

4. Потери энергии при регулировании в регулирующих элементах.

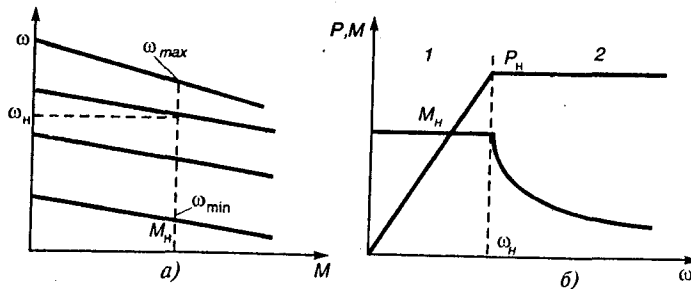


Рис. 17.9. К определениям показателей регулирования скорости

Для их снижения регулирующие элементы избегают включать в главные цепи.

5. Допустимая нагрузка на валу двигателя, определяемая нагревом его обмоток и скоростью вращения двигателей с самовентиляцией. Различают регулирование скорости в двух зонах: с постоянным моментом 1 и с постоянной мощностью 2 (рис. 17.9, б).

6. Направление регулирования скорости вверх или вниз от основной (номинальной скорости).

17.7. Автоматическое управление электроприводами

В разделе приведены типовые схемы управления ЭП, получившие на практике широкое распространение. Сведения об элементах управления представлены в главах 9, 13, 14, 15.

17.7.1. Управление асинхронными двигателями (АД)

Схема управления с реверсивным магнитным пускателем (МП)

Схема (рис. 17.10) включает реверсивный МП и кнопки управления SB1 (Вперед), SB2 (Назад), SB3 (Стоп).

Схема обеспечивает: дистанционный пуск, реверсирование и остановку двигателя от перегрузки, защиту от самозапуска.

МП состоит из двух контакторов переменного тока KM1 и KM2 с главными и вспомогательными контактами (блок-контактами) и тепловыми реле KK с размыкающим контактом. Сведения о МП приведены в гл. 9.

Для пуска двигателя оператор нажимает на кнопку SB1 (либо SB2). Катушка KM1 (либо KM2) получает питание, контактор срабатывает, включая контакты в цепи статора и блокирует пусковую кнопку. Двигатель разгоняется. При перегрузке (если ток статора длительно превышает 1,1 — 1,2 номинального значения) срабатывают тепловые реле KK, отключая своим контактом цепь питания катушки. В МП предусмотрена электрическая блокировка от одновременного включения контакторов.

Для остановки двигателя оператор нажимает на кнопку SB3 (Стоп).

Для защиты от коротких замыканий используется автоматический выключатель QF с электродинамическим расцепителем.

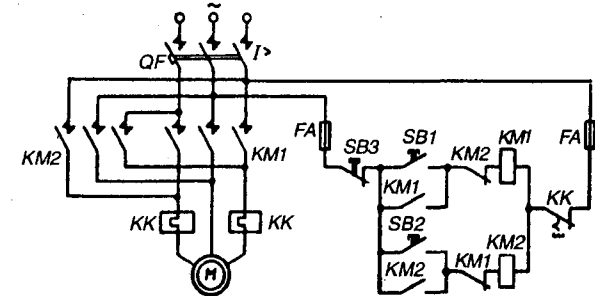


Рис. 17.10. Схема управления АД с реверсивным МП

Схема управления АД с узлом электродинамического торможения

Схема (рис. 17.11) включает магнитный пускатель *KM*, кнопки управления *SB1* (Пуск), *SB2* (Стоп), контактор электродинамического торможения *KM1*, выпрямитель *V*, питающий реле времени *KT*, и реостат *R_T* ограничивающий тормозной ток статора. Предохранители *FA* защищают цепи управления от коротких замыканий.

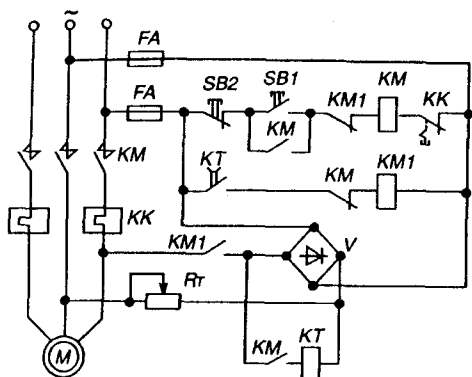


Рис. 17.11. Схема управления АД с динамическим торможением

Для остановки АД нажимают на кнопку *SB2* (Стоп). Магнитный пускатель отключается, отключив статор от сети переменного тока. Одновременно включается *KM1* и постоянное напряжение выпрямителя подается в статор АД. Сопротивление *R_T* позволяет регулировать величину тока динамического торможения и, тем самым, интенсивность торможения. Время торможения определяется установкой реле времени *KT*. По его истечении контакт *KT* с выдержкой времени на отключение размыкает цепь *KM1*, который отключается и отключает обмотку статора от выпрямителя. Схема возвращается в исходное состояние.

Управление двухскоростным АД

Типовая схема управления двухскоростным АД представлена на рис. 17.12. Схема включает полнопереключаемый АД, контакторы *KM1* — *KM4*, блокировочное реле *KV*, двухцепные кнопки *SB1* (Вперед), *SB2* (Назад), *SB4*, *SB5*, а также кнопку *SB3* (Стоп).

Две скорости АД получают путем соединения обмотки статора в треугольник (контактор *KM2*), либо в двойную звезду (контактор *KM1*).

Схема обеспечивает пуск и реверсирование АД, его работу на двух скоростях, защиту АД от перегрузки и самозапуска.

Пуск АД «вперед» или «назад» предшествует предварительное соединение его обмотки в треугольник (включают *KM2*), что соответствует низкой скорости, либо в двойную звезду (включот *KM1*) — высокая скорость. При этом включается реле блокировки *KV*, разрешающее запуск двигателя благодаря включению его контактов в цепи катушек

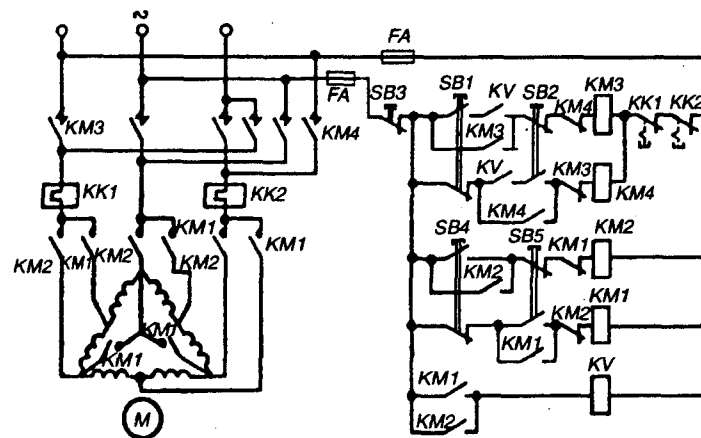


Рис. 17.12. Типовая схема управления двухскоростным АД

контактров *KM3* и *KM4*. Нажав на кнопку *SB1*, либо *SB2*, оператор запускает двигатель «вперед» или «назад».

Одновременное включение контакторов *KM1* — *KM4* исключается применением двухцепных кнопок, а также перекрестным включением размыкающих блок-контактов контакторов в цепи питания их катушек.

Типовая схема управления АД с фазным ротором

Схема включает АД с фазным ротором, типовую панель управления серии ПДУ6220, пускорегулирующие реостаты *R_д* и реостат динамического торможения *R_{тп}*, а также командоаппарат *SA* (рис. 17.13).

Схема обеспечивает пуск АД в две ступени в функции независимой выдержки времени, автоматическое динамическое торможение, максимальную защиту АД (реле тока *FA1* — *FA3*), защиту от самозапуска.

Командоаппарат *SA*, имеющий нейтральное положение 0 и три равнозначных положения влево и вправо (1, 2, 3), позволяет выбрать режимы работы. В нейтральной позиции 0 реле *KV* включено и обеспечивает готовность ЭП к пуску. При переводе *SA* в любое положение (1, 2, 3) включается линейный контактор *KM2* и на статор *M* подается напряжение. Одновременно включается *KM5*, включающий катушку *YA* тормозного электромагнита, который растормаживает вал АД. Получает питание реле времени *KT3*, обеспечивающее выдержку времени при динамическом торможении.

Автоматический пуск в функции времени при переводе *SA*, например, в положение 3 происходит благодаря последовательному шунтированию пусковых ступеней контакторами *KM3* и *KM4*. Выдержки времени на их включение обеспечиваются реле времени *KT1* и *KT2*.

Автоматическое динамическое торможение обеспечивается при переводе рукоятки *SA* в положение 0. При этом *KM2* и *KM5* отключаются, *KM1* включается и на статор подается постоянное напряжение. По

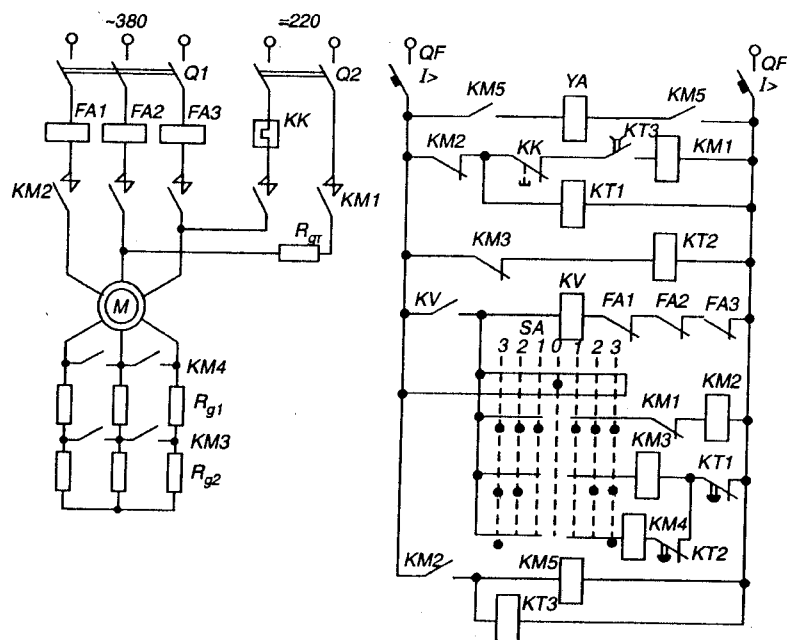


Рис. 17.13. Схема управления АД с фазным ротором

истечения выдержки времени торможения реле $KT3$ отключается и отключает контактор $KM1$. Одновременно катушка тормозного электромагнита YA теряет питание, осуществляется механическое торможение.

Асинхронный ЭП с тиристорным регулятором напряжения.

На рис. 17.14 представлена типовая схема замкнутой (имеющей обратные связи) системы автоматического регулирования (САР) скорости вращения и тока АД крановых ЭП.

ЭП включает АД с подключенными к цепи ротора пускорегулирующими сопротивлениями, тиристорный регулятор напряжения типа РСТ на тиристорах $VS1 - VS6$, систему импульсно-фазового управления (СИФУ) и цепи обратных связей.

Реверсирование АД осуществляется контакторами $KM1$, $KM2$, а вал двигателя тормозится и фиксируется посредством тормозного электромагнита YB . Расширение диапазона регулирования достигается применением пускорегулирующих сопротивлений, коммутируемых контакторами $KM3$ и $KM4$.

САР имеет обратные связи (ОС) по скорости (тахогенератор BR) и по току (трансформаторы тока TA и блоки токоограничения $УТО$, блок нелинейности по току $НТ$, блок защиты по току $МТ$). Первая ОС обеспечивает стабилизацию скорости — высокую жесткость характеристик во всем диапазоне регулирования, вторая — ограничение тока в пределах до 1,5 номинального.

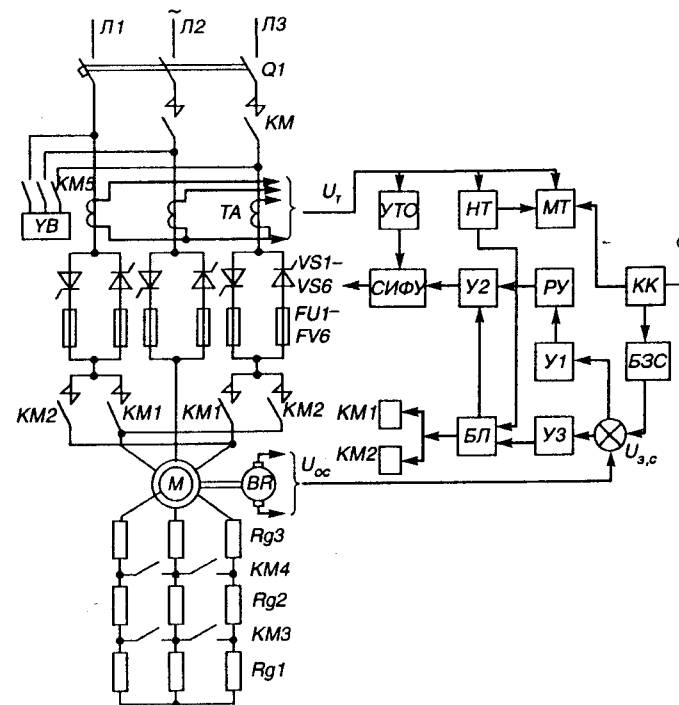


Рис. 17.14. Замкнутая САР с тиристорным регулятором напряжения АД

Напряжение управления с командоконтроллера KK подается на блок задания скорости $БЗС$. С него задающее напряжение, соответствующее заданному значению скорости АД, подается на узел сравнения, куда поступает также напряжение ОС по скорости. Результирующее напряжение управления подается на вход усилителей $У1$, $РУ$, $У2$. От напряжения $У2$ зависит фаза импульсов $СИФУ$, подаваемых на управляющие электроды тиристоров, и, следовательно, величина напряжения РСТ, подаваемого на АД.

Сигнал с блока логики поступает также на контакторы $KM1$, либо $KM2$, определяя направление вращения АД.

Следящий электропривод с АД

Следящим ЭП называют замкнутую САР, которая в соответствии с произвольно изменяющимся законом управления с заданной точностью воспроизводит движение рабочего органа машины.

Следящие ЭП включают, как правило, датчики входной и выходной величин, измеритель рассогласования, систему управления исполнительным электродвигателем, который посредством механической передачи связан с рабочим органом.

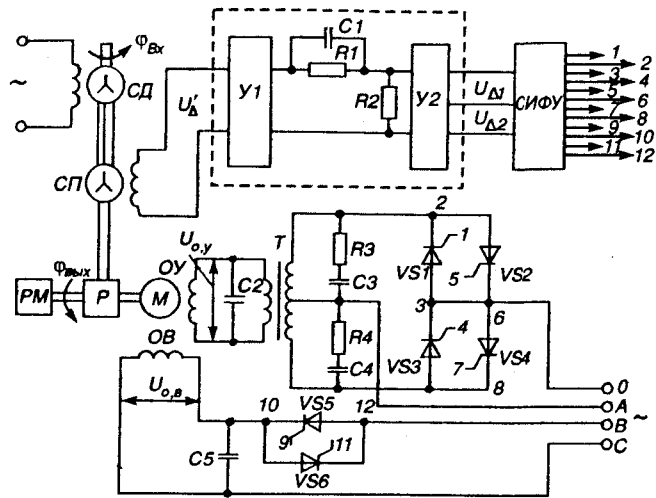


Рис. 17.15. Схема следящего ЭП с исполнительным двухфазным АД

Схема следящего ЭП с асинхронным двухфазным исполнительным двигателем M представлена на рис. 17.15. Закон управления задается сельсином-датчиком $СД$ и воспринимается сельсином-приемником $СП$. Напряжение рассогласования U_{Δ}^1 снимается со статора $СП$ и поступает на вход фазочувствительного усилителя $У1$. Величина U_{Δ}^1 пропорциональна разности углов $\varphi_{вх}$ и $\varphi_{вых}$, а фаза определяется знаком разности этих углов. Напряжения $U_{\Delta 1}$ или $U_{\Delta 2}$ запускают один из каналов $СИФУ$. Тиристоры $VS1, VS2$ и $VS5, VS6$ отпираются, на обмотки OB и OY подаются напряжения, пропорциональные сигналу рассогласования. Двигатель M вращается, уменьшая величину рассогласования. При включении $VS3, VS4$ двигатель M вращается в другую сторону. Таким образом, привод обеспечивает отработку произвольного угла рассогласования произвольного знака.

17.7.2. Управление синхронными электродвигателями

ЭП с синхронными двигателями (СД) используются для механизмов, не требующих регулирования скорости вращения. Схемы управления СД, как правило, обеспечивают пуск, защиту и контроль параметров.

На рис. 17.16, а приведена схема узла управления возбуждением СД в функции скорости вращения.

Прямой пуск СД осуществляют включением $KM1$. Двигатель разгоняется в асинхронном режиме. При этом его обмотка возбуждения (ОВ) замкнута на разрядный резистор R_p , к которому подключена катушка реле контроля скорости KR . При низких скоростях ЭДС скольжения, наводимая в ОВ, велика, реле KR держит $KM2$ отключенным. При разгоне СД до подсинхронной скорости, ЭДС скольжения

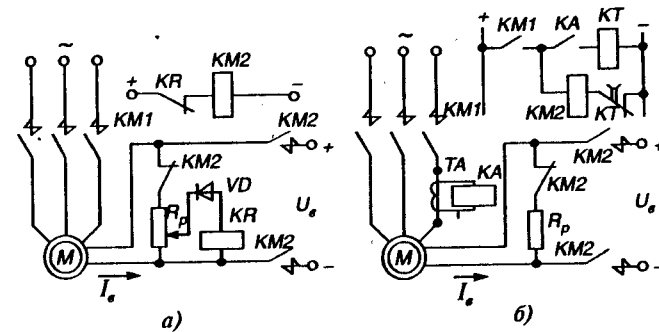


Рис. 17.16. Схемы узлов управления возбуждения СД:
а — в функции частоты вращения, б — в функции тока статора

уменьшается до величины, при которой KR отключается. Получает питание контактор возбуждения $KM2$. Он подает на ОВ постоянное напряжение U_b и отключает от ОВ разрядный резистор R_p . Двигатель втягивается в синхронизм и его пуск завершается.

Прямой пуск СД в функции тока (рис. 17.16, б) осуществляется посредством контроля величины пускового тока статора реле тока KA . При уменьшении этого тока по мере разгона СД до назначения, близкого к номинальному, реле тока KA отключается, разрешая подачу на ОВ СД с некоторой выдержкой времени (реле KT) напряжения возбуждения. После отключения KT срабатывает контактор $KM2$, который подает напряжение U_b на ОС, а также отключается от ОВ разрядный резистор R_p . Двигатель втягивается в синхронизм и его пуск завершается.

17.7.3. Схемы управления двигателями постоянного тока

Типовые схемы релейно-контакторного управления (РКУ) двигателями постоянного тока (ДПТ) обеспечивают автоматический пуск, реверсирование и ступенчатое регулирование скорости вращения ДПТ, автоматическое электрическое торможение.

На рис. 17.17 представлена типовая схема РКУ, которая обеспечивает пуск ДПТ в функции независимой выдержки времени в три ступени, регулирование скорости ослаблением магнитного потока, динамическое торможение в функции ЭДС, защиту от коротких замыканий, обрыва поля ДПТ, от самозапуска после исчезновения и появления напряжения. Управляется схема командоконтроллером SA , имеющим секции и четыре положения — нулевое и три рабочих.

Для запуска двигателя SA переводится в одно из рабочих положений. KM подает напряжение на цепь якоря, M начинает разгоняться. $KT1$, потеряв питание, отключается и с выдержкой времени включает $KM1$, который шунтирует R_{g1} , а также катушку реле $KT2$. Это реле с выдержкой времени включает $KM2$ и т. д. Включение $KM3$ означает выход ДПТ на естественную характеристику и разрешение на ослабление магнит-

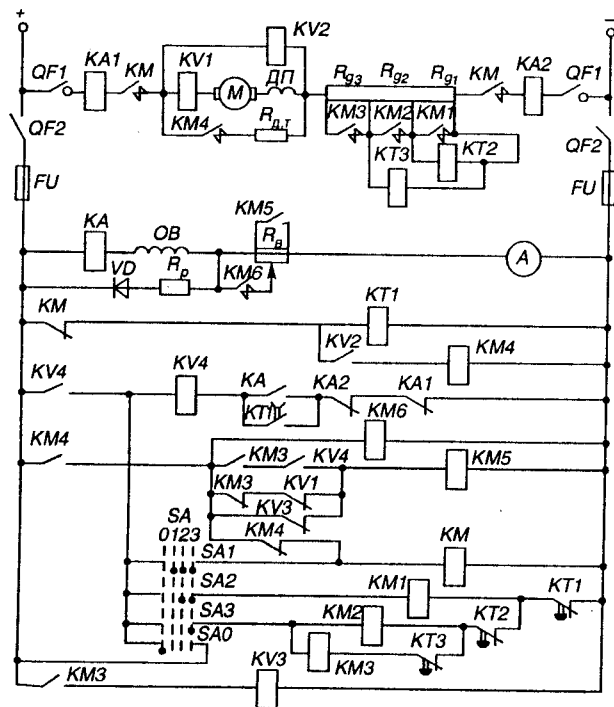


Рис. 17.17. Типовая схема релейно-контакторного управления ДПТ

ного поля — включение $KV3$ и отключение $KM5$ и введение в цепь OB резистора R_B , т. е. формирование искусственной характеристики.

Для остановки ЭП ключ переводится в положение O . Все контакторы отключаются, а реле $KV2$, включив $KM4$, подключает к M резистор $R_{дт}$. Происходит динамическое торможение. При снижении ЭДС до минимального значения $KV2$ отключается, после чего процесс торможения завершается.

Типовые ЭП с силовыми промежуточными магнитными усилителями (ПМУ) используются для САР механизмов подачи металлорежущих станков и иных механизмов, требующих обеспечения диапазона регулирования скорости до 100:1. ПМУ (рис. 17.18, а) включает пары силовых обмоток w_1 , встречно-параллельно включенные в каждую фазу вентили $B1$, к которым подключается мостовой выпрямитель $B2$. Обмотка якоря D подключена к зажимам выпрямителя $B2$, а обмотка возбуждения питается от отдельного выпрямителя (на схеме не показано). Фазные силовые обмотки располагаются на отдельных замкнутых сердечниках, охваченных обмотками управления и обратных связей w_2 и смещения w_3 .

Регулирование напряжения происходит путем намагничивания сердечников ПМУ, что изменяет индуктивное сопротивление рабочих обмоток. Чем больше намагничивающий ток обмотки управления, тем

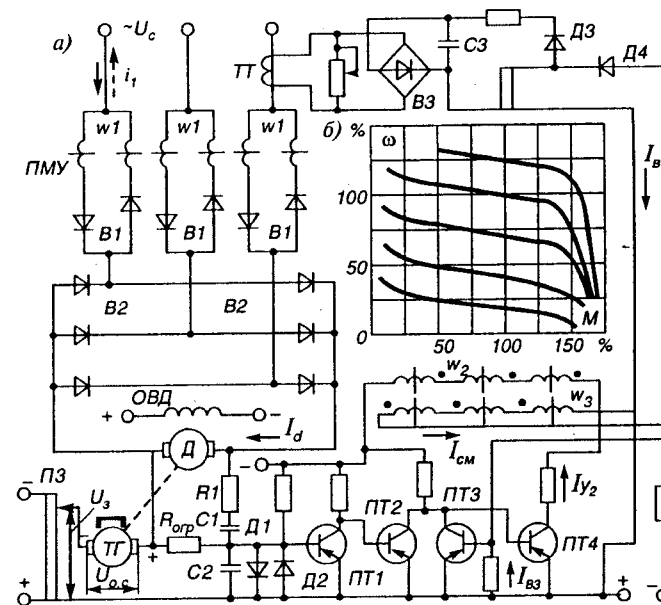


Рис. 17.18. Замкнутая САР с ПМУ

меньше сопротивление рабочих обмоток и больше выходное напряжение ПМУ, т. е. напряжение на якоре и, следовательно, скорость двигателя.

Принцип действия замкнутой САР сводится к следующему. Задающее напряжение U_3 снимается с задающего потенциометра $ПЗ$, сравнивается с напряжением U_{OC} тахогенератора $ТГ$. Результирующее напряжение подается на вход транзисторного усилителя с диодным ограничителем $D1, D2$. Выходной сигнал усилителя поступает на обмотку управления, ток которой определяет величину выходного постоянного напряжения ПМУ. Обмотка смещения служит для линеаризации начального участка характеристики ПМУ «вход-выход», т. е. зависимости тока рабочей обмотки от тока управления усилителя.

Механические характеристики замкнутой САР с ПМУ представлены на рис. 17.18, б.

Тиристорные ЭП постоянного тока используются для механизмов с широким диапазоном регулирования скорости, необходимости ограничения моментов и токов двигателя и др. На рис. 17.19 представлена схема комплектного тиристорного ЭП серии ЭТЗР с ДПТ серии ПБСТ либо 4ПО (4ПФ). Замкнутая САР с отрицательной обратной связью по скорости и нелинейной по току обеспечивает высокую жесткость механических характеристик в диапазоне регулирования 2000:1, ограничение тока якоря и момента на валу ДПТ.

Силовые цепи реверсивного тиристорного преобразователя ТП состоят из двух вентильных групп ($T1, T3, T5$) и ($T2, T4, T6$), уравнивающих реакторов $Dp1$ и $Dp2$, сглаживающего дросселя $Dp3$.

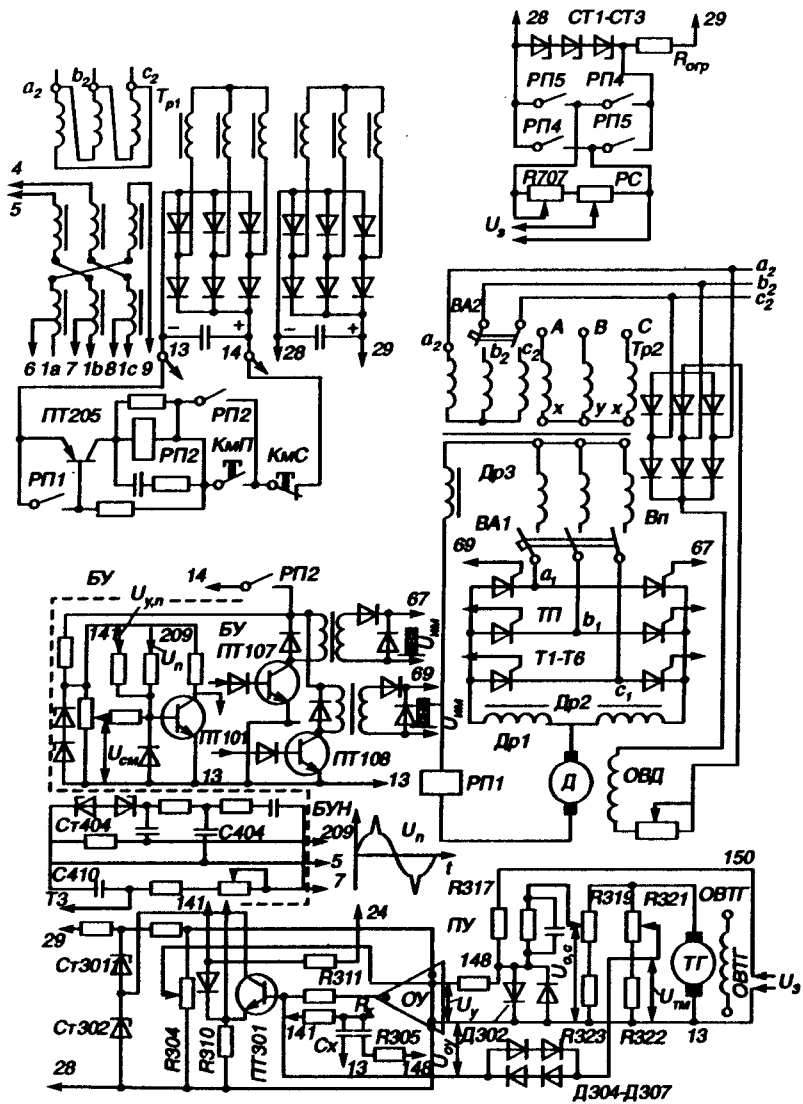


Рис. 17.19. Схема комплекта тиристорного ЭП серии ЭТЗР

Задающее напряжение U_3 подается на узел сравнения с диодным ограничителем Д302, куда подается также напряжение обратной связи по скорости U_{oc} . Результирующее напряжение поступает на вход усилителя

БУ, куда подается также пилообразное напряжение блока БУН. Их разность определяет угол управления тиристорами, выходное напряжение ТП и, следовательно, скорость вращения ДПТ.

Необходимая жесткость механических характеристик во всем диапазоне обеспечивается жесткой отрицательной обратной связью по скорости, осуществляемой посредством тахогенератора ТГ. В схеме предусмотрены токовая отсечка (реле РП1 и РП2) и упреждающее токоограничение, что обеспечивает пуск ЭП с неизменным током якоря, равным току упора ($1,5 - 2 I_H$), и максимальную токовую защиту.

ЭП постоянного тока с микропроцессорным управлением. Для перемещения и точного позиционирования рабочих органов работотехнических механизмов используются электроприводы с микропроцессорным управлением. Схема типового ЭПМПУ с аналогово-цифровыми узлами представлена на рис. 17.20.

ДПТ М питается от реверсивного преобразователя на тиристорах VS1 — VS6 и VS7 — VS12. Двигатель М связан с рабочим органом, тахогенератором ТГ и датчиком положения ДП. Контроль тока якоря осуществляется датчиком тока ДТ.

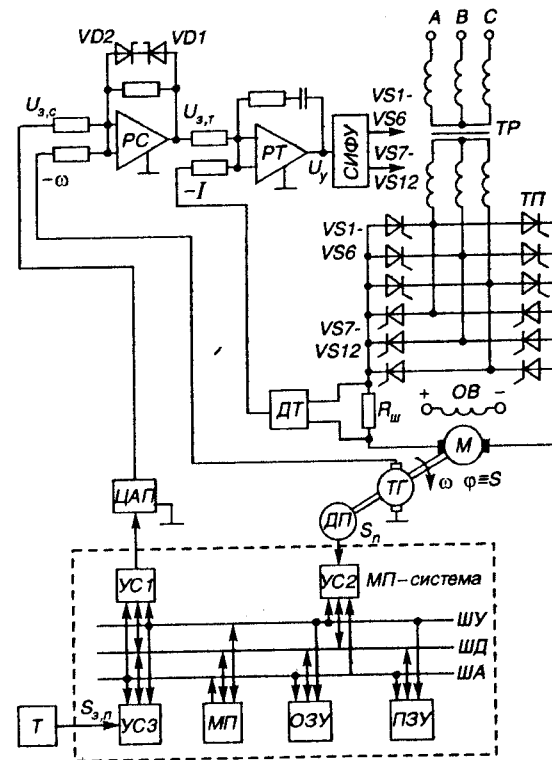


Рис. 17.20. Схема ЭП с микропроцессорным управлением

ЭПМПУ построен по принципу подчиненного регулирования координат рабочего органа. Имеет обратные связи по скорости (*ТГ* и регулятор скорости *РС*) и току (*ДТ* и регулятор тока *РТ*). Стабилитроны *VD1*, *VD2* обеспечивают ограничение тока и момента ДПТ.

Микропроцессорная система включает микропроцессор *МП*, устройства памяти *ОЗУ* и *ПЗУ*, устройства сопряжения *УС1 — УС3*, цифровой датчик положения *ДП*, цифро-аналоговый преобразователь *ЦАП*, обеспечивающий выходной сигнал задания скорости. Сигнал задания положения подается с терминала положения *Т* через *УС3*. Оптимальный график движения ЭП записывается в *ПЗУ* и определяет работу цифрового регулятора.

Выходное напряжение управления *U_y* регулятора поступает на систему импульсно-фазового управления *СИФУ*, которая определяет напряжение *ТП* и скорость вращения *М*.

В качестве МП-системы используются серийные микроЭВМ, либо программируемые контроллеры типа «Электроника К1-20» и др.

17.8. Технические данные полупроводниковых преобразователей

17.8.1. Статические преобразователи частоты (СПЧ)

В табл. 17.1 приведены технические данные СПЧ серии Р для регулирования скорости АД мощностью до 55 кВт на напряжение питающей сети $380 \pm 10\%$ В, частоте сети $50 \pm 5\% - 60 \pm 5\%$ Гц, температуре окружающей среды — $10...+45^\circ\text{C}$. Статические преобразователи частоты с цифровым микропроцессорным управлением обеспечивает включение и плавный пуск АД, регулирование и поддержание заданной частоты, динамическое торможение, аварийное отключение и диагностику.

Серия выпускается московским НПП «Сапфир».

17.1. Преобразователи частоты серии Р

Тип ПЧ	Регулируемая мощность, кВт	Номинальный ток нагрузки, А	Пределы регулирования по частоте, Гц	Номинальное напряжение на выходе, В	Пределы регулирования напряжения, В	КПД в номинальном режиме	Габариты, мм	Масса, кг
P10	5,5; 7,5; 11	20	20 — 60	380	10 — 380	0,97	500 × 400 × 230	18
P15	15	30	20 — 60	380	10 — 380	0,97	500 × 400 × 230	20
P22	22	45	20 — 60	380	10 — 380	0,97	605 × 405 × 240	30
P30	30	60	20 — 60	380	10 — 380	0,97	605 × 405 × 240	32
P55	55	110	20 — 60	380	10 — 380	0,97	820 × 470 × 270	48

В табл. 17.2 приведены технические данные статических преобразователей частоты ПЧ-ТТПТР для высокоскоростных и общепромышленных асинхронных двигателей, питающиеся от трехфазной сети

$380 \pm 10\%$ В, частоте сети $50 \pm 5\% - 60 \pm 5\%$ Гц и температуре от 0 до $+40^\circ\text{C}$. Максимальное выходное напряжение 380 В, диапазон регулирования частоты и напряжения преобразователей 40:1. Преобразователи частоты выпускаются фирмой «ГАМЭМ» НИИЭМ, г. Истра.

17.2. Статические преобразователи частоты типа ПЧ-ТТПТР

Тип ПЧ-ТТПТР	Номинальная выходная мощность, кВт	Максимальная выходная частота, Гц	Номинальный выходной ток, А	Мощность двигателя, кВт	Перегрузочная способность
20 — 380 — 2000	13	2000	20	7,5; 11	1,25
30 — 380 — 2000	20	2000	30	15	1,2
75 — 380 — 1000	50	1000	75	22; 30; 37	1,2
110 — 380 — 150	73	150	110	45; 55	1,2
150 — 380 — 150	100	150	150	75	1,2
180 — 380 — 150	120	150	150	90	1,2

Преобразователи частоты фирмы НТАСНИ (табл. 17.3) обеспечивают бессенсорное векторное управление с широтно-импульсной модуляцией, защиты от перегрузок по току, по напряжению, от превышения момента, от короткого замыкания. Пусковой момент — 150% от номинального.

Параметры трехфазной питающей сети: $400 \text{ В} \pm 15\%$, частота $50,6 \text{ Гц} \pm 5\%$. Выходное напряжение регулируется от 0 до напряжения питания. Характеристики (напряжение/частота): линейная, квадратичная, ступенчатая, S-образная, либо задаваемая пользователем.

17.3. Статические преобразователи частоты фирмы НТАСНИ

Тип ПЧ	Мощность двигателя, кВт	Выходной ток, А	Выходная частота, Гц	Габариты, мм	Масса, кг
L100-0004HFE	0,4	1,5	1 — 360	130 × 114 × 129	1,2
L100-007HFE	0,75	2,5	1 — 360	130 × 114 × 156	1,6
L100-015HFE	1,5	3,8	1 — 360	130 × 114 × 156	2,3
L100-022HFE	2,2	5,5	1 — 360	180 × 140 × 164	2,8
L100-030HFE	3,0	7,8	1 — 360	180 × 140 × 164	3,1
L100-040HFE	4,0	8,6	1 — 360	180 × 140 × 164	3,1
L100-055HFE	5,5	13	1 — 360	257 × 182 × 170	4,2
L100-075HFE	7,5	16	1 — 360	257 × 182 × 170	4,2
J100-015HFE	1,5	3,8	0 — 400	220 × 170 × 146	3,1
J100-022HFE	2,2	5,3	0 — 400	220 × 170 × 146	3,1
J100-037HFE	3,7	8,6	0 — 400	220 × 170 × 146	3,2
J300-055HFE	5,5	13	0 — 400	340 × 220 × 195	7,5

J300-075HFE	7,5	16	0 — 400	340 × 220 × 195	7,5
J300-110HFE	11	23	0 — 400	440 × 243 × 220	13
J300-150HFE	15	32	0 — 400	440 × 243 × 220	13
J300-220HFE	22	48	0 — 400	435 × 300 × 250	21
J300-300HFE	30	58	0 — 400	620 × 390 × 330	36
J300-370HFE	37	75	0 — 400	620 × 390 × 330	36
J300-450HFE	45	90	0 — 400	700 × 480 × 330	46
J300-550HFE	55	110	0 — 400	700 × 480 × 330	46
J300-750HFE	75	149	0 — 400	700 × 550 × 270	70
J300-900HFE	90	176	0 — 400	700 × 550 × 270	70
J300-1100HFE	110	217	0 — 400	780 × 550 × 270	80
JE300-1300HFE	132	250	0 — 300	1100 × 450 × 445	95
JE300-1600HFE	160	308	0 — 300	1250 × 700 × 425	190
JE300-2000HFE	200	383	0 — 300	1250 × 700 × 425	190
JE300-2500HFE	250	483	0 — 300	1250 × 700 × 425	190
JE300-3150HFE	315	621	0 — 300	1450 × 700 × 425	500
JE300-4000HFE	400	771	0 — 300	1450 × 700 × 425	500
JE300-5000HFE	500	958	0 — 300	1450 × 700 × 425	500

Преобразователи частоты фирмы HITACHI поставляются в последние годы в комплекте с асинхронными двигателями Владимирского электромеханического завода (ВЭМЗ).

Сведения о некоторых типах преобразователей для ЭП постоянного тока, выпускаемых отечественной промышленностью, а также устаревших, но находящихся в эксплуатации, приведены в табл. 17.4.

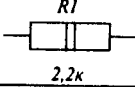
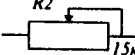
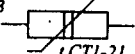
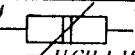
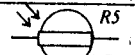
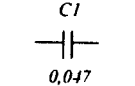
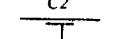
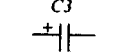
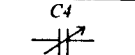
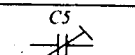
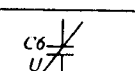
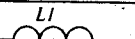
17.4. Преобразователи для ЭП постоянного тока

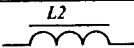
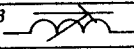
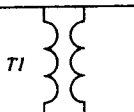
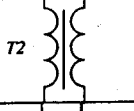

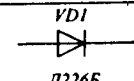
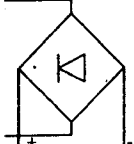
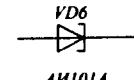
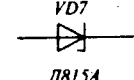
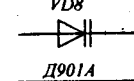
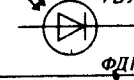
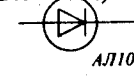
Тип	Назначение преобразователя	Напряжение питания, В	Номинальный выпрямленный ток, А	Номинальное выпрямленное напряжение, В
АТ АТР	Питание якорных цепей двигателей постоянного тока (Р-реверсивный)	220, 380, 6 000, 10 000	100 — 1600	230 — 460
АТВ АТРР	Питание обмоток возбуждения (Р-реверсивный)	220, 380 6 000, 10 000	100 — 800	230 — 460
ТПЗ ТПРЗ	Питание якорных цепей двигателей в схемах автоматизированного ЭП	6 000, 10 000	2500, 4000, 5000, 10 000 12 500	460, 660, 825 1050, 1050
АТО АТОР	Питание якорных цепей двигателей в схемах автоматизированного ЭП	220, 380	6,3 — 50	115, 230, 460
ВУК	Питание тяговых двигателей электровозов	Однофазное	3000, 3200, 4800	1350, 2500, 1460
КТУ	Питание ЭП и обмоток возбуждения синхронных двигателей	380, 6000 10 000	50 — 1600	230, 345, 460, 660


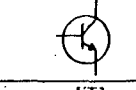
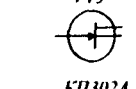
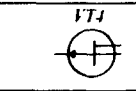
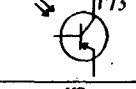
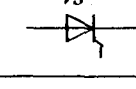
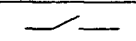
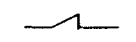
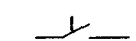

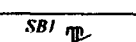
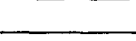
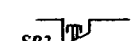
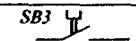
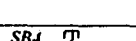
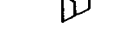
ВУ 1	Питание тяговых двигателей электропоездов ЭР-25	Однофазное	600	1650
КТУ	Комплектные ЭП для механизмов в черной металлургии	380, 6000, 10 000	100 — 1600	230, 460
ЭТЗ-1 ЭТЗ-2	ЭП металлорежущих станков (неревверсивные)	380	10 — 200	110, 220, 440
ЭТРП-1 ЭТРП-2	ЭП металлорежущих станков (реверсивные)	380	10 — 200	220, 440
ЭТУЗ601	ЭП металлорежущих станков	220, 380	25 — 250	115, 230
ТВ9, ТП9, ТЕР9, ТПР9	Питание обмоток возбуждения синхронных машин и машин постоянного тока	220, 380 220, 380	25 — 800 25 — 320	230 — 460 230 — 460

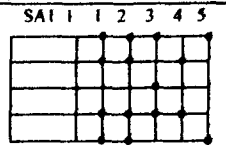
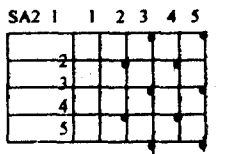
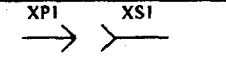
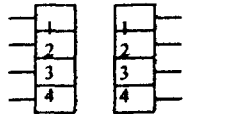
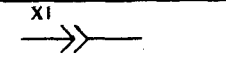
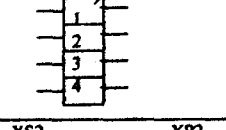


Более подробные сведения об элементах электропривода и их расчетах читатель найдет в [3, 46, 47].

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ**

Наименование	Заводская маркировка	Обозначение на схеме	Расшифровка
Резисторы:			
постоянный	МЛТ-2 2К2 И		Тип МЛТ. мощность рассеяния 2Вт, 2,2кОм, номер на схеме 1, - отклонение сопротивления 5%
переменный	СП-3в 0,025 Вт 15к; В		0,025 Вт, 15кОм, функциональная характеристика В
терморезистор	СТ1-21		Сопротивление термочувствительное кобальто-марганцевое
варистор	СН1-1-1500		Сопротивление нелинейное, зависит от напряжения
фотосопротивление	ФСК-Г1		Сопротивление зависит от освещенности
конденсаторы:			
постоянной ёмкости	К40П-2а 0,047 мкФ 10% 400 В		К- конденсатор, 40-бумажный с фольговыми обкладками, П- для постоянного тока, 2а- конструктивное исполнение
проходной			
электролитический	К50-20 20 мкФ 100 В		
переменной ёмкости	КПЕ		
подстроечный	КПК		Керамический подстроечный
вариконд			Ёмкость зависит от напряжения
катушки индуктивности:			
без сердечника			

с сердечником или дроссель			
подстроечная			
Трансформаторы:			
без сердечника			
с сердечником			
с подстройкой			
Полупроводниковые приборы:			
Диод	Д226Б		Плоскостной, кремниевый
Мост выпрямительный			Из четырёх диодов
диод туннельный	АИ101А		Туннельный эффект движение электронов через барьер, превышающий энергию электрона
стабилитрон	Д815А		Работа на обратной цепи вольт-амперной характеристики
варикал	Д901А		Изменение ёмкости p-n перехода при изменении обратного напряжения
фотодиод	ФД1		Изменение сопротивления p-n перехода при изменении освещенности
светодиод	АЛ102А		Излучение света при прохождении тока через p-n переход

Транзисторы:			
биполярный	ГТ308Б		Германиевый малой мощности типа р-п-р
			типа п-р-п
полевой	КП302А		Кремниевый с р-п-переходом и каналом п-типа
			с каналом р-типа
фототранзистор	ФТ-1		Управляется освещением
Тиристор	КУ201М		
Контакты в цепях управления			
контакты пускателя или реле			замыкающий
			размыкающий
			с механической связью с другим контактом
контакты переключателя			замыкающий
Контактные кнопки с самовозратом			замыкающий
			размыкающий
тоже без самовозрата			Возврат вытягиванием кнопки
			возврат пружинным нажатием
контакт теплового реле			
выключатель конечный	ВПК-2112		С замыкающим контактом

переключатель на пять положений		Вертикальные с точками в каждом положении означают соединения.	
то же		Точки в каждом положении означают соединения в разрывах горизонтальных линий.	
соединитель разъемный		соединение разобрано	
			
то же		соединение собрано	
		в данном положении соединяются линии 1 и 2, 3 и 4	
Выключатели трёх-фазные			
неавтоматический	РПБ		QS- неавтоматический (разъемный); РПБ- рубильник с боковым рычажным приводом
автоматический	АЕ2013		QF- автоматический; защита: I - максимальная токовая; T - тепловая

пускатель магнитный	ПМЛ1 100		
катушка пускателя или реле			
элементы теплового реле			
муфта электромагнитная			
разрядник			
лампа накаливания			осветительная
лампа сигнальная			
звонок			
выключатель розетка			обозначение на планах проводки
трансформаторы:			
силовой	ТМ-100		100 кВ·А, соединение обмоток звезда - звезда с нулём
напряжения измерительный	ЗОМ-1/15		С заземлёнными выводами первичной обмотки, однофазный масляный
тока измерительный	ТК-40		
генератор			переменного тока

Двигатели асинхронные с короткозамкнутым ротором	4ЛХ80А4		трёхфазный: 4А-серия. Х-алюминиевая станина и чугунные шты. 80-высота оси вращения, мм, А-длина сердечника, 4-число полюсов
	АД1180-4/71		однофазный: АД-асинхронный двигатель. 180 Вт, 4 полюса
двигатель постоянного тока	4П1080 1,1 кВт 1000 об/мин		серия 4П. (-)обдуваемый, 80-высота оси вращения, мм

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. БУКВЕННЫЕ КОДЫ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЁННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ

Первая буква кода	Группа элементов и устройств	2- и 3-буквенный код	Виды элементов и устройств
А	Устройство	AK	Блок реле
В	Преобразователи неэлектрических величин в электрические и наоборот	BK BL	Тепловой датчик Фотоэлемент
С	Конденсаторы		
Д	Интегральные схемы микросборки	DD	Интегральная схема цифровая
Е	Элементы разные	EK EL	Нагревательный элемент Лампа осветительная
Ф	Разрядники, предохранители, устройства защиты	FA FU FV	Дискретные элементы защиты по току мгновенного срабатывания Предохранители плавкие Разрядники
Г	Генераторы источники питания	GB	Батареи аккумуляторные
Н	Устройства сигнальные	HL	Приборы световой сигнализации
К	Реле, контакторы пускатели	KA KH KK KM KT KV	Реле токовые Реле указательные Реле электротепловые Контакторы, магнитные пускатели Реле времени Реле напряжения

		KCC KCT KL	Реле команды включения Реле команды отключения Реле промежуточные
L	Катушка индуктивности, дроссели	LL	Дроссель люминесцентного освещения
P	Приборы измерительные	PA PR PV PI PK	Амперметры Омметры Вольтметры Счетчик активной энергии Счетчик реактивной энергии
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях	QF QS	Выключатели автоматические Разъединители
R	Резисторы	RK RU	Терморезисторы Варисторы
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных	SA SF SB SL SP SQ SR SK	Выключатели или переключатели Выключатели автоматические Выключатели кнопочные Выключатели сбрасывающие от уровня Выключатели сбрасывающие от давления Выключатели сбрасывающие от положения Выключатели сбрасывающие от частоты вращения Выключатели сбрасывающие от температуры
T	Трансформаторы	TA TV	Трансформаторы тока Трансформаторы напряжения
V	Приборы полупроводниковые и электровакуумные	VD VS VL	Диоды Транзисторы Приборы электровакуумные
X	Соединения контактные	XA XP XS XT XN	Токосъемники, контакты скользящие Штыри Гнезда Соединения разборные Соединения неразборные
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	YA	Электромагнит

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехнический справочник: В 3 т. Т.1. / Под общей редакцией профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. - 7-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 488 с.
2. Электротехнический справочник: В 3 т. Т.2 / Под общей ред. профессоров МЭИ Гл. ред. - И.Н. Орлов - 7-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Электротехнический справочник: В 3 т. Т.3. Книги 1 и 2. / Под общей ред. Профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. - 7-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
4. Справочник по электротехническим материалам в 3 т. Т.3 / Под общей ред. Ю.В. Корицкого. - Л.: Энергоатомиздат, 1988.
5. Пешков И.Б. Обмоточные провода. - М.: Энергоатомиздат 1983. - 350 с.
6. Ларина Э.Т. Силовые кабели и кабельные линии. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
7. ГОСТ-1282-79Е. Конденсаторы для повышения коэффициента мощности электроустановок переменного тока частоты 50 и 60 Гц.
8. Тиристоры. Справочник/ О.П. Григорьев и др. - М.: Радио и связь, 1990. - 270 с.
9. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / Н.М. Адоньев и др. Под ред. В.В. Афанасьева, Л.: Энергоатомиздат. 1987. - 554 с.
10. Справочник по электрическим конденсаторам./ Под общей ред. И.И. Четверткова, В.Ф. Смирнова. - М.: Радио и связь. 1983. - 576 с.
11. Справочник по электрическим машинам: В 2 т./Под общей ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
12. Справочник по электроустановкам высокого напряжения./Под общей ред. И.А. Баумштейна, С.А. Бажанова. 3-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 767 с.
13. Справочник по электрооборудованию автомобилей, тракторов и комбайнов./ В.И. Тиманский и др. 2-е изд. - Минск, 1985.
14. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: 2 т./Под общей ред. А.А. Федорова. - М.: Энергоатомиздат. Т1, 1986, Т2, 1987.
15. Иванов А.А. Справочник по электротехнике. - Киев: Вища школа, 1984.
16. Справочник по эксплуатации электроустановок./Под общей ред. В.П. Тарана. - Киев: Техника 1985. - 184 с.
17. Долин П.А. Справочник по технике безопасности, 6-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 325 с.
18. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД. - М.: Издательство стандартов 1983. - 325 с.
19. Нейман Л.Р., Демирчан К.С. Теоретические основы электротехники. - Л.: Энергия, 1981. Т.1. - 536 с., Т.2. - 416 с.
20. Шебес М.Р. Теория линейных электрических цепей в упражнениях и задачах. - М.: Высшая школа, 1973. - 656 с.
21. Гайдукевич В.И. Справочное пособие электромонтера в строительстве. - М.: Стойиздат. 1986. - 254 с.
22. Сергеенков Б.Н., Киселев В.М., Акимова Н.А. Электрические машины. Трансформаторы. М.: Высшая школа, 1989. - 352 с.
23. Унифицированная серия асинхронных двигателей Интерэлектро / Под ред. В.И. Радина. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 416 с.

24. Макаров Л.Н., Ахунов Т.А., Попов В.И. Создание новой серии асинхронных машин. "Электричество", № 11, 1995.
25. Проектирование электрических машин В 2 кн./Под ред. И.П. Копылова. - 2-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1993.
26. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик и др. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 504 с.
27. Асинхронные двигатели общего назначения/Е.П. Бойко и др. - М.: Энергия, 1980. - 488 с.
28. Чебовский О.Б. Моисеев Л.Г., Недошивин Р.П. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник 2-е изд. - М.: Энергоатомиздат. 1985 - 400 с.
29. Перельман Б.Л. полупроводниковые приборы: Справочник. - М.: "СОЛОН", "МИКРОТЕХ". 1996. - 176 с.
30. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры: Справочник./Под ред. Н.Н. Горюнова. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1985.
31. Кесаримов Р.А. Справочник электрика. -М.: КУБК-а, 1997. - 320 с., илл.
32. Русан В.И., Селицкий В.Ф. Электричество дома и на даче. -М.: Стройиздат, 1998. -328 с., илл.
33. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. -М.: Энергоиздат, 1982.
34. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: Энергоатомиздат, 1990, 160 с., илл.
35. Правила устройства электроустановок. -М.: Энергоиздат, 1997.
36. Алиев И.И., Кондаков В.И., В.А. Игнатов. Справочник по практической электротехнике. -М.: МИКХИС, 1997. -186 с.
37. Возобновляемая энергия. Информационный бюллетень. Изд. Российского Центра солнечной энергии «Интерсоларцентр». -М.: 1997. № 1 и 2.
38. Шефтер Я.И. Ветроэнергетические агрегаты. -М.: «Машиностроение», 1972. 288 с., илл.
39. Оборудование для использования нетрадиционных и вторичных источников энергии. Госагропром СССР. -М.: АгроНИИТЭИИТО. 1988. 144 с., илл.
40. Животовский Б.А. Гидроэлектростанции малой мощности.-М.: РУДН.1995.179
41. Электродвигатели. Каталог ВЭМЗ. Владимир, ВЭМЗ, 1997. 24 с., илл.
42. Асинхронные электродвигатели. Информационное издание ЯЭМЗ «ELDIN». Ярославль. 1996. 11с., илл.
43. Московский электромеханический завод им. Владимира Ильича. Каталог продукции. -М.: «ЗВИ». 1996.12с., илл.
44. Малые и микроГЭС. Перечень продукции АО ИНСЭТ. -С.-Пб.: 1998.9с., илл.
45. Промышленные аккумуляторы. Каталог Power International 1998 г. Интернет, www.power.ru
46. Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учебное пособие для студентов вузов. - М. : МИКХИС, 1999. 332 с., илл.
47. Справочник по автоматизированному электроприводу/Под ред. В. А. Елисеева и А. В. Шинявского. М.: Энергоатомиздат, 1986.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
ГЛАВА 1. Основы электротехники	5
1.1 Основные понятия и определения электротехники	5
1.2. Основные законы электротехники	11
1.3. Основные понятия и определения для магнитных цепей	16
1.4. Формулы для расчета емкости и индуктивности	18
1.5. Расчетные формулы для цепей постоянного тока	19
1.6. Переходные процессы в цепях постоянного тока	22
1.7. Расчетные формулы для цепей однофазного тока	25
1.8. Расчетные соотношения для цепей трехфазного тока	29
1.9. Переходные процессы в цепях переменного синусоидального тока	31
ГЛАВА 2. Физические величины в системе СИ	31
2.1. Основные единицы СИ	33
2.2. Дополнительные единицы в системе СИ	33
2.3. Единицы механических величин в системе СИ	34
2.4. Единицы электромагнитных величин в системе СИ	35
2.5. Пересчет единиц физических величин	35
2.6. Единицы физических величин, применяемые в отечественной и зарубежной практике	36
2.7. Физические константы, используемые в электротехнике	40
2.8. Буквы латинского и греческого алфавита, принятые для обозначения электрических и магнитных величин	41
ГЛАВА 3. Диэлектрические материалы	44
3.1. Физические свойства диэлектрических материалов	44
3.2. Технические данные диэлектрических материалов	45
ГЛАВА 4. Проводниковые материалы	48
4.1. Проволока, провода, допустимые токовые нагрузки	49
4.2. Шины и ленты, их допустимые токовые нагрузки	58
4.3. Кабельные изделия, допустимые токовые нагрузки кабелей	59
4.4. Установочные провода и соединительные шнуры	75
4.5. Обмоточные эмалированные провода с эмалеволокнистой изоляцией	78
ГЛАВА 5. Трансформаторы	81
5.1. Основные сведения о типах трансформаторов	81
5.2. Силовые трехфазные трансформаторы	82
5.3. Однофазные трансформаторы	85
5.4. Трансформаторы тока и напряжения	85
ГЛАВА 6. Синхронные машины	87
6.1. Синхронные генераторы	87
6.2. Синхронные двигатели	91
6.3. Синхронные компенсаторы	93
ГЛАВА 7. Асинхронные двигатели	95
7.1. Основные сведения о серийных асинхронных двигателях	95
7.2. Асинхронные двигатели новых серий RA и 6A	97
7.3. Асинхронные двигатели серии 4А с короткозамкнутым ротором	100

7.4. Двигатели серии 4А с фазным ротором	104
7.5. Асинхронные двигатели большой мощности	106
7.6. Асинхронные двигатели серии АИ	108
7.7. Крановые и краново-металлургические асинхронные двигатели серий МТФ, МТКФ, МТКН	114
7.8. Двигатели серии АО2	116
7.9. Асинхронные двигатели серии 5А (5АН, 5АНК)	117
7.10. Асинхронные микродвигатели	120
ГЛАВА 8. Машины постоянного тока	126
8.1. Двигатели постоянного тока серий 2ПА, 2ПФ, 4ПБ, 4ПФ	126
8.2. Крановые и краново-металлургические двигатели	135
8.3. Генераторы постоянного тока	136
8.4. Универсальные коллекторные двигатели	137
ГЛАВА 9. Электрические аппараты до 1000 В	140
9.1. Автоматические выключатели	140
9.2. Контактные аппараты, магнитные пускатели	142
9.3. Реле	145
9.4. Командоаппараты, командоконтроллеры, кнопки, выключатели, переключатели	149
9.5. Бесконтактные аппараты	152
9.6. Предохранители плавкие	152
9.7. Резисторы и реостаты силовые	153
9.8. Конденсаторы и конденсаторные установки	156
ГЛАВА 10. Электрооборудование и электрические аппараты высоко- го напряжения	158
10.1. Масляные выключатели	159
10.2. Электромагнитные выключатели	159
10.3. Разъединители внутренней и наружной установки 10 кВ	160
10.4. Комплектные трансформаторные подстанции 10 кВ	161
10.5. Комплектные конденсаторные установки 6 (10) кВ	161
ГЛАВА 11. Элементы электроснабжения и электрического освещения	164
11.1. Общие вопросы электроснабжения. Параметры напряжения	164
11.2. Воздушные и кабельные ЛЭП напряжением 6 (10) и 0,4 кВ	165
11.3. Расчет и выбор сечений проводов, кабелей, шин	168
11.4. Расчет токов короткого замыкания и выбор автоматических выключателей и предохранителей	169
11.5. Приборы электрического освещения	171
11.6. Измерение электрической энергии	174
11.7. Внутренние и наружные электрические проводки	176
ГЛАВА 12. Автономные источники электрической энергии	180
12.1. Автономные дизельэлектрические и бензоэлектрические агрега- ты и станции	180
12.2. Ветроэлектрические станции	181
12.3. Комплектные фотоэлектрические солнечные системы	183
12.4. Малые ГЭС и микро ГЭС	183
12.5. Аккумуляторы	185
ГЛАВА 13. Силовые полупроводниковые диоды	187
ГЛАВА 14. Тиристоры	192
ГЛАВА 15. Транзисторы большой мощности	197

ГЛАВА 16. Вопросы электробезопасности	207
16.1. Основные понятия и определения	207
16.2. Основные технические и организационные мероприятия по безо- пасному проведению работ в действующих электроустановках	209
16.3. Защитные средства	211
16.4. Защитное заземление и защитное зануление	212
ГЛАВА 17. Элементы электропривода	217
17.1. Основные понятия и классификация электроприводов	217
17.2. Элементы механики электропривода	219
17.3. Режимы работы электроприводов	220
17.4. Расчет мощности и выбор электродвигателей	222
17.5. Механические свойства электродвигателей и способы регулиро- вания частоты их вращения	225
17.6. Регулирование скорости вращения электроприводов	228
17.7. Автоматическое управление электроприводами	229
17.8. Технические данные полупроводниковых преобразователей	240
Приложение 1. Условные обозначения некоторых элементов и устрой- ств на электрических схемах	244
Приложение 2. Буквенные коды наиболее распространенных элемен- тов и устройств, применяемые в электрических схемах	249
Литература	251