

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Серия основана в 2001 году

В.К. Варварин

ВЫБОР И НАЛАДКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

3-е издание

Электронно-
библиотечная
Система
znanium.com



Москва

ИНФРА-М

2018

УДК 621.31(075.32)
ББК 31.29-5я723
В18

Рецензент:

преподаватель специальных дисциплин электротехнического цикла технического отделения Обнинского политехнического техникума
В.П. Шеховцов

Варварин В.К.

В18 Выбор и наладка электрооборудования : справоч. пособие / В.К. Варварин. — 3-е изд. — М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2018. — 238 с. — (Среднее профессиональное образование).

ISBN 978-5-00091-451-9 (ФОРУМ)

ISBN 978-5-16-013067-5 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-105846-6 (ИНФРА-М, online)

Рассмотрена наладка оборудования электродвигателей, пусковой и защитной аппаратуры, заземляющих устройств. Приведены данные о степенях защиты, конструктивном исполнении и способе монтажа электрооборудования для выбора его с учетом специфических условий среды, в которой это оборудование должно работать. Изложены сведения об электрических цепях и схемах. Описаны причины возникновения ошибок в схемных решениях, а также методы обнаружения неисправностей в электрических цепях.

Предназначена специалистам, занимающимся монтажом, наладкой и эксплуатацией электрооборудования.

УДК 621.31(075.32)
ББК 31.29-5я723

ISBN 978-5-00091-451-9 (ФОРУМ)
ISBN 978-5-16-013067-5 (ИНФРА-М, print)
ISBN 978-5-16-105846-6 (ИНФРА-М, online)

© Варварин В.К., 2006
© Варварин В.К., 2014,
с изменениями
© ФОРУМ, 2014

Введение

Электрооборудование является основой комплексной механизации и автоматизации производственных процессов в промышленности, а правильный выбор и наладка электрооборудования способствует его безаварийной работе. На базе директивных документов в книге обобщены наиболее часто встречающиеся формы и методы ведения наладочных работ на электрооборудовании напряжением до 1 кВ (электрические цепи, электродвигатели, пускозащитная аппаратура, заземляющие устройства), которое имеет наибольшее распространение и используется почти во всех электроустановках, а также приведены данные, необходимые при выборе электрооборудования, как общепромышленного, так и специализированного, при различных условиях внешней среды.

Почти все работы, описанные в книге, проводятся не только в период пуска оборудования в эксплуатацию, но и периодически: один раз в год или несколько лет. Поэтому в наладочных организациях группы или участки наладчиков, для которых, в основном, предназначено Справочное пособие, являются самыми многочисленными. Книга полезна также специалистам монтажных организаций, как материалом, с помощью которого можно выбрать электрооборудование (этот вопрос возникает перед всеми работниками электротехнических специальностей, связанных с производством), так и описанием методик проведения работ, некоторые из которых обязательны для выполнения монтажными организациями или выполняются силами эксплуатационного персонала при отсутствии монтажников.

Поскольку к производству работ на электроустановках допускаются только лица, прошедшие специальное обучение, сведения первого раздела и материал, помещенный в начале других разделов, будет полезен работникам, деятельность которых связана с электрооборудованием. Этот материал необходим также и в практической деятельности.

Для работников с небольшим опытом работы на электрооборудовании приведены сведения об электрических цепях и схемах и описаны методы обнаружения неисправностей электрических цепей в схемах вторичной коммутации, а также причины неработоспособности самих схем.

На основании части 3 СНиП «Организация, производство и приемка работ» изложены взаимоотношения со смежными организациями и разграничение монтажных и пусконаладочных работ.

Приведены меры электробезопасности и правила оказания первой доврачебной помощи.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Основные формулы и зависимости электрических величин

Закон Ома для постоянного тока

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1.1)$$

где I — ток, А; U — напряжение, В; R — сопротивление, Ом.

Сопротивление проводника постоянному току:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1.2)$$

где ρ — удельное сопротивление (сопротивление проводника из материала длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м²), Ом · м; l — длина проводника, м; S — площадь поперечного сечения проводника, м².

Значения удельных сопротивлений некоторых проводниковых материалов приведены в табл. 1.1.

Зависимость сопротивления от температуры характеризуется формулой:

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)], \quad (1.3)$$

где R_2 и R_1 — сопротивление проводника соответственно при температурах T_2 и T_1 , Ом; α — температурный коэффициент сопротивления, Ом · К.

Значения некоторых температурных коэффициентов сопротивления проводниковых материалов приведены в табл. 1.1.

При последовательном сопротивлении резисторов общее сопротивление:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n. \quad (1.4)$$

Таблица 1.1. Параметры некоторых проводниковых материалов

Материал	Удельное сопротивление, при 20 °С, 10^{-6} Ом · м	Температурный коэффициент		Температура плавления, °С	Плотность, 10^3 кг/м ³
		электрического сопротивления, Ом · К ⁻¹	линейного расширения, 10^{-3} м · К ⁻¹		
Алюминий	0,029	0,004	0,024	659	2,7
Вольфрам	0,058	0,0046	0,0045	3500	18,7
Железо	0,1—0,14	0,0045	—	1530	7,85
Константан	0,4—0,51	0,00005	0,015	1200	8,8
Латунь	0,05	0,002	0,018	960	8,4—8,7
Медь	0,0175	0,004	0,017	1083	8,9
Манганин	0,42	0,000015	—	960	8,14
Нихром	1,1	0,0003	—	1375	8,2
Серебро	0,018	0,004	0,019	961	10,5
Сталь	0,13—0,3	0,005	0,012	1500	7,85
Хромель	1,3	0,00004	—	1500	7,1

При параллельном соединении резисторов общее сопротивление:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}. \quad (1.5)$$

Электрическая проводимость, См:

$$g = \frac{1}{R}. \quad (1.6)$$

Электродвижущая сила (ЭДС) источника постоянного тока:

$$E = I(R + r), \quad (1.7)$$

где E — ЭДС источника тока, В; I — ток в цепи, А; R — сопротивление внешней цепи, Ом; r — внутреннее сопротивление источника тока, Ом.

При последовательном соединении источников постоянного тока общая ЭДС:

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_n, \quad (1.8)$$

где E_1, E_2, \dots, E_n — ЭДС отдельных источников тока.

При параллельном соединении источников постоянного тока общая ЭДС:

$$E = E_1 = E_2 = \dots = E_n. \quad (1.9)$$

При последовательном включении источников тока значение тока во внешней цепи:

$$I = \frac{E_e}{R + rn}, \quad (1.10)$$

где n — число последовательно включенных источников тока.

При параллельном включении источников тока значение тока во внешней цепи:

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}. \quad (1.11)$$

При смешанном включении источников тока значение тока во внешней цепи:

$$I = \frac{E}{R + \frac{rn}{m}}, \quad (1.12)$$

где m — число параллельных групп источников тока.

Мощность постоянного тока, Вт:

$$P = UI. \quad (1.13)$$

Работа (энергия), Дж:

$$A = Pt, \quad (1.14)$$

где t — время, с.

Количество теплоты, выделяющееся в проводнике при прохождении по нему тока, Дж:

$$A = I^2 R t, \quad (1.15)$$

где I — ток, А; R — сопротивление проводника, Ом; t — время прохождения тока, с.

Закон Ома для переменного тока:

$$I = \frac{U}{Z}, \quad (1.16)$$

где I — ток, А; U — напряжение, В; Z — полное сопротивление, Ом:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L + X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}. \quad (1.17)$$

Здесь R — активное сопротивление, Ом; $X_L = \omega L$ — индуктивное сопротивление, Ом; $X_C = \frac{1}{\omega C}$ — емкостное сопротивление, Ом; ω — угловая частота, рад/с; $\omega = 2\pi f$, где f — частота переменного тока, Гц; при $f = 50$ Гц $\omega = 314$ рад/с; L — индуктивность, Гн; C — емкость, Ф.

Однофазный переменный ток:

- активная мощность, Вт:

$$P = UI \cos \varphi; \quad (1.18)$$

- реактивная мощность, вар:

$$Q = I \sin \varphi; \quad (1.19)$$

- полная (кажущаяся) мощность, В · А:

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}; \quad (1.20)$$

- активная энергия, Дж:

$$W = 3600 P t; \quad (1.21)$$

- реактивная энергия, вар/ч:

$$W_{\rho} = Q t. \quad (1.22)$$

В формулах (1.18)—(1.22) U — напряжение цепи, В; I — ток цепи, А; φ — угол сдвига фаз; t — время протекания тока, ч.

Переменный трехфазный ток:

- активная мощность, Вт:

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi; \quad (1.23)$$

- реактивная мощность, вар.:

$$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi; \quad (1.24)$$

- полная (кажущаяся) мощность, В · А:

$$S = \sqrt{3}UI; \quad (1.25)$$

- активная энергия, Дж:

$$W = 3600Pt; \quad (1.26)$$

- реактивная энергия, вар/ч:

$$W_p = Qt. \quad (1.27)$$

В формулах (1.23)—(1.27) U — линейное (междуфазное) напряжение (действующее значение), В; t — время протекания тока, ч; I — ток (действующее значение), А; φ — угол сдвига фаз между векторами токов и напряжений одноименных фаз.

Коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_a}{U} = \frac{I_a}{I} = \frac{P}{S}, \quad (1.28)$$

где U_a и I_a — активные составляющие напряжения и тока.

Соотношение между напряжениями и токами в трехфазной системе:

- соединение в звезду:

$$U_a = \sqrt{3}U_{\phi}; \quad I_a = I_{\phi}; \quad (1.29)$$

- соединение в треугольник:

$$U_a = U_{\phi}; \quad I_a = \sqrt{3}I_{\phi}; \quad (1.30)$$

где U_{ϕ} , I_{ϕ} — фазное напряжение и ток; U_a , I_a — линейное напряжение и ток.

1.2. Некоторые сведения о средствах измерений

Различного рода измерения являются существенной частью наладочных работ и испытаний электрооборудования. Применяющиеся для этого средства измерений являются техническими средствами, имеющими нормативные метрологические свойства, и от их выбора существенно зависят результаты проводимых наладочных работ.

Различают следующие средства измерений: меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные установки и системы.

Средства измерений классифицируют по следующим основным признакам.

По роду измеряемых величин или параметров — для измерения температуры, количества и расхода вещества, давления и разрежения, частоты вращения и др.

По точности — классы точности и соответствующие им предельно допустимые значения основной погрешности выбираются из ряда: $(1; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0; 5,0; 6,0) \cdot 10^n$, где $n = 0$ или целому отрицательному числу. Из этого ряда исключаются классы 5,0 и 6,0. Класс 2,0 применяют для счетчиков электрической энергии.

Для приборов, у которых основная погрешность выше 4,0, класс не устанавливается, и прибор характеризуется предельным значением основной погрешности.

По принципу действия — механические, электрические, пневматические и др.

По метрологическому назначению — эталонные, образцовые, технические (рабочие).

По способу образования показаний — показывающие и регистрирующие. Показывающие приборы, в свою очередь, делят на аналоговые (их показания являются непрерывной функцией значения измеряемой величины) и цифровые (их показания представлены в цифровой форме). Различают регистрирующие приборы, самопишущие и печатающие.

По числу контролируемых величин.

По способу определения значения измеряемой величины — прямого действия и сравнения. (Приборы сравнения являются более точными, чем приборы прямого действия.)

По дистанционному признаку — местные, с дистанционной передачей показаний и телеметрического контроля.

Поскольку измерительные приборы по приведенной классификации можно отнести одновременно к нескольким группам, за основную обычно принимают классификацию, по которой приборы получают наименование по роду измеряемых величин или параметров.

В практике производства наладочных работ наиболее часто используют электроизмерительные приборы. Требования к электроизмерительным приборам устанавливает основной стандарт: ГОСТ 22261—94. Этот стандарт предписывает общие для всех средств измерений электрических величин общепромышленного назначения нормальные и рабочие условия применения, метрологические характеристики и методы их контроля и определения; требования к конструкции, надежности и безопасности; правила приемки, обозначения, упаковки транспортирования и хранения; гарантии изготовителя.

Условные обозначения (наиболее часто встречающиеся), наносимые на приборы и вспомогательные части, даны в приложении П1.

Электромеханические приборы имеют следующие обозначения: М — магнитоэлектрические, Э — электромагнитные, Д — электродинамические и ферродинамические, И — индукционные, С — электростатические, Ц — выпрямительные, Т — термоэлектрические.

Электронные приборы имеют следующие обозначения: А — для измерения тока, В — напряжения, Е — параметров цепей, М — мощности, Ч — частоты.

Другие приборы обозначаются следующим образом: С — осциллографы, У — усилители, Г — генераторы, К — измерительные установки и др.

В табл. 1.2, которую можно использовать при выборе приборов для конкретных работ в различных условиях их проведения, даны области применения, достоинства и недостатки электромеханических приборов различных систем.

Таблица 1.2. Достоинства, недостатки и область применения электромеханических приборов различных систем

Система	Достоинства	Недостатки	Область применения
Магнитоэлектрическая	Высокая чувствительность. Большая точность. Линейность шкалы. Малое потребление энергии. Малая чувствительность к изменениям температуры и влажности магнитного поля	Сложная и дорогая конструкция. Низкая перегрузочная способность. Без предварительного выравнивания прибора только для работы на постоянном токе	Измерение тока и напряжения в цепях постоянного тока. С преобразователями и выпрямителями используются для измерения электрических величин в цепях переменного тока, а также измерения неэлектрических величин (температуры, давления и т. п.)
Электромагнитная	Подходит для цепей постоянного и переменного тока. Большая перегрузочная способность. Возможность измерения большого тока и напряжения. Простота конструкции и невысокая стоимость	Низкая чувствительность и точность. Значительное собственное потребление энергии. Подверженность влиянию частоты, внешних магнитных полей и температуры	Измерение тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока (преимущественно щитовыми приборами). Рекомендуется применять при измерении в цепях переменного тока, так как недостаточно однородное качество жала среднечастотной помехи точность прибора, отградуированных для обеих токов
Электродинамическая	Высокая точность для постоянного и переменного тока	Ограниченные пределы измерения по току и напряжению. Неравномерность шкалы. Большое собственное потребление энергии. Подверженность влиянию частоты, температуры, внешних магнитных полей и механических воздействий	Измерение тока, напряжения, мощности, частоты, угла сдвига фаз в цепях переменного тока, а также тока, напряжения и мощности в цепях постоянного тока
Ферродинамическая	Большая взрывоустойчивость. Сильное собственное магнитное поле, исключается влияние внешнего. Стабильность прибора при механических воздействиях	Низкая точность. Значительное потребление энергии. Подверженность влиянию частоты и температуры на показания	Применяется в качестве самопишущих амперметров, вольтметров, калметров и других приборов в цепях переменного тока промышленной и коммунальной частоты. В цепях постоянного тока используются редко

Система	Достоинства	Недостатки	Область применения
Индукционная	<p>Большой вращающий момент. Неустойчивость к внешним магнитным полям. Большая перегрузочная способность. Механическая прочность.</p>	<p>Преимущество для цепей переменного тока. Проверены влияние изменений температуры и частоты. Сложность конструкции. Большое собственное потребление энергии (наибольшее из рассмотряемых приборов).</p>	<p>Индукционные вращающиеся преобразователи в счетчиках электрической энергии однофазного и трехфазного токов промышленной частоты</p>
Электростатическая	<p>Малое потребление электроэнергии. Независимость показаний от частоты, формы кривой и измеренного напряжения и внешних магнитных полей. Большой диапазон непосредственно измеряемых напряжений (до сотен кВ) на низких и высоких частотах (до 40 МГц)</p>	<p>Малая чувствительность и невысокая точность. Неравномерность шкалы. Влияние внешних электрических полей и изменения влажности</p>	<p>Применяется как вольтметры постоянного и переменного тока высокой и повышенной частоты низкого и высокого напряжения. Совместно с электронными усилителями используется как милливольтметры и милливольтметры переменного тока. Для расширения пределов измерения электростатических вольтметров в цепях переменного тока используются делители напряжения или деловые резисторы, а в цепях переменного тока — конденсаторные делители напряжения или добавочные конденсаторы</p>
Выпрямительная	<p>Высокая чувствительность. Малое собственное потребление энергии. Широкий частотный диапазон (с ограничением частотными свойствами диодов)</p>	<p>Нелинейность шкалы. Низкойшей класс точности. Зависимость показаний от температуры и формы кривой измеряемого тока</p>	<p>Применяется в качестве многопредельных комбинированных приборов в цепях промышленной и повышенной частоты. Для расширения пределов измерения используются шунтирующие и добавочные резисторы, включенные вне цепи выпрямления</p>
Термоэлектрическая	<p>Независимость показаний от частоты и формы кривой измеряемого тока</p>	<p>Низкая точность и чувствительность. Неравномерность (неадекватность) шкалы. Значительное собственное потребление энергии. Низкая перегрузочная способность. Зависимость показаний от внешней температуры. Относительно короткий срок службы термопреобразователя</p>	<p>Применяется в основном для измерения тока и (реже) напряжения в цепях с несинусоидальными токами высокой частоты</p>

Электронные измерительные приборы, характеристики которых не вошли в табл. 1.2, отличаются от электромеханических тем, что их измерительная цепь содержит электронные элементы. Их используют для измерения практически всех электрических величин, а также неэлектрических величин, предварительно преобразованных в электрические. Эти приборы обладают высокой чувствительностью, широким частотным диапазоном, позволяют автоматизировать измерительный процесс.

Точность измерений зависит от метода измерений и класса точности выбранных приборов. Точность измерительного прибора отражает близость к нулю его погрешностей, а класс его точности определяется его погрешностью.

Абсолютная погрешность прибора — разность между показаниями прибора $A_{\text{пр}}$ и действительным значением измеряемой величины A_x :

$$\Delta = A_{\text{пр}} - A_x \quad (1.31)$$

Относительная погрешность прибора определяется отношением абсолютной погрешности к значению измеряемой величины:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_x} 100 \% \quad (1.32)$$

Для определения класса точности прибора используют приведенную относительную погрешность — отношение абсолютной погрешности к максимальному значению измеряемой величины, т. е. к значению верхнего предела шкалы прибора A_{max} :

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_{\text{max}}} 100 \% \quad (1.33)$$

В некоторых случаях класс точности прибора указывают по отношению приведенных погрешностей в конечном и начальном значениях шкалы.

Допустимая относительная погрешность прибора — наибольшая приведенная относительная погрешность, которая допускается для данного прибора стандартом:

$$\gamma_{\text{доп}} = \frac{\Delta_{\text{max}}}{A_{\text{max}}} 100 \% \quad (1.34)$$

Допустимое значение приведенной относительной погрешности $\gamma_{\text{доп}}$ определяет класс точности прибора, указанный на его шкале.

1.3. Выбор электрооборудования для различных производственных помещений

В определенных случаях наладчикам приходится решать вопросы по замене электрооборудования или выбору нового, например, при изменении технологии производства. Для этого, кроме специальных функциональных задач, следует учитывать специфические условия среды, в которой это оборудование работает, а также его степень защиты и исполнение.

Степени защиты электрических изделий оболочками определяет ГОСТ 14254—96. Для обозначения степени защиты применяют латинские буквы «IP» (начальные буквы английских слов International Protection), после которых записывают две цифры и две буквы: дополнительные A, B, C, D и вспомогательные H, M, S. Ранее применялась также буква W. Изделие с таким обозначением предназначалось для использования в особых климатических условиях при осуществлении дополнительных мер его защиты в конструкции или в эксплуатации. В настоящее время требования в части стойкости оболочек и электрооборудования в целом к климатическим, механическим внешним воздействующим факторам и специальным средам установлены в других стандартах.

Первая цифра (от 0 до 6) обозначает степени защиты от доступа к опасным частям и от попадания твердых предметов. Защита от доступа к опасным частям обеспечивает защиту людей от контакта с токоведущими опасными частями, находящимися под низким напряжением и опасными механическими частями, а также от сближения с опасными токоведущими частями, находящимися под высоким напряжением, на расстояние меньше достаточного воздушного промежутка. Такая защита может быть обеспечена не только самой оболочкой, но и с помощью барьеров, являющихся ее составной частью, или за счет расстояний внутри оболочки.

Вторая цифра (от 0 до 8) обозначает степень защиты изделия от воды. Значение и расшифровка первой и второй цифр указаны в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Характеристики степеней защиты электрооборудования

Степень защиты	Защита персонала от соприкосновения с частями, движущимися или токоведущими, и попадания в оболочку твердых предметов (первая цифра обозначения)	Защита от проникновения и вредного действия воды на оборудование внутри оболочки (вторая цифра обозначения)
0	Нет защиты	Нет защиты
1	Защита от доступа к опасным частям части человеческого тела, например, тыльной стороны руки и твердых предметов диаметром более 50 мм	Капли воды вертикально, падающие на изделие, не должны оказывать вредного воздействия
2	Защита от доступа к опасным частям пальцем и твердых предметов диаметром равным или больше 12,5 мм	Капли воды, вертикально падающие на изделие, не должны оказывать вредного воздействия при наклоне его на любой угол до 15° относительно нормального положения
3	Защита от доступа к опасным частям инструментом и твердых предметов диаметром равным или больше 2,5 мм	Дождь, падающий на изделие под углом 60° вертикально, не должен оказывать вредного воздействия
4	Защита от доступа к опасным частям проволокой и твердых предметов диаметром равным или больше 1,0 мм	Вода, попадающая в виде брызг на оболочку с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия
5	Защита от доступа к опасным частям проволокой. Проникновение пыли исключено не полностью, однако пыль не должна проникать в количестве, достаточном для нарушения нормальной работы оборудования или снижения его безопасности (пылезащищено)	Вода, направляемая на оболочку в виде струй с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия
6	Защита от доступа к опасным частям проволокой. Пыль не проникает в оболочку (пыленепроницаемо)	Вода, направляемая на оболочку в виде сильных струй с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия
7	—	Должно быть исключено проникновение воды внутрь оболочки в количестве, вызывающем вредное воздействие, при ее погружении на короткое время
8	—	Должно быть исключено проникновение воды в оболочку в количествах, вызывающих вредное воздействие, при ее длительном погружении в воду при условиях, согласованных между изготовителем и потребителем, однако более жестких, чем условия для степени защиты 7

Если требуется указать степень защиты изделия только одной цифрой, то пропущенную цифру заменяют буквой X, например, IPX5; IP2X.

Обозначение второй цифрой до 6 включительно подтверждает соответствие одновременно всем требованиям для меньших степеней защиты. Оболочки, обозначенные второй цифрой 7 или 8, непригодны для выдерживания струй воды (цифры 5, 6) и удовлетворяют требованиям этих цифр только в случае двойного кодирования, например, IPX5/IPX7 (двойное кодирование).

Дополнительная буква обозначает степень защиты людей от доступа к опасным частям и используется, если действительная защита выше защиты, указанной первой цифрой или первая цифра заменена символом X. Например, IP1XB.

Степень защиты оболочки может быть обозначена дополнительной буквой только в том случае, если она удовлетворяет всем более низким по уровню степеням защиты.

Дополнительные буквы обозначают:

A — защита от доступа тыльной стороны руки;

B — защита от доступа пальцем руки;

C — защита от доступа инструментом;

D — защита от доступа проволокой;

Вспомогательные буквы обозначают:

H — высоковольтные аппараты;

M — испытуемое на соответствие степени защиты от вредных воздействий, связанных с проникновением воды, — оборудование с движущимися частями (например, ротором вращающейся машины), находящимися в состоянии движения;

S — испытуемое на соответствие степени защиты от вредных воздействий, связанных с проникновением воды, — оборудование с движущимися частями (например, ротором вращающейся машины), находящимися в состоянии неподвижности.

Дополнительные и вспомогательные буквы без замены на букву X.

Способность электротехнических изделий противостоять воздействию климатических факторов внешней среды, надежность их работы при воздействии этих факторов в большей степени зависит от того, насколько их конструкция и исполнение соответствуют условиям, в которых эти изделия эксплуатируются.

К климатическим факторам внешней среды относятся: температура, влажность воздуха, давление воздуха (высота над уров-

нем моря), солнечная радиация, дождь, ветер, пыль (в том числе снежная), резкие смены температуры воздуха, соляной туман, иней, действие плесневых грибов, содержание в воздухе коррозионно-активных элементов.

Исполнение электротехнических изделий для различных климатических районов, их категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования при воздействии климатических факторов внешней среды установлены ГОСТ 15150—69 и ГОСТ 15543—70.

Климатическое исполнение обозначается одной, двумя или тремя буквами (табл. 1.4).

Таблица 1.4. Климатические исполнения электротехнических изделий

Исполнение электротехнических изделий	Обозначение	
	русское	латинское
Изделия, предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озерах, для макроклиматических районов:		
с умеренным климатом	У	(N)
с умеренным и холодным климатом	УХЛ	(NF)
с влажным тропическим климатом	ТВ	(TH)
с сухим тропическим климатом	ТС	(TA)
с сухим и с влажным тропическим климатом	Т	(T)
для всех макроклиматических районов на суше, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (общеклиматическое исполнение)	О	(U)
Изделия, предназначенные для эксплуатации в макроклиматических районах с морским климатом:		
с умеренно-холодным климатом	М	(M)
с тропическим климатом	ТМ	(MT)
с умеренно-холодным и с тропическим климатом	ОМ	(MU)
Изделия, предназначенные для эксплуатации во всех макроклиматических районах на суше и на море, кроме макроклиматических районов с очень холодным климатом (всеклиматическое исполнение)	В	(W)

Категория размещения изделия обозначается цифрой от 1 до 5, следующей за буквенным обозначением климатического обозначения (табл. 1.5).

Таблица 1.5. Категории климатических исполнений в зависимости от мест размещения электротехнических изделий при эксплуатации

Характеристика категории	Обозначение
Для эксплуатации на открытом воздухе	1
Для эксплуатации под навесом или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха незначительно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ свежего воздуха	2
Для эксплуатации в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе	3
Для эксплуатации в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями (например, в закрытых отапливаемых и вентилируемых производственных и других помещениях)	4
Для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью (например, в неотопляемых и неветилируемых подземных помещениях, в помещениях, в которых возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолке)	5

Существуют также дополнительные категории, которые указаны в стандарте для всех основных категорий, приведенных в табл. 1.5.

Обозначение видов климатического исполнения изделий должно включать либо сочетание исполнения и категории, обеспечивающих наиболее жесткие условия эксплуатации, либо, если это сочетание невозможно установить, несколько исполнений и категорий, для которых изделие предназначено (комбинированное обозначение). Например, электродвигатель, предназначенный для работы в условиях категорий 2, 3, 4 исполнения УХЛ и в условиях категории 5 исполнения 0, обозначают А02-21-4 УХЛ205 (категория 2 — самая жесткая для данного изделия). Такой же электродвигатель, предназначенный для категорий 2, 3, 4, 5 исполнения УХЛ, обозначают А02-21-4 УХЛ 2,5.

Ниже приведены термины и определения основных понятий электротехнических изделий, установленные ГОСТ 18311—80.

Открытое электротехническое изделие (устройство, оборудование) — изделие, не защищенное оболочкой от проникновения к его частям, находящимся под напряжением, опасным движу-

шимся частям и (или) от попадания внутрь него посторонних предметов, жидкости и пыли.

Защищенное электротехническое изделие — изделие, снабженное оболочкой для защиты от прикосновения к его частям, находящимся под напряжением, опасным движущимся частям и (или) от попадания внутрь него посторонних предметов, жидкости и пыли.

Каплезащищенное электротехническое изделие — защищенное изделие, выполненное так, что исключено попадание внутрь его оболочки капель в количестве, вызывающем нарушение его работы.

Брызгозащищенное электротехническое изделие — защищенное изделие, выполненное так, что исключено попадание внутрь его оболочки брызг, падающих под любым углом к вертикали, в количестве, вызывающем нарушение его работы.

Водозащищенное электротехническое изделие — защищенное изделие, выполненное так, что при обливании его водой исключено ее попадание внутрь оболочки в количестве, вызывающем нарушение его работы.

Пылезащищенное электротехническое изделие — защищенное изделие, выполнено так, что исключено попадание внутрь его оболочки пыли в количестве, вызывающем нарушение его работы.

Пыленепроницаемое электротехническое изделие — защищенное изделие, выполненное так, что попадание пыли внутрь его оболочки исключено полностью.

Закрытое электротехническое изделие — защищенное изделие, выполненное с такой оболочкой, что возможность сообщения между внутренним пространством и окружающей средой может иметь место только через неплотности соединений между частями изделия.

Герметичное электротехническое изделие — защищенное изделие, выполненное с такой оболочкой, что практически исключена возможность сообщения между его внутренним пространством и окружающей средой. В зависимости от вида среды различают водонепроницаемые и газонепроницаемые электротехнические изделия.

Классификация помещений (мест расположения электроустановок) проводится согласно правилам устройства электроустановок ПУЭ.

В ПУЭ помещения в зависимости от окружающей среды подразделяют на следующие группы:

Открытые или наружные электроустановки — электроустановки, не защищенные зданием от атмосферных воздействий. Электроустановки, защищенные только навесами, сетчатыми ограждениями и т. п. рассматриваются как наружные.

Закрытые или внутренние электроустановки — электроустановки, размещенные внутри здания, защищающего их от атмосферных воздействий.

Электропомещения — помещения или огражденные, например, сетками, части помещения, доступные только для квалифицированного персонала*, в которых расположены электроустановки.

Сухие помещения — помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60 %. Если они не являются жаркими, пыльными или с химически активной средой, то они называются нормальными.

Влажные помещения — помещения, в которых пары или конденсирующаяся влага выделяются лишь кратковременно и притом в небольших количествах, а относительная влажность воздуха составляет более 60 %, но не превышает 70 %.

Сырые помещения — помещения, в которых относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %.

Особо сырые помещения — помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100 % (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).

Жаркие помещения — помещения, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура превышает постоянно или периодически (более 1 суток) +35 °С (например, помещения с сушилками, котельные и т. п.).

Пыльные помещения — помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на проводах, проникать внутрь ма-

* Согласно ПУЭ квалифицированным обслуживающим персоналом называют специально подготовленных лиц, прошедших проверку в объеме, обязательном для данной работы (должности), и имеющих квалификационную группу по технике безопасности, предусмотренную Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок.

шин, аппаратов и т. п. Различают пыльные помещения с токопроводящей пылью и пыльные помещения с нетокопроводящей пылью.

Помещения с химически активной или органической средой — помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

В отношении опасности поражения людей электрическим током помещения различают следующим образом:

Помещения без повышенной опасности — помещения, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность (см. ниже).

Помещения с повышенной опасностью — характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырости или проводящей пыли;
- токопроводящих полов (металлических, земляных, железобетонных, кирпичных и т. п.);
- высокой температуры;
- возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования — с другой.

Особо опасные помещения — помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- особой сырости;
- химически активной или органической среды;
- одновременного наличия двух или более условий повышенной опасности.

Территории размещения наружных установок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особоопасным помещениям.

Также согласно ПУЭ производственные помещения и наружные установки с точки зрения опасности их среды при применении электрооборудования различаются как пожароопасные и взрывоопасные.

Пожароопасной зоной называют пространство внутри и вне помещений, в пределах которых постоянно или периодически

обращаются горючие (сгораемые) вещества и в которых они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях.

Характеристики пожароопасных зон приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6. Характеристика пожароопасных зон

Класс зоны по пожароопасности	Характеристика зоны
II-I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки паров* выше 61 °С
II-II	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыль или волокна с нижним концентрационным пределом воспламеняемости более 65 г/м ³ к объему воздуха
II-IIIa	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества
II-III	Расположенные вне помещения зоны, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества

* Все горючие жидкости способны испаряться, и горение их происходит только в паровой стадии. Над поверхностью жидкости всегда имеется некоторое количество паров, которые вспыхивают при поднесении пламени. Наименьшая температура, при которой выделяется такая масса паров, смесь которых с воздухом вспыхивает при поднесении пламени, называется температурой вспышки.

Зоны в помещениях и зоны наружных установок в пределах до 5 м и по горизонтали и по вертикали от аппарата, в котором постоянно или периодически обращаются горючие вещества, но технологический процесс ведется с применением открытого огня, раскаленных частей, либо технологические аппараты имеют поверхности, нагретые до самовоспламенения горючих паров, пылей или волокон, не относят в части их электрооборудования к пожароопасным. Класс среды в помещениях или среды наружных установок за пределами указанной 5-метровой зоны следует определять в зависимости от технологических процессов, применяемых в этой зоне.

Зоны в помещениях и зоны наружных установок, в которых твердые, жидкие и газообразные горючие вещества сжигаются в качестве топлива или утилизируются путем сжигания, не относят в части их электрооборудования к пожароопасным.

Определение границ и класса пожароопасных зон должны производиться технологами совместно с электриками проектной или эксплуатационной организации.

Пожарная опасность от электрического тока значительно меньше, если электрическое оборудование соответствует характеру помещения (зоны).

В пожарных зонах любого класса могут применяться электрические машины с напряжением до 10 кВ при условии, что их оболочки имеют степень защиты не менее указанной в табл. 1.7.

Таблица 1.7. Минимально допустимые степени защиты оболочек электрических машин в зависимости от класса пожароопасной зоны.

Виды установок и условия работы	Степень защиты оболочки для пожароопасной зоны класса			
	II-I	II-II	II-IIa	II-III
Стационарно устанавливаемые машины, искрящие, или с искрящими частями по условиям работы	IP44	IP54*	IP44	IP44
Стационарно устанавливаемые машины, не искрящие, и без искрящих частей по условиям работы	IP44	IP44	IP44	IP44
Машины с частями, искрящими и не искрящими по условиям работы, установленные на передвигающихся механизмах и установках (краны, тельферы, электропоезды и т. п.)	IP44	IP54*	IP44	IP44

* До освоения промышленностью машин со степенью защиты IP54 могут применяться со степенью защиты IP44.

Электрооборудование переносного электрифицированного инструмента в пожароопасных зонах любого класса должно быть со степенью защиты оболочки не менее IP44, допускается степень защиты оболочки IP33 при условии выполнения специальных технологических требований к ремонту оборудования в пожароопасных зонах.

В пожароопасных зонах могут применяться электрические аппараты, приборы, шкафы и сборки зажимов, имеющие степень защиты оболочки не менее указанной в табл. 1.8.

Взрывоопасная зона — помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в котором имеются или могут образовываться взрывоопасные смеси:

- горючих газов или паров с воздухом или кислородом, а равно и с другими газами-окислителями (например, с хлором);

Таблица 1.8. Минимально допустимые степени защиты оболочек электрических аппаратов, приборов, шкафов и сборок зажимов в зависимости от класса пожароопасной зоны

Виды установок и условия работы	Степени защиты оболочек для пожароопасной зоны класса			
	II-I	II-II	II-III	II-III
Установленные стационарно или на передвижных механизмах и установках (краны, тельферы, электротележки и т. п.) искрящие или с искрящими частями по условиям работы	IP44	IP54	IP44	IP44
Установленные стационарно или на передвижных механизмах и установках не искрящие по условиям работы	IP44	IP44	IP44	IP44
Шкафы для размещения аппаратов и приборов	IP44	IP54* P44**	IP44	IP44
Коробки сборок зажимов силовых и вторичных цепей	IP44	IP44	IP44	IP44

* При установке на них аппаратов и приборов, искрящих по условиям работы. До освоения электропромышленностью шкафов со степенью защиты оболочки IP54 могут применяться шкафы со степенью защиты IP44.

** При установке в них аппаратов и приборов не искрящих по условиям работы.

- горючих пылей или волокон с воздухом при переходе их во взвешенное состояние.

Классификация взрывоопасных зон дана в табл. 1.9.

Примечание. Зоны не относятся к взрывоопасным, если работа с горючими газами и легко воспламеняющимися жидкостями производится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами.

К взрывоопасным зонам относят и такие производственные помещения, которые граничат со взрывоопасными, являются смежными с ними, хотя сами не содержат технологического оборудования и материалов, представляющих опасность в отношении взрыва. Классификация таких смежных помещений приведена в табл. 1.10.

Помещения и наружные установки с горючими газами относятся к взрывоопасным при любой температуре окружающей среды, если концентрация газа может достигнуть нижнего предела взрываемости.

Таблица 1.9. Классификация взрывоопасных зон

Класс зоны по взрывоопасности	Характеристика зоны
Зоны, опасные по газу	
B-I	Помещения, где взрывоопасная концентрация существует нормально во время технологического процесса, но кратковременно
B-Ia	Помещения, где взрывоопасная концентрация во время технологического процесса отсутствует и появляется при авариях и неисправностях
B-Iб	То же, что B-Ia, но с более легкими условиями: нижний предел взрываемости смеси 15 % и более; смесь обладает резким запахом; малые массы смеси и местная взрывоопасная концентрация
B-Ir	То же, что B-Ia, но наружные установки
Зоны, опасные по пыли	
B-II	То же, что и в зонах класса B-I
B-IIa	То же, что и в зонах класса B-Ia

Таблица 1.10. Классификация зон помещений, смежных со взрывоопасной зоной другого помещения

Класс взрывоопасной зоны	Класс зоны, смежного помещения, отделенного от взрывоопасного:	
	стенкой (перегородкой) с дверью, находящейся во взрывоопасной зоне	стенкой (перегородкой) без проемов или с проемами, оборудованными тамбурами-уловителями, или с дверями, находящимися вне взрывоопасной зоны
B-I	B-Ia	Невзрыво- и непожароопасные
B-Ia	B-Iб	Невзрыво- и непожароопасные
B-Iб	Невзрыво- и непожароопасные	
B-II	B-IIa	Невзрыво- и непожароопасные
B-IIa	Невзрыво- и непожароопасные	

Класс взрывоопасности помещения определяют технологи совместно с электриками проектной или эксплуатационной организации.

Взрывозащищенное электрооборудование — оборудование специального назначения, которое выполнено таким образом, что устранена или затруднена возможность воспламенения окружающей его взрывоопасной среды вследствие эксплуатации этого оборудования.

Взрывозащищенное электрооборудование различают по уровням и видам взрывозащиты, группам и температурным классам.

Согласно ПУЭ установлены следующие уровни взрывозащиты электрооборудования:

- электрооборудование повышенной надежности против взрыва — взрывозащищенное электрооборудование, в котором взрывозащита обеспечивается в признанном нормальным режиме работы, приведенный, где это необходимо, в стандартах на виды взрывозащиты электрооборудования. Знак уровня — 2;
- взрывобезопасное электрооборудование — взрывозащищенное электрооборудование, в котором взрывозащита обеспечивается как при нормальных режимах работы, так и при признанных вероятными повреждениях (также приведенных, где это необходимо в стандартах на виды взрывозащиты электрооборудования), определяемых условиями эксплуатации, кроме повреждения средств взрывозащиты. Знак уровня — 1;
- особовзрывобезопасное электрооборудование — взрывозащищенное электрооборудование, в котором по отношению к взрывобезопасному электрооборудованию приняты дополнительные средства взрывозащиты, предусмотренные стандартом на виды взрывозащиты. Знак уровня — 0.

Взрывозащищенное электрооборудование может иметь следующие виды взрывозащиты:

Взрывонепроницаемая оболочка	<i>d</i>
Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением защитным газом	<i>p</i>
Искробезопасная электрическая цепь	<i>i</i>
Кварцевое заполнение оболочки с токоведущими частями	<i>q</i>
Масляное заполнение оболочки с токоведущими частями	<i>o</i>
Специальный вид взрывозащиты	<i>s</i>
Защита вида «e» (для электрических машин, устанавливаемых на механизмах, где они не будут подвергаться перегрузкам, частым пускам и реверсам)	<i>e</i>

Виды взрывозащиты, соответствующие различным уровням взрывозащиты, различаются средствами и мерами, обеспечивающими взрывобезопасность, оговоренными в стандартах на соответствующие виды взрывозащиты.

Взрывозащищенное электрооборудование в зависимости от области применения подразделяют на две группы:

I — рудничное, предназначенное для подземных выработок шахт и рудников;

II — для внутренней и наружной установки (кроме рудничного).

Электрооборудование группы II, имеющее виды взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» и (или) «искробезопасная электрическая цепь» подразделяют на три подгруппы, соответствующие категориям взрывоопасных смесей, а также на шесть температурных классов, соответствующих группам взрывоопасных смесей.

Категории и группы взрывоопасных смесей приведены в ПУЭ. В ПУЭ указано, что зоны в помещениях вытяжных вентиляторов, обслуживающих взрывоопасные зоны любого класса, относятся к взрывоопасным зонам того же класса, что и обслуживаемые ими зоны.

Для вентиляторов, установленных за наружными ограждающими конструкциями и обслуживающих взрывоопасные зоны классов В-I, В-Ia, В-II, электродвигатели применяются, как для взрывоопасной зоны класса В-Ig, а для вентиляторов, обслуживающих взрывоопасные зоны классов В-Iб и В-IIa, — согласно табл. 1.11 для этих классов.

Зоны в помещениях приточных вентиляторов, обслуживающих взрывоопасные зоны любого класса, не относятся к взрывоопасным, если приточные воздуховоды оборудованы самозакрывающимися обратными клапанами, которые не допускают проникновение взрывоопасных смесей в помещения приточных вентиляторов при прекращении подачи воздуха.

При отсутствии обратных клапанов помещения приточных вентиляторов относят к взрывоопасным зонам того же класса, что и обслуживаемые ими зоны.

В табл. 1.11 и 1.12 даны допустимые уровни взрывозащиты или степени защиты оболочек электрических машин, аппаратов и приборов в зависимости от класса взрывоопасной зоны.

Таблица 1.11. Допустимый уровень взрывозащиты или степень защиты оболочки электрических машин (стационарных или передвижных) в зависимости от класса взрывоопасной зоны

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
B-I	Взрывобезопасное
B-Ia, B-Ir	Повышенной надежности против взрыва
B-ib	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP44. Искрящие части машин (например, контактные кольца) должны быть заключены в оболочку также со степенью защиты не менее IP44
B-II	Взрывобезопасное
B-IIa	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты IP54*. Искрящие части машин (например, контактные кольца) должны быть заключены в оболочку со степенью защиты IP54*

* До освоения электропромышленностью машин со степенью защиты оболочки IP54 разрешается применять машины со степенью защиты IP44.

Таблица 1.12. Допустимый уровень взрывозащиты или степень защиты оболочки стационарных электрических аппаратов и приборов в зависимости от класса взрывоопасной зоны

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты или степень защиты
B-I	Взрывобезопасное. Особовзрывобезопасное
B-Ia, B-Ir	Повышенной надежности против взрыва — для аппаратов и приборов, искрящих или подверженных нагреву выше 80 °С. Без средств взрывозащиты — для аппаратов и приборов, не искрящих и не подверженных нагреву выше 80 °С. Оболочка со степенью защиты не менее IP54*
B-ib	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты IP44*
B-II	Взрывобезопасное. Особовзрывобезопасное.
B-IIa	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP54*

* Степень защиты аппаратов и приборов от проникновения воды (вторая цифра обозначения) допускается изменять в зависимости от условий среды, в которой они устанавливаются.

Во взрывоопасных зонах классов B-II и B-IIa рекомендуется применять электрооборудование, предназначенное для взрывоопасных зон со смесями горючих пылей или волокон с возду-

хом. При отсутствии такого электрооборудования допускается во взрывоопасных зонах класса В-II использовать взрывозащищенное электрооборудование, предназначенное для работы в средах со взрывоопасными смесями газов и паров с воздухом, а в зонах класса В-IIIа — электрооборудование общего назначения (без взрывозащиты), но имеющее соответствующую защиту оболочки от проникновения пыли.

Применение взрывозащищенного электрооборудования, предназначенного для работы в средах взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом и электрооборудования общего назначения с соответствующей степенью защиты оболочки, допускается при условии, если температура поверхности электрооборудования, на которую могут осесть горючие пыли или волокна (при работе электрооборудования с номинальной нагрузкой и без наложения пыли), будет не менее чем на 50 °С ниже температуры тления пыли для тлеющих пылей или не более двух третей температуры самовоспламенения для нетлеющих пылей.

При необходимости допускается обоснованная замена электрооборудования, указанного в таблицах, электрооборудованием с более высоким уровнем взрывозащиты и более высокой степенью защиты оболочки.

В зонах, взрывоопасность которых определяется горючими жидкостями, имеющими температуру вспышки выше 61 °С, можно применять любое взрывозащищенное электрооборудование для любых категорий и групп с температурой нагрева поверхности, не превышающей температуру самовоспламенения данного вещества.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И ЦЕПИ

2.1. Виды и типы схем

Разделение труда между изготовителями электроустановок, специализация исполнителей и различие целей той или иной работы (монтаж, наладка, эксплуатация) обусловили создание большого разнообразия схем. ГОСТ 2.701—84 «Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению» устанавливает виды и типы схем и общие требования к выполнению схем изделий всех отраслей промышленности, а также электрических схем энергетических сооружений (электрических станций, оборудования промышленных предприятий и т. п.). В энергетических сооружениях объект, для которого выпускается схема (например, главные цепи), в тексте стандарта условно именуется установкой. Этот же стандарт определяет код схемы, который должен состоять из буквенной части, указывающей вид схемы и цифровой схемы, определяющей тип схемы.

В зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия, схемы подразделяют на следующие виды и обозначают буквами: *электрические* — Э; *гидравлические* — Г; *пневматические* — П; *газовые* (кроме пневматических) — Х; *кинематические* — К; *вакуумные* — В; *оптические* — Л; *энергетические* — Р, *деления* — Е (схему деления изделия на составные части выпускают для определения состава изделий); *комбинированные* — С.

В зависимости от основного назначения схемы подразделяют на типы и обозначают цифрами. Ниже даны определения типов схем, определяемых стандартом и их назначение (наименования, указанные в скобках, устанавливают для электрических схем энергетических сооружений).

Структурные — 1. Схемы определяют основные функциональные части изделия, их назначения и взаимосвязи. Их разра-

батывают на стадиях, предшествующих разработке схем других типов и используют для общего ознакомления с изделием.

Функциональные — 2. Схемы разъясняют определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия. Эти схемы используют для изучения принципа работы изделий, а также при наладке и ремонте изделий.

Принципиальные (полные) — 3. Схемы определяют полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дают детальное представление о работе изделия. Если в состав изделия входят устройства, имеющие собственные принципиальные схемы, то такие устройства в схеме изделия рассматривают как элементы. В этом случае детальный принцип работы изделия определяется совокупностью его принципиальной схемы и принципиальных схем этих устройств. Принципиальные схемы используют для изучения принципа работы изделий, а также при их наладке и ремонте. Они служат основанием для разработки других конструкторских документов, например, схем соединений.

Соединения (монтажные) — 4. Схемы показывают соединения составных частей изделий и определяют провода, жгуты, кабели, служащие для соединения, а также места их присоединения и выводы (разъемы, зажимы и т. п.). Их используют при разработке других конструкторских документов, в первую очередь, чертежей, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов, кабелей или трубопроводов в изделии, а также при осуществлении присоединений, эксплуатации и ремонте изделий.

Подключения — 5. Схемы показывают внешние подключения изделий. Их используют при разработке других конструкторских документов, а также для осуществления подключения изделий и при их эксплуатации.

Общие — 6. Схемы определяют составные части комплекса и соединения между собой. Их используют для ознакомления с комплексами, а также при эксплуатации. При необходимости эту схему разрабатывают на сборочную единицу.

Расположения — 7. Схемы определяют относительное расположение составных частей изделия, а при необходимости — также проводов, жгутов, кабелей, трубопроводов и т. п. Их используют при разработке других конструкторских документов, а также при монтаже, эксплуатации и ремонте изделий.

Объединенные — 0. Электротехнические чертежи, выполненные так, что на одном конструкторском документе расположены схемы двух или нескольких типов, выпущенных на одно изделие.

Примеры обозначений: схема электрическая принципиальная — Э3; схема гидравлическая соединений — Г4; схема электрогидравлическая принципиальная — С3; схема гидравлическая структурная, принципиальная и соединений — Г0.

К схемам или взамен схем в случаях, установленных правилами выполнения конкретных видов схем, выпускают в виде самостоятельных документов *таблицы*, содержащие сведения о расположении устройств, соединениях, местах подключения и другую информацию. Таким документам присваивают код, состоящий из буквы Т и кода соответствующей схемы. Например, код таблицы соединений к электрической схеме соединений — ТЭ4.

Таблицы записывают в спецификацию после схем, к которым они выпущены или вместо них.

Разрабатывают также *схемы совмещенные*, когда на схемах одного типа помещают сведения, характерные для схемы другого типа, например, на схеме соединений изделия показывают его внешние подключения.

Если в связи с особенностью изделия объем сведений, необходимый для его проектирования, регулировки, контроля, ремонта или эксплуатации, не может быть передан в комплекте документации в схемах установленных видов и типов, то допускается разрабатывать схемы прочих видов и типов. Номенклатуру, наименование и коды прочих схем устанавливают в отраслевых стандартах. Примерами таких схем могут служить широко распространенные принципиальные схемы, дополненные промежуточными жимами щитов, пультов, сборок и обозначением выводов аппаратов. Проектные организации не всегда выпускают принципиально-монтажные схемы, но эксплуатационники, и особенно наладчики, считают такие схемы полезными, а в некоторых случаях опытные наладчики начинают работу с составления такой схемы.

На чертежах нередко помещают примечания, где могут быть ссылки на другие чертежи, которые надлежит рассматривать совместно с данными. Может быть указано, что данный чертеж выпущен взамен другого, который аннулируется и т. п.

Иногда на чертеже помещают таблицу, из которой следует, например, по каким чертежам можно ознакомиться с системой принятых условных обозначений и обозначений проводов, со схемой электропитания, с условиями действия электроустановки и почерпнуть другие сведения.

Условные обозначения, определенные стандартами, на чертежах, как правило, не расшифровывают. Исключение составляют чертежи электроосвещения и контрольно-измерительных приборов, где принято помещать все использованные условные обозначения. Если же применено нестандартное обозначение, то его расшифровка обязательна.

На схемах соединений несмотря на обилие надписей — заводского обозначения, схемного обозначения, порядковых номеров зажимов, номеров монтажных единиц и т. п. — необходимы соответствующие пояснения.

Перечни элементов, называемые нередко *перечнями оборудования* или *экспликациями*, (текст, поясняющий значение символов, условных обозначений), помещают на принципиальных схемах, чертежах общих видов электроконструкций (и на отдельных чертежах), схемах присоединения, планах сетей и т. п. Выполняют перечни элементов, таблицы технических данных электрооборудования, кабелей, проводов, труб и других изделий по формам соответствующих нормалей. Однако независимо от формы они должны содержать необходимые сведения, например, расшифровку буквенных и цифровых обозначений, техническую характеристику элементов, места установки и т. п.

Спецификации нужны исполнителям и служат для получения ими со склада необходимого количества изделий, материалов и проводов. Но чтобы их определить для электроустановки в целом (для объекта или для каждого предприятия), необходимы сводные спецификации. Спецификации, по которым производят заказы, называют заказными.

Расположение, размеры и наименование граф спецификаций, а также очередность записи в них изделий определяются нормативными документами.

Следует различать схемы проектные и исполнительные. В эксплуатации можно пользоваться только исполнительными схемами. Различия между проектной и исполнительной документацией могут возникнуть в связи с заменой аппаратуры, кабелей и т. п. Не исключены изменения, которые приходится

вносить в процессе наладки. При этом изменения вносят не в один какой-нибудь чертеж, а во все чертежи, где эти изменения должны фигурировать.

2.2. Условные графические обозначения в электрических схемах

Между схемами одного комплекта должна быть установлена однозначная связь, т. е. обозначения, присвоенные элементам, цепям, проводам на одной схеме повторяют на других схемах.

При выполнении схем применяют следующие условные графические обозначения:

- условные графические обозначения, установленные в стандартах ЕСКД, а также построенные на их основе;
- прямоугольники;
- упрощенные внешние очертания, в том числе аксонометрические;
- нестандартные графические обозначения с обязательным пояснением их на полях схемы.

В приложении П2 приведены графические обозначения, наиболее часто встречающиеся в схемах электроустановок.

Некоторые элементы и их части имеют не одно, а несколько обозначений, каждое из которых применяют в определенных случаях. Например, если нужно на плане показать кабели, идущие к трансформатору, то его изображают простейшим способом, т. е. показывают его обмотку или используют форму I (см. приложение П2). Чтобы подробно показать соединение обмоток или показать, в какие цепи введены контакты, используют форму II.

Условные графические обозначения, принятые в ЕСКД, изображают в тех положениях, в каких они приведены в соответствующем стандарте, или повернутыми на угол, кратный 90° , если в этих стандартах отсутствуют специальные указания.

Размеры, в которых условные графические обозначения выполняются на схемах, не влияют на их смысл, поэтому допускается их пропорционально уменьшать, или, если в них необходимо вписать поясняющие знаки, пропорционально увеличивать.

Допускается условные графические обозначения поворачивать на угол, кратный 45° , или изображать зеркально повернутыми, если при этом не нарушается смысл и не усложняется чтение схемы. Если графические обозначения содержат буквенные, цифровые или буквенно-цифровые обозначения, их допускается поворачивать против часовой стрелки только на угол 90° или 45° .

Измерительные, регулирующие, преобразующие, исполнительные приборы и устройства обозначают по системе стандартов — СПДС. Стандарты этой системы содержат требования к разработке проектной документации, учитывающей особенности проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации вновь строящихся и реконструируемых объектов. Они могут отличаться от требований выполнения конструкторской документации.

На электрических схемах в зависимости от их типа при помощи линий обозначают:

- электрические взаимосвязи;
- механические взаимосвязи;
- материальные проводники (провода, кабели и т. п.);
- экранирующие оболочки, корпуса приборов и т. п.;
- условные границы устройств и функциональных групп.

Сплошная линия, равная по толщине линии связи (0,3—0,4 мм), применяется для выделения элементов, имеющих самостоятельную принципиальную схему (допускается линия в 2 раза толще линии связи) и нанесения условных графических обозначений.

Штрих-пунктирная линия, равная по толщине линии связи, используется для:

- выделения элементов, составляющих функциональную группу и элементов, составляющих устройство, не имеющие самостоятельную принципиальную схему;
- разграничения элементов и устройств, входящих в состав изделия, по постам и помещениям;
- отделения элементов и устройств, не входящих в данное изделие, но изображенных для пояснения данной схемы.

Штриховая линия, равная по толщине линии связи, применяется для изображения экранирования и линий механической связи.

Сплошная тонкая линия, равная половине толщины линии связи, используется для изображения упрощенного контура изделия, если схема выполняется в пределах этого контура.

Линии связи допускается обрывать, если они затрудняют чтение схемы. Обрывы заканчивают стрелками, около которых

указывают сведения, необходимые для нахождения продолжения линии, и необходимые характеристики цепей, например, полярность или потенциал.

Линии связи, переходящие с одного листа на другой, обрывают за пределами схемы без стрелки и рядом с обрывом помещают обозначения или наименование, присвоенное этой линии (номер провода, наименование или обозначение сигнала) и соответствующее адресное обозначение.

2.3. Система обозначения цепей и частей объектов в электрических схемах

Систему обозначения цепей в электрических схемах регламентирует ГОСТ 2.709—89. В единой системе буквенно-цифровых обозначений проводов и зажимов используют прописные буквы латинского алфавита и арабские цифры. Полное обозначение состоит из групп, каждая группа из букв и (или) цифр. Допускается опускать одну или несколько групп, если это не ведет к ошибкам при подключениях.

В системе обозначения соблюдают следующие принципы. Две конечные точки элементов обозначают последовательными цифрами (например, 1 и 2), а промежуточные точки обозначают, предпочтительно, последовательными цифрами (например, 3, 4, 5 и т. д.), начиная нумерацию от конечной точки, обозначенной меньшим номером.

Буквенные обозначения зажимов для элементов постоянного тока выбирают из первой половины латинского алфавита, а для элементов переменного тока — из второй.

Зажимы устройств переменного тока, присоединенные к специальным проводам, обозначают следующими буквами:

U — 1-я фаза;

V — 2-я фаза;

W — 3-я фаза;

N — нейтральный провод;

PE — защитный провод;

E — заземляющий провод;

TE — провод бесшумового заземления;

MM — провод соединения с корпусом;

SS — провод эквипотенциальный.

Фазный провод в системе питания переменного тока обозначают буквой «L». Первую фазу обозначают — «L1», вторую — «L2», третью — «L3», нейтральный провод — «N».

В системе питания постоянного тока приняты следующие обозначения: положительный полюс — «L+», отрицательный «L-», средний провод «M».

Другие провода специального вида обозначаются:

PE — защитный провод с заземлением;

PU — защитный провод незаземленный;

PEN — соединенный защитный и средний провода;

E — заземляющий провод;

TE — провод бесшумного заземления;

MM — провод соединения с корпусом;

CC — провод эквипотенциальный.

Обозначение участков цепи служит для их опознания, но может отражать их функциональное назначение и создавать связь между схемой и устройством. Участки цепи, разделенные контактами аппаратов, обмотками реле, приборов, машин, резисторами и другими элементами имеют разное обозначение. Участки цепи, проходящие через разъемные, разборные и неразборные контактные соединения имеют одинаковое обозначение. Допускается присваивать разные обозначения участкам цепи, проходящим через разъемные контактные соединения.

Цепи в схемах обозначают независимо от нумерации входных и выходных зажимов машин и устройств. Последовательность обозначения — от ввода источника питания к потребителю, а разветвляющиеся участки цепи обозначают сверху вниз в направлении справа налево. При обозначении цепей допускается оставлять резервные номера или пропускать номера для удобства пользования схемой.

В силовых цепях переменного тока используют следующие обозначения фаз: L1, L2, L3 и N и последовательные числа, например, участки цепей первой фазы L1—L11, L12, L13 и т. д. Допускается, если это не вызывает ошибочного подключения, обозначать фазы соответственно буквами А, В и С.

Силовые цепи постоянного тока обозначают: участки положительной полярности — нечетными числами; участки отрицательной полярности — четными числами. Допускается также обозначение цепи постоянного тока последовательными числами.

Входные и выходные участки цепи обозначают с указанием полярности: плюс «L+» и минус «L-». Допускается применять только знаки «+» и «-».

Цепи управления, защиты, сигнализации, автоматики, измерения обозначают последовательными числами в пределах изделия (допускается включать обозначения фаз). Если в обозначение этих цепей включают обозначение, характеризующее функциональное назначение цепи, то последовательность чисел допускается устанавливать в пределах этой цепи.

Обозначение на схеме проставляют около концов или в середине участка цепи: при вертикальном расположении цепей — слева от изображения цепи, при горизонтальном — над изображением цепи.

В качестве обозначения можно использовать адреса присоединений участка цепи, а в качестве адресов — буквенно-цифровые обозначения элемента устройства или функциональной группы.

Буквенно-цифровые обозначения применяют в электрических схемах и других конструкторских документах, содержащих сведения об элементах, устройствах и функциональных группах электрических схем. Они предназначены для записи в сокращенной форме сведений об элементах, устройствах и функциональных группах (т. е. о частях объекта) в документации на объект; организации ссылок на соответствующие части объекта в текстовых документах и для нанесения непосредственно на объект, если это предусмотрено в его конструкции. Порядок построения буквенно-цифровых обозначений определяет ГОСТ 2.710—81.

Для построения обозначений применяют прописные буквы латинского алфавита, арабские цифры, а также приведенные в табл. 2.1 знаки (квалифицирующие символы).

При необходимости можно применять нестандартные обозначения и их квалифицирующие символы, но содержание и способ записи таких обозначений должны быть нанесены в документе на объект (например, на поле схемы).

Структура буквенно-цифровых обозначений выглядит как последовательность букв, цифр и знаков, записанных в одну строку без пробелов, и их количество в обозначении не устанавливается.

Таблица 2.1. Квалифицирующие символы, применяемые для построения обозначений

Тип условного обозначения	Квалифицирующий символ	Примечание
Обозначение высшего уровня — устройство	=	
Обозначение высшего уровня — функциональная группа	×	Допускается z
Конструктивное обозначение	+	
Обозначение элемента (позиционное обозначение)	—	
Обозначение электрического контакта	:	
Адресное обозначение	()	Обозначение заключают в скобки

Простое (несоставное) обозначение образуют группы знаков отдельных обозначений, имеющих самостоятельное смысловое значение, которые разделяют:

- чередованием букв и цифр (например, КС25, 25КС);
- точкой, если группы состоят только из букв или только цифр (например, КС.А, 2.25).

Допускается в обозначении разделять точкой самостоятельные смысловые группы, состоящие из букв и цифр, например, 01.А1.1312, 01.А.113.12. Если числа, входящие в обозначение, представляют собой порядковые номера, то во всех обозначениях одного типа они могут быть указаны с одинаковым количеством знаков, для чего старшие разряды номеров заполняют ничем не значащими нулями.

Составные обозначения, состоящие из обязательного и дополнительного обозначений различного типа и передающие совокупность сведений о части объекта, образуют последовательной записью обозначений различных типов. Обозначения, входящие в составные обозначения, записывают с квалифицирующим символом, т. е. специальным знаком, указывающим тип условного обозначения, в соответствии с табл. 2.1.

Структура составного условного буквенно-цифрового обозначения в общем виде дана в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Структура составного буквенно-цифрового обозначения

Обозначение высшего уровня		Конструктивное обозначение	Обозначение элемента			Обозначение контакта	Адресное обозначение
устройство	Функциональная группа		вид	номер	функция		
-NANA	≠ NANA	+ NANA	-A	N	A NANA	: NANA	(NANA)
Дополнительная часть			Обязательная часть		Дополнительная часть		

Примечание. А — обозначение, состоящее из одной или нескольких букв; N — обозначение состоящее из одной или нескольких цифр; NANA — любая комбинация цифр и (или) букв; NANA — дополнительная часть, уточняющая функцию.

Пример составного условного буквенного обозначения:

=A12 ≠ T8 + 204 - K4H:12(3.L6 + 15:2). Контакт 12 сигнального реле K4, которое расположено на месте 204 в функциональной группе T8, входящей в устройство A12, соединен с контактом 2, который расположен на месте 15 и изображен на шестом листе принципиальной схемы (3).

Количество обозначений, образующих составное обозначение, не устанавливается.

Порядок записи буквенно-цифрового обозначения определяется порядком вхождения данной части объекта в объект более высокого уровня, поэтому иногда для более полной передачи информации о вхождении функциональных частей в устройство или функциональные группы более высокого уровня изменяют рассмотренную выше последовательность записи простых обозначений в составном. Например, запись ≠T1 = A2 - R5 означает: резистор R5 входит в состав устройства A2, которое входит в функциональную группу T1.

Конструктивное расположение каждой функциональной части может быть указано последовательным применением конструктивного обозначения. Например, +5.24 = A2 + B4 - R5 — резистор R5 находится в ячейке B4 и входит в устройство A2, которое расположено в раме 24 в стойке 5.

Перед обозначением устройства, функциональной группы или элемента, стоящим в начале составного обозначения, допус-

кается не указывать соответствующий квалифицирующий символ, если это не приведет к неправильному пониманию обозначения. Например, K1:2 — второй контакт реле K1.

Обозначение высшего уровня, т. е. дополнительное обозначение, указывающее более крупную часть объекта, в которую входит данный объект, строят из комбинации букв и (или) цифр. Для обозначения устройств используют обозначение типа устройства, присвоенное ему в документации, на основании которой оно применено, или буквенно-цифровое обозначение, начинающееся с буквы «А», присвоенное устройству на схеме объекта. Например, =A23, AC16.

Если имеет место цифровое обозначение функциональных групп, то обозначение записывают с квалифицирующим символом, например, =27.

Конструктивное обозначение или обозначение конструктивного расположения — это дополнительное обозначение, указывающее место расположения части объекта в конструкции. Конструктивное обозначение предназначено для связи схемы или других документов с конструкцией объекта. Обозначение состоит из комбинации букв и цифр.

При построении конструктивного обозначения применяют координатный, позиционный (последовательный) или координатно-позиционный (координатно-последовательный) методы.

При координатном методе конструктивное обозначение составляют из нескольких частей, каждая из которых указывает одну координату части объекта в условной системе координат (геометрическая форма, размеры и ориентация объекта не учитываются), принятой для данной конструкции. Например, +C24 — место на конструкции объекта с координатами: ряд С, колонка 24; +5.24 — место на конструкции объекта с координатами: ряд 5, колонка 24.

При позиционном методе конструктивное обозначение представляет собой цифровое или буквенное обозначение, присвоенное данному месту (позиции) в конструкции. Например, +204 — место № 204; +B2 — зона В, часть 2 и т. п.

Поскольку способ построения и содержание конструкторского обозначения не однозначны и определяются, в основном, конкретными особенностями конструкции изделия, для правильного понимания информации, в нем заложенной, на

соответствующих чертежах проекта приводят необходимые пояснения.

Обозначение элемента (позиционное обозначение) — обязательное обозначение, присваиваемое каждой части объекта и содержащее информацию о виде части объекта, ее номер и, при необходимости, указание о функции данной части объекта.

Буквенные коды элементов приведены в табл. 2.3, где части объекта разбиты по видам на группы, которым присвоены обозначения одной буквой (первая и вторая графы). Для уточнения вида элементов допускается применять двухбуквенные (третья и четвертая графы) и многобуквенные коды. Элемент данного вида может быть обозначен одной буквой — общим кодом вида элемента или двумя буквами — кодом данного элемента.

Таблица 2.3. Двухбуквенные коды элементов

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Двухбуквенный код	Примеры видов элементов
A	Устройство (общее обозначение)	BA	Громкоговоритель
B	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или, наоборот, аналоговые или многозарядные преобразователи или датчики для указания или измерения	BB BD BE BF BC BK BL BM BP BO BR BS BV	Магнитострикционный элемент Детектор ионизирующей излучений Сельси-приемник Телефон (капсюль) Сельси-датчик Тепловой датчик Фотоэлемент Микрофон Датчик давления Пьезоэлемент Датчик частоты вращения (тахогенератор) Звукозаписывающий Датчик скорости
C	Конденсаторы		
D	Схемы интегральные, микросборки	DA DD DS DT	Схема интегральная аналоговая Схема интегральная цифровая, логический элемент Устройство хранения информации Устройство задержки
E	Элементы разные	EK EL ET	Нагревательный элемент Лампа осветительная Пиропатрон

Продолжение табл. 2.3

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Двухбуквенный код	Примеры видов элементов
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	FA FP FU FV	Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия Дискретный элемент защиты по току инерционного действия Предохранитель плавкий Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник
G	Генераторы, источники питания	GB	Батарея
H	Устройства индикаторные и сигнальные	HA HG HL	Прибор звуковой сигнализации Индикатор символьный Прибор световой сигнализации
K	Реле, контакторы, пускатели	KA KH KK KM KT KV	Реле токовое Реле указательное Реле электротепловое Контактор, магнитный пускатель Реле времени Реле напряжения
L	Катушки индуктивности, дроссели	LL	Дроссели люминесцентного освещения
M	Двигатели		
P	Приборы, измерительное оборудование Примечание. Сочетание PE применять не допускается.	PA PC PF PI PK PP PS PT PV PW	Амперметр Счетчик импульсов Частотомер Счетчик активной энергии Счетчик реактивной энергии Омметр Регистрирующий прибор Часы, измеритель времени, действия Вольтметр Ваттметр
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т. д.)	QF QK QS	Выключатель автоматический Короткозамыкатель Разъединитель
R	Резисторы	RK RP RS RU	Терморезистор Потенциометр Шунт измерительный Варистор

Окончание табл. 2.3

Первая буква кода (обозначения)	Группа видов элементов	Двухбуквенный код	Примеры видов элементов
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных Примечание. Обозначения SF применяют для аппаратов, не имеющих контактов силовых цепей	SA SB SF SL SP SQ SR SK	Выключатель и переключатель Выключатель кнопочный Выключатель автоматический Выключатели, срабатывающие от различных воздействий: от уровня от давления от положения (путевой) от частоты вращения от температуры
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	TA TS TV	Трансформаторы тока Электромагнитный стабилизатор Трансформатор напряжения
U	Устройства связи, преобразователи электрических величин в электрические	UB UR UI UZ	Модулятор Демодулятор Дискриминатор Преобразователь частотный, инвертор, генератор частоты, выпрямитель
V	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	VD VL VT VS	Диод, стабилитрон Прибор электровакуумный Транзистор Тристор
W	Линии и элементы СВЧ	WE WK WS WT WU WA	Светильник Короткозамыкатель Вентиль Трансформатор, фазообразователь Аттенуатор Антенна
X	Соединения контактные	XA XP XS XT XW	Токоъемник, контакт скользящий Штырь Гнездо Соединение разборное Соединитель высокочастотный
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	YA YB YC YH	Электромагнит Тормоз с электромагнитным приводом Муфта с электромагнитным приводом Электромагнитный патрон или плата
Z	Устройства, оконечные фильтры, ограничители	ZL ZQ	Ограничитель Фильтр кварцевый

При применении двухбуквенных и многобуквенных кодов первая буква должна соответствовать группе видов, к которым принадлежит элемент. Дополнительные обозначения (не установленные стандартом) должны быть пояснены в документации на объект (например, на поле схемы).

Указание функции элемента не служит для его идентификации и не является обязательным, и при составлении перечней элементов на объект допускается указывать только первую и вторую части обозначения.

Буквенные коды функций элементов приведены в табл. 2.4. Эти коды используют только для общей характеристики функционального назначения элемента, например, «главный», «изменяющий» и т. д. Для уточнения функционального назначения однобуквенный код дополняют последующими буквами и (или) цифрами. В этом случае приводят соответствующие пояснения в документации на объект (например, на полях схемы).

Обозначение электрического контакта — дополнительное обозначение, содержащее информацию о контакте данной части объекта (в общем случае — комбинация букв и цифр) должно повторять обозначение контакта, нанесенное на объект или указанное в документации этого объекта.

Если обозначение контактам присваивают при разработке объекта, то их обозначают номерами (условное обозначение). В проектной документации могут быть альбомы, где показано как истинное, т. е. имеющееся на устройствах, так и условное обозначение контактов элементов и устройств. Если контакты конструктивно сгруппированы в несколько групп, то допускается обозначать их группами.

Адресное обозначение, т. е. дополнительное обозначение, содержащее информацию о части объекта, сопрягаемой с данной, или о расположении на схеме данной части объекта или сведений о ней, в общем случае состоит из трех частей, отделенных друг от друга точкой и записанных в следующем порядке:

- обозначение документа, с которым сопрягается данный документ;
- номер листа документа, с которым сопрягается данный документ;
- адрес другой части объекта (или ее изображения), с которой сопрягается данная часть объекта (или ее изображение).

Таблица 2.4. Буквенные коды функционального назначения элементов

Буквенный код	Функциональное назначение
A	Вспомогательный
B	Направление движения (вперед, назад, вверх, вниз, по часовой стрелке, против часовой стрелки)
C	Считающий
D	Дифференцирующий
F	Защитный
G	Испытательный
H	Сигнальный
I	Интегрирующий
K	Толкающий
M	Главный
N	Измерительный
P	Пропорциональный
Q	Состояние (старт, стоп, ограничение)
R	Возврат, сброс
S	Запоминание, запись
T	Синхронизация, задержка
V	Скорость (ускорение, торможение)
W	Сложение
X	Умножение
Y	Аналоговый
Z	Цифровой

Перед номером листа помещают букву L. Допускается в адресном обозначении не указывать любую из его составных частей. При необходимости указать сопряжение с несколькими листами документа их номера разделяют запятыми или (в случае нескольких листов по порядку) многоточием.

Например: (3.L01,03) — схема 3 первый и третий листы;

(3.L01...06) — схема 3, листы с первого по шестой;

(3.L02/15A) — схема 3, лист второй, зона 15A.

Если в качестве третьей части адресного обозначения используют обозначение детали, конструктивное обозначение, то эту часть записывают с соответствующим квалифицирующим символом, например, (3.L6 + 15:2) — второй контакт расположен на месте (позиции) 15 и изображен на схеме 3 на шестом листе.

Если в адресном обозначении необходимо указать место на документе, в котором расположено изображение или описание данной части объекта, то внутри скобок первым знаком записывают букву А, отделяя ее от остальной части адресного обозначения точкой. Например, (А.3.L01/15А) — элемент расположен на схеме 3 на первом листе в зоне 15А.

2.4. Оценка реальности схемных решений

Наладчики хорошо знают, что не всегда могут быть осуществлены на деле схемные решения, хотя они и не содержат явных ошибок. Иными словами, проектные схемы не всегда реальны. Поэтому одна из задач при ознакомлении со схемами стоит в том, чтобы проверить, могут ли быть выполнены заданные условия.

Нереальность схемных решений имеет в основном следующие причины:

- не хватает энергии для срабатывания аппарата;
- в схему проникает «лишняя» энергия, вызывающая непредвиденное срабатывание или препятствующая современному опусканию аппарата;
- не хватает времени для совершения заданных действий;
- аппаратам задана уставка, которая не может быть достигнута;

- совместно применены аппараты, резко отличающиеся по свойствам;
- не учтены коммутационная способность, уровень изоляции аппаратов и проводки, не погашены коммутационные перенапряжения;
- не учтены условия, в которых электроустановка будет эксплуатироваться;
- при проектировании электроустановки за основу принимается ее рабочее состояние, но иногда не решается вопрос о том, как ее привести в это состояние и в каком состоянии она окажется, например, в результате кратковременного перерыва питания. Поэтому всегда не лишне проверить, сможет ли устройство прийти из любого промежуточного состояния в рабочее, и не произойдут ли при этом непредвиденные оперативные переключения. Именно поэтому стандарт предписывает изображать схемы в предположении, что питание отключено, а аппараты и их части не подвержены принудительным воздействиям;
- недооценка важности системы электропитания. Это выражается в неправильном расчете проводов, в случайном подходе к электрической защите вторичных цепей и т. п.

Большую помощь при анализе схем оказывают временные диаграммы взаимодействия, отражающие динамику работы схемы, а не только какое-либо установившееся состояние.

2.5. Проверка правильности функционирования электрических цепей

Каждая схема имеет две электрические цепи: силовую и цепь управления, причем разные элементы одного устройства показывают в разных электрических цепях в соответствии с их функциональным назначением, например, обмотка контактора включена в цепь управления, главные контакты данного контактора — в силовую цепь, а вспомогательные контакты — в цепь управления. Принадлежность элементов к одному аппарату устанавливается, как указывалось выше, по единому для всех элементов буквенно-цифровому обозначению.

Проверка правильности функционирования силовых (главных) цепей обычно не вызывает затруднений. Гораздо чаще отказы встречаются во вторичных цепях электроустановок, к которым, кроме цепей управления коммутационной аппаратурой, относятся также электрические аппараты и цепи схем сигнализации, контроля, автоматики и релейной защиты. Ниже речь пойдет только о проверке функционирования и поиске неисправностей в цепях вторичной коммутации, что и является последним этапом работ перед сдачей налаженных схем в эксплуатацию.

Поиск дефектов занимает значительное время, он достаточно трудоемок и важную роль здесь играет опыт наладчиков. В сложных схемах нельзя заранее описать признаки всех возможных дефектов и ошибок, которые имеют случайный характер, поэтому необходимо придерживаться определенной последовательности их поиска.

Хотя методику определения неисправного элемента нельзя изложить в виде руководства, пригодного для всех случаев, область поиска дефекта обычно можно ограничить при помощи анализа информации о его проявлениях. Повреждения и нарушения несмотря на их кажущееся многообразие проявляются обычно в виде: обрыва цепи; короткого замыкания; замыкания на землю; наличия обходной цепи; несоответствия требованиям схемы параметров или неисправности отдельных аппаратов. Некоторые из перечисленных дефектов обнаруживаются не сразу, и для быстрого и эффективного их устранения требуются продуманные проверки и опробования.

Начальным этапом поиска дефекта является визуальный контроль, при помощи которого обычно обнаруживают обрыв цепи или дефект соединения. Для большей эффективности визуального контроля, при установке нескольких единиц однотипного оборудования, проводят сравнение работы налаживаемой схемы с эксплуатируемой (уже прошедшей наладку).

Дефекты в релейных схемах, проявляющиеся в виде обрыва или замыкания, обнаруживают «прозваниванием», и наиболее эффективным инструментом для этого является пробник или тестер, который позволяет проверить также цепи, в которые включены добавочные сопротивления, диоды и обмотки управления. С помощью тестера можно оценить значение сопротивле-

ния цепи и выявить явные дефекты диода, что, впрочем, не дает гарантии его исправности.

Проверку обесточенных электрических цепей можно осуществлять непосредственно, если начало и конец цепи находятся близко друг от друга или через заземление, если начало и конец цепи находятся на большем расстоянии. Во втором случае конец цепи и один щуп пробника заземляют и ищут начало цепи другим щупом.

Проверку работы схемы под напряжением проводят при отключенной силовой цепи после проверки правильности монтажа электрических цепей, контактных соединений на зажимах и аппаратах, настройки аппаратуры, испытания изоляции, а также полярности подаваемого напряжения.

Четкость срабатывания и последовательность работы отдельных контактов, реле, других аппаратов и всей схемы в целом во всех предусмотренных режимах проверяют после подачи оперативного напряжения путем имитации ненормальных и аварийных режимов работы, замыкая от руки контакты реле защиты, первичных преобразователей и т. д.

Для нахождения и устранения неисправностей электрические цепи проверяют под напряжением с помощью вольтметра или индикатора. Широко применяют последовательный метод поиска, предполагающий неисправность лишь одного элемента или небольшой части элементов цепи. В практике подобные случаи встречаются часто, и поэтому данный метод наиболее распространен.

Предполагается, что любой элемент цепи с равной вероятностью может явиться причиной отказа системы. В этом случае используют метод средней точки, когда при каждой проверке группа непроверенных элементов делится на две подгруппы примерно с одинаковым числом элементов. При этом можно определить, в какой части цепи есть дефект.

При проверке оперативных цепей под напряжением лучше применять высокоомный вольтметр, так как использование приборов с малым внутренним сопротивлением может привести к ложному срабатыванию элементов схемы. Лампы накаливания можно применять только при проверке целостности предохранителей и определения короткого замыкания в схеме.

Снижение чувствительности вторичных приборов, работающих в налаживаемых цепях, как правило, является следствием

влияния электрических и магнитных полей на соединительные линии. В этом случае необходимо проверить качество заземления защитных труб, экранов и приборов. Трассы кабелей к приборам должны прокладываться по возможности вдали от машин с мощными электроприводами.

Пониженное напряжение срабатывания реле обычно связано с чрезмерным ослаблением возвратной пружины, малым начальным зазором между якорем и сердечником, установкой в реле обмотки на более низкое номинальное напряжение.

Повышенное напряжение срабатывания реле обусловлено следующими причинами: чрезмерным натяжением возвратной пружины, неправильной сборкой подвижных частей реле, большими зазорами в магнитной цепи, установкой в реле обмотки на более высокое номинальное напряжение.

3. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

3.1. Общие сведения об электродвигателях

Электрические машины, широко применяемые в народном хозяйстве, преобразуют механическую энергию в электрическую и, наоборот, электрическую энергию в механическую. Машину, преобразующую механическую энергию в электрическую, называют *генератором*. Преобразование электрической энергии в механическую осуществляет *двигатель*.

Электрические машины, которые в зависимости от рода тока делят на машины *переменного тока* и *машины постоянного тока*, можно использовать как в качестве генератора, так и в качестве двигателя, т. е. они обладают свойством *обратимости*. Их можно также использовать для преобразования электрической энергии одного рода тока, например, частоты переменного тока, напряжения постоянного тока, в энергию другого рода тока. Такие электрические машины называют *преобразователями*.

Различают машины переменного тока однофазные и многофазные. Широкое применение нашли трехфазные синхронные и асинхронные машины, а также коллекторные машины переменного тока, которые позволяют осуществлять экономичное регулирование частоты вращения в широких пределах. Наличие коллектора является также обязательным конструктивным признаком машины постоянного тока. Через коллектор осуществляется связь рабочей обмотки (обмотки якоря) с нагрузкой в режиме генератора или источником питания в режиме двигателя. Являясь механическим преобразователем, коллектор в комплекте с контактными щетками преобразует постоянный ток в переменный или наоборот.

Первыми электрическими машинами были машины постоянного тока. С развитием техники переменного тока их доля в общем выпуске электрических машин постепенно уменьшилась,

и в настоящее время преобладающими являются машины переменного тока. Это объясняется более сложной конструкцией машин постоянного тока за счет коллекторно-щеточного узла и, как следствие, их более высокой стоимостью и меньшей надежностью.

Преимуществом машин постоянного тока, обуславливающим их применение в современной технике, является, например, более широкий и плавный диапазон регулирования частоты вращения. Их выпуск составляет примерно 5 % общего выпуска электрических машин.

Из электрических машин ниже будет рассматриваться в основном силовые электродвигатели, т. е. двигатели, осуществляющие привод какого-либо рабочего органа. Классификация силовых электродвигателей приведена на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Классификация силовых электродвигателей

Благодаря простоте и дешевизне по сравнению с двигателями других типов в сочетании с высокой эксплуатационной надежностью при минимальном обслуживании наиболее широкое распространение получил *асинхронный электродвигатель*. На

долю этих двигателей приходится свыше 40 % вырабатываемой в стране электроэнергии. Такое положение обусловлено благоприятным сочетанием эксплуатационных и конструктивных характеристик, способностью автоматически изменять момент вращения в соответствии с изменением момента сопротивления на валу и высоким КПД.

Синхронный электродвигатель применяют в промышленных установках для приводов, не требующих регулирования частоты вращения, например, для компрессоров, вентиляторов, газо- и воздуходувок, различного рода мельниц, дробилок и т. д. Более широкое применение нашли явнополюсные синхронные электродвигатели с диапазоном частот вращения от 1500 до 100 об/мин и мощностью от нескольких сот до нескольких десятков тысяч киловатт. Неявнополюсные синхронные электродвигатели — турбодвигатели — выпускают с частотой вращения 3000 об/мин и мощностью от 630 до 1250 кВт.

Электродвигатель постоянного тока обладает высоким пусковым и перегрузочным моментом и, как уже указывалось, позволяет плавно регулировать частоты вращения в широких пределах.

Обычно электродвигатели выпускаются сериями. *Серия — ряд двигателей возрастающей мощности, имеющих одну конструкцию и единую технологию производства на больших участках серии и предназначенных для массового производства.*

Каждая серия имеет свои шкалы мощностей и единую привязку с установочными и присоединительными размерами. В единых сериях электродвигателей для наиболее полного удовлетворения нужд различных отраслей народного хозяйства предусматривают ряд модификаций, а также их специализированные и узкоспециализированные исполнения на базе основного исполнения с внесением расчетных, конструктивных или иных изменений.

Основное исполнение двигателей соответствует общетехническим требованиям как по рабочим свойствам, так и по условиям работы и применения. Основное исполнение служит базой для разработки модификаций и специализированных исполнений.

Модификацию двигателя разрабатывают на базе основного исполнения, она имеет то же значение высот оси вращения, но отличается рабочими свойствами (механической характеристи-

кой, диапазоном регулирования частот вращения, уровнем шума и др.)

Специализированное исполнение удовлетворяет повышенным требованиям потребителя в отношении условий применения. Требования к специализированному исполнению различают по условиям окружающей среды и по точности выполнения установочных и присоединительных размеров.

Узкоспециализированное исполнение предназначено для работ в узкоспециализированной области.

Конструктивное исполнение характеризуется расположением составных частей двигателя относительно элементов крепления подшипников и конца вала.

Электродвигатели совершенствуют по двум основным направлениям. Одно из них состоит в разработке и применении новых более качественных материалов, используемых при изготовлении двигателей. Другое направление связано с совершенствованием конструкции и узлов *двигателей общего назначения*, т. е. двигателей, удовлетворяющих совокупности технических требований, общих для большинства случаев применения, и выполняемых без учета специальных требований потребителя.

Сравнительно новое направление связано с созданием и выпуском электродвигателей, конструкция которых отличается от традиционной. Определенные свойства и характеристики таких двигателей делают их применение особенно эффективным для обеспечения специфического режима работы некоторых механизмов, или конкретнее, специфического движения их рабочих органов. Их называют *двигателями специального назначения*.

Условия работы двигателей в сельском хозяйстве отличается от условий работы двигателей в промышленности. В сельском хозяйстве наблюдается высокий процент выхода их из строя. Статистический материал показывает, что в отдельных колхозах и совхозах приходится заменять 20 и более процентов электродвигателей.

Срок службы и надежность электродвигателей зависит от ряда факторов: действие окружающей среды, режимы работы электроустановки, согласованность характеристик пускозащитной аппаратуры и др.

Некоторые электродвигатели, например, в сельскохозяйственном производстве, работают в сложных условиях: неправильно загружены (обычно недогружены), работают кратковременно

и во многих случаях с большими перерывами, а в сети, к которой подключают электродвигатели, часто наблюдается нестабильность тока в связи со смешанным подключением однофазных и трехфазных потребителей.

Номинальное напряжение питающих сетей переменного и постоянного тока до 1000 В устанавливает ГОСТ 21128–83. Асинхронные двигатели низкого напряжения (до 1000 В) чаще всего предназначены для подключения к питающей сети с номинальным напряжением 220, 380 или 660 В, а двигатели постоянного тока — 110, 220 и 440 В (серия П2 — 440, 750 и 930 В). В зависимости от типа электродвигателя и напряжения питающей сети объем наладочных работ может быть весьма различен по сложности.

Ниже будет рассмотрена наладка двигателей, с которыми наладчикам приходится сталкиваться наиболее часто, т. е. асинхронных двигателей низкого напряжения (до 1000 В) и двигателей постоянного тока. Описаны также отличительные черты и области применения некоторых двигателей специального назначения.

Синхронные двигатели, высоковольтные (выше 1000 В) и двигатели постоянного тока с напряжением выше 440 В в этой работе не рассматриваются.

3.2. Зависимости и характеристики электродвигателей

Ниже даны термины и определения согласно ГОСТ 27471–87, относящиеся к характеристикам, параметрам и процессам, связанным с изменением состояния электродвигателя, а также определения режимов работы с условными обозначениями по ГОСТ 183–74.

Механическая характеристика электродвигателя — зависимость вращающего момента от частоты вращения ротора вращающегося электродвигателя при неизменных напряжении, частоте тока питающей сети и внешних сопротивлениях в цепях обмоток двигателя.

Рабочие характеристики вращающегося двигателя — зависимости подводимой мощности, тока в обмотке якоря, частоты

вращения, КПД вращающегося электродвигателя и частоты вращения от полезной мощности на валу при неизменном напряжении питающей сети и внешних сопротивлениях в цепях обмоток.

Нагрузочная диаграмма электродвигателя — зависимость вращающего момента или тока в цепи якоря вращающегося электродвигателя от времени в течение рабочего цикла.

Номинальные данные вращающейся электрической машины — совокупность числовых значений электрических и механических параметров, обусловленных изготовлением и указанных на табличке, которым удовлетворяет электрическая машина в заданных условиях.

Начальный пусковой ток асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором — максимальный действующий ток, потребляемый заторможенным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором при питании от питающей сети с номинальным значением напряжения и частоты. Эта величина является расчетной без учета переходных явлений.

Момент трогания вращающегося электродвигателя — минимальный вращающий момент, который необходимо развить вращающемуся электродвигателю для перехода из состояния покоя к устойчивому вращению.

Тормозной момент вращающегося электродвигателя — вращающий момент на валу вращающегося электродвигателя, действующий так, чтобы снизить частоту вращения двигателя.

Скольжение ротора машины переменного тока — разность между синхронной частотой вращения магнитного поля и частотой вращения ротора, выраженная в относительных единицах или в процентах синхронной частоты вращения.

Потери вращающейся электрической машины — мощность, теряемая вращающейся электрической машиной в процессе преобразования энергии.

Напряжение трогания вращающегося электродвигателя — наименьшее значение электрического напряжения на выводах цепи питания или управления, при котором ротор электродвигателя начинает устойчиво вращаться без нагрузки.

Режим холостого хода вращающегося электродвигателя — режим работы вращающегося электродвигателя при номинальном напряжении, но без нагрузки.

Режим короткого замыкания вращающегося электродвигателя — режим работы вращающегося электродвигателя, подключенного к питающей сети при номинальном напряжении и неподвижном роторе.

Прямой пуск вращающегося электродвигателя — пуск вращающегося электродвигателя путем непосредственного подключения его к питающей сети.

Пуск вращающегося электродвигателя переменного тока при пониженном напряжении — пуск вращающегося электродвигателя переменного тока путем переключения соединения со звезды на треугольник, или с последовательного на параллельное подключение фаз обмотки, или путем применения автотрансформатора, реактора, пускового реостата.

Компенсационная обмотка вращающейся электрической машины — обмотка вращающейся электрической машины, по которой протекает ток нагрузки или пропорциональный ему ток, расположенная таким образом, чтобы противодействовать искажению магнитного поля, вызываемому токами нагрузки, протекающими в других обмотках.

Успокоительная обмотка вращающейся электрической машины — обмотка вращающейся электрической машины, обычно короткозамкнутая, предназначенная для успокоения быстрых изменений сцепленного с ней потока.

Продолжительный режим работы (условное обозначение по ГОСТ 183—74—S1) — режим при постоянной нагрузке, продолжающийся не менее, чем необходимо для достижения установившейся температуры при неизменной температуре охлаждающей среды.

Кратковременный режим работы (S2) — режим при котором работа с постоянной нагрузкой, продолжающаяся менее, чем необходимо для достижения установившейся температуры при неизменной температуре среды, чередуется с отключениями двигателя, во время которых он охлаждается до температуры окружающей среды.

Повторно-кратковременный режим работы (S3) — режим, при котором кратковременная неизменная нагрузка чередуется с отключениями двигателя, причем во время нагрузки температура двигателя не достигает установившегося значения, а во время паузы двигатель не успевает охладиться до температуры окружающей среды.

Повторно-кратковременный режим работы с частыми пусками (S4) — режим, при котором пусковые потери оказывают существенное влияние на нагрев двигателя.

Повторно-кратковременный режим работы с частыми пусками и с электрическим торможением (S5) — режим, при котором для остановок двигателя применяется электрическое торможение и потери при пуске и торможении оказывают существенное влияние на его нагрев.

Переключающийся режим работы (S6) — режим, при котором кратковременная неизменная нагрузка чередуется с холостым ходом, причем, как при нагрузке, так и при холостом ходе температура двигателя не достигает установившегося значения.

Переключающийся режим работы с частыми реверсами (S7) — режим, при котором работа с неизменной нагрузкой, продолжающейся менее, чем необходимо для достижения установившейся температуры двигателя, чередуется с реверсами.

Переключающийся режим работы с разными частотами вращения (S8) — режим, при котором работа с неизменной нагрузкой при одной частоте вращения чередуется с переключениями на другую частоту с неизменной нагрузкой, соответствующей этой частоте, причем время работы на каждой частоте вращения недостаточно для достижения установившейся температуры двигателя.

3.3. Асинхронные двигатели

Частота вращения магнитного поля статора асинхронного двигателя (синхронная частота), об/мин:

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}, \quad (3.1)$$

где f_1 — частота напряжения питающей сети, Гц; p — число пар полюсов обмотки двигателя.

Частота вращения ротора (асинхронная частота) n зависит от режима работы двигателя и находится в пределах $0 < n < n_1$.

Скольжение имеет большое значение для асинхронных двигателей. В зависимости от мощности и исполнения двигателя

скольжение в номинальном режиме составляет 2—8 %. Рассчитывают скольжение по следующим формулам:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad \text{или} \quad s \% = \frac{n_1 - n}{n_1} 100. \quad (3.2)$$

При неподвижном роторе, например, в момент пуска двигателя $s = 1$.

Режим идеального холостого хода — предполагаемый режим, при котором потери равны нулю, частота вращения ротора равна частоте вращения поля и ток в обмотке ротора отсутствует. В режиме *реального холостого хода* в связи с механическими потерями частота вращения ротора трехфазного асинхронного двигателя отличается от частоты вращения поля на 1—2 %. Ток холостого хода статора составляет 20—50 % номинального его тока.

Частота тока обмотки ротора:

$$f_2 = \frac{(n_1 - n)p}{60}, \quad \text{или} \quad f_2 = sf_1. \quad (3.3)$$

Для $f_1 = 50$ Гц и $s = 2$ —8 % частота тока обмотки ротора составляет 1—4 Гц.

Электродвижущая сила (ЭДС) фазы обмотки статора, наводимая вращающимся магнитным потоком, определяется по формуле:

$$E_1 = 4,44K_{\sigma 01}W_1f_1\Phi, \quad (3.4)$$

где E_1 — ЭДС фазы обмотки статора, В; $K_{\sigma 01}$ — обмоточный коэффициент обмотки статора, учитывающий особенности его конструкции (для двигателей малой мощности $K_{\sigma 01} = 0,95$ — $0,96$); W_1 — число витков в обмотке фазы статора; Φ — основной вращающийся магнитный поток, Вб.

ЭДС фазы обмотки ротора, В:

$$E_{2\phi} = 4,44K_{\sigma 02}W_2f_2\Phi, \quad (3.5)$$

где $K_{\sigma 02}$ — обмоточный коэффициент обмотки ротора; W_2 — число витков в обмотке фазы ротора (для короткозамкнутого ротора обмоткой является стержень, у которого $W_2 = 0,5$).

Индекс «s» обозначает вращающийся ротор. В неподвижном роторе частота ЭДС $f_2 = f_1$, т. е. такая же, как у ЭДС обмотки статора.

Вращающий момент асинхронного двигателя создается в результате взаимодействия вращающегося магнитного поля статора с токами в проводниках обмотки ротора. Он определяется следующим выражением^{*}:

$$M = c\Phi I_2 \cos \psi_2, \quad (3.6)$$

где M — вращающий (электромагнитный) момент асинхронного двигателя, Н·м; I_2 — ток в обмотке ротора, А; c — конструктивная постоянная двигателя, зависящая от числа его полюсов и фаз, числа витков обмотки статора и конструктивного выполнения обмотки ротора; ψ — фазный угол между ЭДС и током в обмотке ротора.

При условии постоянства приложенного напряжения магнитный поток остается почти постоянным при любом изменении нагрузки двигателя и, следовательно, вращающий момент будет пропорционален только активной составляющей тока в обмотке ротора ($I_2 \cos \psi_2$).

Изменение нагрузки (тормозного момента) на валу двигателя изменит частоту вращения ротора и скольжение, что, в свою очередь, вызовет изменение как тока в роторе, так и его активной составляющей.

На рис. 3.2 показана зависимость вращающего момента асинхронного двигателя от скольжения. При некотором скольжении $S_{кр}$ (примерно 20 %) двигатель развивает максимальный момент, определяющий его перегрузочную способность, которая для серийных двигателей равна 1,7—3,4. Устойчивая работа двигателя возможна только на участке графика при скольжениях $S < S_{кр}$. Работа двигателя на нисходящей ветви графика невозможна, так как при $S > S_{кр}$ увеличение скольжения будет вызы-

^{*} Практически значение номинального вращающего момента на валу двигателя (Н·м) с достаточной степенью точности можно определить по формуле: $M_n \approx P_n \cdot 10^4 / n_n$, где P_n — номинальная мощность на валу двигателя, кВт; n_n — номинальная частота вращения, об/мин.

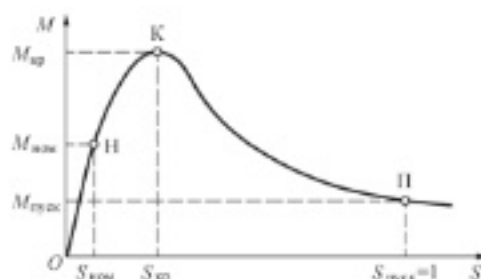


Рис. 3.2. Зависимость вращающего момента асинхронного двигателя от скольжения: $M_{кр}$, $M_{ном}$, $M_{пуск}$ — критический, номинальный и пусковой вращающие моменты; $S_{ном}$ и $S_{кр}$ — номинальное и критическое скольжение; O , H , K , P — точки графика, которые соответствуют следующим режимам работы двигателя: идеальный холостой ход, номинальный, критический, останов ротора

вать уменьшение вращающего момента вследствие значительно-го увеличения реактивного сопротивления обмотки ротора.

На рис. 3.2 точка O соответствует идеальному холостому ходу двигателя, а точка H номинальному режиму. Участок OH графика — рабочий участок. Участок HK графика соответствует механической перегрузке двигателя. В точке K вращающий момент достигает максимального значения, и его называют *критическим моментом*. Скольжение, соответствующее критическому скольжению, называется *критическим скольжением*. Участок OK графика — участок устойчивой работы двигателя, под которой понимается свойство двигателя автоматически компенсировать малые отклонения в режиме работы за счет собственных характеристик. Участок KP — участок неустойчивой работы. Если допустить, что при работе на этом участке момент двигателя почему-либо уменьшится (например, при понижении напряжения сети), то скольжение начнет увеличиваться, что, в свою очередь, вызовет уменьшение вращающего момента, который будет оставаться всегда меньше тормозного, т. е. равновесие не восстановится, и практически ротор двигателя мгновенно остановится (точка P).

Вращающий момент прямо пропорционален квадрату подводимого к обмотке статора напряжения, так как магнитный поток и ток в роторе пропорциональны напряжению. Поэтому изменение напряжения сети вызывает значительное изменение вращающего момента.

В относительных единицах выражение вращающего момента имеет вид:

$$M = \frac{2M_{\text{кр}}}{\frac{S_{\text{кр}}}{S} + \frac{S}{S_{\text{кр}}}}. \quad (3.7)$$

Механическая характеристика трехфазного асинхронного двигателя играет существенную роль при выборе двигателя. С ее помощью определяют, может ли двигатель сохранять примерно неизменной частоту вращения при изменении нагрузки, что требуется, например, для станков, или, наоборот, может ли он быстро изменять частоту вращения при изменении нагрузки, что требуется, например, для прессов.

Все сказанное о характерных точках, изображенных на рис. 3.2, справедливо и для механической характеристики двигателя. При очень сильном понижении напряжения может случиться, что максимальный вращающий момент (критический момент), который развивает двигатель при данном напряжении, окажется меньше, чем момент сопротивления на его валу. В этом случае происходит *опрокидывание двигателя*, т. е., как это было описано выше, он остановится. По его обмоткам в этом режиме проходит большой ток, и его необходимо обязательно отключить от сети.

Большое значение имеют механические характеристики асинхронных двигателей, получаемые при включении резисторов в цепи обмоток ротора, что может быть выполнено в двигателях с фазным ротором. На рис. 3.3 видно, что при одной и той же частоте вращения, т. е. при заданном скольжении, момент тем меньше, чем больше сопротивление в цепи ротора.

Значение критической частоты вращения при большом сопротивлении в цепи ротора оказывается меньшим (т. е. значение критического скольжения возрастает). Физически это объясняется тем, что при большом активном сопротивлении в цепи ротора индуктивное сопротивление рассеяния в роторе может стать равным ему только при большом скольжении. Значение максимального вращающего момента, развиваемого двигателем, остается одинаковым при любом сопротивлении в цепи ротора.

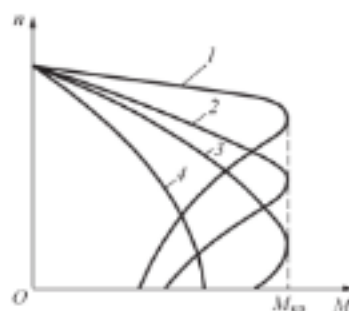


Рис. 3.3. Механические характеристики трехфазного асинхронного двигателя при различных сопротивлениях в цепи ротора: 1 — естественная характеристика (без дополнительного сопротивления в цепи ротора); 2–4 — характеристики с возрастающим сопротивлением в цепи ротора

Рабочие характеристики асинхронного двигателя, показанные на рис. 3.4, снимают при номинальных значениях напряжения и частоты тока, т. е. двигатель нерегулируемый, и изменяется только нагрузка на валу.

Зависимость $n = f(P_2)$ у асинхронных двигателей имеет небольшой наклон к оси абсцисс. Соответственно зависимость $s = f(P_2)$ имеет небольшой подъем при возрастании нагрузки. Это

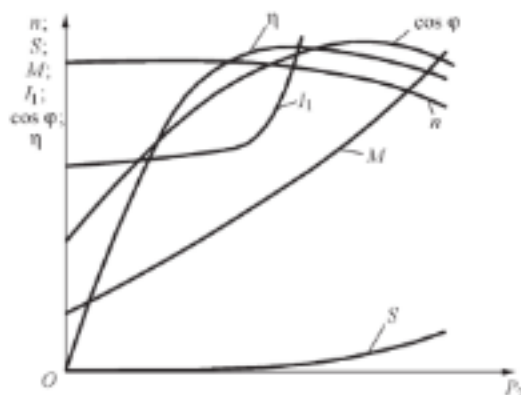


Рис. 3.4. Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя: n — частота вращения ротора; S — скольжение; M — момент, развиваемый двигателем; I_1 — ток статора; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности; η — КПД двигателя; P_2 — полезная (паспортная) мощность электродвигателя

объясняется тем, что трехфазные асинхронные двигатели работают с небольшим скольжением, которое обычно при номинальной нагрузке не превышает 2—8 %. При холостом ходе двигателя скольжение очень мало $s \approx 0$ и $n \approx n_1$. Частота вращения ротора и его скольжение находятся в следующем соотношении:

$$n = n_1 (1 - S) = \frac{60 f_1}{P} (1 - S). \quad (3.8)$$

Зависимость $M = f(P_2)$ имеет вид:

$$M = \frac{P_2}{\omega} = \frac{30 P_2}{\pi n}, \quad (3.9)$$

где $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ — угловая частота вращения ротора.

Характеристика несколько отклоняется от прямой линии, так как с ростом нагрузки на валу двигателя вращающий момент увеличивается несколько быстрее, чем полезная мощность, за счет некоторого уменьшения частоты вращения ротора (см. рис. 3.4).

Зависимость $I_1 = f(P_2)$ представляет собой линию, не выходящую из начала осей координат, так как двигатель в режиме холостого хода потребляет из сети ток холостого хода, который, например, для двигателей малой мощности может достигать 50 % и более номинального тока статора. Ток статора, потребляемый двигателем из сети, увеличивается с повышением мощности неравномерно, так как при малых нагрузках на валу двигателя активная составляющая тока статора меньше реактивной составляющей, и на потребляемый статором ток она влияет незначительно. При этих нагрузках ток статора, потребляемый из сети, определяется, в основном, реактивной составляющей. При больших нагрузках активная составляющая тока статора становится больше реактивной, и дальнейшее увеличение нагрузки (а следовательно, и мощности двигателя) ведет к значительному увеличению тока статора.

Зависимость $\cos \varphi = f(P_2)$ показывает, что при переходе двигателя от режима холостого хода к номинальному коэффициент мощности изменяется в значительном диапазоне.

При холостом ходе $\cos \varphi$ мал (около 0,1—0,2), так как активная мощность расходуется только на относительно небольшие

потери в статоре и небольшие механические потери, а реактивная мощность имеет постоянное значение, поскольку магнитный поток постоянный. С возрастанием нагрузки (в пределах до номинальной) активная мощность увеличивается, а реактивная остается постоянной, в результате чего $\cos \varphi$ повышается, достигая при номинальной нагрузке наибольшего значения (около 0,8—0,9). При перегрузках происходит некоторое уменьшение $\cos \varphi$, так как с ростом скольжения и повышением частоты тока в роторе сказывается увеличение потока рассеяния, т. е. реактивная мощность увеличивается.

Зависимость $\eta = f(P_2)$ трехфазного асинхронного двигателя имеет такой же вид, как и для любой электрической машины или трансформатора. При холостом ходе КПД равен нулю. С увеличением нагрузки двигателя КПД двигателя резко возрастает, а затем уменьшается.

КПД рассчитывают по формуле:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_m + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_s}, \quad (3.10)$$

где $P_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \cos \varphi$ — мощность двигателя, потребляемая из сети, Вт; P_2 — полезная (паспортная) мощность двигателя, Вт; ΔP_m , $\Delta P_{\text{мех}}$ — соответственно магнитные и механические (постоянные) потери мощности, Вт; ΔP_s — электрические (переменные) потери мощности (в обмотках статора и ротора), Вт.

Наибольшего значения КПД достигает при такой нагрузке, когда потери мощности в стали и механические потери, не зависящие от нагрузки, равны потерям мощности в обмотках статора и ротора, зависящим от нагрузки. Обычно КПД асинхронного двигателя составляет 0,75—0,95. Большее значение КПД имеют двигатели большей мощности.

Однофазные асинхронные двигатели питаются от сети однофазного тока, но обмотка статора может быть при этом однофазной, двухфазной и даже трехфазной. Отличительной особенностью однофазных двигателей от трехфазных является создание статором не вращающегося, а пульсирующего поля и пульсирующей магнитодвижущей силы. Это пульсирующее магнитное поле может быть условно разложено на два поля, вращающиеся в противоположные стороны с одинаковой скоростью. Амплиту-

да каждого из этих полей равна половине амплитуды пульсирующего поля.

Если рассматривать вращающиеся магнитные поля независимо, то можно установить, что одно поле, взаимодействуя с ротором, создаст вращающий момент одного направления $M_{пр}$, а другое поле — момент обратного направления $M_{обр}$. Тогда результирующий вращающий момент, действующий на ротор однофазного асинхронного двигателя равен:

$$M = M_{пр} - M_{обр} \quad (3.11)$$

Механическую характеристику однофазного двигателя можно определить графически — сложить характеристики, указанные на рис. 3.5. На механической характеристике однофазного двигателя видно, что пусковой момент равен нулю.

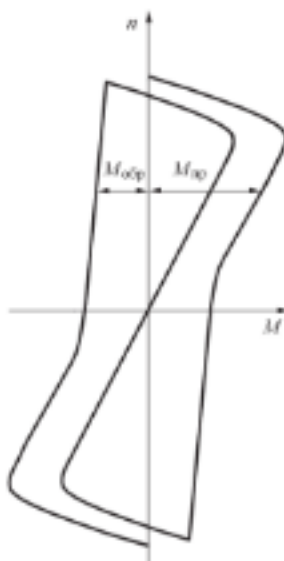


Рис. 3.5. Механическая характеристика однофазного асинхронного двигателя: $M_{пр}$ — прямой вращающий момент; $M_{обр}$ — обратный вращающий момент; n — частота вращения

Для того чтобы однофазный двигатель пустить в ход, необходимо, чтобы обмотка статора создавала вращающееся магнитное поле, которое можно получить, если на статоре двигателя, поми-

мо основной (рабочей) обмотки, расположить вспомогательную (пусковую) обмотку.

О способах пуска в ход однофазного двигателя и работе трехфазного двигателя в однофазной сети будет сказано ниже.

3.4. Двигатели постоянного тока

ЭДС, наводимую в проводнике обмотки якоря при вращении его в магнитном поле полюсов, определяют из выражения:

$$e = Blv, \quad (3.12)$$

где e — переменная ЭДС в проводнике обмотки якоря, В; B — магнитная индукция поля, Тл; l — длина проводника (стороны витка), м; v — линейная скорость пересечения проводником магнитного поля, м/с.

ЭДС двигателя находят из выражения:

$$E = c_E n \Phi, \quad (3.13)$$

где n — частота вращения якоря, об/мин; $\Phi = B\tau l$ — магнитный поток одного полюса, Вб (τ — полюсное деление, которое определяется как дуга между соседними нейтральными линиями, т. е. линиями симметрии, делящими пространство между полюсами пополам — геометрическими нейтральными линиями, или линиями, где $B = 0$ — физическими нейтральными линиями, м); c_E — конструктивный коэффициент ЭДС — постоянная для каждого двигателя, равная $\frac{pN}{60a}$ (здесь p — число пар полюсов, N — число проводников якоря, a — число пар параллельных ветвей обмотки якоря относительно внешней цепи, равное числу пар полюсов параллельных, или иначе называемых петлевых обмотках, и равное 1 в последовательных или волновых обмотках).

Силу взаимодействия тока в проводнике с магнитным полем при протекании тока по обмотке якоря рассчитывают по формуле:

$$F = BIl, \quad (3.14)$$

где F — электромагнитная сила, Н; i — ток в проводнике, равный току одной параллельной ветви, А.

Вращающий (электромагнитный) момент двигателя равен:

$$M = F \frac{D}{2} N, \quad \text{или} \quad M = c_a I_a \Phi, \quad (3.15)$$

где D — диаметр сердечника якоря, м; N — число активных проводников в обмотке якоря; I_a — ток якоря, равный $2ai$, А; c_a — конструктивный коэффициент момента, равный $\frac{pN}{2\pi a}$.

Конструктивный коэффициент момента связан с конструктивным коэффициентом ЭДС следующим соотношением:

$$\frac{c_u}{c_E} = \frac{pN}{2\pi a} \frac{60a}{pN} \approx 9,57. \quad (3.16)$$

Уравнение электрического состояния цепи якоря двигателя показывает, что при вращении якоря в проводниках его обмотки индуцируется ЭДС, которая направлена навстречу напряжению сети. Эта ЭДС, равная $c_E n \Phi$, как это указывалось выше, и называемая противо-ЭДС или обратная ЭДС, играет роль регулятора потребляемой мощности, т. е. изменение потребляемого тока происходит вследствие изменения противо-ЭДС. Приложенное напряжение уравнивается противо-ЭДС и падением напряжения в сопротивлении обмотки якоря и щеточных контактов и определяется по формуле:

$$U = E + I_a R_a, \quad (3.17)$$

где U — приложенное напряжение, В; R_a — сумма сопротивлений в цепи обмотки якоря, куда входят обмотки якоря, добавочных полюсов и возбуждения (для двигателей последовательного возбуждения) и щеточный контакт, Ом.

Уравнение механической характеристики двигателя получают из формул ЭДС и вращающего момента двигателя, а также уравнения электрического состояния цепи якоря. Оно имеет вид:

$$n = \frac{U}{c_E \Phi} - \frac{R_a M}{c_E c_u \Phi^2}. \quad (3.18)$$

Механические характеристики двигателей постоянного тока имеют вид, который определяется характером зависимости магнитного потока от нагрузки двигателя, что, в свою очередь, зависит от схем подключения обмотки возбуждения, показанных

на рис. 3.6. Механические характеристики бывают *естественные*, т. е. снятые при отсутствии в схеме каких-либо дополнительных сопротивлений, например, реостатов в цепях якоря или возбуждения, и *искусственные* — при наличии таких сопротивлений.

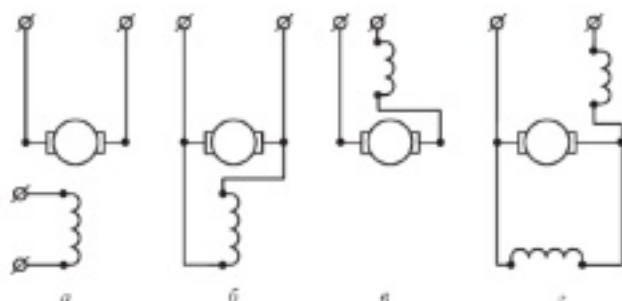


Рис. 3.6. Схемы подключения обмоток возбуждения двигателей постоянного тока: *a* — независимая; *b* — параллельная; *c* — последовательная; *d* — смешанная

Естественные характеристики двигателей преобразуют, например, для регулирования его частоты вращения. О приемах, применяемых для изменения частоты вращения двигателей, будет сказано ниже.

Естественная механическая характеристика двигателя **параллельного возбуждения (шунтового двигателя)** имеет вид прямой с углом наклона к оси абсцисс (рис. 3.7, кривая *1*). Поскольку у двигателей постоянного тока сопротивление в цепи якоря мало, при постоянном магнитном потоке с увеличением нагрузки на

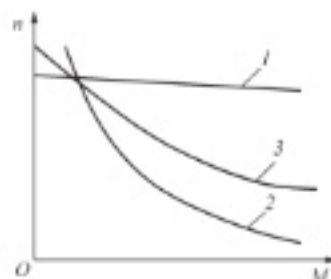


Рис. 3.7. Механические характеристики двигателей постоянного тока: *1* — независимое и параллельное возбуждение; *2* — последовательное возбуждение; *3* — смешанное возбуждение

валу частота вращения якоря изменится незначительно (5—10 %). Характеристики этого типа называют «жесткими».

В двигателях независимого возбуждения обмотка возбуждения питается от отдельного источника постоянного напряжения, и ток возбуждения не зависит от тока якоря, как и при параллельном возбуждении. Поэтому механические характеристики и другие свойства этих двигателей одинаковы.

Преобразование естественных механических характеристик двигателей параллельного и независимого возбуждения можно выполнить следующими способами:

- изменением магнитного потока главных полюсов с помощью регулировочного реостата, включенного последовательно с обмоткой возбуждения. При этом увеличатся частота вращения холостого хода (при $M = 0$) и угол наклона механической характеристики к оси абсцисс. Изменения эти будут тем больше, чем большее сопротивление будет введено;
- включением последовательно с якорем регулировочного реостата (пусковой реостат, рассчитанный на кратковременный режим работы, для этой цели непригоден). При этом, если увеличивать вводимое сопротивление, то частота вращения холостого хода остается прежней, а угол наклона характеристики к оси абсцисс будет увеличиваться, т. е. будет уменьшаться жесткость характеристики;
- безреостатным изменением подводимого к якорю напряжения (только для двигателей независимого возбуждения) с помощью специально предназначенного для данного двигателя генератора или с помощью управляемых вентилей (тиристоров, тиратронов, ртутных выпрямителей). При этом наклон механической характеристики не изменится, а частота вращения холостого хода снизится, так как практически изменение подводимого напряжения возможно только в сторону уменьшения во избежание ухудшения коммутации.

Естественная механическая характеристика двигателя последовательного возбуждения (серийного двигателя) имеет вид кривой 2, показанной на рис. 3.7. При изменении момента нагрузки частота вращения двигателя изменяется резко. Характеристики этого типа называют «мягкими».

При малых нагрузках частота вращения якоря резко возрастает, достигая значений, при которых возможно механическое разрушение двигателя (двигатель идет «вразнос»). Поэтому недопустимо включать в сеть двигатели последовательного возбуждения с нагрузкой не менее 25—30 % номинальной. Исключение могут составлять двигатели, мощностью менее 200 Вт, у которых мощность механических и магнитных потерь при больших частотах вращения соизмерима с номинальной мощностью двигателя.

Преобразование естественных механических характеристик двигателей последовательного возбуждения достигается теми же способами, что и двигателей параллельного возбуждения:

- изменение потока возбуждения осуществляют включением регулировочного реостата параллельно обмотке возбуждения или включением его параллельно якорю. Включив реостат параллельно обмотке возбуждения и уменьшая его сопротивление, снижают ток в обмотке возбуждения и магнитный поток и тем самым увеличивают частоту вращения двигателя. Уменьшая сопротивление реостата, включенного параллельно обмотке якоря, ток в обмотке возбуждения и магнитный поток увеличивают, снижая тем самым частоту вращения;
- увеличение сопротивления, включенного последовательно с якорем регулировочного реостата, так же как и в двигателях параллельного возбуждения ведет к уменьшению частоты вращения относительно естественной характеристики;
- при питании двигателя от отдельного источника напряжения можно уменьшить частоту вращения путем изменения подводимого к двигателю напряжения.

Естественные механические характеристики двигателей смешанного возбуждения имеют вид кривой 3, показанной на рис. 3.7, которая располагается между характеристиками двигателей с параллельным и последовательным возбуждением. Такая характеристика позволяет получить значительный пусковой момент и исключает возможность «разноса» двигателя на холостом ходу.

Преобразование естественных механических характеристик двигателей смешанного возбуждения достигают теми же способами, что и двигателей параллельного и смешанного возбуждения.

Кроме того, включая обмотки согласно или встречно, а также варьируя число витков этих обмоток и протекающего по ним тока можно получить практически любую промежуточную характеристику. Обычно применяют двигатели с преобладанием магнитодвижущей силы параллельной обмотки и при согласованном включении обмоток.

КПД двигателя проще и точнее определять, измеряя не механическую, а электрическую мощность по формуле:

$$\eta = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1}, \quad (3.19)$$

где P_1 — механическая мощность, Вт; ΔP — потери мощности, Вт.

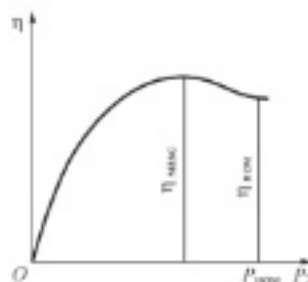


Рис. 3.8. Зависимость КПД двигателя постоянного тока от полезной мощности

КПД двигателей постоянного тока изменяется в зависимости от нагрузки (рис. 3.8). При малых нагрузках КПД резко уменьшается, поэтому недогруженный двигатель эксплуатировать невыгодно. КПД двигателей постоянного тока растет с увеличением их мощности. У двигателей до 10 Вт он составляет 30–40 %, у двигателей мощностью 10 кВт — 80–85 %, у двигателей 1000 кВт — 96 %.

3.5. Двигатели специального назначения

Помимо двигателей общего назначения, составляющих основу современного электропривода, в последние годы получают все более широкое распространение двигатели специального назначения. Для двигателей специального назначения характерна

нетрадиционность конструктивного исполнения, причем в одном двигателе могут сочетаться несколько из приведенных ниже особенностей конструкции. Применение таких двигателей позволяет упростить электропривод и придать ему некоторые свойства, которые двигатели общего назначения не обеспечивают.

Ниже приведены отличительные черты и области применения некоторых двигателей специального назначения. Основные технические данные даны для двигателей, которые встречаются достаточно часто при проведении наладочных работ.

Двигатели с внешним ротором отличаются от двигателей общего назначения тем, что их статор находится внутри ротора. Наружная поверхность ротора таких двигателей образована ободом, форма которого зависит от назначения двигателя, т. е. она может быть в виде колеса, шкива, ролика или просто массивного элемента — маховика. Данную конструкцию, иногда называемую обращенной, применяют в асинхронных двигателях, например, для электроинструмента или в качестве двигателя-маховика для привода механизмов, требующих равномерного вращения при неравномерной нагрузке на вал.

Гистерезисные двигатели с внешним ротором получили широкое применение в гидроскопических приборах в качестве гидродвигателей для обеспечения большего момента инерции и большей частоты вращения. Гистерезисный двигатель является синхронным двигателем, ротор которого представляет собой массивный цилиндр без обмотки, выполненный из магнитотвердого материала*. Вращающий момент гистерезисного двигателя складывается из двух составляющих — момента, создаваемого взаимодействием вращающегося магнитного поля двигателя с вихревыми токами ротора и момента, возникающего из-за явления гистерезиса при перемагничивании материала (гистерезис-

* Магнитотвердые материалы — материалы, которые намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в сравнительно сильных магнитных полях напряженностью до десятков килоампер на метр и обладают высоким значением остаточной магнитной индукции. Из этих материалов, к которым относится, например, феррит, изготавливают постоянные магниты. Магнитомягкие материалы намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в относительно слабых магнитных полях напряженностью до сотен ампер на метр. Из них изготавливают электротехнические стали.

ный момент). Двигатели такого типа выпускают на мощности от долей ватта до нескольких сотен ватт при частоте питающего тока 50—500 Гц. Благодаря простоте конструкции эти двигатели надежны в работе, долговечны, бесшумны и могут работать с различной частотой вращения. Их КПД достигает 80 %.

Двигатели с малоинверсионным ротором применяют для производственных механизмов, где требуется быстрое изменение частоты вращения или направления движения рабочих органов.

Высокое быстродействие, требующее от приводного двигателя значительных ускорений вращения вала, достигается следующими способами: повышением индукции магнитного поля двигателя, что реализуется и в двигателях общего назначения; выполнением ротора (якоря) двигателя с минимально возможной массой и с максимально возможным отношением длины к радиусу; увеличением тока в обмотках двигателя. Наибольшее распространение получили конструкции двигателей с полным цилиндрическим ротором и с дисковым (торцевым) ротором. Эти конструкции используют для двигателей постоянного тока и асинхронных двигателей, применяемых в регулируемом электроприводе.

Двигатели постоянного тока с полным цилиндрическим якорем малой мощности (микродвигатели с мощностью до десятков ватт) выпускают с возбуждением от постоянных магнитов с проводниковой обмоткой якоря и применяют в системах автоматики.

Изготавливают также двигатели мощностью до нескольких киловатт. Их якоря имеют печатную обмотку, которая представляет собой систему из плоских медных проводников небольшой толщины, расположенных на внутренней и внешней поверхностях полого цилиндра, выполненного из изоляционного материала. Изоляцией между проводниками служат воздух и материал якоря. Проводники наносятся на поверхность якоря фотохимическим способом.

Асинхронные двигатели с полым цилиндрическим ротором работают по тому же принципу, что и асинхронные двигатели с массивным ротором. Обычно такие двигатели имеют две сдвинутые в пространстве обмотки — возбуждения и управления. На обмотку возбуждения подается напряжение сети. Обмотка управления служит для регулирования частоты и направления вращения двигателя, которое осуществляется при помощи подачи на нее соответствующего напряжения.

Различают две группы таких двигателей — двигатели с немагнитным ротором и двигатели с ферромагнитным ротором. Более широко применяют двигатели с немагнитным ротором, которые изготавливают, в основном, на небольшие мощности (до нескольких десятков ватт) из-за низкого коэффициента мощности и КПД. Их энергетические показатели имеют низкие значения, что обусловлено большим воздушным зазором двигателя, который складывается из зазора между статором и ротором и толщины самого ротора.

Двигатели постоянного тока с дисковым якорем имеют плоскую форму, что является характерной особенностью их конструкции. Якорь у таких двигателей выполнен в виде плоского диска из текстолита или керамики, на котором располагается, как правило, печатная обмотка, наносимая на диск фотохимическим способом.

Асинхронные двигатели с дисковым ротором широкого распространения не получили.

Двигатели постоянного тока с увеличенной длиной якоря используют, например, в приводах рабочих органов станков, которым требуется высокое быстродействие и большой диапазон регулирования частоты вращения. Основной конструктивной особенностью этих двигателей является увеличенная длина и уменьшенный диаметр якоря. В электродвигателях типа ПБСТ это позволяет полнее использовать возможности безынерционного тиристорного преобразователя. Двигатели постоянного тока с увеличенной длиной якоря являются двигателями смешанного возбуждения. Их полюсы и обмотки включены последовательно.

Двигатели с гладким якорем применяют там, где необходимо повышенное быстродействие электропривода в сочетании с большим вращающим моментом. Конструктивная особенность этого двигателя заключается в том, что проводники обмотки якоря располагаются не в пазах пакета якоря, как обычно, а находятся непосредственно на поверхности гладкого якоря. Такое расположение проводников способствует более интенсивному охлаждению и улучшает условия коммутации тока, что позволяет повысить ток в обмотке якоря и, соответственно, развиваемый двигателем вращающий момент.

Двигатели с гладким якорем допускают 8—10-кратные пусковые токи, что уменьшает время пуска двигателя, т. е. увеличивает его быстродействие. Это в 4 раза больше, чем у двигателей с тра-

диционной конструкцией якоря. Развиваемый при этом вращающий момент в 6—7 раз превышает номинальный и в 2—3 раза допустимый момент двигателя с обычным якорем. Повышению быстродействия двигателя из-за снижения его момента инерции способствуют также удлиненная конструкция и малый внешний диаметр якоря.

Бесконтактные двигатели постоянного тока имеют такие же характеристики, как и двигатели с обычным коллектором. Их применяют там, где требуется повышенная надежность и минимальные затраты на эксплуатацию. В этих двигателях отсутствует искрение, которое наблюдается в коллекторно-щеточном узле обычного двигателя. При работе они не создают радиопомех и дополнительного шума, и их можно применять во взрывоопасных помещениях и средах. В основном это двигатели небольшой мощности, используемые в устройствах автоматики.

Изменение направления тока в проводниках якорной обмотки при изменении их положения относительно полюсов магнитного поля статора, необходимое для работы двигателя и обеспечиваемое в обычных двигателях постоянного тока с помощью коллектора, в бесконтактных двигателях обеспечивается мостовой переключающей схемой с бесконтактными полупроводниковыми ключами и датчиком положения, управляющим этими ключами. В качестве ключей для электродвигателей небольшой мощности используют транзисторы, для двигателей средних и больших мощностей — тиристоры. В некоторых конструкциях двигателей нашли применение герметичные контакты (герконы).

В качестве датчиков положения обычно используют различные магниточувствительные резисторы и магнитодиоды, значение внутреннего сопротивления которых зависит от значения внешнего магнитного потока. Применяют также емкостные датчики и датчики, использующие лучевую энергию.

Бесконтактные двигатели постоянного тока широко используют для привода компрессоров, насосов, шлифовальных и сверлильных станков и др.

Шаговые двигатели и созданные на их базе дискретные приводы применяют там, где рабочие органы механизмов при выполнении ими производственных операций должны перемещаться дискретно (шагами). Это требуется, например, для киносьемочной и проектной аппаратуры, механизмов подачи различных станков и др.

Отличием шаговых двигателей от двигателей непрерывного вращения является дискретная форма преобразования энергии. Дискретность преобразования достигается импульсным питанием и реализуется в виде угловых и линейных перемещений — шагов. Значение перемещения строго фиксировано и определяется конструкцией двигателя и схемой коммутации обмоток. Частота вращения (а для линейных двигателей — перемещение) реализуется изменением частоты следования управляющих импульсов.

Диапазон мощностей таких двигателей составляет от $5 \cdot 10^{-4}$ Вт до нескольких киловатт, угловой шаг — от единиц до десятков градусов, вращающий момент — от 10^{-5} до $100 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Шаговые двигатели обладают большим диапазоном регулирования частоты вращения, быстродействием и высокой точностью обработки заданных команд. Кроме того, большинство шаговых двигателей — бесконтактные с безобмоточным ротором, и срок их службы практически определяется только работоспособностью подшипникового узла.

Шаговые двигатели бывают однофазные, двухфазные и многофазные, они могут иметь активный или пассивный ротор.

Шаговые двигатели с активным ротором имеют ротор, обладающий собственным, не зависящим от статора магнитным полем. Ротор выполняется либо с электромагнитным возбуждением (обмотка и контактные кольца), либо из постоянных магнитов. В последнем случае двигатели называют магнитоэлектрическими. Магнитоэлектрические двигатели обладают высокой экономичностью и надежностью в работе, имеют небольшие габариты и малую массу. Шаг двигателей составляет от 90 до 15° .

Шаговые двигатели с пассивным ротором имеют ротор, выполненный из ферромагнитного, магнитомягкого материала. Конструктивной его особенностью является отсутствие на роторе обмотки возбуждения. Шаг двигателя с пассивным ротором обычно значительно меньше, чем двигателя с активным ротором.

Однокоординатные линейные шаговые двигатели предназначены для привода насосов, вытеснителей, дозаторов поступательного действия и особенно выгодны в устройствах, где требуется регулирование хода и скорости перемещения поршня.

Промышленность выпускает также *двухкоординатные линейно-поворотные шаговые двигатели* и *многокоординатные шаговые двигатели*, предназначенные для работы в автоматических системах технологических линий и в приводах манипуляторов.

Редукторные двигатели — двигатели переменного тока с электромагнитным снижением (редуцированием) частоты вращения.

Наличие механической передачи в обычных двигателях для снижения частоты вращения создает дополнительный шум при работе, снижает надежность работы электропривода, увеличивает его массу и габариты. Редукторные двигатели лишены этих недостатков. Поскольку энергетические показатели редукторных двигателей низки (КПД обычно не превышает 40 %, а $\cos \varphi$ не превышает 0,2), их выпускают обычно на небольшие мощности (до десятков ватт).

Для повышения быстродействия редукторных двигателей разработаны конструкции с малоинерционным ротором. Существует множество различных типов редукторных двигателей переменного тока (рис. 3.9).

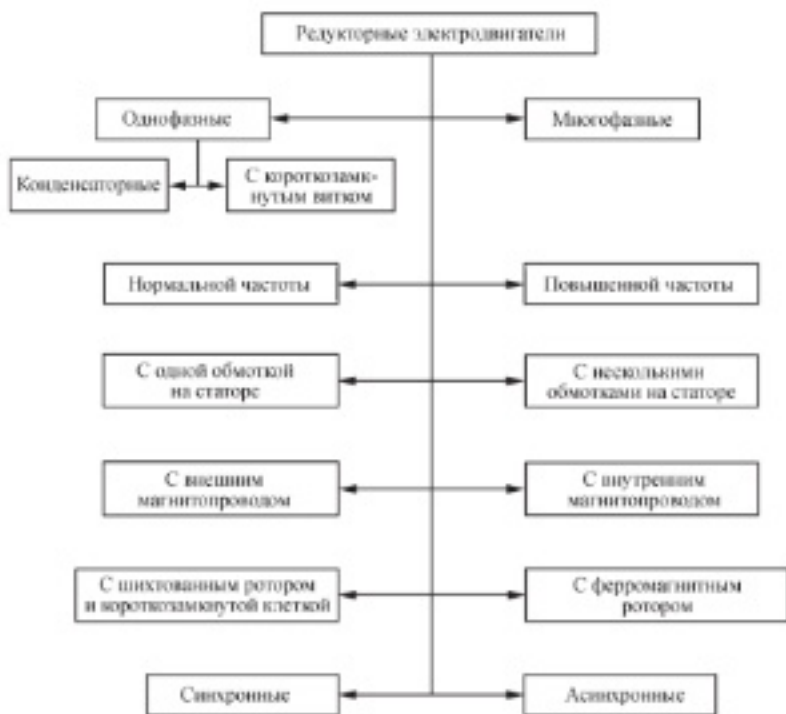


Рис. 3.9. Классификация редукторных электродвигателей

Двигатели с катящимся ротором имеют малую частоту вращения и сочленяются с производственными механизмами, требующими малых скоростей движения рабочих органов при значительных вращающих моментах без понижающего редуктора. Они применяются, например, в часовых механизмах, манипуляторах, станках для намотки проволочных потенциометров и др.

Появление двигателей с катящимся ротором связано с одним из направлений развития безредукторного электропривода. Мощность изготавливаемых двигателей составляет от долей ватта до нескольких киловатт.

Отличительным признаком этих двигателей является несовпадение осей статора и ротора (эксцентриситет ротора). В настоящее время существует много модификаций и типов исполнения этих двигателей. Их классификацию проводят по многим признакам: например, мощности, режиму работы, роду тока, конструктивному исполнению, способу возбуждения, характеру движения ротора и др.

Принцип действия двигателя основан на том, что его статор создает в воздушном зазоре несимметричное вращающееся магнитное поле, которое имеет резко выраженный максимум магнитной индукции. При непрерывном вращении такого поля ротор будет непрерывно перекачиваться по поверхности статора вслед за максимумом индукции этого поля, и ось ротора будет вращаться вокруг оси статора с частотой вращения магнитного поля, а сам ротор будет вращаться вокруг собственной оси в противоположную сторону со значительно меньшей частотой, равной

$$n = n_1 \frac{D_c - D_p}{D_p}, \quad (3.20)$$

где n — частота вращения ротора, об/мин; n_1 — частота вращения магнитного поля, об/мин; D_c — диаметр окружности качения статора, м; D_p — диаметр ротора, м.

Коэффициент редукции частоты вращения, определяемый отношением $\frac{D_p}{D_c - D_p}$, достигает значения, равного 1500.

Для передачи несоосного вращения вала ротора применяют, например, карданную передачу.

Основным достоинством двигателей с катящимся ротором являются высокие динамические показатели работы, т. е. малое время пуска, реверса и торможения, большой пусковой момент при относительно небольшом пусковом токе, отсутствие в большинстве конструкций подвижных электрических контактов и высокоскоростных подшипников. Энергетические показатели работы улучшаются по мере увеличения мощности этих двигателей.

К недостаткам двигателей, сдерживающим его широкое применение, в первую очередь, следует отнести сложность конструкции самого двигателя и необходимость применения специальных устройств для передачи несоосного движения ротора. Работа таких двигателей сопровождается шумом и вибрациями, а при наличии ударных нагрузок вращение двигателя нестабильно.

Волновые двигатели также, как и двигатели с катящимся ротором, применяют для снижения частоты вращения электропривода, когда требуется значительный вращающий момент. Эти двигатели сочетают в себе специфические свойства электрической машины и волновой передачи, являющейся разновидностью зубчатой передачи, и в которой крутящий момент передается волнами деформации гибкого элемента.

Отличительная особенность конструкции волнового двигателя — наличие гибкого цилиндрического ротора, который может деформироваться в радиальном направлении. Магнитное поле такого двигателя выполняет роль электромагнитного генератора механических волн деформации, необходимого для работы волновой передачи, т. е. на ферромагнитный ротор действует сила магнитного притяжения, ось которой совпадает с положением максимума магнитной индукции также, как в двигателе с катящимся ротором, но в отличие от него в результате действия этой силы зубчатый венец ротора деформируется и входит в зацепление с зубчатым венцом статора в двух диаметрально противоположных точках окружности статора.

Зубчатые венцы статора и ротора изготавливают с различным числом зубцов, поэтому при вращении поля статора и, следовательно, вращении волны деформации ротора, его зубчатый венец обкатывает зубчатый венец статора, а сам ротор совершает еще медленное вращение вокруг своей оси аналогично вращению ротора двигателя с катящимся ротором. Передаточное отно-

шение достигает значения, равного 100, а частота вращения ротора определяется формулой:

$$n = n_1 \frac{Z_c - Z_p}{Z_p}, \quad (3.21)$$

где Z_p — число зубцов ротора; Z_c — число зубцов статора.

Основными достоинствами такого двигателя являются, как уже указывалось, низкая частота вращения при значительном вращающем моменте, а также меньшая масса и габариты, чем у двигателей с механическим редуктором. Двигатель обладает хорошим быстродействием и останавливается при отключении напряжения практически без выбега. Уровень его вибрации значительно ниже, чем у двигателя с катящимся ротором, а волновая передача отличается высокой кинематической точностью обработки перемещений, надежностью и долговечностью в работе.

Широкое применение волновых двигателей ограничено сложностью конструкции и технологии изготовления гибкого ротора. Невысокие энергетические показатели делают нецелесообразным выпуск этих двигателей на средние и большие мощности.

Линейные двигатели применяют там, где требуется поступательное или возвратно-поступательное движение рабочих органов производственных механизмов, например, в механизмах передач различных станков, прессов, молотов, в тяговых электроприводах транспортных машин и др.

Линейные электродвигатели развивают большие усилия, что во многих случаях позволяет отказаться от редуктора. Их применение упрощает или полностью исключает механическую передачу, преобразующую вращательное движение двигателей в прямолинейное движение рабочего органа, и повышает надежность работы производственного механизма.

Принцип действия линейного двигателя основан на том, что один из элементов магнитной системы разомкнут и имеет развернутую обмотку, создающую бегущее магнитное поле, а другой выполнен в виде направляющей, обеспечивающей передвижение подвижной части двигателя.

Различают линейные двигатели постоянного и переменного тока (синхронные и асинхронные). Наибольшее распространение получили асинхронные линейные двигатели, применение

которых наиболее перспективно в электрическом транспорте в сочетании с магнитными подвесками и воздушными подушками, так как при их применении сила тяги не зависит от силы сцепления колес с рельсовым путем, что недостижимо для обычных систем электрической тяги.

Мощность выпускаемых в настоящее время линейных двигателей составляет от нескольких ватт, например, для привода самопишущих измерительных приборов, до тысяч киловатт для промышленного транспорта.

Самотормозящиеся двигатели применяют для повышения производительности механизмов, рабочие органы которых периодически пускаются и останавливаются, например, в грузоподъемных механизмах, некоторых станках и электрогидравлических толкателях.

Основной отличительной особенностью этих двигателей является единая электромагнитная система двигателя и тормоза, которая в ряде случаев обеспечивает повышение его технико-экономических показателей по сравнению с использованием динамического торможения и торможения противовключением, а также механических или встраиваемых в двигатель и управляемых с помощью электромагнитов тормозных устройств, включаемых в кинематическую цепь *двигатель — редуктор — рабочий орган*.

К числу наиболее распространенных самотормозящихся двигателей относятся двигатели с коническим смещающимся ротором. При его пуске магнитное поле статора, имеющего также коническую форму, при взаимодействии с ротором создает не только вращающий момент на валу, но и из-за конусности ротора — силу, втягивающую ротор внутрь статора до упора, что гарантирует необходимый воздушный зазор. При этом смещается вал двигателя, отводя вентилятор с расположенными на нем тормозными колодками от подшипникового щита и сжимая пружину. Пружина при снятии напряжения с обмоток статора сдвигает ротор в исходное положение, в котором тормозные колодки, прилегая к поверхности щита, создают тормозной момент.

Самотормозящиеся двигатели имеют низкие энергетические показатели. Область применения этих двигателей ограничивает также сложность технологии их изготовления и необходимость квалифицированного монтажа.

Пьезоэлектрические двигатели выпускают мощностью до нескольких ватт. Действие таких двигателей основано на преобразовании электрической энергии в механическое перемещение ротора или якоря, осуществляемое за счет обратного пьезоэлектрического или пьезомагнитного эффекта, который состоит в линейном изменении (деформации) пьезоэлемента при изменении приложенного к нему электрического поля.

Кроме отсутствия обмоток и простоты технологии изготовления этих двигателей, их достоинством является высокая удельная мощность, большой КПД, широкий диапазон частот вращения и моментов на валу, хорошие механические характеристики и отсутствие излучаемых магнитных полей.

3.6. Пуск электродвигателей

Для того чтобы двигатель при пуске начал вращаться, развиваемый им начальный момент должен быть больше, чем статический момент сопротивления приводного механизма, но для того чтобы уже начавший вращаться двигатель достиг заданной частоты вращения, развиваемый им момент должен быть выше момента сопротивления приводного механизма в течение всего периода пуска агрегата при изменении частоты вращения от нуля до номинальной.

Условия работы асинхронного трехфазного двигателя в режиме пуска значительно отличаются от условий его работы в нормальном режиме. В режиме пуска в обмотках ротора и статора проходят токи, значительно превышающие токи, протекающие в них в номинальном режиме. Длительный пусковой ток приводит к перегреву обмоток двигателя и может вызывать стирание обмоток и аварию двигателя.

Недостатком трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором является его сравнительно незначительный начальный (пусковой) момент и большой пусковой ток. У современных двигателей он достигает 4—10-кратного значения номинального тока.

В противоположность двигателям с фазным ротором, пусковой режим которых может благоприятно регулироваться сопротивлением, включенным в цепь ротора, у двигателей с коротко-

замкнутым ротором режим пуска определяется их естественными механическими характеристиками и обычно применяемые способы пуска не могут увеличить начальный момент двигателя по сравнению с его пусковым моментом на естественной характеристике.

Наиболее распространенный и удобный в эксплуатации способ пуска двигателей с короткозамкнутым ротором — *прямой пуск от полного (номинального) напряжения сети*, при котором создается наибольший вращающий момент. Поскольку он все же относительно невелик, этот способ пуска применяется для приводов со средними и легкими условиями пуска. При пуске мощных двигателей этот способ не всегда можно применить, так как может возникнуть необходимость в ограничении пускового тока двигателя, диктуемая условиями питающей сети. В зависимости от характера механизма может также возникнуть необходимость в ограничении пускового момента.

Включение двигателя при пониженном напряжении питающей сети позволяет уменьшить пусковой ток, потребляемый двигателем. При этом снижается и пусковой момент, причем это снижение происходит пропорционально квадрату подводимого к двигателю напряжения. Такой способ применяют для приводов с легкими условиями пуска.

Практически понижение напряжения достигается включением индуктивного сопротивления последовательно с обмоткой статора двигателя или включением двигателя через автотрансформатор. Применение автотрансформатора позволяет ограничивать пусковой ток в питающей сети при меньшем снижении напряжения, питающего двигатель, и, следовательно, при меньшем снижении пускового момента, чем в случае включения индуктивного сопротивления.

Если двигатель работает по схеме «треугольник», то к способам пуска с понижением напряжения можно отнести переключение обмоток статора на период пуска на звезду. При этом напряжение, подводимое к каждой фазе двигателя, будет в $\sqrt{3}$ раза меньше, чем в схеме треугольника. Пусковой ток в сети и пусковой момент двигателя понижаются в 3 раза.

Двигатели с фазным ротором дороже короткозамкнутых и менее рациональны по эксплуатационным показателям. Поэтому на практике стремятся применять двигатели с короткозамкнутым ротором. Двигатели же с фазным ротором применяют толь-

ко для приводов с наиболее тяжелыми условиями пуска, при больших мощностях и высоких требованиях к приводу.

Введение сопротивления в цепь ротора позволяет, с одной стороны, ограничить пусковой ток двигателя, а с другой — повысить пусковой момент.

Последовательно изменяя сопротивление в цепи ротора по мере увеличения частоты вращения двигателя, можно добиться, чтобы процесс пуска проходил при вращающем моменте, близком к максимальному. Это позволяет уменьшить время пуска двигателя.

Однофазные асинхронные двигатели имеют на статоре рабочую обмотку, подключаемую к однофазной сети переменного тока, и вспомогательную, которая чаще всего соединяется с однофазной сетью только в период пуска двигателя. Роторная обмотка, как правило, выполняется короткозамкнутой в виде беличьей клетки. Последовательно с пусковой обмоткой обычно включается фазосмещающий элемент (активное, индуктивное или емкостное сопротивление). Иногда последовательно с одной из обмоток включается активное, а с другой — индуктивное сопротивление. После пуска пусковая обмотка отключается.

Двигатели с фазосмещением обмоток представляют собой уже не однофазные, а двухфазные, в которых каждая обмотка занимает половину всех пазов статора (в однофазном — пусковая обмотка занимает $1/3$ пазов статора, а рабочая обмотка — $2/3$), а оси катушек сдвинуты на половину полюсного деления, т. е. на 90° . Такой двигатель включается либо в двухфазную сеть, где напряжения фаз сдвинуты на $1/4$ периода, либо в однофазную сеть, и тогда для его работы необходим конденсатор, в связи с чем двигатель называют конденсаторным.

Однофазные и двухфазные асинхронные двигатели получили распространение там, где питание от трехфазной сети затруднено или отсутствует.

Трехфазные двигатели могут также работать от однофазной сети с включением конденсаторов или других фазосмещающих элементов. На рис. 3.10 показаны варианты включения трехфазного асинхронного двигателя при питании от однофазной сети.

При работе трехфазного асинхронного двигателя от однофазной сети без рабочего конденсатора, т. е. как однофазного, его номинальная мощность используется на 40—50 %, а при работе с рабочим конденсатором — на 75—80 %.

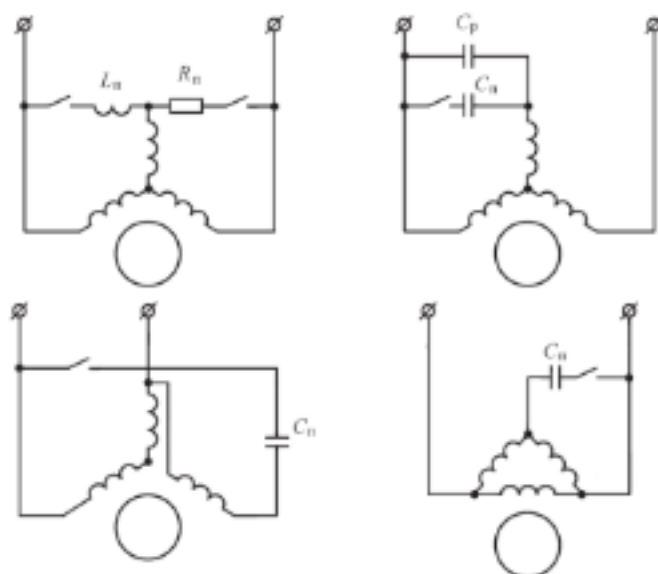


Рис. 3.10. Схемы включения трехфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть: L_n , R_n , C_n — соответственно, пусковые емкость, резистор и конденсатор; C_p — рабочий конденсатор

Оптимальная рабочая емкость зависит от конструктивных особенностей двигателя и его электрических параметров и приближенно может быть определена по формуле:

$$C_D = \frac{k I_{ном}}{U_{ном}}, \quad (3.22)$$

где C_D — рабочая емкость, мкФ; $I_{ном}$ — номинальный (фазный) ток статора трехфазного двигателя, А; $U_{ном}$ — напряжение однофазной сети, В; k — коэффициент, равный при соединении звездой 2800, при соединении треугольником — 4800, В · мкФ/А.

Окончательно рабочая емкость уточняется экспериментально, при этом токи в обмотках фаз двигателя при его работе с нагрузкой не должны превышать номинального значения.

Как правило, для пуска двигателя требуется дополнительная (пусковая) емкость, включаемая параллельно рабочей только во время пуска. Она обычно берется в 1–2 раза больше рабочей.

Конденсаторы можно устанавливать возле двигателя или в специальном блоке питания.

Двигатели постоянного тока имеют малое сопротивление обмоток в цепи якоря, и поэтому начальный пусковой ток достигает больших значений по сравнению с номинальным током двигателя ($I_{пуск}/I_{ном} = 3-15$). Меньшая кратность относится к двигателям малой мощности (до 0,6—1,0 кВт), большая — к двигателям средней и большой мощности.

К пуску двигателей предъявляются два основных требования: обеспечить необходимый для трогания с места и разгона якоря вращающий момент и не допустить при пуске протекания через якорь тока, опасного для двигателя или для сети. Обычно применяют три способа пуска: прямой пуск, пуск при включении реостата в цепь якоря и пуск при пониженном напряжении в цепи якоря.

При прямом пуске цепь якоря включается сразу на полное напряжение. В двигателях малой мощности бросок начального пускового тока не вызывает опасных последствий, так как кратность тока сравнительно невелика и продолжительность периода небольшая (менее 1 с) вследствие малого значения моментов инерции вращающихся масс якоря и связанного с ним рабочего механизма.

У двигателей большой мощности кратность пускового тока и время разгона якоря гораздо больше. Большой пусковой ток вызывает интенсивное искрение на коллекторе и может привести к резкому падению напряжения в питающей сети (если мощность сети недостаточна), что неблагоприятно отразится на других потребителях, включенных в эту сеть.

Пуск при включении пускового реостата последовательно с якорем двигателя следует производить, выводя сопротивление реостата по мере разгона якоря, достаточно медленно, чтобы не вызвать чрезмерного увеличения пускового тока, но длительная задержка рычага реостата на промежуточных контактах (при дискретном уменьшении вводимого сопротивления) может вызвать перегорание какого-либо из резисторов, рассчитанных на кратковременное протекание тока. Сопротивление пускового реостата подбирают так, чтобы кратность начального пускового тока не превышала значения 1,5—4,0 (большее число относится к двигателям меньшей мощности).

Поскольку вращающий момент двигателя прямо пропорционален магнитному потоку, для облегчения пуска реостат в цепи возбуждения двигателей независимого и параллельного возбуждения следует полностью вывести. При этом поток возбуждения приобретает наибольшее значение, и двигатель развивает необходимый пусковой момент. По мере разгона якоря этот реостат вводится до достижения требуемой частоты вращения.

Пуск при пониженном напряжении в цепи якоря возможен при питании якоря двигателя от отдельного источника (генератора, выпрямителя) с регулируемым напряжением. Ограничение пускового тока и плавный разгон двигателя обеспечиваются постепенным повышением напряжения на якоре от нуля до требуемого значения. Этот метод находит применение в системах управления и регулирования мощных двигателей постоянного тока.

3.7. Выбор типа электродвигателей

При производстве наладочных работ наладчикам часто приходится давать заключение на установку двигателя взамен вышедшего из строя, выбирая его из имеющихся в наличии или искать замену двигателю, работающему с определенным механизмом при некомплектной его поставке, модернизации оборудования, изменении технологического процесса и др. Правильный выбор электродвигателей, как и другого оборудования, невозможен без соответствующей информации о них.

Соответствие конструктивных и технических данных двигателя условиям работы механизма обеспечивает минимальную стоимость эксплуатации электропривода, что достигается наименьшими потерями энергии и надежностью работы двигателя в определенных условиях с данным механизмом.

Выбор электродвигателей по роду тока, напряжению, частоте вращения, мощности и другим параметрам осуществляют на стадии проектирования электропривода, и «подогнать» эти параметры под новый двигатель бывает затруднительно. Поэтому наладчики для выдачи заключения о пригодности работы двигателя с определенным механизмом должны, опираясь на основные проектные данные, учитывать оптимальные нагрузки, пусковые свойства и перегрузочные способности двигателей, а также влияние окружающей среды на их работу.

Исходя из специфических особенностей отдельных видов электрических машин допускаются степени защиты IP57 и IP58. В этом исполнении машина защищена от попадания внутрь корпуса пыли и может работать даже при погружении в воду.

Многолетняя практика эксплуатации двигателей показала, что наиболее распространенным является применение двух степеней защиты: IP23 (или IP22 для некоторых двигателей постоянного тока) и IP44. Первая из них характеризует двигатели в защищенном исполнении, вторая — в закрытом.

Защищенные электродвигатели предохраняют специальными приспособлениями от случайного прикосновения к вращающимся и токопроводящим частям, а также от попадания внутрь посторонних предметов и капель воды. От пыли, влажного воздуха и газов эти двигатели не защищены.

Закрытые электродвигатели полностью закрыты боковыми щитами, предохраняющими их от попадания пыли.

Открытые электродвигатели не имеют специальных приспособлений для предохранения от случайного прикосновения к вращающимся и токоведущим частям, а также для предотвращения попадания внутрь посторонних предметов. Двигатели этого исполнения можно устанавливать только в помещениях, обслуживаемых квалифицированным персоналом.

ПУЭ установлено следующее исполнение электродвигателей, работающих в помещениях с различной средой:

- в помещениях с нормальной средой, как правило, IP00 или IP20;
- на открытом воздухе — не менее IP44 или специальное, соответствующее условиям их работы;
- в помещениях, где возможно оседание на обмотках пыли и других веществ, нарушающих естественное охлаждение, — не менее IP44 или продуваемое с подводом чистого воздуха. Корпус продуваемого электродвигателя, воздуховоды и все сопряжения и стыки должны быть тщательно уплотнены для предотвращения подсоса воздуха в систему вентиляции;
- в местах сырых или особо сырых — не менее IP43. Изоляция должна быть рассчитана на действие влаги и пыли (со специальной обмазкой, влагостойкостью и т. п.);
- в местах с химически активными парами и газами — не менее IP44 или продуваемое с подводом чистого воздуха при

соблюдении требований для электродвигателей, устанавливаемых в помещениях, где возможно оседание пыли на их обмотках или других веществ, нарушающих естественное охлаждение. Допускается также применение электродвигателей исполнением не менее IP43, но с химически стойкой изоляцией и с закрытием открытых неизолированных токоведущих частей колпаками или другим способом;

- в помещениях с температурой воздуха более 40 °С должны выполняться мероприятия, исключающие возможность их недопустимого нагрева (например, принудительная вентиляция с подводом охлаждаемого воздуха, наружный обдув и т. п.).

По способу охлаждения электродвигатели определенным образом связаны с применяемыми степенями защиты.

Обозначение способов охлаждения электрических машин (в том числе электродвигателей) определяет ГОСТ 20459—87. Условное обозначение состоит из латинских букв IC (начальные буквы английских слов International Cooling) и следующей за ними характеристики цепи охлаждения. Эта характеристика, в свою очередь, состоит из одной прописной буквы, обозначающей вид хладагента и следующих за ней двух цифр.

Если в качестве хладагента применяют газ, то используют следующие обозначения:

- A — воздух;
- H — водород;
- N — азот;
- G — двуокись углерода;
- Fg — фреон.

Если жидкость:

- W — вода;
- U — масло;
- Kg — керосин.

Если для охлаждения машины используют хладагент, отличающийся от указанных выше, то приводят его наименование.

Если во всех цепях охлаждения машины хладагентом является только воздух, допускается пропуск буквы, обозначающей его вид.

В машинах с испарительной системой охлаждения для обозначения его способа включают букву E, за которой следует наименование испаряющейся жидкости, например, ICE(W)37.

Если машина имеет несколько цепей охлаждения, то в обозначении указывают характеристики всех цепей, начиная с характеристики цепи с хладагентом, имеющем более низкую температуру. Поэтому, например, для закрытых двигателей с воздушным охлаждением в обозначении могут стоять четыре цифры, две из которых предназначены для характеристики внешней цепи охлаждения и две — для внутренней.

В табл. 3.2 приведены условные обозначения устройств цепи для циркуляции хладагента (первая цифра), способы его движения (вторая цифра) и их характеристики.

Таблица 3.2. Характеристики устройств цепи для циркуляции хладагента и способы его движения

Условное обозначение	Характеристика устройства цепи для циркуляции хладагента (первая цифра обозначения)	Характеристика способа движения хладагента (вторая цифра обозначения)
0	Свободная циркуляция	Свободная конвекция (вентилирующее действие ротора незначительно)
1	Охлаждение при помощи входной трубы или входного канала из другого источника (не из окружающей среды) со свободным выходом в окружающую среду	Движение хладагента осуществляется вентилярующим действием ротора или при помощи специального устройства, расположенного на валу ротора машины (самовентилиция)
2	Охлаждение при помощи выходной трубы или выходного канала. Хладагент свободно подводится из окружающей среды и удаляется на некотором расстоянии от среды, окружающей двигатель	Движение хладагента осуществляется при помощи зависимого, т. е. функционирующего в зависимости от работы охлаждаемой машины, встроенного устройства, не смонтированного непосредственно на валу машины, например, внутреннего вентилятора с зубчатой передачей или ременным приводом. Встроенное устройство может быть заменено только при частичной разборке машины
3	Охлаждение при помощи входной и выходной труб или каналов	Движение хладагента осуществляется при помощи зависимого электрического или механического устройства, установленного непосредственно на машине, например, вентилятора, приводимого в действие электродвигателем, получающим питание от зажимов охлаждаемой машины. Замена зависимого устройства не требует разборки машины

Продолжение табл. 3.2

Условное обозначение	Характеристика устройства цепи для циркуляции хладагента (первая цифра обозначения)	Характеристика способа движения хладагента (вторая цифра обозначения)
4	Охлаждение при помощи внешней поверхности машины. Первичный хладагент, циркулирующий по замкнутой системе, отдает свою теплоту через поверхность корпуса охлаждающей среде, которая является вторичным хладагентом	—
5	Охлаждение при помощи встроенного охладителя, являющегося неотъемлемой частью машины, и непосредственно на ней монтируемое, в которой первичный хладагент, циркулирующий по замкнутой системе, отдает свою теплоту окружающей среде, являющейся вторичным хладагентом. Машины с двойными стенками относятся к этому условному обозначению	Движение хладагента осуществляется при помощи независимого, т. е. функционирующего независимо от работы охлаждаемой машины, встроенного устройства, которое получает энергию независимо от основной машины, например, внутреннего вентилятора с электродвигателем, питаемым независимо от охлаждаемой машины
6	Охлаждение при помощи охладителя (самостоятельного устройства), установленного непосредственно на машине, в котором первичный хладагент, циркулирующий по замкнутой системе, отдает свою теплоту окружающей среде, являющейся вторичным хладагентом	Движение хладагента осуществляется при помощи промежуточного устройства, установленного на машине и питаемого независимо от нее
7	Охлаждение при помощи встроенного охладителя, являющегося неотъемлемой частью машины, в котором первичный хладагент, циркулирующий по замкнутой системе, отдает свою теплоту вторичному хладагенту, который не является средой, окружающей машину	Движение хладагента осуществляется при помощи отдельного устройства, не установленного на машине и независимо от нее, или под давлением в системе циркуляции хладагента, например, путем подачи воды из водопроводной сети или газа от газовой магистрали
8	Охлаждение при помощи охладителя (самостоятельного устройства), установленного непосредственно на машине, в котором первичный хладагент, циркулирующий по замкнутой системе, отдает свою теплоту вторичному хладагенту, который не является средой, окружающей машину	Движение хладагента осуществляется посредством относительного движения машины через хладагент, например, тяговый двигатель, охлаждаемый окружающим воздухом, или двигатель, приводящий в движение вентилятор и охлаждаемый основным воздушным потоком

Окончание табл. 3.2

Условное обозначение	Характеристика устройства цепи для циркуляции хладагента (первая цифра обозначения)	Характеристика способа движения хладагента (вторая цифра обозначения)
9	Охлаждение при помощи охладителя, являющегося самостоятельным устройством, установленным отдельно от машины, в котором первичный хладагент, циркулирующий по замкнутой системе, отдает свою теплоту вторичному хладагенту	Движение хладагента осуществляется при помощи любого другого устройства. Цифра 9 может стоять: за первой цифрой условного обозначения, если устройство цепей охлаждения оговорено и одна, если не оговорено, в этом случае вместо первой цифры ставится черточка

В зависимости от направления воздуха внутри машины различают две основные системы вентиляции: аксиальную (осевую) и радиальную, которые определяют расположение вентилятора и систему забора окружающего воздуха.

В настоящее время наиболее широко используют двигатели со степенями защиты IP23 (асинхронные двигатели) или IP22 (некоторые двигатели постоянного тока) и IP44. Двигатели со степенями защиты IP23 (IP22) имеют внутреннюю самовентиляцию с продувом воздуха (IC01), причем асинхронные двигатели имеют радиальную систему вентиляции, а двигатели постоянного тока — аксиальную. Вентилятор располагается на валу двигателя, и воздух, проходя внутри корпуса, охлаждает обмотки.

Двигатели исполнения IP44 с самовентиляцией имеют наружный обдув корпуса вентилятором, насаженным на конец вала и закрытым кожухом (IC0141). Закрытые двигатели этого исполнения по степеням защиты выпускают также с обдувом воздухом наружным вентилятором, который приводится в движение двигателем, питаемым независимо от охлаждаемого двигателя (IC0541).

Для небольшого числа наиболее применяемых типов вращающихся машин, охлаждаемых воздухом, может применяться упрощенная система обозначения, а именно, если вторая цифра «1», то ее можно опустить и проставлять только первую цифру. Например, IC21 или IC2.

По конструктивному исполнению и способу монтажа, т. е. расположению составных частей двигателя относительно элементов крепления (подшипников и конца вала) и пространственному

расположению двигателя на месте установки, электродвигатели обозначают согласно ГОСТ 2479—79, который распространяется на вращающиеся электрические машины.

Условное обозначение конструктивного исполнения и способа монтажа состоит из латинских букв IM (начальные буквы слов International Mounting) и четырех цифр, первая из которых определяет конструктивное исполнение, вторая и третья — способ монтажа, а четвертая цифра указывает форму исполнения конца вала.

Первая цифра определяет следующие группы конструктивного исполнения:

1 — машины на лапах с подшипниковыми щитами; с пристроенным редуктором;

2 — машины на лапах с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном подшипниковом щите (или щитах);

3 — машины без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном подшипниковом щите (или щитах); с цокольным фланцем;

4 — машины без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на станине;

5 — машины без подшипниковых щитов;

6 — машины на лапах с подшипниковыми щитами и со стоячковыми подшипниками;

7 — машины на лапах со стоячковыми подшипниками (без подшипниковых щитов);

8 — машины с вертикальным валом, кроме машин групп от IM1 до IM4;

9 — машины специального исполнения по способу монтажа.

Машины малой и средней мощности относятся к группам от IM1 до IM5 и имеют разнообразные способы монтажа, которые определены упомянутым выше стандартом, причем группу IM5 составляют встраиваемые (пристраиваемые) двигатели малой мощности без подшипниковых щитов, например, для механизированного инструмента.

К группам IM6, IM7 относятся крупные двигатели, в основном, со стоячковыми подшипниками. Группа IM6 состоит из восьми видов двигателей, отличающихся между собой количеством и расположением стоячковых подшипников (*вторая цифра обозначения*). Каждый из них может быть выполнен в одном из

двух исполнений — без фундаментальной плиты (*третья цифра* — 0) или с плитой (*третья цифра* — 1).

Группа IM7 включает семь видов двигателей, каждый из которых может быть выполнен в одном из четырех исполнений — без фундаментных и опорных плит (*третья цифра* — 0), с фундаментной плитой (*третья цифра* — 1), с опорной плитой (*третья цифра* — 2), с фундаментной и опорной плитами (*третья цифра* — 3).

К группе IM8 относятся крупные вертикальные асинхронные и синхронные двигатели, применяемые, например, в атомных электростанциях.

Концы валов двигателей могут иметь цилиндрическую, коническую или фланцевую формы. *Четвертая цифра* устанавливает следующие условные обозначения исполнения концов валов:

0 — без конца вала;

1 — с одним цилиндрическим концом вала;

2 — с двумя цилиндрическими концами вала;

3 — с одним коническим концом вала;

4 — с двумя коническими концами вала;

5 — с одним фланцевым концом вала;

6 — с двумя фланцевыми концами вала;

7 — с фланцевым концом вала на приводной стороне двигателя и цилиндрическим концом на противоположной стороне;

9 — прочие исполнения концов вала.

По воздействию климатических факторов внешней среды двигатели обозначают согласно ГОСТ 15150—69 (см. табл. 1.4 и 1.5).

Двигатели общего исполнения, к которым не предъявляются какие-либо дополнительные требования, имеют исполнения У3 или У4, т. е. они могут работать в районах с умеренным климатом в закрытых помещениях категории 3 или 4.

По воздействию механических факторов внешней среды двигатели, как и другие электротехнические изделия, обозначают согласно ГОСТ 17516—72.

Этот стандарт устанавливает группы условий эксплуатации изделий M1—M31 и группу UM1 (унифицированную по механическим воздействиям), характеризующиеся диапазоном частот вибрационных нагрузок, ускорениями, степенями жесткости и длительностью ударов.

Двигатели общего назначения, к которым не предъявляются особые требования в части воздействия на них внешних механических факторов, относят к группам условий эксплуатации УМ1 или М1. Группа М1 предусматривает размещение двигателей при эксплуатации непосредственно на стенах предприятий, фундаментах и т. п. при внешних источниках, создающих вибрации с частотой не выше 35 Гц и отсутствии ударных нагрузок.

3.8. Наладка электрических машин электроприводов

В Федеральных единых расценках на пусконаладочные работы (ФЕРп—2001 — 01) «Электротехнические устройства» указано, что, кроме ознакомления с технической документацией, внешнего осмотра, а также проверки и настройки отдельных элементов и функциональных групп (для двигателей — проверка схем соединения обмоток), что учтено в ценах на наладку всех электротехнических устройств, при наладке электрических машин электроприводов следует пользоваться ПУЭ и СНиП.

Третья часть СНиП «Организация, производство и приемка работ» регламентирует организацию наладочных работ, включая обеспечение общих условий безопасности труда и производственной санитарии. В ПУЭ указано, какие именно испытания должны пройти электротехнические устройства перед сдачей в эксплуатацию.

Ниже приведены программы работ по наладке двигателей переменного тока и машин постоянного тока, составленные на основании ФЕРп и ПУЭ, а также некоторые данные, полученные из опыта наладки и эксплуатации оборудования.

Согласно ПУЭ, помимо испытаний, указанных ниже, все оборудование в необходимых случаях, например, когда двигатели поступают на монтаж в разобранном виде, должно пройти также проверку работы механической части в соответствии с заводскими инструкциями. Эти работы выполняются, как правило, монтажными организациями и здесь не рассматриваются.

Заключение о пригодности оборудования к эксплуатации дается на основании рассмотрения результатов всех испытаний, относящихся к данной единице оборудования.

3.8.1. Асинхронные электродвигатели

Асинхронные электродвигатели напряжением до 1 кВ вновь вводимые в эксплуатацию у потребителей налаживают по следующей программе:

- внешний осмотр и проверка схемы соединения обмоток;
- измерение сопротивления изоляции обмоток двигателя;
- измерение сопротивления постоянному току реостатов и пускорегулировочных резисторов (при мощности двигателей 300 кВт и более измеряют также сопротивление обмоток статора и ротора);
- проверка работы двигателя на холостом ходу или с ненагруженным механизмом;
- проверка работы двигателя под нагрузкой.

Внешний осмотр и проверка схемы соединения обмоток проводятся после того, как подготовлены сами двигатели, т. е. после очистки и продувки от пыли и грязи, и помещения, где они должны быть установлены. Помещения, фундаменты и фундаментные ямы, где они предусмотрены проектом, должны быть очищены от строительного мусора, пыли и грязи. Инструмент, приспособления и другие предметы, использовавшиеся при монтаже, должны быть убраны.

При внешнем осмотре проверяют:

- соответствие паспортных данных двигателя проекту и механизму;
- наличие всех деталей;
- отсутствие механических повреждений корпуса, выводной коробки, устройств охлаждения;
- отсутствие повреждения подводящих проводов и выводов обмоток (обрывов, изломов, нарушений изоляции и т. д.);
- отсутствие каких-либо заеданий, царапаний, ударов и прочих повреждений при вращении вала от руки;
- наличие заземляющей проводки от электродвигателя до места присоединения к общей сети заземления;
- у двигателей с фазным ротором проверяют состояние токоъемных колец, щеток, механизма замыкания накоротко колец, токопроводов к кольцам.

Затем проверяют правильность внутренних соединений обмоток (звезда или треугольник).

Обозначение выводов обмоток устанавливает ГОСТ 26772—85.

Выводы обмоток двигателей, разработанных после введения этого стандарта, обозначают латинскими буквами. Конечные выводы обмоток обозначают цифрами «1» и «2» после латинских букв (например, U1, U2), а промежуточные выводы — последующими цифрами.

Выводы обмоток ранее разработанных и модернизируемых двигателей обозначают: обмотки статора — буквой С, ротора — буквой Р. Начала и концы обмоток и соответствующие им фазы и нулевая точка, независимо от того, заземлена она или нет, обозначают цифрами.

Для выводов обмоток трехфазных асинхронных двигателей приняты обозначения, указанные в табл. 3.3. Обозначения выводов обмоток вновь разрабатываемых двухфазных двигателей образуются из обозначений выводов трехфазных двигателей, исключая буквы W и M.

Таблица 3.3. Обозначения выводов обмоток трехфазных асинхронных двигателей

Наименование или сокращенное обозначение обмотки	Число выводов	Наименование фазы и вывода	Обозначение вывода	
			начало	конец
<i>Вновь разрабатываемые двигатели</i>				
Открытая схема статора (ротора)	6	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	U1 (K1) V1 (L1) W1 (M1)	U2 (K2) V1 (L2) W1 (M2)
Соединение в звезду статора (ротора)	3	Первая фаза	U (K)	
	или 4	Вторая фаза Третья фаза Точка звезды	V (L) W (M) N (Q)	
Соединение в треугольник статора (ротора)	3	Первый вывод Второй вывод Третий вывод	U (K) V (L) W (M)	
Секционированная обмотка статора	12	Первая фаза Выводы от первой фазы Вторая фаза Выводы от второй фазы Третья фаза Выводы от третьей фазы	U1 U3 V1 V3 W1 W3	U2 U4 V2 V4 W2 W4

Продолжение табл. 3.3

Наименование или обозначение обмотки	Число выводов	Наименование фазы и вывода	Обозначение вывода	
			начало	конец
Расщепленные обмотки статора, предназначенные для последовательного или параллельного включения	—	Первая фаза	U1 U5	U2 U6
		Вторая фаза	V1 V5	V2 V6
		Третья фаза	W1 W5	W2 W6
Раздельные обмотки статора, не предназначенные для последовательного или параллельного включения	—	Первая фаза	1U1 2U1	1U2 2U2
		Вторая фаза	1V1 2V1	1V2 2V2
		Третья фаза	1W1 2W1	1W2 2W2
Обмотки статора многоскоростных двигателей. Закрытая схема	6	Выводы первой фазы	1U—2N	2U
		Выводы второй фазы	1V—2N	2V
		Выводы третьей фазы	1W—2N	2W
	9	Выводы первой фазы	1U—3N	2U; 3U
		Выводы второй фазы	1V—3N	2V; 3V
		Выводы третьей фазы	1W—3N	2W; 3W
12	Выводы первой фазы	1U—2N 3U—4N	2U 4U	
	Выводы второй фазы	1V—2N 3V—4N	2V 4V	
	Выводы третьей фазы	1W—2N 3W—4N	2W 4W	
<i>Ранее разработанные и модернизируемые двигатели</i>				
Открытая схема статора	6	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	C1 C2 C3	C4 C5 C6
Соединение в звезду статора (ротора)	3 или 4	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза Нулевая точка	C1 (P1) C2 (P2) C3 (P3) 0 (0)	

Окончание табл. 3.3

Наименование или соединения обмотки	Число выводов	Наименование фазы и вывода	Обозначение вывода	
			начало	конец
Соединение в треугольник статора (ротора)	3	Первый вывод Второй вывод Третий вывод	C1 (P1) C2 (P2) C3 (P3)	
Составные или секционированные обмотки статора	6 (первой обмотки)	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	1C1 1C2 1C3	1C4 1C5 1C6
	6 (второй обмотки)	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	2C1 2C2 2C3	2C4 2C5 2C6

Примечания. 1. В обозначениях раздельных обмоток двигателей, переключаемых на различное число полюсов, меньшая цифра, стоящая перед буквенным обозначением обмотки, соответствует меньшей частоте вращения.

2. Двойное обозначение (например, 1U—2N) применяют для выводов, которые при одной частоте вращения присоединяются к сети, а при другой — замыкаются накоротко между собой. Если вторая половина обозначения не указана в связи с недостатком места на доске выводов, то к двигателю обязательно должна быть приложена схема соединений.

3. В чертежах электрических схем с шестью выводными концами при соединении фаз в треугольник допускается применение двойных обозначений U1W2, V1U2, W1V2 (для ранее разработанных двигателей — C1C5, C2C4, C3C5); при соединении в звезду допускается обозначать U1, V1, W1 начала фаз, а точку звезды тройным обозначением U2, V2, W2 (для ранее разработанных двигателей — C4, C5, C6).

Для выводов обмоток ранее разработанных и модернизируемых многоскоростных трехфазных асинхронных двигателей приняты обозначения, указанные в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Обозначение выводов обмоток ранее разработанных и модернизируемых многоскоростных трехфазных асинхронных двигателей, позволяющих изменять число полюсов

Наименование фазы	Обозначение выводов при числе полюсов			
	4	6	8	12
Первая фаза	4C1	6C1	8C1	12C1
Вторая фаза	4C2	6C2	8C2	12C2
Третья фаза	4C3	6C3	8C3	12C3

Примечание. Дополнительные цифры вперед букв указывают число полюсов данной секции.

Обозначения выводов обмоток однофазных двигателей, как вновь разрабатываемых, так и ранее разработанных и модернизируемых, даны в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Обозначение выводов однофазных двигателей

Наименование обмотки	Обозначение выводов			
	новый разрабатываемые двигатели		ранее разработанные и модернизируемые двигатели	
	начало	конец	начало	конец
Обмотки статора:				
главная обмотка	U1	U2	C1	C2
вспомогательная обмотка	Z1	Z2	B1	B2
Выводы реле частоты вращения	R1	R2	—	—
Дополнительные выводы (конденсатор, разъединитель и др.)	X1	X2	—	—

Для двигателей малой мощности с диаметром корпуса 40 мм и менее, где буквенные обозначения выводных концов принимать затруднительно, допускается обозначать выводы цветовым кодом (проводами с разноцветной изоляцией, краской и пр.) в соответствии с табл. 3.6.

Обычно выводы всех фаз статорной обмотки присоединяют к зажимам, как указано на рис. 3.11, *а*. Приведенная конструкция позволяет возможность получить соединение в звезду при горизонтальном расположении перемычки (рис. 3.11, *б*) и соеди-

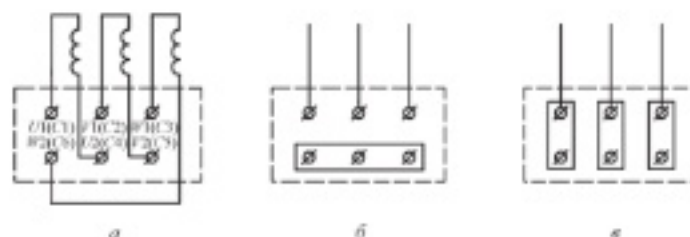


Рис. 3.11. Выводы обмоток статора трехфазного электродвигателя: *а* — схема присоединения обмоток к выводным зажимам; *б* — включение обмоток статора в звезду; *в* — включение обмоток статора в треугольник

Таблица 3.6. Обозначение выводов обмоток асинхронных двигателей цветовым кодом

Наименование или схема соединения обмотки	Число выводов	Наименование фазы и вывода	Цветовой код вывода	
			начало	конец
<i>Трехфазные двигатели</i>				
Открытая схема	6	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	Желтый Зеленый Красный	Желтый с черным Зеленый с черным Красный с черным
Соединение в звезду	3 или 4	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза Нулевая точка	Желтый Зеленый Красный Черный	— — — —
Соединение в треугольник	3	Первый вывод Второй вывод Третий вывод	Желтый Зеленый Красный	— — —
<i>Однофазные двигатели</i>				
Главная обмотка Вспомогательная обмотка	4	— —	Красный Синий	Красный с черным Синий с черным
Главная обмотка Вспомогательная обмотка Общая точка	3	— — —	Красный Синий Черный	— — —

нение в треугольник при вертикальном расположении трех перемычек (рис. 3.11, *в*). В некоторых двигателях обмотки статора соединены в звезду наглухо, и на доску зажимов выведено только три или четыре вывода.

При отсутствии обозначения концов обмоток взаимную их согласованность проверяют индуктивным методом (напряжением постоянного или переменного тока). У крупных двигателей согласованность обмоток рекомендуется проверять даже при наличии заводского обозначения.

Метод проверки напряжением постоянного тока. Полярность обмоток, т. е. правильность заводского обозначения проще всего проверить с помощью аккумулятора (или сухого элемента) и вольтметра. Батарейку на короткое время (импульсом) включают на одну из фаз, как показано на рис. 3.12, *а*; к другим фазам поочередно подсоединяют вольтметр.

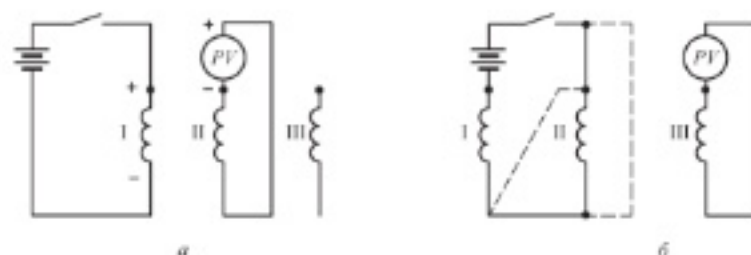


Рис. 3.12. Проверка согласованности обмоток статора с помощью источника постоянного тока: а — при раздельном включении обмоток; б — при парном включении обмоток; I, II, III — обмотки статора; PV — вольтметр

Путем присоединения выводов подбирают такое включение вольтметра, при котором в момент подачи напряжения от батареи стрелка прибора отклоняется вправо. В этом положении против «+» батареи и «-» вольтметра находятся начала фазных обмоток. Затем батарею переносят на другую фазу и повторяют опыт. В спорных или ответственных случаях дополнительно проверяют обозначения выводов также с помощью батареи и вольтметра, но при парном включении фаз. В этом случае две фазы соединяют последовательно между собой, а к третьей фазе подсоединяют вольтметр. Если первые две фазы соединены одноименными выводами (рис. 3.12, б, сплошные линии), то на включение батареи импульсами вольтметр не будет реагировать. При соединении фаз разноименными выводами (см. рис. 3.12, б, пунктирные линии) в моменты включения и отключения батареи стрелка вольтметра будет отклоняться.

Метод проверки напряжением переменного тока. Две произвольные фазы статора соединяют последовательно и включают на пониженное напряжение сети переменного тока (рис. 3.13). При отсутствии пониженного напряжения можно последовательно с обмотками включить реостат или лампу. На третью свободную фазу включают вольтметр переменного тока или лампу. Если первые две фазы соединены одноименными выводами (на рисунке указано сплошными линиями), то вольтметр или лампа покажут отсутствие напряжения на третьей фазе. При соединении двух фаз разноименными зажимами (см. рис. 3.13, пунктирные линии) вольтметр или лампа покажут наличие напряжения. Аналогично определению взаимного соответствия выводов первых двух фаз определяют выводы третьей фазы.

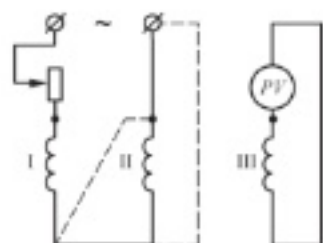


Рис. 3.13. Проверка согласованности обмоток статора с помощью источника переменного тока: I, II, III — обмотки статора; PV — вольтметр

Правильность соединения обмоток двигателя с фазным ротором можно проверить, подавая на выводы обмоток ротора напряжение 36 В от трехфазного понижающего трансформатора (например, ТС-2,5 на 380/36 В). Напряжения на выводах обмоток статора должны быть равны, иначе обмотки статора или ротора подключены неправильно.

Измерение сопротивления изоляции обмоток двигателя проводят с помощью мегаомметра. Согласно ПУЭ сопротивление изоляции обмоток статора электродвигателя до 1000 В измеряют мегаомметром на напряжение 1000 В. Оно должно быть не менее 0,5 МОм при температуре 10—30 °С.

Сопротивление изоляции обмоток ротора двигателя с фазным ротором измеряют мегаомметром на напряжение 500 В. Оно должно быть не менее 0,2 МОм при той же температуре. При проведении пусконаладочных работ сопротивление изоляции обмоток каждой фазы измеряют по отношению к заземленному корпусу и двум другим заземленным фазам.

Сопротивление изоляции можно измерить без отключения обмоток друг от друга совместно с подводящими проводами. Обмотки отключают от схемы только при необходимости определения мест с пониженным сопротивлением изоляции.

В качестве измерителей применяют переносные приборы с ручным приводом типа М4100, а также с питанием от сети или от встроенных батарей типа Ф4102. Следует иметь в виду, что гарантированная точность мегаомметра обеспечивается только в рабочей части шкалы, а цифры вблизи верхнего предела ее являются лишь ориентировочными.

При измерении сопротивления изоляции обмоток двигателя зажим «земля» подключают к корпусу двигателя, имеющему ме-

таллическую связь с заземляющим устройством, а зажим «линия» — поочередно к обмоткам каждой фазы. Зажим «экран» предназначен для исключения погрешности за счет тока утечки, существующей при измерении больших сопротивлений (сотни мегаом). В случае необходимости этот зажим присоединяют к корпусу двигателя. Измерения проводят с помощью гибкого провода с изоляцией, соответствующей номинальному напряжению мегаомметра.

Ручку мегаомметра с ручным приводом следует вращать с частотой примерно 120 об/мин. При испытании небольших двигателей, обмотки которых имеют незначительную емкость, стрелка прибора быстро устанавливается в положение, соответствующее сопротивлению изоляции, и отсчет производят уже через несколько секунд от начала вращения индуктора. В общем случае показания мегаомметра могут зависеть от длительности приложения напряжения к обмоткам. Упрощенно это явление можно объяснить следующим образом: при неувлажненной изоляции во время подачи напряжения емкость, которую имеет обмотка двигателя, постепенно заряжается, ток зарядки (ток утечки) снижается, и мегаомметр показывает увеличение сопротивления изоляции. В случае увлажненной изоляции и при наличии каких-либо токопроводящих дорожек (например, по слою пыли или по каналу пробоя) показания мегаомметра быстро устанавливаются и не возрастают. По окончании испытаний сохранившийся на обмотке остаточный заряд снимают путем ее заземления. Заземляющий проводник сначала надежно присоединяют к корпусу двигателя, а затем другим концом подводят к выводу обмотки.

При пользовании мегаомметром необходимо соблюдать установленные правила техники безопасности. Особую осторожность нужно проявлять при испытании изоляции обмоток без отсоединения подводящих проводов, ибо в этом случае возможно возникновение напряжения на удаленных участках, где работают люди.

Следует иметь в виду, что замеры, выполненные при температуре воздуха ниже 10°C , не показательны, так как сопротивление изоляции обмотки резко снижается по мере ее нагревания. Поэтому желательно производить измерения при нагретых двигателях.

Электронизоляционные материалы применяют для изоляции проводников обмотки один от другого, между фазами и относи-

тельно земли (корпуса). Основное свойство изоляционных материалов — электрическая прочность, которая определяется пробивным напряжением. Если изоляция состоит из отдельных слоев различных материалов, то напряжение, действующее на такую изоляцию, распределяется по слоям неравномерно и может оказаться, что один из слоев, на который приходится наибольшее напряжение (на единицу толщины), будет пробит. В связи с неплотностью прилегания слоев изоляции образуются также прослойки воздуха, пыли и влаги, которые под воздействием напряжения ионизируются, что приводит постепенно к разрушению соседних слоев изоляции. Места, где секции обмотки выходят из пазов двигателя, являются более слабыми, так как, кроме неравномерной электрической нагрузки, в этом месте наиболее часты механические повреждения изоляции. Важной характеристикой изоляционных материалов является также их нагревостойкость, т. е. способность электроизоляционных материалов и изделий выдерживать воздействие высокой температуры.

Таким образом, сопротивление изоляции обмоток двигателя зависит от качества и свойств изоляционных материалов; толщины и площади поверхности изоляции между частями двигателя, находящимися под напряжением, и корпусом; содержания влаги в изоляции и т. д. Все это приводит к тому, что сопротивление изоляции не постоянное и не всегда может служить достаточным критерием для установления состояния изоляции и степени ее надежности. Однако сопротивление изоляции характеризует ее электрическую прочность, которую необходимо знать перед основными испытаниями, т. е. перед пуском двигателя.

По опыту наладки нового, вводимого в эксплуатацию оборудования, сопротивление изоляции двигателя, измеренное при температуре 20 °С, как правило, значительно превышает 0,5 МОм и составляет от 5 до 100 МОм. Падение сопротивления изоляции обмоток ниже указанных значений обусловлено разными причинами: проникновением в толщу изоляции влаги, поверхностной влажностью или оседанием токопроводящей пыли на выводах и обмотках двигателей. В этих случаях рекомендуется продуть двигатель, почистить салфетками выводы обмоток и повторно измерить сопротивление изоляции. Если окажется, что очистка деталей не помогла, нужно произвести поверхностную сушку обмоток и их выводов с помощью воздуходувки, а затем произвести контрольное измерение сопротивления изоляции.

Двигатели небольшой мощности с сопротивлением изоляции 0,1 МОм и выше можно сушить переменным током, например, с помощью трехфазного трансформатора ТС-2,5 с вторичным напряжением 36 В. К трансформатору подключают двигатель, ротор которого надежно заторможен (если двигатель с фазным ротором, то обмотки его ротора замыкают накоротко). Во время сушки необходимо контролировать токоизмерительными клещами ток статора, который не должен превышать номинального значения для данного двигателя. Сушку обмоток производит, как правило, электромонтажная организация по поручению заказчика.

Из практики эксплуатации известно, что асинхронные двигатели вспомогательных приводов, включающиеся иногда при сопротивлении изоляции 100 кОм и ниже, в ходе работы постепенно подсушивались и затем служили много лет. Однако включение двигателей при пониженном сопротивлении изоляции допустимо только в тех случаях, когда имеются запасные двигатели и стоимость подвергаемых риску двигателей намного ниже технико-экономических потерь, обусловленных простоем оборудования.

На основании обобщения опыта наладки и эксплуатации асинхронные двигатели могут быть включены (кратковременно) при следующих минимальных показаниях мегаомметра:

Мощность двигателя, кВт.....	До 0,3	0,3—2,0	2—40	40—200
Минимальная температура, при которой должно оцениваться сопротивление изоляции, °С.....	20	20	20	20 40 60
Сопротивление обмоток, кОм....	100	10	50	400 100 10

При низких значениях сопротивления изоляции оно должно контролироваться после каждого кратковременного включения двигателя, а в случае дальнейшего снижения сопротивления изоляции (не связанного с нагревом) повторные включения необходимо прекратить и двигатель просушить.

Минимальное значение мощности 10 кОм указано для двигателей мощностью 0,3—2 кВт. Этот норматив, взятый из практики, является очень низким, и включать двигатель при таком сопротивлении изоляции допустимо только в тех случаях, когда

из-за них задерживается пуск ответственных агрегатов. Включать двигатель рекомендуется на 15—20 с, а затем на 2—5 мин с последующей проверкой изоляции. Подобные включения (если это допускает механизм) желательно повторить несколько раз. Показатели изоляции должны улучшиться вследствие вентиляции и частичного прогрева током.

Двигатели малых мощностей (меньше или равных 0,3 кВт) имеют обычно изоляцию, чувствительную к токам утечки; кроме того, такие двигатели легко высушиваются с помощью рефлекторов или вентиляторов. В связи с этим для этих двигателей нижний норматив составляет 100 кОм.

Для двигателей мощностью 40—200 кВт даны три контрольные температуры 20, 40 и 60 °С. Наиболее показательными являются измерения при повышенных температурах (60 °С и более). Поэтому двигатели ответственных и малодоступных механизмов (например, крановых приводов) желательно специально нагревать воздуходувками до 60 °С и испытывать при таких температурах. Вместе с тем опыт показывает, что двигатели напряжением 380 В, мощностью до 200 кВт можно испытывать и при меньших температурах (40 и 20 °С), если в заводских инструкциях даны соответствующие нормативы сопротивления изоляции.

Измерение сопротивления постоянному току реостатов и пускорегулировочных резисторов проводят для сравнения их с паспортными данными. Измеряют общее сопротивление и проверяют целостность отпаек. Результаты измерения могут отличаться от паспортных данных не более чем на 10 %.

Сопротивление обмоток статора и ротора, измеряемые для двигателей мощностью 300 кВт и более, могут отличаться друг от друга и от заводских данных не более чем на 2 %.

Измерение сопротивления реостатов, пускорегулировочных резисторов, обмоток двигателей небольшой мощности производят одинарными мостами или низкопределными омметрами. Измерение сопротивления обмоток таких двигателей проводят, например, для определения межвиткового замыкания или короткого замыкания между фазами.

Широкое применение в практике наладочных работ нашли мосты типа ММВ (пределы измерений 0,5—5000 Ом с погрешностью 1—2 %) и омметры типа М372 (предел измерений до 50 Ом с погрешностью 1,5 %). Питание этих приборов осуществляется от сухих элементов. При работе с ними учитывают сопро-

тивление проводов, которыми они присоединены к измеряемому сопротивлению.

Если измеряемое сопротивление соизмеримо с сопротивлением соединительных проводов (например, обмотки мощных двигателей), то это служит причиной значительной погрешности. Этот недостаток устранен в двойных мостах, где сопротивление соединительных проводов не влияет на результат измерений. В некоторых одинарных мостах, при включении по четырехзажимной схеме, влияние соединительных проводов также почти исключено. Питание приборов осуществляется в основном от сухих элементов, но некоторые из них могут питаться и от сети. Конструктивное исполнение некоторых мостов позволяет производить измерения как по одинарной, так и по двойной схемам. Эти приборы, например, Р316, Р329, Р333, МО-62 и другие, позволяют измерять сопротивления до 10^4 — 10^6 Ом.

Косвенный метод определения сопротивления с помощью амперметра и вольтметра, основанный на измерении тока, протекающего через сопротивление и падения напряжения на нем, также широко распространен в практике наладочных работ. Этот метод используют при измерении малых сопротивлений несмотря на то, что при этом точность измерения значительно уступает точности измерения двойным мостом.

Для измерения малых сопротивлений по этому методу, когда включение вольтметра параллельно сопротивлению изменяет ток незначительно, применяют схему, показанную на рис. 3.14.

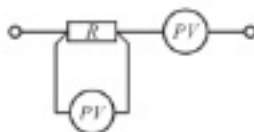


Рис. 3.14. Схема измерения малых сопротивлений методом амперметра-вольтметра: *PV* — вольтметр

Измеряемое сопротивление точно можно рассчитать по следующей формуле:

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_0}}, \quad (3.23)$$

где R_0 — сопротивление вольтметра.

Приборы, используемые при измерении этим методом с учетом того, что точность определения сопротивлений зависит от их точности, должны выбираться класса не менее 0,2. Во избежание нагрева обмотки ток не должен превышать 20 % номинального. Длительность измерения следует ограничивать временем, необходимым для снятия показаний приборов, которые нужно снимать одновременно. Приборы при измерении следует располагать рядом.

Если обмотки имеют значительную индуктивность, то ток, необходимый для измерения, устанавливается не сразу, а по истечении некоторого времени, и снятие показаний нужно производить только после полного успокоения стрелок.

Измерение сопротивления между линейными проводами проводят, если каждая обмотка статора двигателя не имеет отдельных выводов и соединение их в звезду или треугольник осуществлено внутри двигателя.

Для определения сопротивлений отдельных обмоток пользуются следующими формулами:

- при соединении в звезду:

$$R_A = 0,5(R_{AB} + R_{AC} - R_{BC}); \quad (3.24)$$

$$R_B = 0,5(R_{AB} + R_{BC} - R_{AC}); \quad (3.25)$$

$$R_C = 0,5(R_{AC} + R_{BC} - R_{AB}); \quad (3.26)$$

- при соединении в треугольник:

$$R_A = R_{AB} + \frac{(R_{AB} - R_{BC} + R_{AC})(R_{AB} + R_{BC} - R_{AC})}{2(R_{BC} + R_{AC} - R_{AB})}, \quad (3.27)$$

$$R_B = R_{BC} + \frac{(R_{AB} + R_{BC} - R_{AC})(R_{BC} + R_{AC} - R_{AB})}{2(R_{AB} - R_{BC} + R_{AC})}, \quad (3.28)$$

$$R_C = R_{AC} + \frac{(R_{AB} - R_{BC} + R_{AC})(R_{BC} + R_{AC} - R_{AB})}{2(R_{AB} + R_{BC} - R_{AC})}, \quad (3.29)$$

где R_{AB} , R_{AC} , R_{BC} — сопротивления, измеренные между выводами соответствующих фаз.

Измерение сопротивления обмотки ротора в двигателях с фазным ротором проводят аналогично измерению обмоток статора. Напряжение измеряют на контактных кольцах, чтобы исключить влияние переходного сопротивления контактов щеток.

Проверка работы двигателя на холостом ходу или с ненагруженным механизмом должна проводиться по окончании работ по проверке и испытанию аппаратов, схем управления и испытанию неподвижного электродвигателя. Продолжительность проверки не менее 1 ч.

Схема соединения обмоток не дает представления о том, в какую сторону будет вращаться двигатель при присоединении его к сети. Поэтому, если противоположное вращение двигателя может привести к поломке механизма, это выясняют до включения двигателя, подведя к нему напряжение от понижающего трансформатора. Далее в цепь одной из фаз трансформатора включают амперметр и вручную резко поворачивают ротор. Если показание амперметра уменьшилось, то после подключения к сети двигатель будет вращаться в ту же сторону при условии, что выводы статорных обмоток, подключенные к фазам трансформатора, будут подключены к тем же фазам сети.

Порядок чередования фаз в сети можно определить с помощью фазоуказателя И517, который является асинхронным микродвигателем, рассчитанным на напряжение 50—500 В и частоту 40—60 Гц. Можно использовать также и другие приборы, например, фазоуказатель ФУ-2, универсальный фазоуказатель Э500, вольтамперфазоиндикатор ВАФ-85. При их отсутствии можно собрать схему, изображенную на рис. 3.15. В этой схеме лампа, включенная в фазу, отстающую от фазы с емкостью, горит ярко.

При первом включении на 2—3 с проверяют направление вращения, состояние ходовой части, надежность действия от-

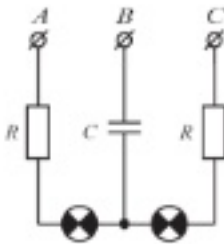


Рис. 3.15. Схема лампового фазоуказателя

ключающих устройств. Кратковременное включение повторяют 2—3 раза, увеличивая длительность включения. Во всех случаях получения сигнала о неисправностях схемы управления двигателя или механизма привода наладчик обязан без предупреждения отключить двигатель.

При удовлетворительном результате кратковременных пусков двигатель включают на 1 ч. Если во время работы двигателя его обмотки в связи с повреждением начнут перегреваться, появится характерный запах горелой изоляции, то двигатель можно отключить раньше, чем обмотки выйдут из строя.

На этом этапе работ можно выявить и устранить следующие неисправности двигателей:

- *перегрев активной стали статора* — повышение напряжения сети, которое необходимо снизить до номинального;
- *местный перегрев активной стали* — замыкание отдельных листов стали между собой. В этом случае необходимо удалить заусенцы стальных листов;
- *перегрев обмотки статора* — перегрузка двигателя, нарушение его вентиляции или понижение напряжения на зажимах двигателя;
- *местные перегревы обмотки статора* — межвитковое замыкание в обмотке статора;
- *неравномерный ток в фазах* — неправильное соединение одной или нескольких катушек;
- *понижение крутящего момента* — короткое замыкание между фазами;
- *двигатель не разгоняется и гудит* — обрыв в одной фазе статора;
- *двигатель не разгоняется при равномерном токе в трех фазах* — неправильное соединение обмоток статора; обрыв в обмотке ротора; одностороннее притяжение, которое испытывает ротор вследствие неравномерного воздушного зазора между статором и ротором;
- *двигатель вращается с пониженной частотой вращения на холостом ходу и сильно гудит* — одна фаза статора соединена неправильно;
- *искрят щетки и обгорают контактные кольца (в двигателях с фазным ротором)* — кольца и щетки загрязнены; щетки установлены несоответствующей марки или они плохо пришлифованы к контактным кольцам или заклиниваются

в щеткодержателе. Это может быть обусловлено также биением колец, которые в этом случае необходимо проточить.

Проверка работы двигателя под нагрузкой производится при нагрузке, обеспечиваемой технологическим оборудованием к моменту сдачи его в эксплуатацию. При этом для двигателя с регулируемой частотой вращения определяются пределы регулирования. Для проверки частоты вращения применяют счетчик оборотов или тахометр. Проверка производится в течение 8—72 ч согласно заводским данным и в соответствии со СНиП является индивидуальным испытанием данного двигателя, после чего он должен быть принят в эксплуатацию.

Обкатка служит для подшлифовки подвижных связей механизмов, выявления слабых мест схемы управления и проверки электрооборудования на нагревание. В отличие от предыдущих пусков режим испытания при обкатке диктуется механиками, производившими монтаж технологической части оборудования.

Двигатели, допускающие только повторно-кратковременный режим работы (например, крановые), соединенные обычно с механизмами, имеющими ограниченный ход, обкатывают по специально составленному графику или в условиях эксплуатации.

В табл. 3.7 приведены допускаемые отклонения от номинальных значений показателей, указанных в стандартах или каталогах на асинхронные двигатели, которые устанавливает ГОСТ 183—74.

Таблица 3.7. Допускаемые отклонения значений показателей асинхронных двигателей

Показатель	Допускаемые отклонения
КПД двигателя η , определенный методом отдельных потерь мощностью до 50 кВт включительно мощностью свыше 50 кВт	-0,15 (1 - η) -0,10 (1 - η)
Общие потери для двигателей свыше 50 кВт	+10 % полных потерь
Коэффициент мощности	$\frac{1 - \cos \varphi}{6}$, но не менее 0,02 и не более 0,07 по абсолютному значению
Скольжение	± 20 % номинального значения, знак «-» относится только к двигателям с повышенным скольжением

Окончание табл. 3.7

Показатель	Допускаемые отклонения
Начальный пусковой ток двигателя с короткозамкнутым ротором	+20 %
Начальный пусковой вращающий момент двигателя с короткозамкнутым ротором	-15 %
Максимальный вращающий момент	-10 %
Минимальный вращающий момент в процессе пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	-20 %, если не указано другое для отдельных видов двигателей
Момент инерции	+10 %

Примечание. Если допускаемые отклонения указаны с одним знаком, то отклонение в противоположную сторону не ограничено.

3.8.2. Машины постоянного тока

Машины постоянного тока мощностью до 200 кВт, напряжением до 440 В настраивают по следующей программе:

- осмотр машины и проверка схемы соединения обмоток;
- определение возможности включения машины без сушки;
- измерение сопротивления изоляции обмоток машины;
- измерение сопротивления постоянному току реостатов и пускорегулировочных резисторов;
- испытание машины на холостом ходу и под нагрузкой.

Осмотр машины и проверку схемы соединения обмоток производят в том же порядке, что и для асинхронных двигателей. Кроме того, в машинах постоянного тока проверяют:

- правильность расстановки главных и добавочных полюсов, обращая внимание на то, чтобы расстояние между краями их башмаков не различалось более чем на 1—2 мм;
- состояние поверхности коллектора, которая должна быть без царапин и вмятин и очищенной от медных стружек и угольной пыли;
- состояние пластин и изоляции между ними. Закругление пластин недопустимо, так как они должны прилегать к щетке по всей ширине (со стороны изоляции снимается

фаска), а изоляция между пластинами должна быть выбрана на глубину 1,5—2,5 мм по всей ширине между пластинами;

- правильность закрепления щеткодержателей и надежность закрепления их траверсы. Расстояние между нижними краями щеткодержателей и коллектором должно составлять 2—4 мм;
- правильность выбора щеток, определяемая типом машины;
- положение щеток на коллекторе, которое определяют по заводским отметкам, нанесенным на траверсе и торцевой крышке машины. Равномерность расстановки щеток по окружности коллектора можно проверить с помощью бумаги, оборачиваемой вокруг коллектора под щетками. Расстояние между рисками, нанесенными на бумаге против краев щеток, не должно отличаться более чем на 1—2 мм.

Обозначение выводов обмоток машин постоянного тока так же, как и для асинхронных двигателей устанавливает ГОСТ 26772—85.

Выводы обмоток машин постоянного тока, разработанных до и после введения этого стандарта, обозначают согласно табл. 3.8.

Таблица 3.8. Обозначение выводов обмоток машин постоянного тока

Наименование обмотки	Обозначение вывода	
	начало	конец
<i>Вновь разрабатываемые машины</i>		
Обмотка якоря	A1	A2
Обмотка добавочного полюса	B1	B2
Двухсекционная обмотка добавочного полюса (присоединенная к якорю с обеих сторон) с четырьмя выводами	1B1; 2B1	1B2; 2B2
Обмотка компенсационная	C1	C2
Обмотка компенсационная двухсекционная (присоединенная к якорю с обеих сторон) с четырьмя выводами	1C1; 2C1	1C2; 2C2
Обмотка последовательного возбуждения	D1	D2
Обмотка параллельного возбуждения	E1	E2

Окончание табл. 3.8

Наименование обмотки	Обозначение вывода	
	начало	конец
Обмотка независимого возбуждения	F1	F2
Обмотка независимого возбуждения с четырьмя выводами для последовательного и параллельного включения	F1; F5	F2; F6
Вспомогательная обмотка по продольной оси	H1	H2
Вспомогательная обмотка по поперечной оси	J1	J2
<p>Примечания. 1. Если обмотки добавочных полюсов и компенсационная обмотка взаимосвязаны, то для обозначения выводов применяют букву С.</p> <p>2. Последующие обозначения выводов обмоток возбуждения, работающих на одной и той же оси, выполняют так, чтобы при протекании токов от зажимов с меньшим номером к зажимам с большим номером магнитные поля совпадали по направлению.</p>		
<i>Ранее разработанные и модернизируемые машины</i>		
Обмотка якоря	Я1	Я2
Компенсационная обмотка	К1	К2
Обмотка добавочных полюсов	Д1	Д2
Последовательная обмотка возбуждения	С1	С2
Независимая обмотка возбуждения	Н1	Н2
Параллельная обмотка возбуждения	Ш1	Ш2
Пусковая обмотка	П1	П2
Уравнительный провод и уравнительная обмотка	У1	У2
Обмотка особого назначения	01, 03	02, 04
<p>Примечание. Обозначение выводов выполняют так, чтобы при правом вращении в режиме двигателя ток во всех обмотках (за исключением размагничивающих обмоток на главных полюсах) протекал от начала 1 к концу 2.</p>		

Выводы обмоток коллекторных двигателей постоянного и переменного тока малой мощности с диаметром корпуса менее 40 мм, как вновь разрабатываемых, так и ранее разработанных и модернизируемых, допускается обозначать цветовым кодом в соответствии с табл. 3.9.

Таблица 3.9. Обозначение выводов обмоток коллекторных двигателей малой мощности цветовым кодом

Наименование обмотки	Цветовой код вывода		
	начало	конец	дополнительный вывод
Обмотка якоря	Белый	Белый с черным	—
Последовательная обмотка возбуждения	Красный	Красный с черным	Красный с желтым
Вторая группа катушек последовательной обмотки возбуждения (при наличии двух групп или двух отдельных катушек)	Синий	Синий с черным	Синий с желтым
Параллельная обмотка возбуждения	Зеленый	Зеленый с черным	—
Вторая группа катушек параллельной обмотки возбуждения (при наличии двух групп или двух отдельных катушек)	Желтый	Желтый с черным	—

Если обозначение концов обмоток отсутствует, стерто или вызывает сомнение, их следует проверить.

Проверку согласованности обмоток главных полюсов на собранной машине производят обычно индуктивным методом следующим образом. К одной из обмоток присоединяют батарею или аккумулятор на 6—12 В, а к другой — милливольтметр. Если при включении рубильника стрелка прибора отклонится вправо, то обмотки согласованы между собой, если влево — не согласованы (при отключении рубильника — наоборот). Схема проверки показана на рис. 3.16.

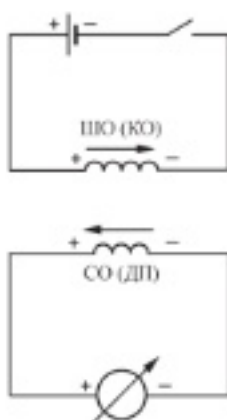


Рис. 3.16. Схема проверки внутреннего соединения обмоток машины постоянного тока: ШО — обмотка параллельного (шунтового) возбуждения; СО — обмотка последовательного (сервисного) возбуждения; КО — компенсационная обмотка; ДП — обмотка добавочных полюсов

Правильность соединения компенсационной обмотки и добавочных полюсов определяют по той же схеме, что и в случае определения согласованности обмоток главных полюсов. Определив выводы обмоток, их соединяют между собой последовательно разноименными полюсами, т. е. $++$ одной обмотки с $--$ другой.

Правильность соединения обмоток добавочных полюсов с якорем проверяют на собранной машине, измеряя полное сопротивление цепи из последовательно соединенных обмоток добавочных полюсов (в том числе и компенсационной) методом вольтметра-амперметра на переменном токе. Меньшее значение измеренного сопротивления будет при правильном соединении обмоток.

Определение возможности включения машины без сушки согласно СНиП 3.05.06—85 следует производить в соответствии с указаниями предприятия-изготовителя.

Требования к включению без предварительной сушки изоляции машин постоянного тока различны и определяются рядом факторов, в том числе их мощностью, частотой вращения, номинальным напряжением и др.

Измерение сопротивления изоляции обмоток машины относительно корпуса и бандажей, а также между обмотками производят мегаомметром на 1000 В. Сопротивление изоляции между

обмотками и каждой обмотки относительно корпуса при температуре 10–30 °С должно быть не ниже 0,5 МОм. Сопротивление изоляции бандажей якоря не нормируется. Методика измерений такая же, как и для асинхронных двигателей.

Измерение сопротивления постоянному току реостатов и пускорегулировочных резисторов производят для сравнения их с данными завода-изготовителя. Так же, как и в асинхронных двигателях, измеряют общее сопротивление и проверяют целостность отпаяк. Результаты измерений могут отличаться от заводских данных не более чем на 10 %.

Для ориентировочных расчетов правильности выбора регулировочных резисторов двигателей постоянного тока можно принять, что их полное сопротивление должно быть больше сопротивления обмотки в 2,5 раза.

Для выявления дефектов обмоток двигателя (некачественных соединений, витковых замыканий) измерение их сопротивлений проводят так же, как и для асинхронных двигателей.

Если возникают сомнения в исправности параллельных обмоток машин постоянного тока с самовозбуждением, т. е. когда обмотка получает питание от якорной цепи, то для предотвращения размагничивания полюсов измерение следует проводить так, чтобы направление тока в обмотке совпадало с заданным.

В ответственных случаях, чтобы проверить качество паяк и убедиться в отсутствии витковых замыканий и обрывов в цепи собранного якоря, используют микроомметр, двойной мост или измеряют сопротивление между соседними коллекторными пластинами с помощью вольтметра (или милливольтметра) и амперметра при питании схемы от аккумуляторной батареи (рис. 3.17).

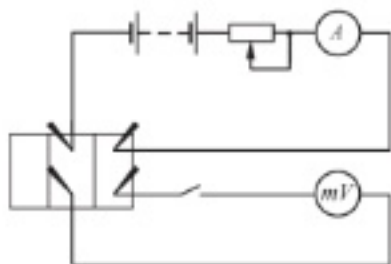


Рис. 3.17. Схема измерения сопротивления якорной обмотки между соседними коллекторными пластинами: *A* — амперметр; *mV* — милливольтметр

При этом удобно использовать два сдвоенных щупа, к одному из стержней которых присоединяют вольтметр, а к другому — токовую цепь. Соединенные с токовой цепью стержни — более длинные и пружинящие, поэтому при соединении щупов с коллекторными пластинами, они вначале замыкают цепь тока, а затем — после нажатия на них — присоединяется вольтметр. Размыкание происходит в обратной последовательности для защиты вольтметра от толчков ЭДС, возникающих при размыкании цепи.

При проведении измерения в малых и средних машинах щетки должны быть подняты и не касаться коллектора, пластины которого нумеруют мелом. В крупных машинах параллельные соединения, создаваемые щетками, мало влияют на результат измерения. Для удобства измерений якорь периодически поворачивают. Ток должен быть достаточен для четкого измерения напряжения (примерно 10–20 А, но не более 20 % номинального).

Сопротивление между ламелями не должно различаться более чем на 10 %. Пайки, для которых получены большие отклонения в сторону увеличения сопротивления, считаются дефектными и требуют переделки. В некоторых случаях при наличии в обмотке уравнительных соединений могут иметь место отклонения отдельных результатов в пределах 20–30 %. Наличие уравнительных соединений проверяют по заводской документации. Понижение сопротивления может быть обусловлено короткими замыканиями между витками.

Испытание машины на холостом ходу и под нагрузкой проводят для определения предела регулирования частоты вращения или напряжения и проверки степени искрения коллектора. При необходимости частоту вращения можно регулировать, несколько смещая щетки с нейтрали, но при условии сохранения безыскровой коммутации. Пробный пуск проводят после проверки действия защитной и сигнальной аппаратуры и выполнения всех мер по технике безопасности.

Двигатели постоянного тока имеют защиту от аварийных режимов и, прежде всего, максимальную токовую защиту якорной цепи. Для этой цели служат предохранители, автоматические выключатели и токовые реле. Проверку их производят так же, как и для аппаратов переменного тока, но с применением полупроводниковых выпрямителей.

Устройство, которое контролирует прерывание тока, возбуждения работающего двигателя и не допускающее его работы «вразнос», является механическим центробежным реле или электромагнитным токовым реле, обмотка которого включена в цепь возбуждения двигателя. Правильность установки этого реле (реле обрыва поля) оценивают по току отпадания, который должен быть на 10–15 % ниже минимального тока возбуждения, соответствующего максимальной частоте вращения при нагретой обмотке.

При пробных пусках можно выявить и устранить следующие неисправности двигателей:

- *повышенный нагрев всей машины* — перегрузка, недостаточная вентиляция или неправильное направление вращения машины со встроенным нереверсивным вентилятором;
- *повышенный нагрев обмотки якоря на холостом ходу* — неправильное соединение одного из главных полюсов (появление уравнительного тока);
- *местный нагрев обмотки якоря на холостом ходу* — короткое замыкание в одной или нескольких секциях;
- *перегрев коллектора и щеток* — неправильный выбор марки щеток, сильное нажатие щеток на коллектор, неравномерное распределение тока между щетками;
- *двигатель не развивает номинальной частоты вращения при номинальном напряжении* — щетки сдвинуты с нейтрали в сторону направления вращения;
- *легкое круговое искрение по поверхности коллектора* — загрязнение коллектора;
- *искрение щеток, появляющееся при частичной нагрузке* — неправильное чередование главных и добавочных полюсов.
- *круговой огонь по коллектору* — полное или частичное замыкание добавочных полюсов или замыкание между шинами, соединяющими торцы стержней компенсационной обмотки.

Разгон и работа машины на установившейся скорости должны происходить без искрения или с небольшим искрением на коллекторе. Сначала желательно проверить работу машины на холостом ходу. Искрение, наблюдающееся только при пуске и реверсе, может быть обусловлено большими токами, возникающими в переходных режимах, а не дефектом машины, и устраняется соответствующей настройкой схемы управления.

При работе под нагрузкой степень искрения коллектора оценивают по табл. 3.10, приведенной в ПУЭ.

Таблица 3.10. Характеристики искрения коллектора

Степень искрения	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
1,25	Слабое точечное искрение под небольшой частью щетки	То же
1,5	Слабое искрение под большей частью щетки	Появление следов почернения на коллекторе, легко устранимых при протирании поверхности коллектора бензином, а также появление следов нагара на щетках
2	Искрение под всем краем щетки появляется только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки	Появление следов почернения на коллекторе, не устранимых при протирании поверхности коллектора бензином, а также появление следов нагара на щетках
3	Значительное искрение под всем краем щетки с наличием крупных и вылетающих искр. Допускается только для моментов прямого (без реостатных ступеней) включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы	Значительное почернение на коллекторе, не устранимое протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и разрушение щеток

Если степень искрения специально не оговорена заводом-изготовителем, то при номинальном режиме она не должна превышать значения 1,5.

Окончательную оценку состояния двигателей производят по результатам опробования их под нагрузкой. При работе не должно быть вибраций, биений, чрезмерных перегревов и т. п.

Допускаемые отклонения от номинальных значений КПД, общих потерь, коэффициента мощности и момента инерции для двигателей постоянного тока те же, что и для асинхронных двигателей (см. табл. 3.8). Допускаемые отклонения других показателей, установленных в стандартах или каталогах на двига-

тели постоянного тока, указаны в табл. 3.12 в соответствии с ГОСТ 183—74.

Таблица 3.12. Допускаемые отклонения значений показателей двигателей постоянного тока

Показатель	Допускаемое отклонение
Частота вращения (при номинальной нагрузке и рабочей температуре):	
а) с параллельным и независимым возбуждением	При отношении мощности (Вт) к номинальной частоте вращения (об/мин): менее 0,67..... $\pm 15\%$ от 0,67 до 2,5..... $\pm 10\%$ от 2,5 до 10..... $\pm 7,5\%$ 10 и более..... $\pm 5\%$
б) с последовательным возбуждением, включая исполнение с небольшой параллельной стабилизирующей обмоткой	При отношении номинальной мощности (Вт) к номинальной частоте вращения (об/мин): менее 0,67..... $\pm 20\%$ от 0,67 до 2,5..... $\pm 15\%$ от 2,5 до 10..... $\pm 10\%$ 10 и более..... $\pm 7,5\%$
в) со смешанным возбуждением	Выбирается между значениями, указанными в п. а и б. По согласованию между изготовителем и потребителем
Изменение частоты вращения двигателя с параллельным или смешанным возбуждением	$\pm 20\%$, но не менее $\pm 2\%$ номинальной частоты вращения

4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И АППАРАТЫ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

4.1. Основные термины и определения

Ниже приведены некоторые термины и определения основных понятий электрических изделий согласно ГОСТ 18311–80, которыми пользуются при работе с коммутационной и защитной аппаратурой.

Электротехническое изделие (устройство) — изделие (устройство), предназначенное для производства, преобразования, распределения, передачи и использования электрической энергии или для ограничения возможности ее передачи.

Силовая электрическая цепь — электрическая цепь, содержащая элементы, функциональное назначение которых состоит в производстве или передаче основной части электрической энергии, ее распределении, преобразовании в другой вид энергии или в электрическую энергию с другими значениями параметров (в ПУЭ эти цепи называют также *главными и первичными*).

Вспомогательная цепь — электрическая цепь различного функционального назначения, не являющаяся силовой электрической цепью и выполняющая обычно функции контроля, управления, защиты, сигнализации, измерений и т. д. (В ПУЭ эти цепи называют также *вторичными*).

Блокировка электротехнического изделия (устройства) — часть электротехнического изделия (устройства), предназначенная для предотвращения или ограничения выполнения операций одними частями изделия при определенных состояниях или положениях других частей изделия в целях предупреждения возникновения в нем недопустимых состояний или исключения доступа к его частям, находящимся под напряжением.

Магнитная система — часть электротехнического изделия, представляющая собой совокупность ферромагнитных деталей и

предназначенная для проведения в ней основной части магнитного потока.

Магнитопровод — магнитная система изделия или совокупность нескольких ее частей в виде отдельной конструктивной единицы.

Сердечник — ферромагнитная деталь, на которой или вокруг которой расположена обмотка электротехнического изделия.

Магнитный стержень — сердечник, имеющий форму призмы или цилиндра (термин применяется преимущественно для трансформаторов, магнитных усилителей, электромагнитов).

Ядро — часть магнитной системы, на которой или вокруг которой обмотка не расположена.

Полос магнитопровода — часть магнитопровода, предназначенная для выхода рабочего магнитного потока в окружающую немагнитную среду или для его выхода в магнитопровод из немагнитной среды.

Обмотка — совокупность определенным образом расположенных и соединенных проводов, предназначенная для создания или использования магнитного поля или для получения заданного значения сопротивления электротехнического изделия.

Катушка обмотки — обмотка или часть ее в виде отдельной конструктивной единицы.

Демпферная обмотка — обмотка, предназначенная для создания магнитодвижущей силы, противодействующей изменению магнитного потока, создаваемого другой обмоткой или постоянным магнитом.

Размагничивающая обмотка — обмотка, предназначенная для создания магнитодвижущей силы, уменьшающей магнитный поток, создаваемый другой обмоткой или постоянным магнитом.

Обмотка напряжения — обмотка, включаемая параллельно источнику питания и практически не изменяющая суммарного сопротивления цепи нагрузки.

Обмотка тока — обмотка, включаемая последовательно источнику питания и практически не изменяющая суммарного сопротивления цепи нагрузки.

Номинальное значение параметра — значение параметра электротехнического изделия, указанное изготовителем, при котором оно должно работать, являющееся исходным для отчета отклонений (к числу параметров относятся, например, ток, напряжение, мощность).

Рабочее значение параметра — значение параметра, ограниченное допускаемыми пределами.

Перегрузка — превышение фактического значения мощности или тока электротехнического изделия над номинальным значением. Допускается с введением соответствующего пояснения оценивать перегрузку полным значением параметра, превышающим номинальное значение.

Сверхток — ток, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение тока электротехнического изделия.

Перенапряжение — напряжение между двумя точками электротехнического изделия, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение напряжения.

Внешняя характеристика электротехнического изделия — зависимость напряжения на выводах изделия от тока, протекающего через нагрузку, подключенную к этим выводам.

Нормальный режим работы — режим работы электрооборудования, характеризующийся рабочими значениями всех параметров.

Ненормальный режим работы — режим работы электрооборудования, при котором значение хотя бы одного из параметров режима выходит за пределы наибольшего или наименьшего рабочего значения.

Режим холостого хода — режим работы электрооборудования, при котором происходит потребление мощности только самим электрооборудованием.

Режим короткого замыкания — режим работы электрооборудования, при котором сопротивление его нагрузки практически равно нулю или электрооборудование подключено к источнику питания и находится в заторможенном или заклиненном состоянии.

Режим нагрузки — режим работы электрооборудования, при котором происходит отдача мощности внешнему объекту.

Нормальная работа электрооборудования и всей электроустановки зависит не только от качества и состояния электрооборудования, но и от электрических соединений, связывающих электрооборудование данной электроустановки в единую систему. С помощью этих соединений образуют электрические цепи — первичные (силовые), которые включают первичное оборудование, и цепи вторичной коммутации, в которые входит оборудование вторичной коммутации.

Первичные цепи служат для осуществления энергетических функций: производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. К вторичным цепям относятся все устройства и соединяющие их электрические цепи, предназначенные для:

- управления коммутационной аппаратурой, осуществления устройств блокировки, сигнализации и т. п.;
- измерений электрических параметров (тока, напряжения, мощности, энергии, частоты и пр.) основных элементов оборудования или линии электропередачи;
- контроля за заданным режимом работы и техническим состоянием оборудования;
- защиты электроустановок, отключающей поврежденное оборудование и сохраняющей в работе неповрежденное оборудование;
- противоаварийной автоматики;
- автоматизации электроустановок — синхронизации электрических систем при включении их на параллельную работу, автоматического повторного включения линий и шин, автоматического ввода резерва при выходе из строя рабочего оборудования и др.

Воздействие цепей вторичной коммутации на первичные цепи осуществляется через элементы непосредственного управления соответствующим первичным оборудованием (обмотки управления электрических машин и электромагнитных аппаратов, управляющие электроды электронно-ионных и полупроводниковых приборов, приводы коммутационных аппаратов и др.). Информация о состоянии первичной цепи поступает во вторичную цепь через первичные преобразователи (измерительные трансформаторы, блок-контакты коммутационных аппаратов и др.).

Наиболее наглядно электрические цепи изображают на чертежах в виде принципиальных схем, на которых все элементы электрической цепи имеют условные обозначения в соответствии с ЕСКД.

Цепи вторичной коммутации обычно намного сложнее первичных цепей, поскольку они содержат значительно большее количество элементов. Поэтому проверка цепей и аппаратов вторичной коммутации составляет основной объем работ при проверке электрических цепей наладиваемой электроустановки.

4.2. Требования к аппаратуре при работе в ненормальных режимах

Ненормальными являются такие режимы работы, при которых появляются чрезмерное снижение напряжения, непредусмотренное изменение направления постоянного тока и, в особенности, сверхтока.

Чрезмерное снижение напряжения может привести к остановке двигателя, а затем при внезапном появлении полного напряжения — к запуску его в неподходящий момент. Поэтому иногда на ответвлениях к приемнику применяют автоматические выключатели, отключающие цепь при снижении напряжения до 35—70 % номинального. Повторное включение должно осуществляться только оператором.

Наиболее опасный и часто встречающийся режим — режим сверхтока, возникающий при чрезмерном потреблении тока приемниками или при коротком замыкании. Аппаратура распределения энергии, предназначенная для автоматического отключения, должна безотказно коммутировать все токи, вплоть до наибольшего тока короткого замыкания, который может возникнуть в месте ее установки. Неавтоматические выключатели при этих токах не должны повреждаться и самопроизвольно отключаться.

Аппаратура управления (контакты, пускатели, реле) рассчитана, главным образом, на коммутацию токов, не превышающих токов перегрузки двигателей. От токов короткого замыкания аппаратура управления отдельными приемниками защищена аппаратурой распределения энергии.

Для бесперебойной работы установки необходимо обеспечить избирательность (селективность) отключения между аппаратурой управления и аппаратурой распределения энергии, а также избирательность отключения нескольких последовательно включенных аппаратов распределения энергии. Это значит, что при токах перегрузки, возникающих в ответвлении к отдельному приемнику, соответствующий участок цепи должен выключаться аппаратурой управления этого приемника, а не аппаратом распределения энергии, установленным на ответвлении. Если в ответвлении возникло короткое замыкание, то должен отключаться аппарат распределения энергии, а не аппарат управления.

Особенно важна избирательность отключения в системе распределения энергии. При всех значениях сверхтока, вплоть до максимального тока короткого замыкания, должен отключаться только один аппарат, расположенный ближе к месту аварии, все другие аппараты с большим номинальным током, расположенные ближе к источнику энергии, не должны отключаться. Основное требование, предъявляемое к аппаратуре в данном случае, — обеспечение избирательности отключения между аппаратами.

Желательно иметь такую защитную характеристику, чтобы во всем диапазоне сверхтоков была выдержка времени, обратно пропорциональная току (чем больше ток, тем меньше время отключения), так как разрушительное действие тем больше, чем больше ток и время его действия. По конструктивным и технико-экономическим соображениям часто применяют устройства, которые при токах, больших определенного значения, срабатывают мгновенно (без преднамеренно созданной выдержки времени). По этим же причинам иногда используют устройства, имеющие выдержку времени, независимую от тока.

Для защиты от чрезмерного нагрева токоведущих частей лучше всего иметь выдержку времени, обратно зависимую от тока. Для защиты преобразователей от токов короткого замыкания требуется особо быстрое срабатывание (за несколько миллисекунд). Токи короткого замыкания машин постоянного тока также рекомендуется отключать мгновенно. Однако некоторые машины специально рассчитывают для протекания тока короткого замыкания в течение 0,5 с. Чтобы защитить такие машины, можно применять защитные аппараты с выдержкой времени при коротком замыкании, это даст возможность обеспечить избирательность защиты.

При больших токах короткого замыкания (50—100 кА) возникают трудности при изготовлении установки, поэтому желательно ток ограничить. Этого можно добиться быстрым срабатыванием защитного аппарата, чтобы ток не успевал достигнуть того максимального значения, которого он бы достиг, если бы цепь не была своевременно разомкнута. Если это обеспечивается, то имеет место токограничивающее действие защитного аппарата. Плавкие предохранители, автоматические выключатели на малые токи и специальные (быстродействующие) автоматические выключатели обладают данным свойством.

После отключения аппарата при сверхтоках желательно как можно скорее его включить. Для этого используют выключатели (кроме автоматических с элементами теплового действия), которые допускают немедленное включение после срабатывания. Автоматические выключатели с тепловыми элементами должны допускать повторное включение не позднее чем через 1—3 мин после отключения при сверхтоках. В случае отключения автомата при отсутствии перегрузки он должен допускать немедленное включение.

4.3. Выбор вида защит электрооборудования напряжением до 1 кВ

Главное условие надежной работы электродвигателей, кроме правильного их выбора по исполнению в зависимости от условий окружающей среды и по нагрузке, — надежная защита, т. е. правильный выбор и настройка аппаратуры защиты, и, в первую очередь, от перегрузки (перегрева). Для защиты сетей двигателей от короткого замыкания и перегрузок применяют защиту, осуществляемую автоматическими выключателями с тепловыми и комбинированными расцепителями и магнитными пускателями со встроенными в них тепловыми реле, а также специальную встроенную температурную защиту (два последних вида защит — только для двигателей).

Для правильной и технически грамотной организации защиты сетей и двигателей нужно правильно выбирать защитную аппаратуру, знать номенклатуру и технические данные защитных аппаратов, уметь настраивать аппараты защиты применительно к конкретным условиям.

Ниже приведены данные, необходимые для выбора аппаратуры, защищающей электрические сети и двигатели, согласно ПУЭ. Исходя из опыта наладки рекомендован выбор защиты электромагнитов включения масляных выключателей.

Аппараты защиты электрических сетей по своей отключающей способности должны соответствовать максимальному значению тока короткого замыкания в начале защищаемого участка.

Номинальные токи плавких вставок предохранителей и токи уставок автоматических выключателей, служащих для защиты отдельных участков сети, во всех случаях следует выбирать по

возможности наименьшими по расчетным токам этих участков или по номинальным токам электроприемников, но таким образом, чтобы аппараты защиты не отключали электроустановки при кратковременных перегрузках (пусковые токи, пики технологических нагрузок, токи при самозапуске и т. п.).

Защита сети от токов короткого замыкания должна обеспечивать по возможности наименьшее время отключения и требования селективности.

Защита должна обеспечивать отключение поврежденного участка в конце защищаемой линии: одно-, двух- и трехфазных — в сетях с глухозаземленной нейтралью; двух- и трехфазных — в сетях с изолированной нейтралью.

Надежное отключение поврежденного участка сети обеспечивается, если наименьший расчетный ток короткого замыкания превышает в 3 раза номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя, нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратнoзависимую от тока характеристику. При защите сетей автоматическими выключателями, оборудованными только электромагнитным расцепителем (отсечкой), уставка тока мгновенного срабатывания должна быть не выше тока короткого замыкания, деленная на коэффициент, учитывающий разброс по заводским данным и на коэффициент запаса, равный 1,1. При отсутствии заводских данных для автоматических выключателей с номинальным током более 100 А кратность тока короткого замыкания относительно уставки принимают равной не менее 1,4, а для автоматических выключателей с номинальным током более 100 А — не менее 1,25.

В электроустановках, расположенных во взрываоопасных зонах, ток короткого замыкания должен быть в 4 раза больше номинального тока плавкой вставки предохранителя или в 6 раз больше тока расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратнoзависимую от тока характеристику.

Защита от перегрузки производится для:

- сетей внутри помещений, выполненных открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией;
- осветительных сетей в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых

и переносных электроприемников, а также в пожароопасных зонах;

- силовых сетей на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях — только в случаях, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети могут возникать длительные перегрузки проводников;
- сетей всех видов во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Ia, В-II и В-IIa.

В разделе 1 ПУЭ приведены таблицы, по которым следует выбирать сечения различных проводников и кабелей в зависимости от допустимого длительного тока и материала их изоляции. В разделе 3 ПУЭ указаны также кратности установочных различных аппаратов защиты к длительно допустимым токовым нагрузкам для проводников и кабелей с различной изоляцией.

Аппараты защиты электродвигателей должны обеспечивать их отключение при многофазных замыканиях, а в сетях с глухозаземленной нейтралью — также от однофазных замыканий. Кроме того, в некоторых случаях должна предусматриваться защита от токов перегрузки и защита минимального напряжения.

Защита электродвигателей от короткого замыкания осуществляется предохранителями или автоматическими выключателями. Номинальные токи плавких вставок предохранителей и расцепителей автоматических выключателей выбирают таким образом, чтобы обеспечить надежное отключение двигателей и вместе с тем, чтобы двигатели при нормальных для данной электроустановки толчках тока (пиках технологических нагрузок, пусковых токах, токах самозапуска и т. п.) не отключались этой защитой. Для этого у электродвигателей механизмов с легкими условиями пуска отношение пускового тока электродвигателя к номинальному току плавкой вставки (или уставке расцепителя) должно быть не более 2,5, а для электродвигателей механизмов с тяжелыми условиями пуска (большая длительность разгона, частые пуски и т. п.) это отношение должно быть равным 2,0—1,6.

Для электродвигателей ответственных механизмов для особо надежной отстройки предохранителей ответственных механизмов от толчков тока допускается принимать это отношение равным 1,6 независимо от условий пуска электродвигателя, если кратность тока короткого замыкания на зажимах электродвигателя составляет не менее, чем это указано выше для защиты сетей.

Для группы электродвигателей допускается осуществление защиты от короткого замыкания одним общим аппаратом при условии, что эта защита обеспечивает термическую стойкость пусковых аппаратов и аппаратов защиты от перегрузок, примененных в цепи каждого электродвигателя этой группы.

Защита электродвигателей от перегрузки должна устанавливаться при возможной перегрузке механизма по технологическим причинам, а также когда при особо тяжелых условиях пуска или самозапуска необходимо ограничить длительность пуска при пониженном напряжении. Защита должна выполняться с выдержкой времени и может быть осуществлена с помощью теплового реле или другого устройства.

Защита от перегрузки должна действовать на отключение, на сигнализацию или на разгрузку механизма, если разгрузка возможна.

Применение защиты от перегрузки не требуется для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы.

Защита минимального напряжения должна устанавливаться в следующих случаях:

- для электродвигателей постоянного тока, которые не допускают непосредственного включения в сеть;
- для электродвигателей механизмов, самозапуск которых после остановки недопустим по условиям технологического процесса или по условиям безопасности. Выдержка времени защиты минимального напряжения должна выбираться в диапазоне 0,5...1,5 с, а уставки по напряжению должны быть, как правило, не выше 70 % номинального напряжения.

Все виды защиты электродвигателей от короткого замыкания, перегрузки, минимального напряжения допускается осуществлять соответствующими расцепителями, встроенными в один аппарат.

Защита электромагнитов включения масляных выключателей выполняется обычно при помощи автоматических выключателей с комбинированными расцепителями.

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя должен быть больше тока включения электромагнита в 1,25—1,5 раза. Тепловой элемент комбинированного расцепителя должен отключать выключатель при протекании через электромагнит тока включения до достижения катушкой электромагнита предельно

допустимой температуры. Время, за которое катушки нагреваются до предельно допустимой температуры, для применяемых в настоящее время приводов составляет 15...30 с в зависимости от типа катушки. Время отключения проверяют по верхней части время-токовой характеристики.

Коммутационные аппараты распределения энергии — аппараты для включения и отключения главных цепей в системах, генерирующих электрическую энергию и передающих ее потребителю. Они включают или отключают электрическую цепь при воздействии обслуживающего персонала или автоматически.

Коммутационные аппараты распределения энергии выполняют следующие функции:

- неавтоматическое включение и отключение электрических цепей, которое производится, когда нужно подать или снять питание электроэнергией участка сети;
- автоматическое отключение электрических сетей в случае появления в них каких-либо явлений, угрожающих безопасности обслуживающего персонала или сохранности установки (например, в случае коротких замыканий). Некоторые аппараты могут осуществлять также автоматическое включение резервного источника питания или автоматическое повторное включение после аварийного отключения.

Различают следующие группы коммутационных аппаратов распределения энергии:

- автоматические выключатели;
- плавкие предохранители;
- неавтоматические выключатели.

Иногда коммутационные аппараты устанавливают вместе с аппаратурой управления в устройствах для управления электроприводом, например, на станциях управления.

Контакты, пускатели, реостаты, реле, осуществляющие защиту и управление работой электропривода, называют *аппаратами управления*.

4.3.1. Автоматические выключатели

Автоматические выключатели (автоматы или выключатели) предназначены для нечастых размыканий и замыканий электрической цепи и длительного прохождения по ней тока, а также

для автоматического размыкания цепей при появлении в них различных ненормальных условий. Коммутация цепи происходит между механически перемещающимися контактами.

Важным свойством автоматов является малое собственное время отключения, что во многих случаях имеет решающее значение для защиты электроприводов с полупроводниковыми приборами.

Конструкция автоматов сложнее других электромагнитных аппаратов, поэтому для их обслуживания требуются специалисты более высокой квалификации.

Большинство установочных автоматов, выпускаемых промышленностью, предназначено для схем синхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Они включаются вручную, но имеют механизм моментного включения, т. е. механизм обеспечивает быстрое и полное замыкание контактов независимо от скорости движения рукоятки. Такой же принцип, предохраняющий контакты от подгорания, заложен в современных однополюсных автоматах и маломощных выключателях (например, для цепей осветительной нагрузки).

По видам защиты различают автоматы:

- с электромагнитным расцепителем, предназначенные для защиты от коротких замыканий;
- с тепловым расцепителем, служащие для защиты от перегрузок;
- с комбинированным (электромагнитным и тепловым) расцепителем;
- с расцепителем минимального напряжения.

Автоматы могут иметь дополнительные устройства, например, блок-контакты, независимый расцепитель для дистанционного отключения.

Различают автоматы небыстродействующие, быстродействующие (точное разграничение их затруднено) и автоматы гашения поля, которые отключают обмотки возбуждения генераторов при появлении короткого замыкания в главной цепи.

К *небыстродействующим автоматам* относятся автоматы переменного и постоянного тока, к которым обычно не предъявляют специальных требований о быстродействии или эти требования невысокие. Для удержания контактной системы во включенном положении в них применяют защелки. Эти автоматы

имеют собственное время срабатывания от 10 до 100 мс и не обладают токоограничивающим действием.

Если ток короткого замыкания велик (около 100 кА), то для облегчения коммутации цепи принимают специальные меры по повышению быстродействия. В этом случае время срабатывания автомата может быть и менее 10 мс, тогда автомат является токоограничивающим.

По конструктивному оформлению различают автоматы с пластмассовым корпусом и крышкой (рассчитаны на номинальные токи до 630 А включительно) и автоматы без корпуса и крышки (рассчитаны на номинальные токи от 630 до 10 000 А включительно).

Автоматы, предназначенные для установки в квартирах и удовлетворяющие всем требованиям, предъявляемым к установочным изделиям, называют *бытовыми автоматами*.

Быстродействующие автоматы, изготавливаемые на номинальные токи 1500...15 000 А, имеют собственное время отключения при больших токах не более 5 мс. Их характерная особенность — вся конструкция подчинена требованию повышения быстродействия, что необходимо, например, для защиты установок, преобразующих переменный ток в постоянный, и очень чувствительных к сверхтокам.

Ввиду больших токов короткого замыкания в этих автоматах обычно не применяют защелки, для расцепления которых необходимо предварительное перемещение деталей до того, как начинается движение в направлении размыкания контактов. Отсутствие защелок — основное характерное конструктивное различие быстродействующих и небыстродействующих автоматов.

Схема конструкции небыстродействующих автоматов, имеющих наиболее широкое распространение, почти одинаковая и отличается только наличием элементов, указанных на рис. 4.1. Замыкание и размыкание главной цепи происходит между подвижными и неподвижными главными контактами, заключенными в дугогасительную камеру. Контакты соединены с выводными жабками. В зависимости от числа изолированных друг от друга контактов, коммутирующих различные цепи, различают автоматы одно-, двух-, трех- и четырехполюсные. Последние применяют редко. Энергия, необходимая для включения контактов, подводится к автомату приводом, механически связанным с контактами через механизм свободного расцепления. Отключе-

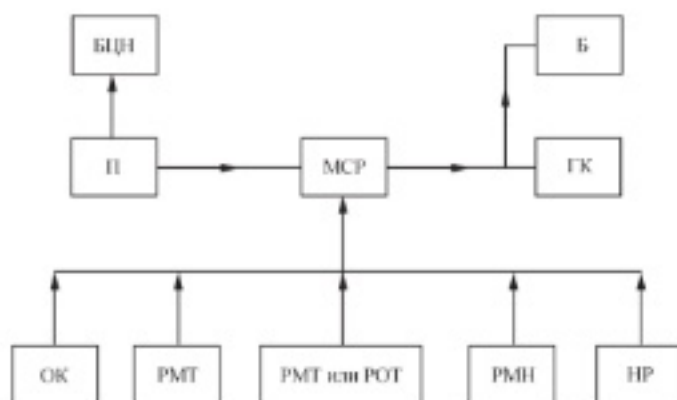


Рис. 4.1. Схема механической связи между элементами небыстродействующих автоматических выключателей: БЦН — блок-контакт цепей несоответствия; П — привод; МСР — механизм свободного расцепления; Б — блок-контакты; ГК — главные контакты; ОК — отключающая кнопка; РМТ — расцепитель максимального тока; РМТ или РОТ — расцепитель минимального или обратного тока; РМН — расцепитель минимального напряжения; НР — независимый расцепитель

ние осуществляется приводом, отключающей кнопкой или расцепителями. Привод представляет собой кнопку или рычаг с рукояткой для непосредственного включения вручную. Применяют также электромагнитические и пневматические приводы.

Расцепители представляют собой электромагнитные или термобиметаллические механизмы, которые срабатывают и вызывают отключение автомата мгновенно или с некоторой задержкой времени. Наиболее распространены: расцепители максимального тока, срабатывающие при токе, превышающем ток уставки; расцепители минимального напряжения, срабатывающие, когда напряжение на катушке становится меньше заданного; расцепители независимые, срабатывающие без выдержки времени, когда на их катушку подано напряжение; расцепители минимального и обратного тока, срабатывающие, когда ток, соответственно, станет меньше определенного значения или изменит свое направление.

У автоматов на малые токи иногда механизм свободного расцепления совмещен с расцепителем максимального тока. Благодаря наличию механизма свободного расцепления автоматы при наступлении ненормальных условий в цепи отключаются неза-

висимо от положения привода и после этого не могут самопроизвольно включиться, даже если бы привод удерживался в положении включения.

Автоматы с ручным приводом часто имеют и моментное включение, что необходимо для повышения включающей способности. Коммутационная способность автоматов при включении ручным приводом (без моментного действия) значительно меньше, чем при включении электромеханическим приводом.

Кроме контактов, предназначенных для коммутации главного тока, автоматы оснащают блок-контактами, служащими для коммутации цепей управления, сигнализации и блокировки. Обычно блок-контакты связаны механически с главными контактами. Иногда автоматы снабжены еще добавочными блок-контактами, механически связанными с приводом. Это дает возможность установить, произошло ли отключение под воздействием привода или расцепителя, и, следовательно, узнать, были ли в цепи ненормальные явления.

4.3.2. Плавкие предохранители

Плавкий предохранитель — аппарат, который при токе, большем заданного значения, размыкает электрическую цепь путем расплавления плавкого элемента, нагретого током. Он служит для защиты электроустановок от сверхтоков. Сменяемая после плавления часть называется плавкой вставкой. Она содержит плавкий элемент и может иметь другие конструктивные детали, с которыми этот элемент скрепляется.

Согласно ГОСТ 17242—86 предохранители подразделяют:

по виду плавких вставок в зависимости от диапазонов токов отключения на следующие типы:

- *g* — с отключающей способностью в полном диапазоне отключения, т. е. плавкая вставка способна отключать в заданных условиях все токи, вызывающие плавление плавких элементов, до наибольшего тока отключения включительно;
- *a* — с отключающей способностью в части диапазонов токов отключения, т. е. плавкая вставка способна отклю-

чать в заданных условиях все токи в пределах между наименьшим током, указанным на ее временно-токовой характеристике отключения, и наибольшим током отключения и предназначенная для защиты электроустановок и электрических сетей при токах короткого замыкания в сочетании при необходимости с другими коммутационными аппаратами, предназначенными для отключения токов перегрузки;

по виду плавких вставок в зависимости от быстродействия:

- небыстродействующие (типы *a* и *g*) — характеристики плавких вставок обеспечивают защиту устройств с относительно большой постоянной времени нагрева (например, трансформаторы, электрические машины, кабели);
- быстродействующие (типы *aR* и *gR*) — характеристики плавких вставок обеспечивают защиту устройств с относительно малой постоянной времени нагрева (например, полупроводниковые приборы);

по наличию и конструкции основания:

- с калиброванным основанием;
- с некалиброванным основанием;
- без основания;

по способу монтажа:

- на собственном основании;
- на основании комплектных устройств;
- на проводниках комплектных устройств;

по способу присоединения внешних проводников к выводам предохранителя:

- с задним присоединением;
- с передним присоединением;
- с передним и задним (универсальным) присоединением;

по конструкции плавкой вставки:

- с разборной плавкой вставкой (со сменными плавкими элементами);
- с неразборной плавкой вставкой (с несменными плавкими элементами);

по наличию указателя срабатывания и бойка:

- с указателем срабатывания и бойком;
- с указателем срабатывания;
- с бойком;
- без указателя срабатывания и бойка;

по наличию свободных контактов:

- со свободными контактами;
- без свободных контактов;

по количеству полюсов:

- однополюсные;
- двухполюсные;
- трехполюсные.

Предохранители бывают сменяемыми под напряжением и несменяемыми под напряжением. В первом случае патрон снимают таким образом, что оператор при этом не касается частей, находящихся под напряжением. Во втором случае до снятия патрона предохранитель должен быть отключен от напряжения.

Предохранители иногда выполняют так, что при перезарядке нельзя установить плавкую вставку на больший номинальный ток, чем это предусмотрено.

В зависимости от мер, применяемых для гашения дуги, различают предохранители: с наполнителем, у которых дуга гасится в порошкообразном, зернистом или волокнистом наполнителе (разновидностью этого типа являются предохранители с опресованной вставкой); без наполнителя, у которых дуга гасится вследствие высокого давления в патроне или движения газов.

По ГОСТ 17242—86 условные токи плавления, неплавления* и условное время плавких вставок типа g должны соответствовать указанным в табл. 4.1. Для плавких вставок на номинальный ток 1000 А, а также для типов aR и gR значения условных токов и времени должны быть установлены в стандартах или технических условиях на конкретные серии и типы предохранителей.

* Условный ток неплавления предохранителя — заданное значение тока, который плавкая вставка предохранителя способна пропускать в течение условного времени, не расплавляясь. Условный ток плавления предохранителя — заданное значение тока, при котором срабатывает плавкая вставка предохранителя в течение условного времени.

144 4. Электрические цепи и аппараты напряжением до 1 кВ

Таблица 4.1. Кратность токов срабатывания и несрабатывания для плавких вставок

Номинальный ток предохранителя, А	Отношение условного тока плавления к номинальному	Отношение условного тока срабатывания к номинальному	Время срабатывания, ч
До 4	1,5	2,10	1
4—10	1,5	1,90	1
10—25	1,4	1,75	1
25—63	1,3	1,60	1
63—100	1,3	1,60	2
100—160	1,2	1,60	2
160—400	1,2	1,60	3
400—1000	1,2	1,60	4

4.3.3. Пусковая и защитная аппаратура

В настоящее время применяются как контактные, так и бесконтактные аппараты, выполняющие функции пускателей. Эти аппараты имеют свои преимущества и недостатки.

Контактные аппараты применяют преимущественно для дискретной коммутации (включение—отключение) сравнительно больших токов и напряжений, бесконтактные — при небольших токах и напряжениях и как быстродействующий аппарат.

В табл. 4.2 приведено сопоставление различных свойств контактных и бесконтактных пусковых аппаратов.

Таблица 4.2. Свойства контактных и бесконтактных пусковых аппаратов

Свойство аппарата	Аппараты	
	контактные	бесконтактные
Механический износ деталей	Есть подвижная система; механическая износостойкость контактов около 10^7 срабатываний	Подвижной системы нет; детали механически не изнашиваются
Электрический износ деталей	Образуется дуга; электрическая износостойкость контактов около 10^6 срабатываний	Дуга не образуется; электрического износа нет

Окончание табл. 4.2

Свойство аппарата	Аппараты	
	контактные	бесконтактные
Быстродействие аппарата и допустимая частота срабатываний	Время срабатывания — десятки — сотни доли секунды; частота — до тысяч срабатываний в 1 ч	Быстродействие значительно выше, чем у контактных аппаратов; частота срабатываний 10^5 — 10^6 в 1 ч
Стойкость к ударным нагрузкам и вибрациям	Подвержены влиянию ударных нагрузок и вибрациям	Не подвержены влиянию ударных нагрузок и вибрациям, кроме элементов присоединения
Работа во взрывоопасных средах	Могут работать только при наличии защитных оболочек	Работают надежно
Управление слабыми сигналами в коммутационной цепи	Слабые сигналы для управления почти не используются	Легко осуществляется управление слабыми сигналами
Видимый разрыв цепи	Видимый разрыв есть	Видимого разрыва нет
Количество коммутируемых цепей	Легко осуществляется коммутация многих цепей	При увеличении количества коммутируемых цепей значительно увеличивается число элементов, габариты и стоимость аппарата
Устойчивость к перенапряжениям	Выдерживают практически любые перенапряжения; пробивное напряжение промежутка между контактами — до десятков киловольт	Требуется специальная защита от перенапряжений
Токковые перегрузки	Практически выдерживают любые токовые перегрузки (при времени протекания тока короткого замыкания равном 0,01 с допустима перегрузка током примерно в 700 раз по сравнению с номинальной нагрузкой)	Необходима специальная защита от токов короткого замыкания (при времени протекания тока короткого замыкания, равном 0,01 с допустима токовая перегрузка примерно в 25 раз по сравнению с номинальной нагрузкой)
Надежность	Надежность высокая, но зависит от качества обслуживания	Надежность высокая и почти не зависит от обслуживания
Обслуживание	Требуется обслуживание техническим персоналом	Требуется только периодическая чистка
Восприимчивость к искажениям управляющего сигнала	Практически не восприимчивы	Возможны ложные срабатывания, в том числе от случайных импульсов с малой продолжительностью

Возможные неисправности в контактной пусковой аппаратуре, причины и способы их устранения даны в табл. 4.3.

Таблица 4.3. Возможные неисправности контактной пусковой аппаратуры, причины и способы устранения

Неисправность	Причина	Способ устранения
Аппарат не включается	Отсутствие напряжения в цепи управления	Проверить и восстановить напряжение в цепи управления
	Зазедание подвижной системы	Восстановить нормальный ход подвижной системы
	Обрыв в цепи управления или обмотке катушки	Проверить цепь управления и восстановить ее. При необходимости заменить катушку
	Установка катушки несоответствующего напряжения	Поставить необходимую катушку
Аппарат включается, а затем снова отключается	Нарушение цепи блок-контакта, через который питается катушка аппарата	Проверить наличие и надежность контакта во всех соединениях и восстановить его
Контакты привариваются при включении	Слишком велико или мало контактное нажатие	Зачистить или сменить контакты и контактную пружину. Нажатие не должно выходить за пределы, определяемые техническим описанием и инструкцией по эксплуатации аппарата
Контакты нагреваются выше допустимой температуры	Нагрузка выше номинальной	Проверить ток нагрузки. Если нет возможности уменьшить нагрузку, то следует поставить аппарат с большим номинальным током
	Чрезмерно изношены контакты	Сменить контакты
	Наличие пыльных, грязных или обгоревших контактов	Удалить пыль и зачистить контакты напильником, не меняя профиля
	Малое контактное нажатие	Сменить пружину
Аппарат сильно гудит	Низкое напряжение в сети	Проверить значение напряжения
	Загрязнены или повреждены поверхности полюсов магнитной системы	Протереть чистой тряпкой поверхности полюсов; при механическом повреждении поверхности подшлифовать
	Повреждение короткозамкнутого витка	Заменить виток новым
	Слишком большое нажатие контактов	Сменить контактные пружины

Окончание табл. 4.3

Неисправность	Причина	Способ устранения
	Плохая затяжка болтов, крепящих якорь и сердечник	Подтянуть болты
	Перекося якоря по отношению к сердечнику	Выпрямить или сменить перекосящиеся детали
Залипла магнитная система	Износ немагнитной прокладки	Заменить прокладку
Сильно греется втягивающая катушка	Наличие в обмотке катушки короткозамкнутых витков	Сменить катушку
Контактор с защелкивающим механизмом при подаче напряжения работает в пульсирующем режиме	Большое нажатие контактов	Отрегулировать контактное нажатие в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации
	Недостаточное напряжение в сети	Принять меры к недопущению чрезмерного падения напряжения в сети
	Валик не западает за рычаг	Добиться свободного западения валика за рычаг в соответствии с инструкцией
	Разрегулировка блок-контактов защелкивающего механизма	Отрегулировать в соответствии с инструкцией
Контактор с защелкивающим механизмом при подаче импульса на отключение не отключается	Обрыв во втягивающей катушке или в катушке защелки	Заменить катушку
	Отсутствии контакта в блок-контактах защелки	Проверить наличие и надежность контакта во всех соединениях и восстановить его
Аппарат не отключается	Завунитрованы контакты кнопки «Стоп» или замыкающие контакты вспомогательной цепи	Отпадать контакты вспомогательной цепи, в случае их полного износа — заменить
	Приварились контакты силовой цепи или цепи управления	Зачистить контакты, в случае их полного износа — заменить
	Зазедание подвижной системы	Восстановить нормальный ход подвижной системы
	Отсутствуют или неисправны возвратные пружины	Заменить пружины

Ремонт бесконтактной аппаратуры связан обычно с заменой полупроводниковых элементов и производится на специализированных ремонтных предприятиях.

Контакты — электромагнитные аппараты с дистанционным управлением — используются для частых включений и отключений силовых электрических цепей при нормальном режиме работы; являются основными аппаратами современных схем электропривода.

Главные контакты производят замыкание и размыкание силовой цепи и рассчитаны на длительное протекание номинального тока и большого числа включений и отключений.

Вспомогательные контакты (блок-контакты) осуществляют переключения в цепях управления, блокировки и сигнализации. Различают замыкающие и размыкающие контакты.

Контакты изготавливают на токи до 3000 А и напряжение 220, 440, 650, 750 В постоянного тока или 380, 500 и 660 В переменного тока промышленной частоты. Частота включений до 1500 в час.

Конструктивно контакты переменного тока отличаются от контактов постоянного тока устройством электромагнита, дугогасительной системы и взаимным расположением узлов.

Контакты клапанного типа с питанием катушки постоянным током применяют в электроприводах с частыми включениями. Это повышает электрическую и механическую износостойчивость контактов.

Электромагнитный пускатель — комплектный аппарат с электромагнитным приводом — состоит из одного или двух контактов переменного тока со встроенным двухполюсным или трехполюсным тепловым реле (или двумя однополюсными), размещенных в общем кожухе. Изготавливают также пускатели без тепловых реле и без кожуха. Пускатели имеют от одного до пяти блок-контактов. При необходимости электромагнитный пускатель снабжают блоком задержки отключения, который удерживает контакты во включенном состоянии 4—5 с. Электромагнитный пускатель обеспечивает нулевую защиту электродвигателя, предотвращая повторное включение его при внезапном появлении исчезнувшего ранее напряжения.

Тиристорные пускатели предназначены для дистанционного или местного включения, реверса и отключения, а также для защиты от перегрузки и токов короткого замыкания трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Их включение и отключение производится при помощи тока в цепи управляющего элемента.

По сравнению с электромагнитными, тиристорные пускатели имеют большую коммутационную способность, больший срок службы, высокое быстродействие системы и устойчивость к механическим воздействиям. Отсутствие механических коммутирующих контактов исключает образование электрической дуги при коммутации.

Устройство встроенной температурной защиты электродвигателей реагирует на температуру обмотки двигателя независимо от причин, вызвавших нагрев. Как показывает практика, встроенная температурная защита, состоящая из температурных датчиков и управляющего устройства, эффективно отключает электродвигатели при длительных перегрузках, неправильных процессах пуска и торможения, повышенной частоте включений, обрыве фаз, заклинивании приводного механизма, включении электродвигателя с заклиненным ротором, повышенной температуре окружающей среды, нарушениях в системе охлаждения.

В качестве температурных датчиков используют полупроводниковые термосопротивления — позисторы, встроенные в лобовую часть обмотки статора (по одному в каждую фазу). Отличительным свойством позистора является высокая чувствительность в узком диапазоне температур. Например, промышленные позисторы, используемые в схемах встроенной температурной защиты электродвигателя, имеют в диапазоне температур от 60 до 100 °С практически постоянное сопротивление, а при более высокой температуре (выше 100 °С) их сопротивление увеличивается в несколько тысяч раз. Увеличение сопротивления блоком управления преобразуется в сигнал, управляющий отключением магнитного пускателя, для отключения электродвигателя.

Датчики изготавливают обычно в виде дисков. Комплект таких датчиков (три диска из расчета один на фазу) являются чувствительным органом защиты, подающим сигнал в управляющее устройство. Некоторые конструкции предусматривают установку блока управления в одном кожухе с магнитным пускателем вместо теплового реле.

Устройства температурной защиты унифицированы для всех типоразмеров электродвигателей, взаимозаменяемы и не требуют регулирования при монтаже и эксплуатации.

В схеме автоматически осуществляется самоконтроль ее работы, т. е. обеспечивается гарантия отключения электродвигате-

ля при возникновении неисправности в каком-либо элементе температурной защиты.

Датчики температуры устанавливают в асинхронные двигатели на заводе при изготовлении или капитальном ремонте, а также в действующие электродвигатели во время эксплуатации.

Устройство допускает установку на стенах и конструкциях, не подверженных ударам или сильной вибрации. Оно не должно подвергаться постоянному нагреву, в том числе солнечному. Его можно размещать в станциях управления, сборных распределительных устройствах и отдельных шкафах.

Проверяют работоспособность смонтированного устройства нажатием кнопки «Пуск» электромагнитного пускателя. При исправном электродвигателе и правильном соединении датчиков устройства и пускателя, а также при исправном их состоянии электродвигатель вращается. Убедившись в его нормальной работе на холостом ходу, необходимо разомкнуть цепь датчиков в коробке выводов электродвигателя. Если при этом электродвигатель отключается от сети, значит, устройство встроенной защиты работает нормально. Повторно проверяют защиту путем замыкания накоротко цепи датчиков в коробке выводов. В этом случае электродвигатель также должен отключиться от сети.

Тепловые реле электромагнитных пускателей предназначены для защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором от перегрузок недопустимой продолжительности. Они состоят из нагревательного элемента, обтекаемого контролируемым током и нагреваемого им; термобиметаллических пластин, реагирующих изгибом на повышение температуры нагревательных элементов и воздействующих на переключающий контактный механизм.

В зависимости от устройства нагревательного элемента различают реле с прямым, косвенным и комбинированным нагревом. Нагревательные элементы с малым номинальным током выполняют обычно с прямым нагревом, а с большим током — с косвенным нагревом. При косвенном нагреве током обтекается только нагревательный элемент, при прямом — рабочий термобиметалл, который одновременно является нагревательным элементом.

Предельно допустимой установившейся температуре обмотки электродвигателя соответствует предельно допустимая установившаяся температура нагревательного элемента, определяе-

мая пограничным током реле. При перегрузках тепловое реле отключает электродвигатель до того, как его обмотка нагреется выше допустимой температуры.

Время срабатывания реле не является строго однозначной функцией кратности $K = I/I_n$ и зависит как от регулирования реле, так и от значения реальных допусков элементов реле и их сочетания. Поэтому защитные характеристики изображают обычно двумя кривыми: верхняя соответствует максимально возможному, а нижняя — минимально возможному времени срабатывания реле. Поскольку время срабатывания реле с начального холодного состояния, при котором температура реле равна температуре окружающего воздуха, больше, чем время срабатывания с начального горячего состояния, при котором устанавливается температура реле и его элементов главным образом определяется значением тока, протекающего через реле, обычно приводят два вида защитных характеристик при нагреве с холодного и горячего состояния.

Защитные (ампер-секундные) характеристики (нижняя и верхняя ветви) при срабатывании с холодного или горячего состояния позволяют определить минимальное и максимальное время срабатывания реле.

Тепловые реле способны эффективно защищать электродвигатели от перегрузки в продолжительном и не способны защищать в повторно-кратковременном режимах работы. Поскольку во многих случаях электродвигатели, работающие в повторно-кратковременном режиме, используются таким образом, что за время перегрузки электродвигатель не нагревается выше допустимой температуры, допускается использовать его без защиты тепловыми реле.

Рекомендации МЭК предусматривают отсутствие защиты электродвигателей мощностью менее 1 кВт тепловыми реле, однако, если существуют опасения, что электродвигатели могут длительно работать с перегрузкой, то их следует защищать тепловыми реле.

Тепловые реле не защищают электродвигатели от токов коротких замыканий. Наоборот, реле сами нуждаются в защите от этих токов предохранителями. Преимущество предохранителей — ограничение токов коротких замыканий вследствие быстрого действия отключения. Тепловые реле можно также защищать автоматическими выключателями с максимальными электромагнитны-

ми распределителями и токовой отсечкой. При этом нужно иметь в виду, что сопротивления самих тепловых реле ограничивают токи короткого замыкания, что в ряде случаев понижает надежность работы автоматических выключателей, в частности, автоматических выключателей с время-зависимой характеристикой.

Для правильной защиты двигателя и теплового реле необходимо проверить, чтобы защитная характеристика предохранителя, выбранного по пусковому току электродвигателя, была расположена ниже защитной характеристики теплового реле и отключение токов коротких замыканий произошло мгновенно.

Для тяжелых условий пуска (длительность более 3—6 с) следует на время пуска шунтировать тепловые элементы реле.

Тепловые реле имеют разные параметры, назначение, встраиваются в соответствующие им пускатели и тщательно подбираются к режимам работы электродвигателей.

4.4. Наладка электрических аппаратов и цепей напряжением до 1 кВ

При проведении пусконаладочных работ электрические аппараты и вторичные цепи схем защит, управления, сигнализации и измерения испытываются в объеме, предусмотренном ПУЭ. Электропроводки напряжением до 1 кВ от распределительных пунктов до электроприемников проходят только проверку сопротивления изоляции, которое должно быть не менее, чем указано в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Наименьшее допустимое сопротивление изоляции аппаратов, вторичных цепей и электропроводок до 1 кВ

Испытуемый объект	Напряжение мегаомметра, В	Сопротивление изоляции, МОм	Примечание
Вторичные цепи управления, измерения, сигнализации и т. п. в электроустановках напряжением выше 1 кВ:			
шины оперативного тока и шины цепей напряжения на щите управления	500—1000	10,0	Испытание производится при отсоединенных цепях

Окончание табл. 4.4

Испытуемый объект	Напряжение мегаомметра, В	Сопротивление изоляции, МОм	Примечание
каждое присоединение вторичных цепей питания приводов выключателей и разъединителей	500—1000	1,0	Испытания выполняются со всеми присоединенными аппаратами (обмотки приводов, контакторы, реле, приборы, вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения и т. п.)
Вторичные цепи управления, защиты, сигнализации в релейно-контактных схемах установок до 1 кВ	500—1000	0,5	Испытания проводятся со всеми присоединенными аппаратами (магнитные пускатели, контакторы, реле, приборы и т. п.)
Цепи бесконтактных схем и системы регулирования и управления, а также присоединенные к ним элементы	По данным завода-изготовителя	—	—
Цепи управления, защиты и возбуждения машин постоянного тока напряжением до 1,1 кВ, присоединенные к цепям главного тока	500—1000	1	—
Силовые и осветительные электропроводки	1000	0,5	Испытание осветительных проводов производится до вворачивания ламп с присоединением нулевого провода к корпусу светильника. Изоляция измеряется между проводами и относительно земли
Распределительные устройства, шины и токопроводы напряжением до 1 кВ	500—1000	0,5	Испытания производятся для каждой секции распределительного устройства

Примечание. Согласно Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ) в схемах управления, защиты, измерения, автоматики и телемеханики допускается не выполнять измерение сопротивления изоляции, если для проверки требуется значительный объем работ по демонтажу схемы и эти цепи защищены предохранителями или обратнoзависимыми расцепителями на ток не более 16 А. Проверка состояния таких цепей, приборов и аппаратов должна производиться путем тщательного внешнего осмотра не реже 1 раза в год. При заземленной нейтрали осмотр производится совместно с проверкой обеспечения срабатывания защиты.

Перед испытаниями проводят внешний осмотр при котором проверяют:

- соответствие установленных аппаратов и приборов проекту и защищаемому механизму и завершение всех монтажных работ;
- наличие оконцевателей на проводах и жилах контрольных кабелей в панелях управления, бирок на кабелях с соответствующими надписями;
- параметры обмоток реле, катушек электромагнитных пускателей;
- наличие и исправность тепловых элементов реле и соответствие их параметров защищаемому электродвигателю;
- отсутствие вблизи тепловых реле реостатов, приборов отопления, струи воздуха от вентилятора и т. п.;
- отсутствие механических повреждений (обрывов, изломов, нарушений изоляции, трещин, сколов на корпусах приборов и реле, плотность прилегания и целость стекол реле и приборов и т. д.);
- надежность крепления аппаратов и правильность их установки;
- состояние основных и блокировочных контактов у пускателей, контакторов, реле, ключей, кнопок управления и т. п.;
- отсутствие пыли, грязи, ржавчины;
- целость заземляющей проводки от аппаратов до места присоединения ее к общей сети заземления;
- отсутствие прокладок, арретиров и других элементов, ограничивающих ход подвижных частей во время транспортировки;
- отсутствие перекосов контактов и механических частей, заеданий и залипаний подвижных частей аппаратов в промежуточных положениях (свободный ход подвижных частей аппаратов проверяется нажатием руки на подвижную часть);
- наличие и исправность возвратных пружин подвижной системы;
- наличие растворов и провалов у главных контактов и блок-контактов. Размер растворов и провалов должен соответствовать указанному в прикладываемой к аппарату инструкции.

У реверсивных пускателей проверяют также надежность работы механической блокировки с целью предотвращения одновременного срабатывания двух контакторов.

Испытания проводят в следующем объеме:

- 1) измерение сопротивления изоляции;
- 2) испытание повышенным напряжением промышленной частоты;
- 3) проверка действия максимальных, минимальных или независимых расцепителей автоматических выключателей;
- 4) проверка работы автоматических выключателей и контакторов при пониженном и номинальном напряжениях оперативного тока;
- 5) проверка релейной аппаратуры;
- 6) проверка правильности функционирования полностью собранных схем при различных значениях оперативного тока.

4.4.1. Измерение сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции цепей постоянному току является основным показателем состояния изоляции. При наличии внутренних и внешних дефектов (увлажнение, поверхностное загрязнение, повреждение при монтаже и т. п.) сопротивление изоляции снижается.

Сопротивление изоляции практически во всех случаях измеряют мегаомметром, поскольку в нем есть источник постоянного тока. Этот прибор состоит из источника напряжения — генератора постоянного тока (чаще всего с ручным приводом), магнитоэлектрического логометра и добавочных сопротивлений. Шкала прибора отградуирована в килоомах и мегаомах.

Наиболее распространенными являются мегаомметры М1101м на 100, 500 и 1000 В, М4100 (пять модификаций на 100, 250, 500, 1000 и 2500 В) и МС-05 на 2500 В.

Измерение сопротивления изоляции вторичных цепей управления, защиты, автоматики и сигнализации производят вместе с установленной в этих цепях аппаратурой. Все элементы вторичных цепей, обладающие пониженной изоляцией, испытываются по установленным для них нормам.

Перед проведением измерения сопротивления изоляции необходимо:

- убедиться, что на испытываемом объекте нет напряжения;
- проверить, на какое испытательное напряжение рассчитана изоляция каждого элемента или аппарата, и в случае наличия в цепи аппарата с пониженной изоляцией стабилизаторов, полупроводниковых и других элементов принять меры по их изъятию из цепи измерения. Если это невозможно, то их необходимо закоротить;
- снять плавкие вставки предохранителей;
- заземляющие концы проводов отсоединить от «земли»;
- очистить установленную аппаратуру от пыли и грязи, при необходимости продуть сжатым воздухом.

Перед использованием мегаомметра его проверяют при разомкнутых и короткозамкнутых проводах. В первом случае стрелка должна находиться у отметки бесконечность, во втором — у нуля.

При измерении сопротивления изоляции относительно «земли» зажим мегаомметра Л (кОм) подключают к испытуемой цепи, а зажим Э — к заземленной панели или щиту. Для цепей, не соединенных с «землей», порядок подключения зажимов мегаомметра может быть любым.

Для того чтобы на показания мегаомметра не оказывали влияния токи утечки по поверхности изоляции, особенно при измерениях в сырых помещениях, мегаомметр подключают к объекту измерения с использованием зажима Э (экран) мегаомметра. В этом случае токи утечки по поверхности изоляции отводятся в землю, минуя обмотку логометра.

Значение сопротивления изоляции в большей степени зависит от температуры. При температуре ниже +5 °С результаты измерения вследствие нестабильного состояния влаги не отражают истинного состояния изоляции.

Если сопротивление изоляции какой-либо цепи окажется ниже норм, указанных в табл. 4.4, или имеются замыкания на «землю», то необходимо цепь с поврежденной изоляцией разбить на более мелкие участки: отдельные обмотки, провода, кабели и, проверяя поочередно сопротивление изоляции каждого отдельного участка, найти место с поврежденной изоляцией и заменить поврежденный элемент цепи. Для повышения сопротивления изоляции до нормы можно сушить ее горячим воздухом от воздуходувки. После устранения повреждения сопротивление изоляции проверяют повторно.

4.4.2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты производится после проверки сопротивления изоляции при полностью собранных цепях при напряжении 1 кВ в течение 1 мин от специальных установок.

Однако согласно ПТЭ электроустановок потребителей это испытание может быть заменено измерением одномоментного значения сопротивления изоляции мегаомметром на напряжение 2500 В. При проведении испытания мегаомметром на 2500 В можно не проводить измерений сопротивления изоляции мегаомметром на 500—1000 В. Эта замена не допускается при испытаниях ответственных вращающихся машин и цепей релейной защиты и электроавтоматики, а также в случаях, специально оговоренных в ПТЭ.

Существует много типов испытательных установок, которые изготавливают в мастерских и лабораториях энергосистем и других организациях, например, ИВК, АИ-2000, ИУ-65, КУ-65 и другие. В случае их отсутствия испытание может проводиться по схеме, приведенной на рис. 4.2.

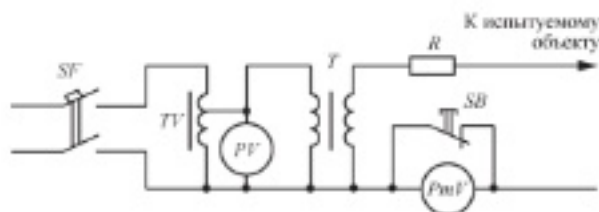


Рис. 4.2. Схема испытания изоляции цепей повышенным напряжением переменного тока: *SF* — автоматический выключатель; *TV* — автотрансформатор; *T* — испытательный трансформатор мощностью 200—300 В · А и коэффициентом трансформации 100—200/1000—6000 В; *PV* — вольтметр для контроля напряжения на выходе испытательного трансформатора; *R* — резистор для ограничения тока в испытательном трансформаторе при пробое в испытуемой изоляции (1000—2000 Ом); *PmA* — миллиамперметр для измерения тока утечки испытуемой изоляции; *SB* — кнопка, шунтирующая *PmA* для его защиты от перегрузок.

Во избежание недопустимых перенапряжений в изоляции испытательный трансформатор присоединяют к линейному, а не фазному напряжению (в линейном напряжении отсутствует наиболее опасная гармоника).

Испытание повышенным напряжением переменного тока производят для выявления грубых и сосредоточенных дефектов изоляции, которые в связи с недостаточным уровнем напряженности электрического поля не могли быть обнаружены при проверке сопротивления изоляции.

Согласно ПТЭ не испытываются цепи на напряжение 60 В и ниже.

Особое внимание требуется при испытании вторичных цепей во избежание выхода из строя аппаратуры, не подлежащей испытанию.

Перед испытанием необходимо осмотреть всю аппаратуру, кабели и зажимы, на которые будет подаваться повышенное напряжение; отключить все заземления, которые имеются в схемах, и аппараты, испытательное напряжение которых ниже 1000 В; шунтировать конденсаторы, так как они могут получить повреждения при испытаниях, и катушки с большой индуктивностью (обмотки трансформаторного тока, электромагниты и катушки некоторых реле) во избежание перенапряжений, связанных с появлением в определенных случаях резонанса; закоротить цепи полупроводниковых приборов, счетчиков, реле напряжений и все высокоомные сопротивления в схеме; отсоединить все источники тока.

Схему собирают и опробуют без подачи напряжения на испытуемый объект. Перед подачей напряжения проверяют выполнение всех требований Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ). Место испытания должно быть огорожено, вывешены плакаты безопасности, проверены все заземления. Лицо, проводящее испытание, должно стоять на резиновом коврике. Для уменьшения количества испытаний рекомендуется объединять перемычками испытуемые цепи в одну на контактах ключей, предохранителях и сборках зажимов.

Испытание проводят в следующем порядке:

- автотрансформатором медленно поднимают напряжение до 250–300 В, дальнейший подъем до 500–600 В выполняют с произвольной, но плавной скоростью, при этом напряжении проверяют утечку тока и убеждаются в отсутствии в испытуемой цепи скользящих разрядов и других видимых

или слышимых источников пробоя; до 1000 В подъем напряжения должен идти со скоростью 10—20 В/с;

- по истечении времени испытания (1 мин) напряжение плавно снижают, и при значении равном 300 В оно может быть отключено;
- изоляция считается выдержавшей испытание, если во время его не произошло пробоя, резких толчков и утечек тока, не было заметно дыма, запаха гари, не прослушивались разряды;
- в случае перекрытий изоляции испытания прекращают и повторяют, если причиной была поверхностная загрязненность. При пробое и обнаружении серьезных повреждений последние устраняют или заменяют поврежденный элемент и повторяют испытание до получения удовлетворительных результатов.

После испытаний схему восстанавливают.

4.4.3. Проверка действия максимальных, минимальных или независимых расцепителей автоматических выключателей

Проверку действия расцепителей производят у автоматических выключателей с номинальным током 200 А и выше. Выключатели с меньшим током проверяются по требованию заказчика.

Пределы действия расцепителей должны соответствовать заводским данным.

Действие расцепителя минимального напряжения (для большинства автоматов) проверяют в следующих режимах: он должен отключать автомат при снижении напряжения до 30 % номинального и ниже; не должен препятствовать включению автомата с рукояткой или рычажным приводом при напряжении 70 % номинального и выше, а автомата с электромеханическим приводом — при напряжении 85 % номинального и выше.

Независимый расцепитель должен надежно отключать автомат при напряжении, которое не должно превышать 50 % номинального.

Значительно более трудоемкой является работа по проверке электромагнитных полупроводниковых и тепловых расцепителей. Перед проведением испытаний следует убедиться, что номинальные токи расцепителей соответствуют особенностям работы защищаемого оборудования.

Электромагнитные расцепители проверяют поочередно испытательным током каждого полюса выключателя.

Проверка электромагнитных расцепителей у выключателей, не имеющих тепловых элементов, не представляет сложности, так как испытательный ток может быть увеличен от нуля до значения срабатывания расцепителя.

При проверке электромагнитных элементов комбинированных расцепителей следует учитывать, что тепловой элемент может отключить автомат раньше, чем сработает электромагнитный элемент. Кроме того, длительное прохождение испытательного тока через тепловой элемент может вызвать порчу последнего.

Проверку электромагнитных расцепителей, не имеющих тепловых элементов, осуществляют следующим образом: автомат включают вручную и к одному из полюсов присоединяют нагрузочное устройство. С помощью регулирующего устройства, включенного последовательно с проверяемым электромагнитным элементом, устанавливают испытательный ток на 15...30 %^{*} ниже значения тока уставки автомата. При этом ток автомат не должен отключаться. Затем испытательный ток поднимают до значения (указанного в инструкции), при котором автомат отключится. После отключения автомата испытательный ток уменьшают до нуля, и в том же порядке проверяют электромагнитные элементы в остальных полюсах автомата.

Поскольку автоматические выключатели по току отсечки калибруются на переменном токе, ток отсечки автоматического выключателя в цепи постоянного тока будет на 30 % больше при том же значении кратности. Поэтому для того чтобы автоматический выключатель на постоянном токе срабатывал при расчетном токе уставки, необходимо кратность тока отсечки устанавливать на 30 % меньше по сравнению с автоматическими выключателями, работающими в цепях переменного тока.

^{*} Точнее это значение тока устанавливается инструкциями завод-изготовителей.

Проверка электромагнитных элементов комбинированных расцепителей проводится следующим образом: к нагрузочному устройству подключают эквивалентное сопротивление, равное полному сопротивлению одного полюса испытываемого автомата (имеется в виду суммарное сопротивление теплового элемента, электромагнитного элемента и коммутирующих проводников). При помощи регулирующего устройства и амперметра, включенного в цепь эквивалентного сопротивления, значение тока устанавливают на 15–30 % ниже значения тока уставки автоматов.

Не изменяя значения установленного испытательного тока, отключают от нагрузочного устройства эквивалентное сопротивление и вместо него поочередно включают все полюсы автомата. При этом автомат не должен отключаться. После этого эквивалентное сопротивление вновь присоединяют к нагрузочному устройству и устанавливают значение испытательного тока на 15...30 % выше значения тока уставки автомата. Затем повторяют испытание с током отключения. При этом от воздействия каждого электромагнитного элемента автомат должен отключаться.

Чтобы убедиться, что отключение происходит от действия электромагнитных элементов, а не от тепловых, необходимо после каждого отключения незамедлительно (пока не остыли тепловые элементы) вручную включить автомат. Если автомат включается нормально, следовательно, он был отключен от действия электромагнитного элемента.

При срабатывании теплового элемента повторное включение автомата не произойдет.

Для испытания **тепловых расцепителей** собирают схему, изображенную на рис. 4.3. В каждом полюсе автоматического выключателя смонтирован свой тепловой элемент, воздействующий на общий расцепитель выключателя. Проверяют тепловые элементы двух-, трехкратным током. Если тепловой элемент не сработает и не произойдет отключение автомата за максимально допустимое время, определяемое время-токовой характеристикой, то необходимо незамедлительно отключить испытательный ток. Такой выключатель к эксплуатации непригоден и дальнейшим испытаниям не подлежит.

Проверка характеристики тепловых элементов при одновременной нагрузке всех полюсов выключателя испытательным током производится для уменьшения времени испытаний при большом количестве выключателей, подлежащих испытанию. Для этого

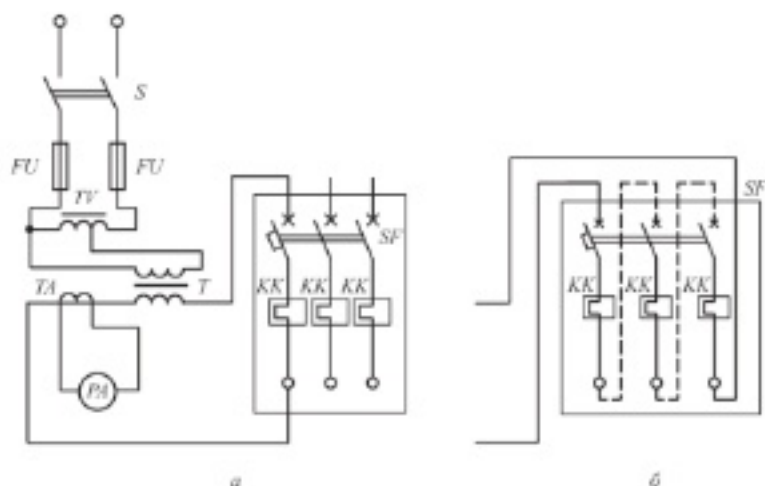


Рис. 4.3. Схемы включения полюсов автоматического выключателя для проверки тепловых расцепителей: *a* — включение одного полюса выключателя; *b* — включение фазы при одновременной нагрузке всех полюсов выключателя; *S* — рубильник; *FU* — плавкий предохранитель; *TV* — автотрансформатор; *T* — нагрузочный трансформатор; *TA* — трансформатор тока; *PA* — амперметр; *SF* — автоматический выключатель; *KK* — электротепловой расцепитель

все полюсы соединяют последовательно, автомат включают вручную и все его тепловые элементы нагружают испытательным током.

Если время отключения автомата находится в пределах, указанных в характеристике, то можно считать, что он пригоден к нормальной эксплуатации. В противном случае тепловые элементы проверяют на начальный ток срабатывания.

Иногда при отсутствии специальных нагрузочных устройств тепловую защиту можно проверить с помощью асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Подбирают различные двигатели (например, из резерва или вышедшие из строя из-за повреждения механической части); пусковой ток должен быть несколько ниже уставки мгновенных расцепителей. Для проверки тепловой защиты двигатель кратковременно включают через автомат на две фазы. Длительность включения рекомендуется ограничивать с помощью реле времени, настраиваемого примерно на 2 с. Такая длительность протекания пусковых токов (рав-

ных 5—7 номинальным) лежит в пределах термической устойчивости двигателя.

Проверка тепловых элементов на соответствие техническим условиям завода-изготовителя по току несрабатывания проводится, если при испытании двух-, трехкратным током время срабатывания автомата получилось меньше допустимого.

В этом случае автомат нагружают испытательным током, равным 1,1 номинального. Если автомат не отключится в течение 1 ч, то его характеристика удовлетворяет техническим условиям завода и такой автомат пригоден к эксплуатации. В противном случае его бракуют.

Автоматы, у которых время срабатывания при испытании получилось выше допустимого, проверяют в зависимости от серии и типа автомата испытательным током, равным 1,2—1,45 номинального, на срабатывание.

Если автомат отключится за время, не более указанного в заводских инструкциях, то основная характеристика его тепловых элементов — начальный ток срабатывания — находится в пределах, гарантируемых заводом. Такой автомат пригоден к эксплуатации.

4.4.4. Проверка работы автоматических выключателей и контакторов при пониженном и номинальном напряжениях оперативного тока

Значение напряжения и количество операций при испытании выключателей и контакторов многократным включением и отключением приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5. Проверка работы автоматических выключателей и контакторов

Операция	Напряжение оперативного тока, % номинального	Количество операций
Включение	90	5
Включение и отключение	100	5
Отключение	80	10

4.4.5. Проверка релейной аппаратуры

Проверка реле защиты, управления, автоматики и сигнализации и других устройств производится в соответствии с действующими инструкциями. Пределы срабатывания реле на рабочих уставках должны соответствовать расчетным данным.

Тепловые реле электромагнитных пускателей проверяют на соответствие их защищаемому электродвигателю. При этом необходимо определить:

- соответствие типа реле (номинального тока реле) и номинального тока нагревательного элемента номинальному току электродвигателя;
- время срабатывания реле в функции от тока реле с холодного состояния или после подогрева нагревательного элемента номинальным током.

Тепловое реле может надежно защищать двигатель только при условии, что нагрев и охлаждение теплового элемента подобны нагреву и охлаждению двигателя.

Следует иметь в виду, что при температуре окружающей среды выше 35 °С допустимая нагрузка двигателя снижается (его номинальный ток должен уменьшаться примерно на 1 % на каждый градус повышения температуры). При температуре окружающей среды ниже 35 °С, наоборот, допустимая нагрузка двигателя увеличивается.

В случае когда температура окружающей среды не равна номинальной, номинальный ток нагревателя необходимо привести к действительной температуре:

$$I_{\text{нагр}} \approx I_{\text{н.нагр}} \left(1 - \frac{\delta}{100} \frac{t_{\text{окр}} - t_{\text{н.окр}}}{10} \right), \quad (4.1)$$

где $I_{\text{нагр}}$ и $I_{\text{н.нагр}}$ — соответственно, ток нагревателя при температуре, отличной от номинальной, и ток нагревателя при номинальной температуре; $t_{\text{окр}}$ и $t_{\text{н.окр}}$ — соответственно действительная и номинальная температуры окружающей среды; δ — изменение номинального тока нагревателя на каждые 10 °С разницы значения $t_{\text{окр}}$ по сравнению с $t_{\text{н.окр}}$ (точные данные δ приводятся в паспортах реле, и значение их в среднем равно от 2 до 5 %).

Учитывая, что ток нагревателя приблизительно равен току двигателя, находят расчетное значение, по которому регулируют уставку или выбирают нагревательный элемент реле.

При включении нагревательных элементов через отдельные дополнительные трансформаторы тока реле и нагреватели выбирают аналогично, но в расчетных формулах вместо значения $I_{нар}$ подставляют значение, равное $I_{нар} (K_{т.т.})$, где $K_{т.т.}$ — коэффициент трансформации тока.

Рекомендуемая методика настройки:

- регулировочный рычаг реле выставляют в среднее положение;
- испытательную схему (см. рис. 4.3, а) включают в сеть и значение тока нагрузки поднимают до значения номинального тока защищаемого объекта;
- тепловые элементы остаются под током в течение 2 ч. Считается, что за 2 ч внутри реле установится постоянная температура. В течение этого времени тепловые реле не должны вызывать отключения объекта;
- по прошествии 2 ч ток нагрузки поднимают сверх номинального на 20 %. Начиная с этого момента реле должно отключать объект не менее через 20 мин.

Если при этой повышенной нагрузке тепловое реле за 20 мин не сработает, начинают медленно перемещать регулятор в сторону срабатывания реле до момента его отключения. Для контроля полученной уставки испытание реле можно повторить.

В случаях когда с помощью регулировочного рычага не удастся получить требуемую настройку, заменяют нагревательный элемент реле. По окончании настройки наносят краской метку на корпусе реле около выставленных рычагов.

Методика настройки реле, описанная выше, приемлема только в тех случаях, когда испытывается небольшое количество реле. При наладке большого количества аппаратуры вследствие чрезмерной продолжительности этот метод не применяют.

Настройку в таком случае производят следующим образом: включают испытательную схему и ток в нагревателе поднимают до значения трехкратного к номинальному. Для тепловых реле время срабатывания должно быть не более тех значений, которые указаны на графиках время-токовых характеристик.

При настройке тепловых реле следует иметь в виду, что нагревательные элементы калибруются заводом-изготовителем при

температуре окружающей среды 35 или 40 °С и допускают работу при токах до 10-, 15-кратных от номинального в кратковременном режиме.

В случае если время срабатывания реле при нагрузке трехкратным током выходит за установленные пределы, реле проверяют по полной программе.

Настройка защиты электродвигателей для гермоклапанов и задвижек имеет свои особенности, так как указанные двигатели работают в повторно-кратковременном режиме и защита от перегрузок для них согласно ПУЭ не требуется.

Конструктивное исполнение приводов гермоклапанов и задвижек предусматривает отключение электродвигателя как в конечных положениях, так и в любом промежуточном положении при повышении крутящего момента на валу электродвигателя. Однако этой защиты недостаточно, так как имеют место случаи отказа срабатывания муфты или конечных выключателей, вследствие чего двигатель останавливается в заторможенном состоянии. Это обстоятельство заставляет прибегать к защите от трехфазного торможения.

Опыт наладки показал, что двигатель может быть надежно защищен, если он будет отключен в течение 15—25 с с момента торможения.

Настройку защиты выполняют следующим образом:

- отсоединяют одну обмотку электродвигателя на пусковом аппарате. Включают электродвигатель и измеряют ток двухфазного торможения в одной из двух его обмоток, находящихся под напряжением. Измерение производят оперативно во избежание сторания обмоток двигателя;
- известно, что ток трехфазного торможения равен пусковому току электродвигателя. Его определяют, учитывая, что ток в обмотках электродвигателя при двухфазном торможении равен 87 % пускового тока;
- по графику время-токовой характеристики реле с холодного состояния определяют значение тока уставки реле (по отношению тока срабатывания к нормальному), соответствующий времени срабатывания 20 с;
- подбирают нагревательный элемент, соответствующий току уставки, и испытывают реле током трехфазного торможения.

Реле должно сработать не позднее 25 с.

Контактно-релейные аппараты проходят регулировку на заводах-изготовителях и, как правило, полностью соответствуют каталожным данным. Наладочные испытания обычно сводятся к проверке механической части аппаратов (проверке крепления, затяжке болтов, зачистке рабочих поверхностей и т. п.).

При наладке релейно-контактной аппаратуры следует иметь в виду, что размеры растворов, провалов и нажатий главных контактов и блок-контактов должны находиться в определенных пределах, соответствующих техническим требованиям. Малое нажатие контактов в условиях повышенной влажности и агрессивной среды вызывает их перегрев и окисление, что в итоге может привести к работе электродвигателя на двух фазах. Чрезмерное нажатие препятствует включению двигателей при пониженном напряжении (часто бывает в сельских протяженных сетях).

Причиной гудения и вибрации контакторов может быть перекос якоря, плохое прилегание якоря к ярму, повышенная жесткость контактных пружин, повреждение короткозамкнутых (демпферных) витков или неправильный их подбор при ревизии и сборке, несоответствие катушки каталожным данным, нарушение шихтовки магнитопровода.

Общее сопротивление катушки определяется в основном ее индуктивным сопротивлением, и в момент включения, когда оно мало, ток катушки может быть 10—15 раз больше, чем при подтянутом якоря. Поэтому проверка контактора на напряжение втягивания должно осуществляться быстро, во избежание перегрева катушек током включения. Недовключение контактора (между якорем и ярмом есть зазор) вызывает увеличение тока в катушке, в результате чего изоляция обугливается.

Повышение напряжения втягивания якоря может происходить вследствие увеличения числа витков катушки выше номинального, завышенного зазора якоря, чрезмерной затяжки возвратной пружины, затирания контактов в дугогасительных камерах и осях.

В эксплуатации при температуре окружающей среды 30—40 °С температура деталей контакторов (кроме демпферного витка) обычно не превышает 80 °С, температура, равная 100—110 °С, даже если на находится в пределах нормы для изоляции, указывает на чрезмерную нагрузку частей контактора. Как правило, это свидетельствует о неправильной механической регулировке или плохом подборе дугогасительной системы.

Отклонению температуры окружающей среды от 20 °С на каждые ± 10 °С соответствует изменение напряжения втягивания на $\pm(2,5-3)$ % номинального напряжения.

Комплектные испытательные устройства, которые содержат всю необходимую для наладки испытательную и коммутационную аппаратуру, очень удобны при наладке релейной аппаратуры. Их применение позволяет исключить непроизводительные затраты времени на сборку испытательных схем, возможные при этом ошибки и повысить безопасность работ, так как все токоведущие части устройств, кроме выводных зажимов, закрыты. Распространены комплектные переносные устройства типов УПЗ-1, УПЗ-2, У5052, У5053 и другие для проверки устройств релейной защиты.

Некоторые устройства оснащены встроенными измерительными приборами. Они позволяют регулировать и измерять однофазный ток и напряжение, измерять время срабатывания или возврата различных устройств, имеют регулируемый источник выпрямленного тока и напряжения и другую аппаратуру. Устройства снабжены подробными инструкциями по производству измерений, проверке и настройке реле.

4.4.6. Проверка правильности функционирования полностью собранных схем при различных напряжениях оперативного тока

Эти испытания являются заключительным этапом наладки цепей напряжением до 1 кВ перед их включением в постоянную работу. Перед проверкой устанавливают все предохранители, сигнальную арматуру, подключают полупроводниковые приборы (если они имеются в схеме), которые были закорочены или впаяны на время испытания изоляции. Регулируемое напряжение в схему подают любым регулятором напряжения.

В ходе проверки функционирования схем определяют:

- соответствие работы схем принципиальным чертежам проекта;
- соответствие сигнализации положению аппаратов;
- четкость и правильность действия блокировок;
- отсутствие ложных срабатываний;

- четкое и надежное срабатывание аппаратов (автоматических выключателей, пускателей, электромагнитных реле);
- отсутствие гудения магнитной системы пускателей, реле и т. п.

Все элементы схем должны надежно функционировать в предусмотренной проектом последовательности при напряжениях оперативного тока, приведенных в табл. 4.6.

Таблица 4.6. Напряжения оперативного тока, при которых должно обеспечиваться нормальное функционирование схем

Испытуемый объект	Напряжения оперативного тока, % номинального	Примечание
Схемы защиты и сигнализации в установках напряжением выше 1 кВ	80, 100	—
Схемы управления в установках напряжением выше 1 кВ:	испытание на включение	—
	испытание на отключение	—
Релейно-контактные схемы в установках напряжением до 1 кВ	90, 100	Для простых схем кнопка — магнитный пускатель проверка работы на пониженном напряжении не производится
Бесконтактные схемы на логических элементах	85, 100, 110	Изменение напряжения производится на входе в блок питания

5. ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

5.1. Основные термины

Ниже приведены определения, относящиеся к заземлению электроустановок согласно ПУЭ.

Глухозаземленная нейтраль — нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (например, через трансформаторы тока).

Изолированная нейтраль — нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты, заземляющие дугогасящие реакторы и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление.

Заземление какой-либо части электроустановки — преднамеренное электрическое соединение этой части с заземляющим устройством.

Защитное заземление — заземление части электроустановки с целью обеспечения электробезопасности.

Рабочее заземление — заземление какой-либо точки токоведущих частей электроустановки, необходимое для обеспечения работы электроустановки.

Зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ — преднамеренное соединение частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока.

Заземляющее устройство — совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлитель — проводник (электрод) или совокупность металлических соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в соприкосновении с землей.

Заземляющий проводник — проводник, соединяющий заземляющие части с заземлителем.

Нулевой защитный проводник в электроустановках до 1 кВ — проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника в трехпроводных сетях постоянного тока.

В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью нулевой рабочий проводник, т. е. используемый для питания электроприемников, может выполнять функции нулевого защитного проводника.

Зона растекания — область земли, в пределах которой возникает заметный градиент потенциала при стекании тока с заземлителя.

Зона нулевого потенциала — зона земли за пределами зоны растекания.

Напряжение на заземляющем устройстве — напряжение, возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой ввода тока в заземляющее устройство и зоной нулевого потенциала.

Напряжение относительно земли при замыкании на корпус — напряжение между этим корпусом и зоной нулевого потенциала.

Напряжение прикосновения — напряжение между двумя точками цепи при замыкании на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека.

Напряжение шага — напряжение между двумя точками земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю, при одновременном касании их ногами человека.

Ток замыкания на землю — ток, стекающий в землю через место замыкания.

Сопротивление заземляющего устройства — отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

5.2. Требования к заземляющим устройствам

Требования ПЭУ и СНиП 3.05.06—85 «Электротехнические устройства» на монтаж и испытания заземляющих устройств распространяются на все электроустановки постоянного и переменного тока напряжением до 1 кВ и выше.

Заземление электроустановок выполняют:

- при напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока во всех электроустановках;
- при номинальных напряжениях выше 42 В, но ниже 380 В переменного тока и выше 110 В, но ниже 440 В постоянного тока — только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках.

Заземление или зануление электроустановок не требуется при номинальных напряжениях до 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока во всех случаях, кроме тех, когда металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей и проводов с этим напряжением находятся вместе с кабелями и проводами, металлические оболочки и броня которых подлежат заземлению или занулению.

К частям, подлежащим занулению или заземлению, относятся:

- корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и подобных устройств, причем не допускается заземление вторичной обмотки разделительного трансформатора. Корпус трансформатора в зависимости от режима нейтрали сети, питающей первичную обмотку, должен быть заземлен или занулен. Заземление корпуса электроприемника, присоединенного к такому трансформатору, не требуется. Если понижающие трансформаторы не являются разделительными, то в зависимости от режима нейтрали сети, питающей первичную обмотку, следует заземлять или занулять корпус трансформатора, а также один из выводов (одну из фаз) или нейтраль (среднюю точку) вторичной обмотки;
- приводы электрических аппаратов;
- вторичные обмотки измерительных трансформаторов. Для защит, объединяющих несколько комплектов трансформаторов тока, заземление должно быть предусмотрено в одной точке; в этом случае допускается заземление через

пробивной предохранитель с пробивным напряжением не выше 1 кВ с шунтирующим сопротивлением 100 Ом для стекания статического заряда. Для трансформаторов напряжения, используемых в качестве источников оперативного тока, если не предусматривается рабочее заземление одного из полюсов сети оперативного тока, защитное заземление вторичных обмоток должно быть осуществлено через пробивной телохранитель;

- каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов, а также съемные или открывающиеся части, если на последних установлено электрооборудование выше 42 В переменного тока или более 110 В постоянного тока;
- металлические конструкции распределительных устройств, металлические кабельные конструкции, металлические кабельные соединительные муфты, металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей, металлических оболочек проводов, металлические рукава и трубы электропроводки, кожухи и опорные конструкции шинопроводов, лотки, короба, струны, тросы и стальные полосы, на которых укреплены кабели и провода (кроме струн, тросов и полос, по которым проложены кабели с заземленной или зануленной металлической оболочкой или броней), а также другие металлические конструкции, на которых устанавливается электрооборудование;
- металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников;
- электрооборудование, размещенное на движущихся частях станков, машин и механизмов.

Не требуется преднамеренно заземлять или занулять:

- корпуса электрооборудования, аппаратов и электромонтажных конструкций, установленных на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, на распределительных устройствах, на щитах, шкафах, щитках, станинах станков, машин и механизмов, при условии обеспечения надежного электрического контакта с заземленными или зануленными основаниями;
- металлоконструкции при условии надежного электрического контакта между этими конструкциями и установленными на них заземленным или зануленным электрооборудо-

ванием. При этом указанные конструкции нельзя использовать для заземления или зануления установленного на них другого электрооборудования;

- арматуру изоляторов всех типов, оттяжек, кронштейнов и осветительной арматуры при установке их на деревянных опорах воздушных линий или на деревянных конструкциях открытых подстанций, если это не требуется по условиям защиты от атмосферных перенапряжений. При прокладке кабеля с металлической заземленной оболочкой или неизолированного заземляющего проводника на деревянной опоре перечисленные части, расположенные на этой опоре, должны быть заземлены или занулены;
- съемные или открывающиеся части металлических каркасов камер распределительных устройств, шкафов, ограждений, если на съемных (открывающихся) частях не установлено электрооборудование или если напряжение установленного оборудования не превышает 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока;
- корпуса электроприемников с двойной изоляцией;
- металлические скобы, закрепы, отрезки труб механической защиты кабелей в местах их прохода через стены и перекрытия и другие подобные детали, в том числе протяжные и ответвительные коробки размером до 100 см², электропроводок, выполняемых кабелями или изолированными проводами, прокладываемыми по стенам, перекрытиям и другим элементам строений.

Каждый заземляемый элемент электроустановки присоединяют к заземлителю или к заземляющей части отдельного ответвления. Последовательное включение в заземляющий проводник нескольких заземляемых частей электроустановки запрещено.

Ответвления к однофазным электроприемникам для их заземления осуществляют отдельным (третьим) проводником. Использование для этой цели нулевого (рабочего) провода запрещается.

Заземляющие и нулевые защитные проводники в электроустановках до 1 кВ должны иметь размеры не менее приведенных в табл. 5.1.

Использование неизолированных алюминиевых проводников для прокладки в земле в качестве заземляющих или нулевых защитных проводников не допускается.

Таблица 5.1. Наименьшие размеры заземляющих проводников в электроустановках до 1 кВ

Заземляющие проводники	Медь	Алюминий	Сталь		
			в зданиях	в наружных устройствах	в земле
Неизолированные проводники: площадь сечения, мм ² диаметр, мм	4	6	—	—	—
	—	—	5	6	10
Изолированные провода, сечение, мм	1,5	2,5	—	—	—
Заземляющие и нулевые жилы кабелей и многожильных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами: сечение, мм ²	1	2,5	—	—	—
Угловая сталь, толщина полки, мм	—	—	2	2,5	4
Полосовая сталь: сечение, мм ² толщина, мм	—	—	24	48	48
	—	—	3	4	4
Водогазопроводные трубы (стальные): толщина стенки, мм	—	—	2,5	2,5	3,5
Тонкостенные трубы (стальные): толщина стенки, мм	—	—	1,5	2,5	Не допускается

В цепи заземляющих проводников не должно быть разъединяющих приспособлений и предохранителей.

В помещениях сухих, без агрессивной среды, заземляющие проводники допускается прокладывать непосредственно по стенам. Во влажных, сырых и особо сырых помещениях и помещениях с агрессивной средой их следует прокладывать на расстоянии от стен не менее 10 мм.

Заземляющие проводники должны быть защищены от химических воздействий. В местах прекрещивания этих проводников с кабелями, трубопроводами, железнодорожными путями, в местах их ввода в здания и в других местах, где возможны механические повреждения, эти проводники должны быть защищены. Прокладка заземляющих проводников в местах прохода через стены и перекрытия должна выполняться, как правило, с их непосредственной заделкой. В этих местах проводники не долж-

ны иметь соединений и ответвлений. У мест ввода заземляющих проводников в здания должны быть предусмотрены опознавательные знаки. Использование специально проложенных заземляющих или нулевых защитных проводников для иных целей не допускается.

Заземляющие устройства состоят обычно из следующих элементов:

- грунта (земли), свойства которого определяются его удельным сопротивлением: хороший грунт (влажный, глинистый) имеет удельное сопротивление до $1 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; плохой (сухой песок, каменистые участки) — более $10 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
- искусственных заземлителей, которые обычно выполняются из погруженных в землю стальных электродов (вертикальных в виде труб, стержней, уголков и горизонтальных в виде углубленной стальной полосы или круглой стали);
- естественных заземлителей — всех имеющих надежное соединение с землей металлических и железобетонных элементов зданий и сооружений, металлические конструкции и оборудование которых могут быть использованы для стекания токов в землю (оболочки кабелей, трубопроводы и т. п.). Естественные заземлители должны быть присоединены к заземляющим магистралям не менее чем в двух местах. ПЭУ рекомендует в первую очередь использовать именно естественные заземлители. Если при этом сопротивление заземляющих устройств или напряжение прикосновения имеют допустимые значения, а также обеспечиваются нормированные значения напряжения на заземляющем устройстве, то искусственные заземлители должны применяться лишь при необходимости снижения плотности токов, протекающих по естественным заземлителям или стекающих с них. Запрещается применять в качестве естественных заземлителей чугунные трубопроводы и временные трубопроводы строительных площадок, алюминиевые оболочки кабелей и неизолированные алюминиевые проводники;
- заземляющих магистралей и проводников — наружных (наземных) проводников, связывающих отдельные заземлители с подлежащим заземлению оборудованием.

5.3. Наладка заземляющих устройств

Проверка соответствия смонтированных заземляющих устройств предъявляемым к ним требованиям, описанным выше, входит в состав пусконаладочных работ. Вводимые в эксплуатацию заземляющие устройства подвергаются следующим испытаниям (согласно ПЭУ):

- 1) проверка элементов заземляющих устройств;
- 2) проверка цепи между заземлителями и заземляющими элементами;
- 3) проверка состояния пробивных предохранителей в электроустановках до 1 кВ;
- 4) проверка цепи фаза—ноль в электроустановках до 1 кВ с глухим заземлением нейтрали;
- 5) измерение сопротивления заземляющих устройств.

5.3.1. Проверка элементов заземляющего устройства

Состояние элементов заземляющего устройства определяют путем осмотра элементов в пределах доступности осмотра. При осмотре проверяют соответствие проекту глубины заложения заземлителей, соединений искусственного заземлителя с естественными и защиты заземляющих проводников от механических повреждений (в местах, где возможны механические повреждения) и т. д.

Магистраль заземления и ответвления от них в закрытых помещениях и наружных установках должны быть доступны для осмотра и иметь площади сечения не менее приведенных в табл. 5.1.

Последовательное подключение отдельных аппаратов недопустимо.

5.3.2. Проверка цепи между заземлителями и заземляющими элементами

Проверяют целостность проводников, соединяющих аппаратуру с контуром заземления, надежность болтовых и сварных соединений (надежность сварных швов проверяют легкими ударами мо-

лотка), а также наличие непосредственного соединения каждого аппарата с магистралью заземления или с заземленными металлическими конструкциями.

Значение сопротивления связи не нормируется, но практически установлено, что хорошее подсоединение к заземлителю обеспечивает сопротивление связи 0,05–0,1 Ом. Поэтому, помимо внешнего осмотра качества соединений, производят также электрические измерения: данные этих измерений нужны для эксплуатационных измерений как исходные.

Перед измерением необходимо убедиться в отсутствии напряжения на корпусах проверяемого оборудования.

В сетях простой конфигурации сопротивление измеряют непосредственно между заземлителем и каждым заземляемым элементом. В сложных, разветвленных сетях сначала измеряют сопротивление между заземлителем и отдельными участками магистрали заземления, а затем — между этими участками и заземляемыми элементами.

Сопротивление соединения измеряют различными способами, в том числе мостами постоянного тока и методом амперметра-вольтметра. В случае измерения мостами постоянного тока, при малых значениях сопротивления между заземлителями и заземленными элементами, из полученного результата необходимо вычесть значение сопротивления соединяющих проводов.

При измерении методом амперметра-вольтметра (рис. 5.1) могут быть выявлены скрытые дефекты: протекание токов 10–30 А вызывает нагрев и искрение в плохих контактных соединениях, выгорание случайных перемычек. Отсутствие тока или малое его значение, колебание стрелки амперметра также указывают на разрыв или плохой контакт.

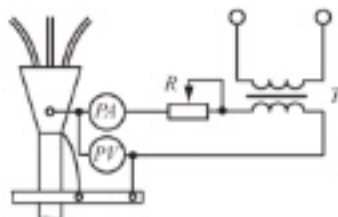


Рис. 5.1. Измерение сопротивления связи методом амперметра-вольтметра: *PA* — амперметр; *PV* — автотрансформатор; *R* — резистор; *T* — трансформатор

5.3.3. Проверка состояния пробивных предохранителей в электроустановках до 1 кВ

Трехфазная сеть до 1 кВ с изолированной нейтралью или однофазная сеть до 1 кВ с изолированным выводом, связанная через трансформатор с сетью выше 1 кВ, должна быть защищена пробивным предохранителем от опасности, возникающей при повреждении изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений трансформатора. Пробивной предохранитель должен быть установлен в нейтрали или фазе на стороне низшего напряжения каждого трансформатора.

Предохранители подвергают наружному осмотру, при котором проверяют состояние наружной поверхности и внутренних частей, отсутствие сколов, трещин, загрязнения фарфоровой изоляции, целостность слюдяной прокладки, чистоту разрядных поверхностей электродов.

Для проверки исправности пробивных предохранителей измеряют сопротивление изоляции и определяют пробивное напряжение промышленной частоты. Сопротивление изоляции (его измеряют мегаомметром на 250 В) не нормируется; на основании опытных данных у исправного изолятора оно обычно бывает не менее 4 МОм.

Пробивное напряжение определяют по схеме, изображенной на рис. 5.2. При помощи регулировочного трансформатора TU и повысительного трансформатора T поднимают напряжение до пробоя промежутка в пробивном предохранителе. Балластное сопротивление $R_0 = 5-10$ кОм ограничивает ток пробоя, защищая разрядные поверхности от подгорания, и облегчает фиксирование напряжения, при котором произошел пробой.

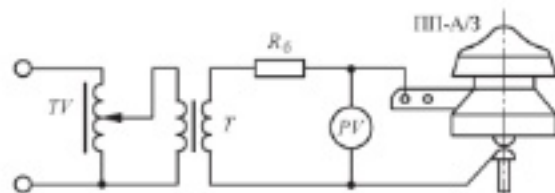


Рис. 5.2. Схема измерения напряжения пробоя пробивного предохранителя: TU — регулировочный трансформатор; PV — вольтметр; R_0 — балластное сопротивление; T — повысительный трансформатор

Если пробивное напряжение соответствует данным испытываемого предохранителя, например, указанного в табл. 5.2, то его снижают и снова повышают до 0,75 напряжения пробоя. Если при этом не наступит пробой, то испытательную установку отключают и повторно измеряют сопротивление изоляции. При существенном снижении сопротивления изоляции (более 30 %) следует разобрать предохранитель, зачистить подгоревшие разрядные поверхности и повторить испытания, увеличив балластное сопротивление.

Таблица 5.2. Пробивные предохранители типа ПП-А/3

Исполнение	Номинальное напряжение, В	Пределы пробивного напряжения, В	Разрядный проемикоток (толщина сплошной прокладки), мм
I	220	351—500	0,08±0,02
II	380	701—1000	0,21±0,03

Предохранитель считается исправным, если сопротивление его изоляции не ниже 4 МОм и пробивное напряжение находится в заданных для испытываемого предохранителя в пределах.

5.3.4. Проверка цепи фаза—ноль в электроустановках с глухим заземлением нейтрали

Целью проверки является определение тока короткого замыкания между фазами и заземляющим проводником. Этот ток должен иметь определенную кратность по отношению к току плавкой вставки или расцепителя автоматического выключателя защищаемого присоединения.

Сопротивление петли фаза—ноль состоит из сопротивлений трансформатора, фазного провода и нулевого провода. Проводимость фазных и нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой защитный проводник возник ток короткого замыкания не менее, чем приведенный в табл. 5.3.

Проверку следует производить одним из способов: непосредственным измерением тока однофазного замыкания на корпус или нулевой провод с помощью специальных приборов; измере-

Таблица 5.3. Наименьшая допустимая кратность тока короткого замыкания относительно номинальных уставок защитных устройств

Виды защиты сети от однофазных замыканий	Кратность тока однофазного короткого замыкания относительно уставки защиты для сети, проложенной в помещении	
	несрывоопасном	взрывоопасном
Плавкий предохранитель	3	4
Автоматический выключатель с обратной зависимостью от тока характеристикой	3	6
Автоматический выключатель с электромагнитным расцепителем, если известен коэффициент разброса уставки K_f (по данным завода)	$1,1K_f$	$1,1K_f$
То же при отсутствии заводских данных при токе уставки:		
до 100 А	1,4	1,4
более 100 А	1,25	1,25

нием полного сопротивления цепи фаза—ноль с последующим вычислением тока короткого замыкания.

Измерение тока однофазного короткого замыкания проводят с помощью приборов, разработанных энергосистемами и другими организациями, например, прибором типа ИПЗ-1, который основан на измерении тока короткого замыкания, осуществляемый через шунт, имеющий активное сопротивление 0,00375 Ом. Длительность протекания тока короткого замыкания не превышает 0,014 с, что обеспечивает безопасность персонала в случае прикосновения к корпусам электрооборудования при испытании и не нарушает нормальной работы электроустановки. Измерение осуществляется стрелочным прибором, шкала которого проградуирована в действующих значениях измеряемого тока. Для безопасности персонала при измерениях в приборе установлено реле, которое допускает работу прибора только при исправном заземлении испытываемого объекта.

Измерение сопротивления цепи фаза—ноль проводят по схеме, показанной на рис. 5.3.

При включенном рубильнике S и отключенных кнопках снимают показания вольтметра. С помощью кнопки $SB1$ включают активное сопротивление R и определяют ток и напряжение, ко-

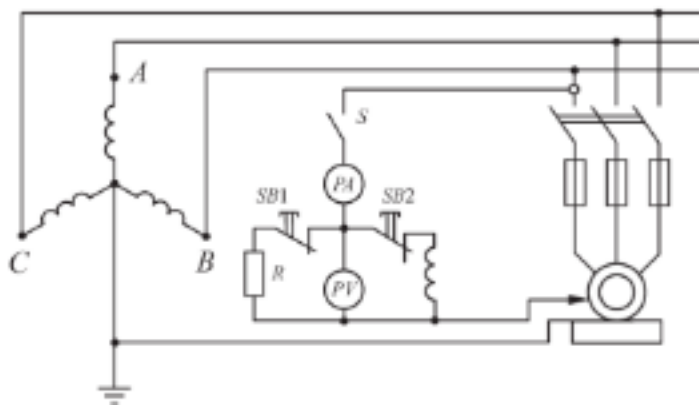


Рис. 5.3. Схема измерения сопротивления петли фаза—нуль: S — рубильник; R — активное сопротивление; $SB1$, $SB2$ — кнопки

торые должны быть несколько меньше, чем до включения нагрузки. Активное сопротивление петли можно вычислить по формуле:

$$z_n = \frac{\Delta U_1}{I_R}, \quad (5.1)$$

где ΔU_1 — разность показаний вольтметра при отключенном и включенном сопротивлении R ; I_R — ток в петле при включенном сопротивлении.

Повторяют измерения тока и напряжения с помощью кнопки $SB2$ (кнопка $SB1$ отключена). По результатам измерения определяют индуктивное сопротивление петли:

$$x_n = \frac{\Delta U_2}{I_x}, \quad (5.2)$$

где ΔU_2 — разность показаний вольтметра при отключенном и включенном сопротивлении x ; I_x — ток в петле при включении сопротивления x .

Полное сопротивление петли равно:

$$Z_n = \sqrt{z_n^2 + x_n^2}. \quad (5.3)$$

В качестве активного можно использовать проволочное сопротивление порядка 7—12 Ом, рассчитанное на кратковременный ток 20—30 А. В качестве индуктивного сопротивления можно использовать дроссели и катушки с железным сердечником.

Колебания напряжения в сети в процессе измерения могут привести к ошибкам.

На аналогичном принципе основан прибор типа М-417, предназначенный для измерения сопротивления цепи фаза—ноль в сетях переменного тока промышленной частоты напряжением 380 В без отключения испытываемого объекта. Замыкание осуществляется на резистор сопротивлением 12 Ом. Поскольку чаще всего встречается сопротивление петли меньше 1 Ом, погрешность измерения достаточно велика (тем больше, чем меньше сопротивление петли).

Приборы типа Щ41160 принципиально отличаются тем, что в основу их работы положен способ кратковременного искусственного короткого замыкания цепи фаза—ноль на малое сопротивление, вследствие чего ошибка измерений резко уменьшается. Падение напряжения на этом сопротивлении запоминается электронной схемой, а на цифровом табло появляется соответствующее значение тока короткого замыкания или сопротивление петли.

5.3.5. Измерение сопротивления заземляющих устройств

Прежде чем приступить к измерению сопротивления заземляющих устройств (заземлителя), необходимо ознакомиться с проектом на его выполнение и актом на скрытые работы по заземлению. Последний представляет либо заказчик, либо представитель той организации, которая выполняла задание проекта. Если в акте указано, что задание выполнено по проекту, а все отклонения согласованы с авторами проекта, то приступают к осмотру открытых элементов заземляющего устройства. Надежность сварки проверяют простукиванием молотком; сварка должна быть выполнена внахлестку.

Элементы заземляющих устройств не окрашивают (ржавчина допустима). Подземная часть заземляющего устройства должна иметь надежное соединение с надземной не менее чем в двух

местах. Выборочно осматривают участки заземляющего устройства, находящегося в земле, после вскрытия заземлителей в нескольких местах. Осматривают места подключения естественных заземлителей.

Сопротивление заземляющих устройств рекомендуется измерять в период наименьшей проводимости грунта, когда он промерзает зимой или просыхает летом.

Для измерения сопротивления заземлителя, которое определяется как отношение напряжения на нем к току, проходящему через него в землю, создают искусственную цепь тока через испытываемый заземлитель. Для этого на некотором расстоянии от него располагают вспомогательный заземлитель, подключаемый вместе с ним к источнику питания. Для измерения падения напряжения в сопротивлении испытываемого заземлителя при прохождении через него тока в зоне нулевого потенциала (т. е. в зоне за пределами той области, где ток растекания создает заметную разность потенциалов) располагают зонд.

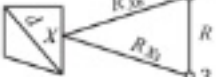
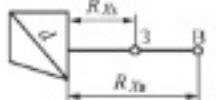

Точность измерения сопротивления заземлителей зависит от взаимного расположения испытываемого и вспомогательного заземлителей и от расстояния между ними (табл. 5.4).

В качестве вспомогательного заземлителя и зонда применяют стальные неокрашенные электроды диаметром 10–20 мм, длиной 0,8–1 м. Электроды забивают в плотный естественный (ненасыпной) грунт на глубину не менее 0,5 м. Грунты с большим сопротивлением места, в которое нужно забить вспомогательные электроды, уплотняют либо увлажняют водой, раствором соли или кислоты.

Для измерения сопротивления заземляющих устройств применяют переменный ток, так как при постоянном токе в земле возникают ЭДС поляризации, искажающие результаты измерений.

В практике наладочных работ наибольшее распространение получил метод измерений с помощью специального прибора-измерителя сопротивлений типа М-416. Измерители М-416 предназначены для измерения сопротивлений заземляющих устройств, активных сопротивлений, их также используют для определения удельного сопротивления грунта. Прибор рассчитан для работы при температуре окружающего воздуха от –25 до +60 °С и относительной влажности до 95 % при температу-

Таблица 5.4. Рекомендуемое взаимное расположение и минимальные расстояния между испытуемым и вспомогательными заземлителями

Заземлитель		Расположение вспомога- тельных заземлителей	Минимальное расстояние, м
Сложный (контурный)	Двухлучевая схема		$80 \leq (R_{XB} - R_{X3} - 2R_{XB}) \geq 2d$
	Однолучевая схема		$160 \leq (2R_{XB} - R_{XB}) \geq 3d$
Лучевой			$(R_{XB} - R_{X3} - 2R_{XB}) \geq \frac{1}{2}d$
Сосредоточенный			$(R_{XB} - R_{X3} - R_{XB}) \geq 20$

Примечание. В — вспомогательный заземлитель; 3 — зонд; X — испытуемый заземлитель; d — большая диагональ.

ре +35 °С. Его можно применять во взрывоопасных помещени-
ях. Принцип действия прибора основан на компенсационном
принципе: падение напряжения на измеряемом сопротивлении
уравновешивается падением напряжения на калиброванном ре-
зисторе. Прибор имеет четыре диапазона измерения: 0,1—10;
0,5—50; 2—200 и 10—1000 Ом.

Для подключения измеряемого сопротивления, вспомога-
тельного заземления и зонда на приборе имеются четыре зажи-
ма, обозначенные цифрами 1, 2, 3, 4. При грубых измерениях
сопротивления заземления зажимы 1 и 2 соединяют перемычкой
и прибор подключают к измеряемому объекту по трехзажимной
схеме (рис. 5.4, а). При точных измерениях снимают перемычку
с зажимов 1 и 2 и прибор подключают по четырехзажимной схе-

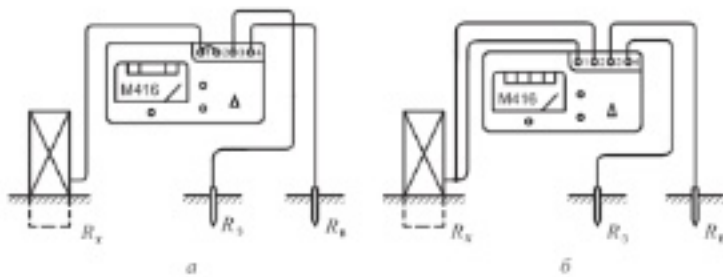


Рис. 5.4. Подключение прибора М-416 при измерениях: *а* — по трехзатжимной схеме; *б* — по четырехзатжимной схеме; R_x — измеряемое сопротивление; R_n — сопротивление вспомогательного заземлителя; R_z — сопротивление зонда

ме (рис. 5.4, б). Это позволяет исключить погрешность, вносимую сопротивлением соединительных проводов.

Перед работой переключатель устанавливают в положение «Контроль 5 Ом», нажимают кнопку и вращением ручки «Реохорд» добиваются положения стрелки индикатора на нулевой отметке. На шкале при этом должно быть показание $5 \pm 0,35$ Ом при нормальных климатических условиях и номинальном напряжении источника питания.

Прибор рассчитан для работы при напряжении источника питания от 3,8 до 4,8 В. При измерении прибор располагают в непосредственной близости от измеряемого заземления, так как при этом на результате измерения меньше сказывается сопротивление соединительных проводов. Стержни, образующие вспомогательный заземлитель и потенциальный электрод (зонд), устанавливают на расстояниях, указанных в табл. 5.4. Глубина погружения в грунт должна быть не менее 0,5 м.

Для повышения точности измерения уменьшают сопротивление вспомогательных заземлителей путем увлажнения почвы вокруг них или увеличивают их количество. Дополнительные стержни забивают на расстоянии не менее 2—3 м друг от друга. Все стержни, образующие контур зонда или вспомогательного заземлителя, соединяют между собой.

Независимо от выбранной схемы измерение проводят в такой последовательности:

- 1) переключатель В1 устанавливают в положение «х1»;
- 2) нажимают кнопку и, вращая ручку «Реохорд», добиваются максимального приближения стрелки к нулю.

Результат измерения равен произведению показания шкалы «Реохорд» на множитель. Если измеряемое сопротивление окажется больше 10 Ом, переключатель устанавливают в положение «x5», «x20» или «x100» и повторяют операцию п. 2.

При грунтах с высоким удельным сопротивлением измерения будут приблизительными.

Когда прибор М-416 дает большую погрешность, можно применить более совершенный измеритель заземления Ф4103, нижний предел измерения которого 0,03 Ом. Он обладает высоким входным сопротивлением и защищен от помех, что имеет большое значение, так как, например, в распределительных подстанциях блуждающие токи могут превышать полезный сигнал более чем в 1000 раз. Средняя погрешность у измерителя заземления Ф4103 в 7,5 раз ниже, чем у М-416, и измерения могут проводиться при очень высоких сопротивлениях грунта (песок, вечная мерзлота). Прибор питается от сухих элементов, и масса его не превышает 3 кг.

Для получения высокой точности измерений, при достаточной чувствительности приборов, можно также применить схемы с амперметром и вольтметром (рис. 5.5). Питание схемы непосредственно от сети недопустимо вследствие влияния на результаты измерения проводимости изоляции сети. Для питания схемы можно использовать сварочные, нагрузочные и котельные трансформаторы. Амперметр и вольтметр подключают к испытуемому заземлителю отдельными проводами, так как в противном случае при случайном отсоединении от заземлителя соединенных вместе проводов вольтметр окажется под полным напряжением и может быть поврежден.

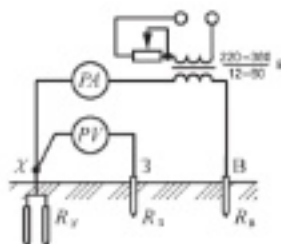


Рис. 5.5. Измерение сопротивления заземлителя методом амперметра-вольтметра: PV — вольтметр; PA — амперметр

Сущность метода заключается в измерении тока I , проходящего через испытуемый заземлитель, и напряжения U между заземлителем и зондом. Сопротивление испытуемого заземлителя $R = U/I$.

Для достижения точности измерения сопротивление вольтметра должно быть значительно больше сопротивления зонда, которое может достигать 1–2 кОм. Так, для того чтобы погрешность не превышала 2 %, сопротивление вольтметра должно быть по крайней мере в 50 раз больше сопротивления зонда.

Перед измерениями при отключенной схеме убеждаются по вольтметру в отсутствии посторонних токов в земле. Если же есть значительные напряжения от посторонних токов, то необходимо их устранить (например, отключить электросварку) либо, когда устранение невозможно, изменить место расположения зонда.

Влияние посторонних токов можно снизить увеличением тока в испытательной цепи. Измерения проводят только тогда, когда нет постороннего напряжения либо оно незначительно. При измерении малых сопротивлений достаточным является ток 20...25 А. Если при измерениях сила тока достаточна для отклонения стрелки вольтметра, но стрелка не отклоняется или отклоняется слабо, необходимо измерить сопротивление зонда. Для этого провод токовой цепи отсоединяют от испытуемого заземлителя и присоединяют к зонду. Остальная часть схемы остается прежней, и сопротивление зонда определяют делением измеренного напряжения на ток.

Для измерения сопротивления вспомогательного заземлителя достаточно провод, идущий к вольтметру, отсоединить от испытуемого и присоединить к вспомогательному заземлителю. Сопротивление последнего определяют так же, как и для зонда.

Исходя из условий техники безопасности желательнее применять как можно меньшее напряжение. Если применение безопасного напряжения не представляется возможным, необходимо принять меры, исключающие появление людей и животных в районе вспомогательного заземлителя.

Результаты измерения сопротивления заземлителя сравнивают с нормами, приведенными в ПУЭ для электроустановок до 1 кВ, в которых говорится, что сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генераторов и трансформаторов или выводы источника однофазного тока, в

любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. При удельном сопротивлении ρ земли более 100 Ом · м допускается увеличивать указанные выше нормы в $0,01\rho$ раз, но не более 10-кратного.

Сопротивление заземляющего устройства, используемого для заземления электрооборудования электроустановок с изолированной нейтралью, должно быть не более 4 Ом. При мощности генераторов и трансформаторов 100 кВ · А и менее заземляющие устройства могут иметь сопротивления не более 10 Ом. Если генераторы или трансформаторы работают параллельно, то сопротивление 10 Ом допускается при суммарной их мощности не более 100 кВ · А.

Если измеренные сопротивления превышают нормы, то проверяют, подключены ли все естественные заземлители, измеряют удельное сопротивление грунта в разных местах в районе электроустановки. Результаты измерений удельного сопротивления грунта сравнивают с данными проекта и получают от проектной организации новое решение по улучшению заземлителя.

Если результаты измерений удовлетворяют нормам, то дают заключение о допустимости использования заземлителя в данной электроустановке. В протоколе испытаний указывают дату испытаний, состояние грунта (сухой, влажный, мерзлый). Если испытаниям предшествовали дожди и грунт был увлажнен, то в процессе дальнейшей эксплуатации в наиболее неблагоприятное (для заземлителя) время года повторяют испытание.

6. УКАЗАНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

6.1. Подготовка и производство наладочных работ

Основным документом, определяющим взаимоотношения предприятия-заказчика и пусконаладочной организации, является договор. Для определения сметной стоимости пусконаладочных работ составляются смета на пусконаладочные работы, а также локальные сметы на отдельные виды пусконаладочных работ по предприятию, зданию, сооружению, которые служат документом для расчетов между заказчиком и подрядчиком за выполненные пусконаладочные работы и составляются на каждый вид этих работ, согласно профилю пусконаладочных организаций. Исходные данные для сметы определяются по проекту и спецификации или реально установленному оборудованию.

В процессе выполнения пусконаладочных работ могут обнаруживаться недочеты в сметах и неучтенные работы. На них составляются акты установленной формы, на основании которых оформляют дополнительное соглашение на производство работ, не учтенных сметой основного договора. Работы, предусмотренные дополнительным соглашением, начинают после его оформления.

На законченные пусконаладочные работы составляют двухсторонний акт установленной формы, производят первые записи в соответствующих эксплуатационных журналах с подписью лица, производящего наладку, и лица, ответственного за эксплуатацию налаженной установки.

Технический отчет о выполненных пусконаладочных работах составляют и оформляют согласно действующим образцам, которые разрабатываются обычно производственно-техническим отделом наладочной организации. В случае необходимости про-

токолы наладки и испытания оборудования передаются заказчику в процессе производства наладочных работ.

Окончательный расчет с предприятием-заказчиком осуществляется после передачи ему технического отчета по фактически выполненным работам, при этом засчитываются промежуточные платежи.

Дефекты, обнаруженные в процессе эксплуатации оборудования и допущенные по вине монтажной или пусконаладочной организаций, устраняются силами и за счет виновной стороны при условии предъявления претензий в оговоренные заранее сроки (обычно 6—12 месяцев со дня подписания акта о сдаче-приемке в эксплуатацию).

6.2. Организация наладочных работ

Требования по организации проведения пусконаладочных работ устанавливает СНиП 3.05.06—85, в которых сказано, что они должны проводиться согласно ПЭУ, проекту и эксплуатационной документации предприятий-изготовителей.

Общие условия безопасности труда и производственной санитарии при выполнении пусконаладочных работ обеспечивает заказчик. Работы осуществляются в четыре этапа.

На первом (подготовительном) этапе пусконаладочная организация разрабатывает рабочую программу производства работ, включающую мероприятия по технике безопасности, подготавливает парк измерительной и испытательной аппаратуры и передает заказчику замечания по проекту.

На втором этапе, совмещенном с электромонтажными работами, выполняют проверку смонтированного оборудования с подачей напряжения от испытательных схем на отдельные устройства и функциональные группы. Эти работы проводят только при отсутствии электромонтажного персонала в зоне наладки и при условии соблюдения требований действующих правил техники безопасности.

На третьем этапе проводят индивидуальные испытания электрооборудования. На этом этапе производят настройку параметров, уставок защиты и сигнализации, а также электрооборудования на холостом ходу для подготовки к индивидуальным испытаниям технологического оборудования.

На четвертом этапе производят комплексное опробование электрооборудования, выполняют работы по настройке взаимодействия электрических схем и систем электрооборудования. Электроустановки опробуют по полной схеме на холостом ходу и под нагрузкой во всех режимах работы для подготовки к комплексному опробованию технологического оборудования.

Выявление дефектов проекта и монтажа, а также заводских дефектов осуществляется после заключения договора и продолжается до окончания пусконаладочных работ. Ведомости дефектов передаются через представителя заказчика исполнителям работ, которые устраняют допущенные ими дефекты в оговоренные заказчиком сроки.

Дефекты оборудования выявляются наладчиками после его установки. Необходимость вскрытия и разборки узлов наладчики определяют совместно с представителями заказчика. После проверки и сборки узлов дается заключение о пригодности оборудования к эксплуатации.

На время вскрытия оборудования к работам привлекается эксплуатационный персонал заказчика. Содержание эксплуатационного персонала во время наладки входит в обязанности заказчика.

Работа пусконаладочной организации считается выполненной при условии подписания акта приемки пусконаладочных работ.

В случаях когда наладочные бригады ведут работы по совмещенному графику, согласованному с руководителем комплекса, они должны ставить его в известность о всех задержках, мешающих выполнению графика.

6.3. Разграничение монтажных и пусконаладочных работ

Пусконаладочные работы отличаются от монтажных по своей специфике: технологии, применяемому инструменту, оснастке, материалам и квалификации исполнителей.

При выполнении монтажных работ преобладают сборочные, подгоночные, сварочные и такелажные операции; при пусконаладочных работах основными являются: регулировка и измере-

ние параметров, опробование оборудования на различных режимах. Так, например, в объем монтажных работ входит ревизия и сушка электродвигателей, а также сборка их после ревизии.

Индивидуальное опробование смонтированного оборудования вхолостую или под нагрузкой для установления качества проведенного монтажа производится организацией, монтировавшей оборудование с получением электроэнергии от постоянных источников электроснабжения, а при их отсутствии — от передвижных или временных источников электропитания. Пуск электродвигателей во время пробной обкатки вхолостую или под нагрузкой, как это предусмотрено в действующих расценках на монтаж оборудования, выполняют электромонтажные организации совместно с организацией, ведущей монтаж технологического оборудования.

Перед проведением наладки необходимо удостовериться, что монтажные работы выполнены в соответствии с требованиями СНиП и в полном объеме, предусмотренном прейскурантом цен на монтаж соответствующего вида оборудования.

К пусконаладочным работам относится комплекс работ, выполняемых в период подготовки и проведения индивидуальных испытаний и комплексного опробования оборудования до приемки объекта в эксплуатацию.

Комплексное опробование оборудования осуществляется эксплуатационным персоналом заказчика с участием инженерно-технических работников генерального подрядчика, проектных и субподрядных монтажных организаций, а при необходимости — и персонала предприятий — изготовителей оборудования.

Дефекты оборудования, выявленные в процессе индивидуальных испытаний и комплексного опробования оборудования, а также пусконаладочных работ, должны быть устранены заказчиком (или организациями, которые их допустили) до приемки объекта в эксплуатацию.

6.4. Взаимоотношения со смежными организациями

Выполнение наладочных работ тесно связано с деятельностью других организаций, с которыми следует установить четкие взаимоотношения. В самом начале работы необходимо опреде-

лить, с какими официальными представителями организаций следует разрешать вопросы, связанные с наладкой объекта. К таким организациям относятся: служба эксплуатации объекта; управление строительством или генподрядчик (начальник строительства, главный инженер, начальник комплекса); монтажное управление или участок (начальник, главный инженер, прораб).

Служба эксплуатации. Во время наладки комплекса оборудования возможна постепенная сдача отлаженного участка этого комплекса в эксплуатацию. При этом составляется промежуточный акт готовности наладочных работ.

Служба эксплуатации должна проводить общие мероприятия по технике безопасности. Если объект находится в стадии строительства, то служба эксплуатации должна обеспечивать общую безопасность наладчиков на месте производства работ. Подача электроэнергии должна оформляться заявками специально для этого выделенных от наладочной бригады ответственных лиц. Для этого у дежурного по эксплуатации должен быть журнал, в который представитель наладчиков записывает заявки.

Служба эксплуатации должна выделять дежурных в период пробных испытаний. Желательно, чтобы этими дежурными были лица, которые в дальнейшем юдут обслуживать испытываемое оборудование.

Все переделки и изменения проекта, внесенные в процессе наладки, должны быть согласованы со службой эксплуатации.

По окончании наладочных работ представителем наладочной бригады совместно со службой эксплуатации составляется приемосдаточный акт по объекту в целом.

Управление строительства или генподрядчик. С этой организацией руководитель наладочной бригады осуществляет связь через службу эксплуатации. В случае необходимости руководитель наладочной бригады должен присутствовать на оперативных совещаниях, проводимых управлением строительства или генподрядчиком, а также участвовать в комиссиях, назначенных для установления порядка и срока испытаний, причин задержки пуска объекта и т. п.

Монтажные организации. В процессе выполнения наладочных работ *электромонтажная организация* согласовывает вопросы совмещения монтажа и наладки на объекте, создает безопасные условия работы персонала, исправляет монтажные дефекты, вносит по указанию наладчиков исправления в схемы проекта,

выполняет совместный осмотр и проверку электроустановки перед подачей напряжения и участвует в пробных включениях, пусках и испытаниях. Через электромонтажную организацию даются сведения генподрядчику (а последний ставит в известность смежные организации) о подаче напряжения и начале испытаний на отдельных участках объекта. Электромонтажная организация также представляет по требованию наладчиков необходимую документацию по скрытым работам, сушке машин и аппаратов, ревизии оборудования и пр.

В период монтажа наладчики должны оказывать помощь электромонтажникам, разъясняя возможность мелких отступлений от проекта, замены недостающего оборудования другим, сходным по характеристикам, и ряд иных технических вопросов.

В период испытаний механизмов работа наладчиков должна быть тесно связана с *механомонтажной организацией*. Ответственные представители механомонтажа, по разрешению которых осуществляется опробование механизмов, утверждаются начальником или главным инженером комплекса данного строительства.

Режимы испытания, а также настройка механических узлов, которые воздействуют на электрические схемы управления предварительно согласовываются. Указанные устройства регулируются и настраиваются совместно с механиками. Каждый пуск и остановка механизма фиксируются в журнале.

При подаче заявки на испытание со стороны механомонтажной организации, в журнале должна быть также подпись ответственного представителя электромонтажной организации, подтверждающая согласие последнего на производство испытаний. Согласование испытаний с другими смежными организациями входит в обязанность организации, подавшей заявку.

При первых пусках механизмов разрабатывается совместная программа действий, причем пуск и остановка механизмов выполняются по сигналу механика, без участия которого нельзя производить пуск механизмов. В период опробований отдельных приводов и комплекса в целом программа выполнения наладочных работ увязывается с общей программой испытания оборудования, составленной механомонтажной организацией и технологами предприятия. Обеспечение безопасности в зоне работы механизма входит в обязанность механомонтажной организации.

7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

7.1. Меры электробезопасности

Для защиты от поражения электрическим током при замыканиях на корпус применяются меры, которые принято называть *защитными мерами электробезопасности*: заземление, зануление, выравнивание потенциалов, малые напряжения, изоляция, защитное отключение, разделительные трансформаторы, ограждения. Целям улучшения безопасности служат также индивидуальные защитные средства и приспособления. Применение тех или иных защитных средств при наладке, эксплуатации или ремонте оборудования устанавливается правилами техники безопасности и специальными инструкциями.

Заземление — одна из основных защитных мер, при которой заземляют все металлические корпуса электроприемников и другие металлические конструкции, могущие оказаться вследствие повреждения изоляции под опасным напряжением.

Как видно на рис. 7.1, при наличии заземления человек, прикасающийся к заземленному корпусу, оказавшемуся под на-

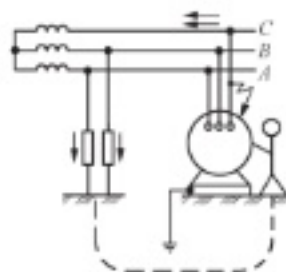


Рис. 7.1. Заземление электроприемника: А, В, С — фазы

пряжением, присоединен параллельно цепи замыкания на участке между корпусом и землей.

Назначение защитного заземления — создать между корпусом заземляемого устройства и землей электрическое соединение с достаточно малым сопротивлением для того, чтобы в случае замыкания на корпус этого устройства прикосновение к нему человека (параллельное присоединение) не могло вызвать прохождения через его тело такого тока, который угрожал бы жизни или здоровью. Для обеспечения безопасности пригодно соединение с землей, имеющее достаточно малое сопротивление (во много раз меньше, чем сопротивление тела человека). Тогда основная часть тока замыкания будет проходить через землю, а ток, проходящий через тело человека, будет мал, и опасности прикосновения к заземленному корпусу не возникнет.

Заземленные части электроустановок соединяют с землей при помощи заземлителей и заземляющих проводников.

Зануление применяют в установках с заземленной нейтралью. При этом все металлические корпуса и конструкции связывают электрически с заземленной нейтралью трансформатора через нулевой провод или специальный защитный проводник (при защите трехфазного двигателя — четвертый, при защите однофазного приемника — третий), благодаря чему всякое замыкание на корпус превращается в короткое замыкание и аварийный участок отключается предохранителем или автоматическим выключателем.

Зануление должно быть выполнено таким образом, чтобы ток короткого замыкания в аварийном участке был достаточен для расплавления плавкой вставки ближайшего предохранителя или отключения ближайшего автоматического выключателя.

Сопротивление цепи замыкания в сети с занулением, условно называемое «сопротивление цепи фаза—ноль», должно быть настолько малым, чтобы создать достаточный ток короткого замыкания.

Выравнивание потенциалов имеет первостепенное значение в обеспечении электробезопасности. Благоприятные условия создаются, если электрооборудование находится внутри промышленного здания с большим количеством станков, машин, трубопроводов и металлоконструкций, связанных между собой и с корпусами электрооборудования. При замыкании на корпус в каком-либо из электроприемников все указанные части получа-

ют примерно близкое по значению напряжение по отношению к «земле». В результате напряжение между корпусом электроприемника и полом существенно уменьшается, происходит выравнивание потенциалов по всему помещению. Благодаря выравниванию потенциалов тело человека, находящегося в цепи замыкания между корпусом электроприемника и полом, оказывается под сравнительно малым напряжением.

Степень выравнивания потенциалов зависит от того, насколько заполнено здание металлическими конструкциями и оборудованием, а также от конструкции здания: в железобетонных зданиях происходит наилучшее выравнивание потенциалов.

Малые напряжения (номинальные напряжения не более 42 В между фазами и по отношению к «земле») применяют чаще всего для переносных электроприемников, местного и ремонтного освещения и т. п. Напряжение 12 В используют в особо опасных условиях — при работе внутри металлических резервуаров, на металлоконструкциях и т. п. Если понижающие трансформаторы не являются разделительными, то в зависимости от режима нейтрали сети, питающей первичную обмотку, следует заземлять или занулять корпус трансформатора, а также один из выводов (одну из фаз) или нейтраль (среднюю точку) вторичной обмотки. Это необходимо для обеспечения безопасности в случае повреждения изоляции трансформатора с переходом напряжения сети на вторичную обмотку или на корпус.

Изоляция от «земли» служит для обеспечения безопасности, например, при использовании изолирующих от «земли» площадок во время ремонтных работ и обслуживания оборудования, корпус которого или токоведущие части находятся под напряжением.

В настоящее время применяют двойную изоляцию электроприемника (совокупность рабочей и защитной (дополнительной) изоляции), при которой доступные прикосновению части электроприемника не приобретают опасного напряжения при повреждении только рабочей или только защитной изоляции.

Двойную изоляцию можно получить, выполняя, например, корпус электроприемника — электроинструмента, аппарата или любого другого устройства из изолирующих материалов. Рукоятки управления и рабочая часть инструмента должны быть при

этом связаны с частями, несущими обмотку, через промежуточные изолирующие детали.

При двойной изоляции электроприемника заземление или зануление металлических частей не требуется во избежание шунтирования дополнительной изоляции. Состояние изоляции следует периодически проверять.

Защитное отключение обеспечивает безопасность путем быстрого (время действия 0,05 с и менее) размыкания аварийного участка или сети в целом при замыкании на корпус или непосредственно на землю, а также в случае прикосновения к частям, находящимся под напряжением. Благодаря высокой чувствительности (многие устройства защитного отключения имеют токи срабатывания 5–30 мА) устройства защитного отключения реагируют и на снижение сопротивления изоляции, когда токи утечки достигают уставки токов срабатывания, т. е. одновременно осуществляют контроль изоляции и тем самым предотвращают возникновение пожаров.

Данная защитная мера получает все большее распространение в сетях напряжением до 1000 В благодаря существенным преимуществам перед обычными системами заземления или зануления. Она особенно необходима в неблагоприятных, с точки зрения поражения электрическим током, условиях, например, при использовании переносным или передвижным электрооборудованием.

Разделительные трансформаторы применяют с целью изолировать электроприемники от первичной сети, а также от сети заземления или зануления и тем самым от возможных аварийных состояний первичной сети — поврежденной изоляции, однофазных и двойных замыканий на «землю», утечек.

К разделительным трансформаторам предъявляются повышенные требования, чтобы исключить повреждение изоляции внутри трансформатора и переход напряжения с первичной сети на вторичную (например, повышенное испытательное напряжение, расположение обмоток первичного и вторичного напряжения на разных стержнях). Разделительные трансформаторы можно применять не только с одновременным понижением напряжения, но и как чисто разделительные, например, 220/220 В.

Заземление вторичной обмотки разделительного трансформатора не допускается. Корпус трансформатора в зависимости

от режима нейтрали сети, питающей первичную обмотку, должен быть заземлен или занулен.

Заземление корпуса электроприемника, присоединенного к трансформатору, не требуется. Тогда прикосновение к частям, находящимся под напряжением, или к корпусу с поврежденной изоляцией (рис. 7.2, *а*, точка А) не создаст опасности, поскольку вторичная сеть коротка, точки утечки в ней и емкостные токи при исправной изоляции ничтожно малы.

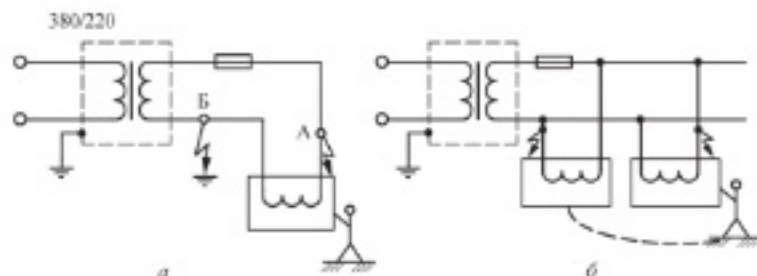


Рис. 7.2. Схемы включения разделяющих трансформаторов: *а* — включение одного электроприемника; *б* — включение двух электроприемников; А, Б — точки повреждения изоляции

Если возникшее замыкание в одной фазе (точка А) не будет устранено, а затем повредится изоляция на другой фазе вторичной цепи (точка Б), то предохранитель может сгореть только при металлической связи между точками повреждения изоляции А и Б. Если такой связи нет, то на корпусе электроприемника по отношению к «земле» может возникнуть опасное напряжение, если человек стоит на земле или на проводящем полу в обуви с малым сопротивлением.

Чтобы устранить вероятность двойных замыканий и обеспечить безопасность персонала, от разделительного трансформатора разрешается питание только одного электроприемника с номинальным током плавкой вставки или распечителя автоматического выключателя на первичной стороне не более 15 А. Вторичное напряжение разделительных трансформаторов должно быть не более 380 В.

На рис. 7.2, *б* показано возможное замыкание со связью с «землей» в двух разных фазах двух электроприемников. Такие двойные замыкания могут повлечь поражение током, поэтому,

как сказано выше, на вторичной стороне нельзя включать разветвленную сеть.

Применение разделительных трансформаторов существенно улучшает условия безопасности по сравнению с питанием непосредственно от сети или через понижающие трансформаторы с заземлением вторичных обмоток.

Ограждение относится к защитным мерам и предусматривает выполнение аппаратов и приборов в закрытых корпусах, применение закрытых комплектных устройств, надежные ограждения и т. п. Во многих случаях они снабжены блокировками не допускающими снятие корпусов или ограждений, если предварительно не отключено напряжение.

Каждая из перечисленных защитных мер имеет свою область применения. В некоторых случаях применяют одновременно две защитные меры. Но ни одна из защитных мер сама по себе не дает полной гарантии электробезопасности, потому что главная гарантия — это соблюдение всех правил обращения с электротехническими устройствами. Их нарушение является основной причиной электротравматизма.

Защитные средства, способствующие обеспечению электробезопасности, включают в себя: изолирующие оперативные штанги; изолирующие клещи для операций с предохранителями; указатели напряжения; изолирующие измерительные штанги; токоизмерительные клещи; изолирующие лестницы и площадки; изолирующие тяги, захваты; инструменты с изолированными рукоятками; резиновые диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики; изолирующие подставки, колпаки и накладки; переносные заземления; временные ограждения; предупреждающие плакаты; защитные очки; предохранительные пояса; страхующие канаты и др.

Применение тех или иных защитных средств при эксплуатации, ремонте и наладке устанавливается правилами техники безопасности и специальными инструкциями. Защитные средства должны находиться под постоянным контролем и учетом и быть в исправном состоянии. При приемке в эксплуатацию их проверяют независимо от заводского испытания, а в процессе эксплуатации подвергают периодическим контрольным осмотрам, электрическим и механическим испытаниям в сроки и по нормам, указанным в ПТБ при эксплуатации потребителей.

7.2. Требования к персоналу, обслуживающему электроустановки

Лица, занятые на обслуживании действующих электроустановок, должны быть психически здоровыми и не иметь увечий или болезней, препятствующих физическому труду. В зависимости от выполняемых работ при обслуживании электроустановок установлено пять квалификационных групп по электробезопасности персонала.

В табл. 7.1 приведены группы по электробезопасности персонала, обслуживающего электроустановки, согласно правилам по технике безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

Знание правил технической эксплуатации электроустановок и правил техники безопасности при обслуживании электроустановок проверяют ежегодно у персонала электролабораторий или персонала, непосредственно обслуживающего действующие электроустановки или выполняющего на них наладочные, электро-монтажные и ремонтные работы или профилактические испытания, а также у лиц, организующих эти работы или оформляющих наряды на них.

Инженерно-технические работники, не относящиеся к перечисленному персоналу, проходят проверку знаний правил техники безопасности 1 раз в 3 года. Результаты проверки вносят в личное удостоверение на право допуска к работе с электроустановками.

К *I группе* относят лиц, связанных с обслуживанием электроустановок, например, учеников электромонтера, уборщиц, водителей автокранов, доярок, лиц, работающих с электрофицированным инструментом, строительных рабочих и др. Квалификационную группу I присваивает единолично ответственный за электрохозяйство или по его поручению лицо с квалификационной группой III после проверки знания безопасных методов работы на обслуживаемой электрофицированной машине или ином рабочем месте.

II группу присваивают электромонтерам и электрослесарям, практикантам, такелажникам, шоферам, связистам и др.

К *III группе* относят оперативный персонал подстанций, дежурных электриков цехов, электромонтеров и электрослесарей,

Таблица 7.1. Группы по электробезопасности персонала, обслуживающего электроустановки

Группа по электробезопасности	Минимальный стаж работы в электроустановках, мес.						Характеристика персонала
	Неэлектротехнический персонал			электротехнический персонал			
	не имеющий среднего образования	со средним образованием и прошедшим специальную подготовку	с высшим техническим образованием	не имеющий среднего специального образования	с средним образованием	с высшим образованием	
I	—	2	1	1	1	Не нормируется	Лица, не имеющие специальной электротехнической подготовки, но имеющие элементарное представление об опасности электрического тока и мерах безопасности при работе на обслуживаемом участке, электрооборудовании, установке. Лица с группой I должны быть знакомы с правилами оказания первой помощи пострадавшим от электрического тока.
II	—	2	2	1	1	Не нормируется	Для лиц с группой II обязательны: <ul style="list-style-type: none"> • элементарные познания в отношении электротехники; • отягчающее представление об опасности электрического тока и приближения к токоведущим частям; • знание основных мер предосторожности при работах в электроустановках; • практические навыки оказания первой помощи пострадавшим от электрического тока
III	—	10 в среднем	4 в среднем	3 в среднем	2 в среднем	1 в среднем	Для лиц с группой III обязательны: <ul style="list-style-type: none"> • знакомство с устройствами и обслуживанием электроустановок;

Группа по электробезопасности	Минимальный стаж работы в электроустановках, мес.				краткосрочны		Характеристика персонала
	Неэлектротехнический персонал	электротехнический персонал		со средним образованием и прошедший специальную подготовку	профпедагогов и техникумов	институтов и техникумов	
		не имеющих среднего образования	со средним образованием и прошедший специальную подготовку				
IV	—	12 в предыдущей группе	3 в предыдущей группе	2 в предыдущей группе	—	—	<ul style="list-style-type: none"> отсутствие представления об опасности при работе в электроустановках; знание общих правил техники безопасности; знание правил допуска к работам в электроустановках до 1000 В; знание специальных правил техники безопасности по тем видам работ, которые входят в обязанности данного лица; умение вести наблюдение за работающими в электроустановках; знание правил оказания первой помощи и умение практически оказать ее пострадавшему от электрического тока (приведем искусственного дыхания и т. п.)
—	—	12 в предыдущей группе	3 в предыдущей группе	2 в предыдущей группе	—	—	<ul style="list-style-type: none"> для лиц с группой IV обязательны: познание в электроустановке в объеме специализированного профподучения; полное представление об опасности при работах в электроустановках; знание правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей;

Группа по электробезопасности	Минимальный стаж работы в электроустановках, мес.				Характеристика персонала		
	Неэлектротехнический персонал	Электротехнический персонал	не имеющий среднего образования	электротехнический персонал со средним образованием и прошедший специальный стаж обучения	со средним образованием и высоким уровнем технического образования	краткосрочные институты и техникумы	
V	—	—	42 в предыдущей группе	24 в предыдущей группе	12 в предыдущей группе	3 в предыдущей группе	<ul style="list-style-type: none"> • знание установки настолько, чтобы свободно разбирать, кроме явно элементов работы, находить в натуре все эти элементы и проверить выполнение необходимых мероприятий по обеспечению безопасности; • умение организовать безопасное проведение работ и вести надзор за ними в электроустановках напряжением до 1000 В; • знание правил оказания первой помощи и умение практически оказать ее пострадавшему от электрического тока (примены искусственного дыхания и т. п.); • знание сути и оборудования своего участка; • умение обучать персонал других групп правилам техники безопасности и оказанию первой помощи пострадавшим от электрического тока
IV	—	—	42 в предыдущей группе	24 в предыдущей группе	12 в предыдущей группе	3 в предыдущей группе	<ul style="list-style-type: none"> • Две лиц с группой V обязательны; • знание сути и оборудования своего участка; • твердое знание «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», также специальных глав.

Освоение табл. 7.1

Группа по электробезопасности	Минимальный стаж работы в электроустановках, мес.					Характеристика персонала
	Неэлектротехнический персонал	электротехнический персонал		красотки	красотки	
		не имеющий среднего образования	со средним образованием			
	Электротехнический персонал	не прошедший специальное обучение	прошедший специальное обучение	со средним образованием и прошедшим специальное обучение	со специальным образованием и высшим техническим образованием	<ul style="list-style-type: none"> • явное представление о том, чем вызвано требование того или иного пункта; • умение организовать безопасное производство работ и вести надзор за ними в электроустановках любого напряжения; • знание правил оказания первой помощи и умение практически оказать ее пострадавшему от электрического тока (применя искусственного дыхания и т. п.); • умение обучить персонал групп правил техники безопасности и оказанию первой помощи пострадавшему от электрического тока

Примечания. 1. Лица из электротехнического персонала группы II—V, имеющие просроченные удостоверения или не прошедшие проверку знаний, приравниваются к лицам группы I.

2. Для работающих в электроустановках напряжением как до, так и выше 1000 В учитывается стаж работы в электроустановках только этого напряжения (по удостоверениям о проверке знаний).

3. Практикантам моложе 18 лет не разрешается присваивать группу выше II.

4. Общий производственный стаж для инженера по технике безопасности, контролирующего электроустановки, должен составлять не менее 3 лет (не обязательно в электроустановках).

проработавших с электроустановками время, указанное в табл. 7.1.

К *IV* группе относят электромонтеров, электрослесарей, дежурных электриков цехов, оперативный персонал подстанций, инженеров и техников, имеющих стаж работы в электроустановках в предыдущей группе не менее, чем указано в табл. 7.1.

V группу присваивают обычно мастерам, бригадирам, инженерам и начальникам электроцехов.

Наладочный персонал имеет как правило, III группу.

7.3. Оказание доврачебной помощи пострадавшему

Электромонтажный и наладочный персонал должен периодически проходить инструктаж о способах оказания доврачебной помощи пострадавшему.

На монтажных и наладочных участках, на участках подготовки производства должен быть набор необходимых приспособлений и средств для оказания первой помощи (аптечный шкафчик, сумка у бригадиров в условиях работы вне территории строительства); на видных местах должны быть вывешены плакаты, описывающие проведение искусственного дыхания и наружного массажа сердца.

При поражении электрическим током пострадавшего необходимо как можно быстрее освободить от действия тока. Для этого быстро отключают ту часть установки, которой касается пострадавший (нужно помнить, что отключенная установка может иногда в случае достаточной емкости сохранять опасный для жизни заряд, поэтому после отключения установку следует немедленно заземлить). Если отключение невозможно, то для освобождения пострадавшего от токоведущих частей используют какие-либо сухие, не проводящие ток предметы. Если рука потерпевшего судорожно охватывает токоведущую часть, рекомендуется, изолировать его от земли досками, и прервав этим ток, освободить от токоведущих частей. Можно также перерубить (перерезать) топором с деревянной рукояткой токоведущие провода. Провод рубят каждый в отдельности. Если пострадавший находится на высоте, необходимо предупредить и обезопасить его падение.

Если после освобождения от токоведущих частей пострадавший не дышит или дышит судорожно, необходимо немедленно приступить к его оживлению. Для этого следует снять с пострадавшего стесняющую одежду, очистить рот от крови и слизи, обеспечить доступ чистого воздуха к пострадавшему, удалить из помещения посторонних людей.

Искусственное дыхание делают многими способами, наиболее эффективный — «изо рта в рот» или «изо рта в нос». Потерпевшему под лопатки кладут валик из свернутой одежды. После этого проводящий искусственное дыхание давит одной рукой на лоб, а другую подкладывает под шею, чтобы несколько отогнуть голову потерпевшего и предотвратить западание языка в гортань. Сделав глубокий вдох, оказывающий помощь вдвует воздух через марлю из своего рта в рот или нос пострадавшего. При вдувании через рот оказывающий помощь должен закрыть своей щекой или пальцами нос потерпевшего, при вдувании через нос потерпевшему закрывают рот. После каждого вдувания рот и нос пострадавшего освобождают, чтобы не мешать свободному выходу воздуха из грудной клетки. Затем спасающий снова повторяет вдувание воздуха в рот или нос. Частота вдувания приблизительно 12 раз в 1 мин.

Если у пострадавшего остановилось сердце, одновременно с искусственным дыханием необходимо сделать непрямой массаж сердца. Для этого оказывающий помощь встает с левой стороны от пострадавшего, кладет ладонь вытянутой до отказа руки на нижнюю часть грудины пострадавшего, вторую руку накладывает на первую, усиливает давление рук своим корпусом и надавливает толчком с такой силой, чтобы грудина смещалась на 4—5 см. После этого спасающий резко отнимает руки и выпрямляет свой корпус и руку. Массаж делается с частотой 1 раз в 1 с. После трех-четырех надавливаний должен быть перерыв на 2 с для вдувания воздуха. Не следует надавливать на грудину во время вдувания, так как это препятствует восстановлению дыхания. Для повышения эффективности массажа пострадавшему следует приподнять ноги. Искусственное дыхание делают до полного появления признаков жизни пострадавшего, т. е. когда он станет самостоятельно свободно дышать. После каждых 5 мин искусственного дыхания и массажа рекомендуется делать перерыв по 15—20 с. Смерть может констатировать только врач.

При ожогах необходимо помнить, что основной опасностью для пострадавшего является занесение инфекции через открытые раны. Поэтому место ожога нельзя трогать руками, смазывать мазями, вазелином, маслом, промывать водой; не следует вскрывать пузыри и отдирать от тела обгоревшие куски одежды.

Обожженную поверхность нужно перевязать стерильными бинтами из пакета или чистой полотняной тряпкой, а затем пострадавшего необходимо отправить в лечебное учреждение.

Необходимо знать следующие признаки *травматического шока*, который возникает как результат сильного болевого ощущения при травме или обширном ожоге. Сразу после травмы у пострадавшего наблюдается сильное возбуждение: он кричит, не может правильно оценить свое состояние. Болевая реакция у него резко повышена. Взгляд беспокоен, голос глуховат, фразы отрывисты. Кожа и слизистые оболочки бледные, зрачки расширены, пульс учащен, иногда замедлен. Сознание сохранено, но заторможено, помрачено. Период возбуждения кончается очень быстро. Пострадавший лежит неподвижно, безучастен, отвечает на вопросы тихим голосом. Черты лица заострены, кожа серовато-бледная, дыхание частое и поверхностное, конечности холодные, лицо покрыто холодным потом. Пульс очень слабый, частый.

При шоке необходимо: уложить пострадавшего и тело его укрыть; напоить горячим чаем или кофе, можно дать выпить 50 г алкоголя и какое-нибудь обезболивающее средство, например, анальгин; если есть перелом руки или ноги, открытая рана, обязательно наложить повязку или шину.

При шоке нельзя переносить пострадавшего без предварительного надежного шинирования, снимать прилипшую к коже после ожога одежду, давать пить при жалобах на боль в животе.

При ранении, оказывая первую помощь, необходимо соблюдать следующие правила:

- нельзя промывать рану водой или даже каким-либо лекарственным веществом, засыпать порошком и смазывать мазями, так как это препятствует ее заживлению, способствует занесению в нее грязи с поверхности кожи и вызывает нагноение;
- нельзя убирать из раны землю, песок и другие посторонние предметы, так как удалить таким образом все, что загрязняет рану невозможно. Нужно осторожно снять грязь вокруг раны, очищая кожу от ее краев наружу, чтобы не за-

грязнить рану; очищенный участок вокруг раны нужно смазать настойкой йода перед наложением повязки;

- нельзя удалять из раны сгустки крови, инородные тела, так как это может вызвать сильное кровотечение;
- нельзя замазывать рану изоляционной лентой или накладывать на рану паутину во избежание заражения столбняком.












Для оказания первой помощи при ранении необходимо вскрыть имеющийся в аптечке (сумке) индивидуальный пакет в соответствии с наставлением, напечатанным на его обертке. При наложении повязки нельзя касаться руками той ее части, которая должна быть наложена непосредственно на рану.

Если индивидуального пакета почему-либо не оказалось, то для перевязки можно использовать чистый носовой платок, чистую ткань и т. п. Накладывать вату непосредственно на рану нельзя.












Оказывающий помощь при ранениях должен вымыть руки или смазать пальцы настойкой йода. Прикасаться к самой ране даже вымытыми руками не допускается.

Если рана загрязнена землей, необходимо срочно обратиться к врачу для введения противостолбнячной сыворотки.





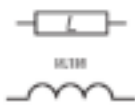
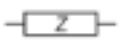





Продолжение прилож. III

Наименование	Условное обозначение
Прибор применять при горизонтальном положении шкалы	
Прибор применять при наклонном положении шкалы (например, под углом 60°) относительно горизонтальной плоскости	
Обозначение, указывающее на ориентирование прибора во внешнем магнитном поле	N
<i>Общие условные обозначения</i>	
Прибор магнитоэлектрический с подвижной рамкой	
Логометр магнитоэлектрический	
Прибор электромагнитный с подвижным магнитом	
Логометр магнитоэлектрический с подвижным магнитом	
Прибор электромагнитный	
Прибор электромагнитный поляризованный	
Логометр электромагнитный	
Прибор электродинамический	
Прибор ферродинамический	



Продолжение прилож. III

Наименование	Условное обозначение
Логометр электродинамический	
Логометр ферродинамический	
Прибор индукционный	
Логометр индукционный	
Прибор тепловой с нагреваемой нитью	
Прибор биметаллический	
Прибор электростатический	
Прибор вибрационный (язычковый)	
Термопреобразователь неизолированный	
Термопреобразователь изолированный	
Преобразователь электронный в измерительной цепи	

Продолжение прилож. III

Наименование	Условное обозначение
Преобразователь электронный во вспомогательной цепи	
Выпрямитель	
Шунт	
Сопротивление добавочное	
Сопротивление добавочное индукционное	
Сопротивление добавочное полное	
Экран электростатический	
Экран магнитный	
Прибор аstaticеский	ast
Магнитная индукция, выраженная в миллитеслах (например, 2 мТ), вызывающая изменение показаний, соответствующее обозначению класса точности. Предпочтительное нанесение надписи единицы (мТ)	
Зажим для заземления	
Корректор	

Освещение прилож. III

Наименование	Условное обозначение
Ссылка на соответствующий документ	
Поле электрическое, выраженное в кВ/м (например, 10 кВ/м), вызывающее изменение показаний, соответствующее обозначению класса точности. Предпочтительное нанесение надписи единицы (кВ/м)	
Часть вспомогательная общая	









Примечание. Цифра 1) в условном обозначении означает, что в случае встроенных преобразователей эти обозначения сочетаются с обозначением прибора. В случае внешних преобразователей эти обозначения сочетаются с обозначением «Часть вспомогательная общая».

Приложение П2





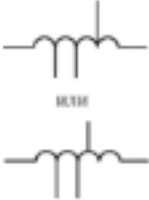
Условные графические обозначения в схемах

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
Машины электрические (ГОСТ 2.722—68)		
Обмотка добавочных полюсов, обмотка компенсационная		
Обмотка статора (каждой фазы) машины переменного тока, обмотка последовательного возбуждения машины постоянного тока		
Обмотка параллельного возбуждения машины постоянного тока, обмотка независимого возбуждения		
Статор, обмотка статора. Общее обозначение		
Примечание. Если необходимо указать, что на статоре имеются две самостоятельные трехфазные обмотки, используют следующее обозначение		
Статор с трехфазной обмоткой:		
соединение в треугольник		

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
соединение в звезду		
Ротор. Общее обозначение		
Ротор с распределенной обмоткой:		
трехфазный, соединенный в звезду		
трехфазный, соединенный в треугольник		
однофазный или постоянного тока		
короткозамкнутый		
Ротор с обмоткой, коллектором и щетками		

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
<p>Машина электрическая. Общее обозначение</p> <p>Примечание. Внутри окружности допускается указывать род машины (генератор — <i>G</i>, двигатель — <i>M</i>, генератор синхронный — <i>GS</i>, двигатель синхронный — <i>MS</i>, сельсин — <i>ZZ</i>, преобразователь — <i>C</i> и др.), род тока, число фаз или вид соединения обмоток. Например:</p> <p>генератор трехфазный</p> <p>двигатель трехфазный с соединением обмоток статора в звезду</p>		
<p>Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители (ГОСТ — 2.723—68)</p>		
<p>Обмотка трансформатора, автотрансформатора, дросселя и магнитного усилителя</p> <p>Примечание. Количество полуокружностей в изображении обмотки и направление выводов не устанавливаются</p>		
<p>Катушка индуктивности, дроссель без магнитопровода</p>		
<p>Катушка индуктивности с отводами</p> <p>Примечание. Количество полуокружностей в изображении не устанавливается</p>		

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначения	
	Форма I	Форма II
Катушка индуктивности со скользящими контактами (например, с двумя)		
Катушка индуктивности с магнитодиэлектрическим магнитопроводом		
Трансформатор без магнитопровода:		
с постоянной связью		
с переменной связью		
Трансформатор с магнитодиэлектрическим магнитопроводом		
Трансформатор, подстраиваемый обжим магнитодиэлектрическим магнитопроводом		
Трансформатор однофазный с ферромагнитным магнитопроводом и экраном между обмотками		

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначения	
	Форма I	Форма II
Автотрансформатор однофазный с ферромагнитным магнитопроводом		
Автотрансформатор трехфазный с ферромагнитным магнитопроводом; соединение обмоток в звезду		
Трансформатор тока с одной вторичной обмоткой		
Трансформатор напряжения измерительный		
Разрядники, предохранители (ГОСТ 2.727—68)		
Предохранитель пробивной		






Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначения	
	Форма I	Форма II
Предохранитель плавкий. Общее обозначение		
Примечание. Допускается в обозначении предохранителя указывать утолщенной линией сторону, которая остается под напряжением		
Предохранитель с сигнализирующим устройством:		
с самостоятельной целью сигнализации		
с общей целью сигнализации		
Резисторы, конденсаторы (ГОСТ 2.728—74)		
Резистор постоянный		
Конденсатор постоянной емкости		
Примечание. Для указания поляризованного конденсатора используют обозначение		



Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
Конденсатор постоянной емкости с обозначенным внешним электродом		
Конденсатор электролитический:		
поляризованный		
неполяризованный		
Примечание. Знак «+» разрешается опускать, если это не приведет к неправильному пониманию схемы		
Конденсатор переменной емкости		
<i>Приборы электроизмерительные (ГОСТ 2.729—68)</i>		
Датчик измеряемой неэлектрической величины		
Прибор электроизмерительный:		
показывающий		

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначения	
	Форма I	Форма II
регистрирующий		
интегрирующий (например, счетчик электрической энергии)		
<p>Примечания. 1. При необходимости изображения нестандартизированных электроизмерительных приборов следует использовать сочетания соответствующих основных обозначений, например, комбинированный прибор, показывающий и регистрирующий.</p> <p>2. Для указания назначения электроизмерительного прибора в его изображении вписывают условные графические обозначения, установленные в стандартах ЕСКД, а также буквенные обозначения единиц измерения или измеряемых величин, которые помещают внутри графического обозначения электроизмерительного прибора</p>		
Устройства коммутационные и контактные соединения (ГОСТ 2.Н755—87)		
Для обозначения основных (базовых) функциональных признаков коммутационных устройств применяют следующие обозначения контактов, которые допускается выполнять в зеркальном изображении:		
закрывающих		
размыкающих		

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
переключающих		
переключающих с нейтральным центральным положением		
Для пояснения принципа работы коммутационных устройств при необходимости на их контакт-деталях изображают квалифицирующие символы:		
функция контактора		к
функция выключателя		х
функция разъединителя		—
функция выключателя-разъединителя		кх
автоматическое срабатывание		□ *
функция путевого или концевого выключателя		▽ *
самовозврат		◁
отсутствие самовозврата		○
дугогашение		⚡
Примечание. Обозначения звездочкой помещают на подвижных контакт-деталях, а остальные — на неподвижных		

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
Примеры построения обозначений контактов коммутационных устройств		
Контакт коммутационного устройства:		
переключающий без размыкания цепи (мостовой)		
с двойным замыканием		
с двойным размыканием		
Контакт импульсный замыкающий:		
при срабатывании		
при возврате		
при срабатывании и возврате		
Контакт импульсный размыкающий:		
при срабатывании		

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
при возврате		
при срабатывании и возврате		
Контакт в контактной группе, срабатывающий раньше по отношению к другим контактам группы:		
закрывающий		
размыкающий		
Контакт в контактной группе, срабатывающий позже по отношению к другим контактам группы:		
закрывающий		
размыкающий		
Контакт без самовозврата:		
закрывающий		

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначения	
	Форма I	Форма II
размыкающий		
Контакт с самовозвратом:		
закрывающий		
размыкающий		
Контакт переключающий с нейтральным центральным положением с самовозвратом из левого положения и без возврата из правого положения		
Контакт контактора:		
закрывающий		
размыкающий		
закрывающий дугогасительный		
размыкающий дугогасительный		

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
закрывающий с автоматическим срабатыванием		
Контакт выключателя		
Контакт разъединителя		
Контакт выключателя-разъединителя		
Контакт концевого выключателя:		
закрывающий		
размыкающий		
Контакт, чувствительный к температуре (термоконтакт):		
закрывающий		
размыкающий		

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначения	
	Форма I	Форма II
Контакт замыкающий с замедлением, действующим:		
при срабатывании		ИЛИ
при возврате		ИЛИ
при срабатывании и возврате		ИЛИ
Контакт размыкающий с замедлением, действующим:		
при срабатывании		ИЛИ
при возврате		ИЛИ
при срабатывании и возврате		ИЛИ
Контакт замыкающий выключателя:		
однополюсный		
трехполюсный		



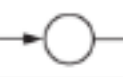

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
Контакт замыкающий выключателя трехполюсного с автоматическим срабатыванием максимального тока		
Контакт замыкающий нажимного кнопочного выключателя без самовозврата с размыканием и возвратом элемента управления:		
автоматически		
посредством вторичного нажатия кнопки		
посредством вытягивания кнопки		
посредством отдельного привода (например, нажатия кнопки — сброс)		
Разъединитель трехполюсный		
Выключатель-разъединитель трехполюсный		
Выключатель ручной	 ИЛИ 	

Продолжение прилож. П2

Наименование	Обозначения	
	Форма I	Форма II
Выключатель электромагнитный (реле)		
Выключатель концевой с двумя отдельными цепями		
Выключатель термический саморегулирующий		
Примечание. Следует различать в изображении контак- та и контакта термореле, изображаемого следующим образом		
Выключатель инерционный		
Выключатель ртутный трехконечный		
Контакт контактного соединения:		
разъемного соединения:		
втырь		
гнездо		
разборного соединения		
неразборного соединения		

Освещение прилож. П2

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
Контакт скользящий:		
по линейной токопроводящей поверхности		
по нескольким линейным токопроводящим поверхностям		
по кольцевой токопроводящей поверхности		
по нескольким кольцевым токопроводящим поверхностям		

Список литературы

1. *Варварин В. К., Койлер В. Я., Панов П. А.* Наладка электрооборудования. Справочник. М.: Россельхозиздат, 1984.
2. *Вишневецкий Л. М., Левин Л. Г.* Я электроналадчик. М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. *Вольнский А. Б., Зейн Е. Н.* Электротехника. М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. *Забокрицкий Е. И., Холодовский Б. А., Митченко А. И.* Справочник по наладке электроустановок и электроавтоматики. Киев: Наукова думка, 1985.
5. *Камнев В. Н.* Чтение схем и чертежей электроустановок. М.: Высшая школа, 1990.
6. *Кацман М. М.* Электрические машины и электропривод автоматических устройств. М.: Высшая школа, 1987.
7. *Клюев А. С., Глазов Б. В., Миндин М. Б.* Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля. М.: Энергоатомиздат, 1983.
8. *Лезнов С. И., Фаерман А. Л., Махлина Л. Н.* Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1986.
9. *Москаленко В. В.* Электродвигатели специального назначения. М.: Энергоиздат, 1981.
10. *Москаленко В. В.* Электрический привод. М.: Academia, 2004.
11. *Нейфельд М. Р.* Заземление и другие защитные меры. М.: Энергия, 1975.
12. *Новодворец Л. А.* Проверка, регулировка, настройка контакторов переменного тока. М.: Энергия, 1979.
13. *Переполова Л. Ф.* ЕСКД. Общие правила выполнения электрических схем. М.: Издательство стандартов, 1982.

14. *Родштейн Л. А.* Электрические аппараты. Л.: Энергоатомиздат, 1989.
15. *Сацукевич М. Ф.* Электрические аппараты управления и защиты. Минск: Беларусь, 1984.
16. *Смирнов А. Д., Антипов К. М.* Справочная книжка энергетика. М.: Энергоатомиздат, 1987.
17. *Таев И. С.* Электрические аппараты управления. М.: Высшая школа, 1984.

Оглавление

Введение	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	5
1.1. Основные формулы и зависимости электрических величин ...	5
1.2. Некоторые сведения о средствах измерений	10
1.3. Выбор электрооборудования для различных производственных помещений	15
2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И ЦЕПИ	31
2.1. Виды и типы схем	31
2.2. Условные графические обозначения в электрических схемах	35
2.3. Система обозначения цепей и частей объектов в электрических схемах	37
2.4. Оценка реальности схемных решений	48
2.5. Проверка правильности функционирования электрических цепей	49
3. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ	53
3.1. Общие сведения об электродвигателях	53
3.2. Зависимости и характеристики электродвигателей	57
3.3. Асинхронные двигатели	60
3.4. Двигатели постоянного тока	69
3.5. Двигатели специального назначения	74
3.6. Пуск электродвигателей	85
3.7. Выбор типа электродвигателей	90
3.8. Наладка электрических машин электроприводов	99
3.8.1. Асинхронные электродвигатели	100
3.8.2. Машины постоянного тока	117

4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И АППАРАТЫ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ	127
4.1. Основные термины и определения	127
4.2. Требования к аппаратуре при работе в ненормальных режимах	131
4.3. Выбор вида защит электрооборудования напряжением до 1 кВ	133
4.3.1. Автоматические выключатели	137
4.3.2. Плавкие предохранители	141
4.3.3. Пусковая и защитная аппаратура	144
4.4. Наладка электрических аппаратов и цепей напряжением до 1 кВ	152
4.4.1. Измерение сопротивления изоляции	155
4.4.2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты	157
4.4.3. Проверка действия максимальных, минимальных или независимых расцепителей автоматических выключателей	159
4.4.4. Проверка работы автоматических выключателей и контакторов при пониженном и номинальном напряжениях оперативного тока	163
4.4.5. Проверка релейной аппаратуры	164
4.4.6. Проверка правильности функционирования полностью собранных схем при различных напряжениях оперативного тока	168
5. ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	170
5.1. Основные термины	170
5.2. Требования к заземляющим устройствам	172
5.3. Наладка заземляющих устройств	177
5.3.1. Проверка элементов заземляющего устройства	177
5.3.2. Проверка цепи между заземлителями и заземляющими элементами	177
5.3.3. Проверка состояния пробивных предохранителей в электроустановках до 1 кВ	179
5.3.4. Проверка цепи фаза—ноль в электроустановках с глухим заземлением нейтрали	180
5.3.5. Измерение сопротивления заземляющих устройств	183

6. УКАЗАНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ	190
6.1. Подготовка и производство наладочных работ	190
6.2. Организация наладочных работ	191
6.3. Разграничение монтажных и пусконаладочных работ	192
6.4. Взаимоотношения со смежными организациями	193
7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ	196
7.1. Меры электробезопасности	196
7.2. Требования к персоналу, обслуживающему электроустановки	202
7.3. Оказание доврачебной помощи пострадавшему	207
Приложение П1. Условные обозначения, наносимые на аналоговые электроизмерительные приборы с непосредственным отсчетом и вспомогательные части (по ГОСТ 23217—78)	211
Приложение П2. Условные графические обозначения в схемах	216
Список литературы	233

По вопросам приобретения книги обращайтесь:
Отдел продаж «ИНФРА-М» (оптовая продажа):
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел. (495) 280-15-96; факс (495) 280-36-29
E-mail: books@infra-m.ru

Отдел «Книга—почтой»:
тел. (495) 280-15-96 (доб. 246)

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 2 ст. 1
----------------	--

Справочное издание

Барварин Владимир Константинович

ВЫБОР И НАЛАДКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

ООО «Издательство Форум»
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
E-mail: forum-book@yandex.ru
Тел.: (495) 280-15-96

ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29
E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>

Подписано в печать 27.09.2017.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 14,88.
ППТ60. Заказ № 00000
ТК 77280-941706-220414

Отпечатано в типографии ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29