

К. А. НАБАТОВ, В. В. АФОНИН

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
УСТРОЙСТВ
НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

УДК 629.4.082.3
ББК 3264я73-5
Н133

Рецензенты:

Доктор технических наук, заведующий отделом
альтернативных источников энергии ВИИТиН
А.М. Шувалов

Доктор технических наук, профессор Тамбовского государственного
технического университета
В.Н. Чернышов

Набатов, К.А.

Н133 Электрические аппараты распределительных устройств низкого напряжения : учебное пособие / К.А. Набатов, В.В. Афонин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 96 с. – 100 экз. – ISBN 978-58265-0651-6.

Приводятся номенклатура и основные технические данные электрических аппаратов, наиболее широко применяемых в настоящее время для управления и защиты электрооборудования в сетях низкого напряжения; указаны основные соотношения для выбора и проверки аппаратов в различных режимах работы. Даны решения типовых задач, связанных с выбором сечений проводов и кабелей, а также с выбором и проверкой электрических аппаратов.

Предназначено для студентов специальности 100400 "Электроснабжение промышленных предприятий" при изучении дисциплины "Электрические аппараты".

УДК 629.4.082.3
ББК 3264я73-5

ISBN 978-58265-0651-6

© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный
технический университет" (ТГТУ), 2007
Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"

К.А. НАБАТОВ, В.В. АФОНИН

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Утверждено Ученым советом университета
в качестве учебного пособия



Тамбов
◆ Издательство ТГТУ ◆
2007

Учебное издание

НАБАТОВ Константин Александрович
АФОНИН Владимир Васильевич

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Учебное пособие

Редактор В.Н. Митрофанова
Инженер по компьютерному макетированию М.А. Филатова
Корректор О.М. Ярцева

Подписано к печати 30.11.2007
Формат 60 × 84 / 16. 5,58 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 762

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета,
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Система электроснабжения – это совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией.

Система электроснабжения предприятий состоит из электрических сетей напряжением до 1000 В и выше, преобразовательных устройств, дополнительных автономных источников питания и электроприемников. Она предназначена для обеспечения потребителей электрической энергией в необходимом количестве и соответствующего качества в виде однофазного или трехфазного переменного тока различных частот и напряжений и постоянного тока.

Режимом работы системы электроснабжения называется некоторое ее состояние, определяемое значениями напряжений, нагрузки, токов, частоты и других физических переменных величин, характеризующих процесс получения и преобразования энергии и называемых параметрами режима.

Различают следующие режимы работы: 1) нормальный установившийся режим с параметрами, находящимися в нормированных пределах; 2) нормальный переходный режим, связанный с эксплуатационными изменениями схемы электроснабжения предприятия или схемы питающей энергосистемы; 3) аварийный переходный режим с резким изменением параметров вследствие аварийного изменения в схеме питающей энергосистемы или в схеме электроснабжения предприятия; 4) послеаварийный установившийся режим, возникающий после аварийного отключения части элементов схемы энергосистемы или схемы электроснабжения предприятия.

Применяемые в схемах электроснабжения электрические аппараты выполняют следующие основные функции: защиту электроустановок от токов короткого замыкания и перегрузок, управление электроприемниками, автоматическую работу элементов электроустановок. Защита электроустановок от токов короткого замыкания (КЗ) может осуществляться плавкими предохранителями и автоматическими выключателями.

Защита от перегрузок в электроустановках осуществляется при помощи тепловых реле, встроенных в магнитные пускатели и контакторы, отрегулированных на расчетный ток срабатывания.

Управление электроприемниками осуществляется коммутационными аппаратами: автоматическими выключателями, контакторами и магнитными пускателями.

Автоматическая работа элементов электроустановок обеспечивается релейно-контакторной аппаратурой или логическими элементами, которые быстро реагируют на изменение режима работы и подают команду на отключение или включение соответствующих цепей. Например, при коротком замыкании, когда ток увеличивается в десятки и сотни раз, необходимо немедленно отключить поврежденный участок, чтобы не нарушить работу смежных неповрежденных частей системы электроснабжения. Такая команда может быть подана только автоматическим устройством – электромагнитным реле, реагирующим на изменение тока и замыкающим цепи управления соответствующих выключателей.

Автоматическое отключение элементов системы при коротком замыкании должно быть избирательным (селективным). Избирательность действия защитных аппаратов можно обеспечить, например, за счет соответствующего выбора времени срабатывания защит смежных участков цепи.

При токах короткого замыкания за время действия защитной аппаратуры в электрических аппаратах выделяется большое количество тепла. Поэтому аппараты должны обладать термической стойкостью, т.е. способностью выдерживать в течение заданного промежутка времени ток короткого замыкания без нарушения работоспособности аппарата.

Кроме того, при замыканиях возникают значительные электродинамические силы, которые могут повредить электрооборудование. Способность электрооборудования выдерживать механические нагрузки при токах КЗ называется электродинамической стойкостью.

Правильный выбор коммутационной и защитной аппаратуры, учитывающий как нормальные, так и аварийные режимы работы, позволяет наряду с другими мероприятиями повысить надежную работу электрооборудования предприятий связи.

Для удобства практического применения в пособии приводятся таблицы с основными параметрами коммутационного и защитного оборудования напряжением до 1000 В и даются примеры электротехнических расчетов.

1. КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ

1.1. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Автоматические выключатели (автоматы) предназначены для нечастых оперативных включений и отключений электрических цепей и защиты электрических установок при перегрузках и коротких замыканиях, а также при недопустимых снижениях напряжения.

В действующих электрических сетях используются автоматы различных типов и исполнений. Условно все автоматы можно разделить на три группы: 1) малые установочные автоматические выключатели серий: А-61, АП-50, АЕ-1000, АЕ-2000; 2) установочные автоматические выключатели серий А3100 и А3700; 3) подстанционные автоматические выключатели серий: АВМ, ВА, "Электрон". В целях унификации выпускаемых промышленностью автоматов создана единая серия А3700, которая должна постепенно заменить все другие конструкции автоматов в диапазоне токов 160...630 А.

Различают селективные (С) и токоограничивающие (Б) автоматы серии А3700. Селективные автоматы снабжены полупроводниковым расцепителем, обеспечивающим двухступенчатую токовую защиту, состоящую из токов отсечки с выдержкой времени и максимальной токовой защиты с зависимой от тока выдержкой времени.

Токоограничивающие автоматы имеют устройство, которое под действием электродинамических сил размыкает контакты автомата при прохождении через них значительных токов КЗ независимо от действия максимального расцепителя.

Для защиты головных участков сети применяют автоматы типа АВМ, выпускаемые на номинальные токи 400...2000 А. Автоматы этой серии имеют невысокую отключающую способность и ограниченную возможность изменения защитных характеристик. Более совершенными являются автоматы серии "Электрон", выпускаемые на номинальные токи 250...6000 А с отключающей способностью 50-55 кА, и новые автоматические выключатели серии ВА.

Отключение автомата производится приводом, кнопкой или расцепителем. Расцепители представляют собой электромагнитные или термобиметаллические механизмы, которые при срабатывании вызывают отключение автомата мгновенно или с некоторой выдержкой времени. Наиболее распространены:

- 1) расцепители максимального тока, которые срабатывают при токе, превосходящем ток установки;
- 2) расцепители минимального напряжения, которые срабатывают, когда напряжение на катушке расцепителя меньше заданного;
- 3) расцепители независимые, срабатывающие без выдержки времени, когда на их катушку подано напряжение.

Иногда применяют расцепители минимального и обратного постоянного тока, которые срабатывают, когда ток соответственно станет меньше заданного или изменит свое направление.

Расцепители минимального напряжения или независимые расцепители применяют для дистанционного отключения автомата.

1.2. КОНСТРУКЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Автоматические выключатели состоят из следующих основных узлов: контактной системы; дугогасительной системы; расцепителей; механизма управления; механизма свободного расцепления. Все узлы выключателя заключены в пластмассовый корпус.

Контактная система состоит из неподвижных контактов, закрепленных в корпусе, и подвижных контактов, шарнирно посаженных на полуоси рычага механизма управления, и обеспечивает, обычно, одинарный разрыв цепи.

Дугогасительное устройство устанавливается в каждом полюсе выключателя и предназначается для локализации электрической дуги в ограниченном объеме. Оно представляет собой дугогасительную камеру с де-ионной решеткой из стальных пластин. Могут быть предусмотрены также искрогасители, представляющие собой фибровые пластины.

Механизм свободного расцепления представляет собой шарнирный 3- или 4-звенный механизм, который обеспечивает расцепление и отключение контактной системы как при автоматическом, так и при ручном управлении.

Электромагнитный максимальный расцепитель тока, представляющий собой электромагнит с якорем, обеспечивает автоматическое отключение выключателя при токах короткого замыкания, превышающих уставку по току. Электромагнитные расцепители тока с устройством гидравлического замедления срабатывания имеют обратную зависимость от тока выдержку времени для защиты от токов перегрузки.

Тепловой максимальный расцепитель представляет собой термобиметаллическую пластину. При токах перегрузки деформация и усилия этой пластины обеспечивают автоматическое отключение выключателя. Выдержка времени уменьшается с ростом тока.

Полупроводниковые расцепители состоят из измерительного элемента, блока полупроводниковых реле и выходного электромагнита, воздействующего на механизм свободного расцепления автомата. В качестве измерительного элемента используется трансформатор тока (на переменном токе) или дроссельный магнитный усилитель (на постоянном токе). Полупроводниковый расцепитель тока допускает регулировку следующих параметров: номинального тока расцепителя; уставки по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания (ток отсечки); уставки по времени срабатывания в зоне токов перегрузки; уставки по времени срабатывания в зоне токов короткого замыкания (для селективных выключателей).

Во многих автоматах применяют комбинированные расцепители, использующие тепловые элементы для защиты от токов перегрузок и электромагнитные для защиты от токов коротких замыканий без выдержки времени (отсечки).

Выключатель имеет также дополнительные сборочные единицы, которые встраиваются в выключатель или крепятся к нему снаружи. Ими могут быть независимый, нулевой и минимальный расцепители, свободные и вспомогательные контакты, ручной и электромагнитный дистанционный привод, сигнализация автоматического отключения, устройство для запираания выключателя в положении "отключено".

Независимый расцепитель представляет собой электромагнит с питанием от постороннего источника напряжения. Минимальный и нулевой расцепители могут выполняться с выдержкой времени и без выдержки времени. С помощью независимого или минимального расцепителя возможно дистанционное отключение автомата.

В зависимости от способа установки автоматы делятся на стационарные и выдвижные, а в зависимости от типа присоединения – на автоматы с передним, задним или комбинированным присоединением главной цепи.

Присоединение внешних проводников к дополнительным сборочным единицам (дополнительным расцепителям, свободным контактам) осуществляется без переходных устройств для выключателей стационарного исполнения и через зажимную колодку посредством соединителя типа РП10 – для выключателей выдвижного исполнения. При этом проводники от дополнительных сборочных единиц для выключателей стационарного исполнения имеют длину (800 ± 150) мм или $(800 \pm$

100) мм и выводятся в одной или нескольких изоляционных трубках, а для выключателей выдвижного типа имеют длину (800 ± 100) мм и подсоединяются к вилке соединителя. Сечение внешних гибких проводников – от 0,35 до 1,5 мм².

Сечение внешних проводов и кабелей, подводимых к контактам главной цепи выключателя, выбирается в соответствии с ГОСТ 12434–83.

Варианты присоединения внешних проводов к выводам (контактам) главной цепи приводятся в технических данных конкретных аппаратов, где указаны: способ установки автомата; способ присоединения внешних проводников; вид проводников (шина, кабель, провод); материал проводников; наличие, тип, материал кабельных наконечников; диаметр контактного стержня и др.

1.3. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Функциональные токопроводящие элементы автоматического выключателя, входящие в электрическую схему, приведены на рис. 1.1.

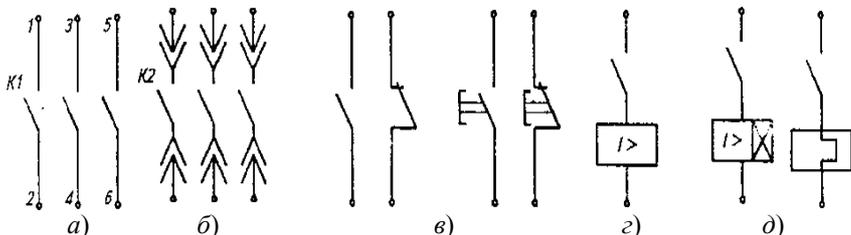


РИС. 1.1. ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

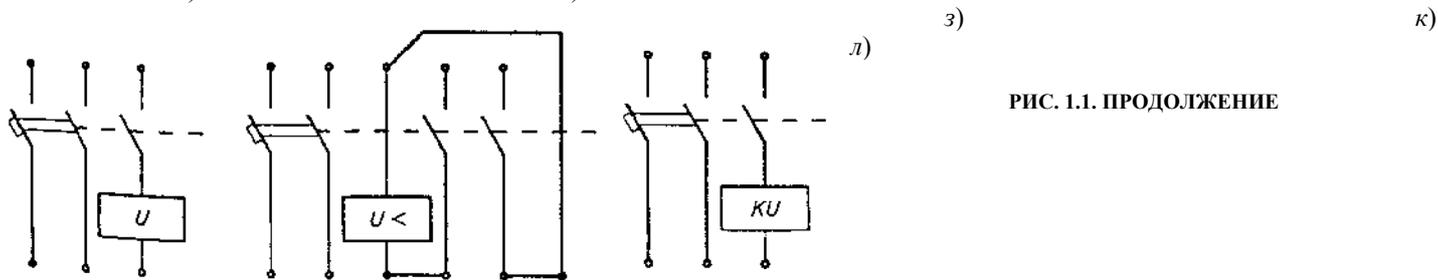
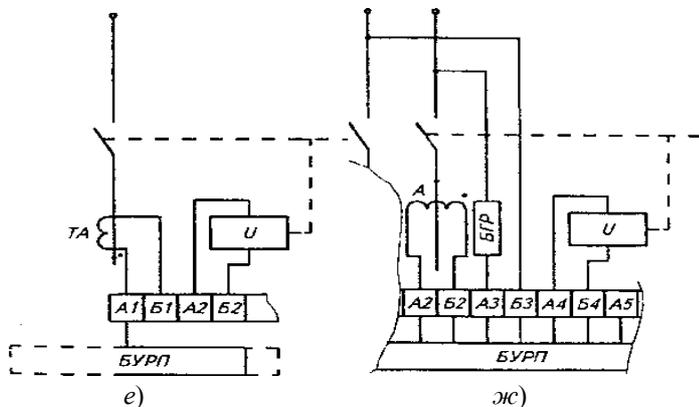


РИС. 1.1. ПРОДОЛЖЕНИЕ

1.4. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Номинальные напряжения и номинальные рабочие напряжения главной цепи выключателей должны соответствовать ГОСТ 21128–83 и предпочтительно выбираться из ряда: 220, 380, 660, 1000 В – для переменного тока; ПО, 220, 440 В – для постоянного тока.

По согласованию с потребителем допускаются номинальные напряжения главной цепи выключателя: 127, 500 В – для переменного тока; 1000, 1200 В – для постоянного тока.

Номинальные напряжения главной цепи выключателей, предназначенных на экспорт, устанавливаются по заказу-наряду внешнеторговых организаций.

Допустимые отклонения номинального напряжения главной цепи должны устанавливаться в технических условиях на конкретные серии и типы выключателей в соответствии с ГОСТ 12434–83.

В выключателях, предназначенных для работы при температуре окружающего воздуха 40 °С, номинальные токи главной цепи и номинальные токи максимальных разделителей должны соответствовать ГОСТ 6827–76 и выбираться из ряда: 6,3, 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630 А. Если же работа выключателей возможна при температуре окружающего воздуха, отличной от 40 °С, то значения номинальных токов могут отличаться от приведенных в указанном ГОСТ значений и устанавливаются в технических условиях на конкретные серии и типы выключателей.

Номинальные токи максимальных расцепителей по согласованию с потребителем выбираются из ряда (ГОСТ 6827–76): 15, 45, 120, 150, 300, 320, 600 А. Выключатели каждого следующего номинального тока должны иметь максимальные расцепители на номинальные токи, предусмотренные в выключателе предыдущего номинального тока, обеспечивая "перекрытие" не менее:

- трех значений номинальных токов для выключателей на номинальные токи до 63 А включительно;
- двух значений номинальных токов для выключателей на номинальные токи свыше 63 А до 160 А включительно;

– одного значения номинального тока для выключателей на номинальные токи свыше 160 А.

В случае, если выключатель рассчитан на работу с максимальными расцепителями на различные номинальные токи, номинальный ток выключателя определяется номинальным током встроенного в него расцепителя и выбирается из ряда номинальных токов расцепителя.

Частота питающего переменного тока должна соответствовать ГОСТ 12434–83. В описании конкретных серий и типов выключателей с электромагнитными и полупроводковыми максимальными расцепителями тока приведены значения и диапазоны уставок по току срабатывания, значения и диапазоны выдержек времени для защиты в зонах токов перегрузки и короткого замыкания. Для выключателей с максимальными расцепителями с обратной зависимой от тока выдержкой времени для защиты в зоне токов перегрузки приведены условия срабатывания (несрабатывания) расцепителей (ГОСТ 9098–78). Предельная коммутационная способность выключателя определяется значениями токов, характеризующих наибольшую включающую и отключающую способность выключателя. Соотношение между этими токами "п" (для токов, характеризующих наибольшую отключающую способность до 1500 А) и коэффициент мощности коммутируемой цепи предельно принимается равными 1,41 и 0,95 соответственно (ГОСТ 9098–78). Постоянная времени коммутируемой цепи должна выбираться по ГОСТ 9098–78 из ряда 5, 10, 15 мс (значение 15 мс является предпочтительным). Для выключателей переменного тока в случае, если предельная коммутационная способность задается только наибольшей отключающей способностью, ток, характеризующий наибольшую включающую способность выключателей, должен быть не менее произведения n и тока, определяющего наибольшую (отключающую способность выключателя при соответствующем коэффициенте мощности цепи.

Для выключателей постоянного тока ток, характеризующий наибольшую включающую способность, должен быть не менее тока наибольшей отключающей способности.

Выключатели должны коммутировать токи предельной коммутационной способности в одном из следующих номинальных коммутационных циклов:

О–П–ВО (категория Р-1);

О–П–ВО–П–ВО (категория Р-2),

где О – операция отключения; ВО – операция включения-отключения, т.е. включения, за которым немедленно следует отключение без выдержки времени; П – пауза, которая должна быть не более 180 с, но не менее времени взвода выключателя. Токи предельной коммутационной способности в номинальных коммутационных циклах устанавливаются в ТУ на конкретные серии и типы выключателей. Выключатели должны включать и отключать токи предельной коммутационной способности при номинальном коммутационном цикле без зачистки контактов, смены и ремонта отдельных деталей.

Значения токов однократной предельной коммутационной способности при операциях ВО и О устанавливаются в технических условиях на конкретные серии и типы выключателей.

Выключатели должны надежно включать и отключать любой ток, вплоть до токов предельной коммутационной способности при 1.1 номинального напряжения и соответствующем коэффициенте мощности и постоянной времени цепи.

Общее количество циклов ВО при оперативных включениях и отключениях, а также количество циклов ВО под нагрузкой (коммутационная износостойкость) устанавливается в ТУ на конкретные серии и типы выключателей.

Предпочтительно, чтобы отношение между количеством циклов ВО под нагрузкой и общим количеством циклов ВО соответствовало табл. 1.1 (ГОСТ 9098–78).

Допустимое количество отключений выключателя под действием максимальных расцепителей тока из общего количества ВО должно устанавливаться в ТУ на конкретные серии и типы выключателей и должно быть не менее 25 циклов ВО для выключателей на номинальные токи до 1000 А включительно.

Выключатели с максимальными расцепителями токов должны быть термически и динамически стойкими во всем диапазоне токов, вплоть до токов, характеризующих наибольшую включающую и отключающую способность при регламентированном времени срабатывания выключателей и заданных параметрах цепи.

Термическая и электродинамическая стойкость (устойчивость при сквозных токах короткого замыкания) выключателей без максимальных расцепителей тока устанавливается в ТУ на конкретные серии и типы выключателей.

1.1. Отношение между количествами циклов включений-отключений

Номинальный ток выключателя, А	Отношение между количеством циклов ВО при нагрузке и общим количеством циклов ВО для выключателей		Общее количество циклов ВО не менее, для выключателей	
	рассчитанных на техническое обслуживание	не рассчитанных на техническое обслуживание	рассчитанных на техническое обслуживание	не рассчитанных на техническое обслуживание
До 100	0,2	0,5	20000	8000
Свыше 100 до 315	0,1	0,25		
Свыше 315 до 630			0,2	10000

Выключатели должны быть рассчитаны на работу с длительно допустимой токовой нагрузкой внешних присоединительных проводов и шин, равной наибольшему предусмотренному номинальному току максимальных разделителей. При этом провода должны выбираться из расчета температуры жилы 65 °С, шины – 70 °С.

Для изоляции цепей аппаратов ГОСТ 12434–83 устанавливает норму на испытательное напряжение частотой 50 Гц, прикладываемое в течение 1 мин.

При этом испытательное напряжение между цепями, рассчитанными на различные номинальные напряжения по изоляции, должно соответствовать напряжению цепи, имеющей наибольшее номинальное напряжение по изоляции.

1.5. ВРЕМЯТОКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Тепловые и полупроводниковые расцепители осуществляют срабатывание выключателя в зоне токов перегрузки с выдержкой времени, обратно зависимой от тока защищаемой цепи.

Эта зависимость описывается времятоковой характеристикой, представленной в нормативно-технических документах (ТУ, каталогах) в виде графика, имеющего две ветви, при этом время срабатывания выключателя находится в зоне, ограниченной ими.

В качестве характерных точек в области токов перегрузки, где срабатывает только тепловой расцепитель, берутся: ток несрабатывания теплового расцепителя – $1,05I_n$ – с холодного состояния выключателя; ток срабатывания теплового расцепителя – $1,25I_n$, $1,3I_n$ или $1,35I_n$ или $1,5I_n$ – с нагретого состояния выключателя (условия нагрева приведены в паспортных данных).

Характерными точками в зоне больших токов, порядка $6I_n$, $7I_n$, где в зависимости от характера тока (ток КЗ или перегрузки) может сработать или электромагнитный, или тепловой расцепитель, являются уставки по току срабатывания электромагнитного расцепителя. При этом следует обратить внимание на то, что в этих характерных точках время срабатывания выключателя определяется по времятоковым кривым теплового расцепителя. В случае, если уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя представлена зоной срабатывания, то в качестве характерных точек используют точки пересечения зон срабатывания теплового и электромагнитного расцепителей.

1.6. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Выбор осуществляется по следующей схеме:

- назначение и область применения; род тока и величина номинального напряжения и тока главной цепи; количество главных контактов;
- климатическое исполнение и категория размещения;
- способ установки; тип присоединения;
- исполнение по виду максимальнотокковой защиты;
- вид максимального расцепителя;
- номинальный ток расцепителя;
- кратность уставки тока отсечки расцепителя максимального тока к номинальному току расцепителя;
- кратность уставки тока перегрузки к номинальному току расцепителя;
- время срабатывания автомата при $1,5I_n$ и $6I_n$;
- предельная коммутационная способность выключателя;
- механическая износостойкость;
- количество коммутационных циклов под нагрузкой;
- термическая и электродинамическая стойкость выключателя;
- вид привода;
- количество и сочетание свободных контактов;
- степень защиты;
- габаритные и установочные размеры;
- масса.

1.7. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ОБЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДО 630 А

1.7.1. Автоматы серии А3700

Применяются для защиты цепей переменного тока частотой 50 Гц, напряжением до 660 В и постоянного тока напряжением до 440 В от сверхтоков, а также для пуска асинхронных короткозамкнутых двигателей. Автоматы выпускаются на номинальные токи 160, 250, 400, 630 А (табл. 1.2 – 1.14).

Ток уставки и выдержка времени автоматов с полупроводниковыми расцепителями максимального тока могут регулироваться в широких пределах. В зоне короткого замыкания время срабатывания регулируется только для селективных автоматов в пределах 0,1 – 0,4.

1.7.2. Автоматы установочные серии А3100

Предназначены для коммутации и защиты цепей переменного тока напряжением до 500 В и постоянного тока напряжением до 220 В. Эти автоматы выпускались на токи до 630 А. Автоматы с номинальным током более 63 А имели кроме тепловых еще и электромагнитные расцепители, срабатывавшие без выдержки времени. Данные автоматы применялись в шкафах старых типов (ПР9000, ПД, ЩО59 и др.).

1.7.3. Автоматы серии АВМ

Применялись в установках при номинальном напряжении до 500 В переменного и до 440 В постоянного тока. Автоматы были рассчитаны на токи 400, 1000, 1500 и 2000 А и выпускались в двух исполнениях: стационарном и выдвижном с втычными контактами.

1.7.4. Автоматы серии ВА

Автоматические выключатели новых серий ВА-50 сейчас заменяют выключатели устаревших серий АЕ3700, АЕ20, АВМ и предназначены для работы в сетях переменного до 660 В и постоянного до 440 В тока. Автоматы с номинальным током до 100 А имеют только стационарное исполнение. При номинальных токах свыше 100 А они имеют как стационарное, так и выдвижное исполнение.

Выключатели автоматические однополюсные типа ВА 22-77 (табл. 1.15 – 1.17) предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях и перегрузках в электрических цепях с номинальным напряжением переменного тока 380 В частотой 50 и 60 Гц (с частотой до 30 включений в час); выключатели устанавливаются в жилых и административных зданиях.

1.15. УСЛОВИЯ СРАБАТЫВАНИЯ (НЕСРАБАТЫВАНИЯ) МАКСИМАЛЬНЫХ РАСЦЕПИТЕЛЕЙ ТОКА

Условия включения			
Состояние выключателя	Нагревающий ток, в кратности к номинальному		Время нагрева
Холодное	–		–
Нагретое	1,13I _н		В течение 1 часа
Ток несрабатывания		Ток срабатывания	Время срабатывания
В кратности к номинальному току			
1.13 I _н		–	–
–		1,45I _н	Менее 1 часа
			Время несрабатывания
			В течение 1 часа
			–

1.16. Времятоковые характеристики выключателей типа ВА22-27

Номинальный ток максимального теплового расцепителя, А	Температура окружающего воздуха, °С	Время срабатывания теплового расцепителя, с, в характерных точках		
		при работе выключателя с холодного состояния	при работе выключателя с нагретого состояния ¹⁾	при токе отсечки электромагнитного расцепителя ²⁾
		при кратностях тока нагрузки к номинальному току расцепителя		
		1,13	1,45	10
10...40	–40	Не срабатывает при t < 10000	≥ 2000	0,55
	40	≥ 2000	≥ 200	0,28
	55	≥ 650	140...5000	0,12

Примечания: ¹⁾ Нагретое состояние определяется током 1,13 I_н в течение 1 ч.

²⁾ Току отсечки электромагнитного расцепителя соответствует время срабатывания расцепителя, определяемое только по нижней ветви времятоковой характеристики.

1.17. Предельная коммутационная способность выключателя

Номинальный ток максимального расцепителя тока, А	Номинальное напряжение, В	cosφ	Предельная коммутационная способность выключателя, кА
10	220	0,93...0,98	1,0
16			1,5
25; 32; 40			3,0
10	380	0,93...0,98	0,5
16			0,75
25; 32; 40			1,0

Выключатели автоматические серии ВА51-25 (табл. 1.18 – 1.22) предназначены для проведения тока в нормальном режиме в электрических цепях напряжением до 660 В переменного тока частотой 50 и 60 Гц и до 380 В переменного тока частотой 50, 60 и 400 Гц; для защиты электрических цепей от токов перегрузки и токов короткого замыкания (ВА51-25); для пуска, остановки и защиты асинхронных двигателей от токов перегрузки и токов короткого замыкания (ВА51Г25), а также для оперативных включений и отключений указанных цепей с частотой до 30 включений в час.

Выключатели автоматические типов ВА51-37, ВА52-37 (табл. 1.23 – 1.25) предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузках и недопустимых снижениях напряжения, а также для нечастых (до 6 в сутки) оперативных включений и отключений электрических цепей. Допускается использовать выключатели для прямых пусков и защиты асинхронных электродвигателей.

1.20. Времятоковые характеристики выключателей типа ВА51-25

Состояние выключателя	Температура окружающего воздуха, °С	Время срабатывания теплового расцепителя, с, в характерных точках							
		зона перегрузки			зоны действия уставки по току срабатывания электромагнитного расцепителя				
					$7 I_{нр}$		$10 I_{нр}$		
		при кратностях тока нагрузки к номинальному току расцепителя, $I/I_{нр}$							
		1,05	1,35	5,7	7,6	8	11,3		
Холодное	45	–			2,7	7	1,1	2,9	
	40	Не срабатывает при $t < 6000$			–	3,6	8,5	1,6	3,5
	20	–			5	13	2,4	5	
	–20				8,5	11	3,8	8	
	–40				13	27	4,8	10	
	–60				14	27,5	4,7	9,7	
45	–				33...540	0,48	0,86	0,28	0,4
Нагретое ¹⁾	40	–	33...540	0,86	1,5	0,47	0,6		
	20	–			1	1,7	0,48	0,7	
	–20				1,7	2,7	0,8	1,1	
	–40				2,2	3,6	1	1,8	
	–60				2,6	4	1,4	2	
	45				–	33...540	0,48	0,86	0,28

Пр и м е ч а н и е .¹⁾ Нагревание производится током $1,05 I_{н}$ в течение 1 ч.

1.21. Времятоковые характеристики выключателей типа ВА51Г25

Состояние выключателя	Температура окружающего воздуха, °С	Время срабатывания теплового расцепителя, с, в характерных точках							
		зоны перегрузки						зоны действия уставки по току срабатывания электромагнитного расцепителя	
								$14 I_{нр}$	
		при кратностях тока нагрузки к номинальному току расцепителя, $I/I_{нр}$							
		1,05	1,2	1,5	6	7	11,5	15,2	
Холодн ое	45	–						1,6	3
	40	Не срабатывает при $t < 6000$		–	4,5...17	3,3...12	1,4	3,2	
	20	–						1,6	3,4
	–20							2,5	5,5
	–40							3	6
	–60							2,8	6,1
45	–							33...540	0,48

Продолжение табл. 1.21

Состояние выключателя	Температура окружающего воздуха, °С	Время срабатывания теплового расцепителя, с, в характерных точках							
		зоны перегрузки						зоны действия уставки по току срабатывания электромагнитного расцепителя	
								$14 I_{нр}$	
		при кратностях тока нагрузки к номинальному току расцепителя, $I/I_{нр}$							
		1,05	1,2	1,5	6	7	11,5	15,2	
Нагрето е ¹⁾	45	–						0,28	0,34
	40	≥ 1800	30...200	10...34	–	–	0,33	0,36	
	20	–						0,34	0,4
	–20							0,48	0,55
	–40							0,5	0,56
	–60							0,54	0,6
45	–							33...540	0,48

Пр и м е ч а н и е .¹⁾ Нагревание производится током $1,05 I_{н}$ в течение 1 ч.

1.22. Предельная коммутационная способность выключателя

Тип выключателя	Степень защиты	Номинальный ток максимального расцепителя тока, А	Цепь переменного тока (действующее значение) при $\cos \varphi = 0,7 \pm 0,05$ и напряжении		Вид максимального расцепителя тока
			380 В	660 В	
ВА51–25	–	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3	1,5	1,5	Электромагнитный
			2,0	2,0	
					8,0
ВА51Г25	IP54	10,0; 12,5	2,5		Электромагнитный и тепловой
	IP00, IP20	16,0; 20,0; 25,0	3,8		
	IP54		2,0	1,2	
	IP00	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6	3,0	3,0	
	IP20	2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0	1,5	1,5	
	IP54,	10,0; 12,5	2,0	2,0	
	IP00, IP20	16,0; 20,0; 25	3,0	2,0	
IP54	2,0		1,2		

1.25. Предельная коммутационная способность выключателя

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение главной цепи, В	$\cos \varphi$	τ , мс	Предельная коммутационная способность выключателя, кА, в цикле О–П–ВО ^{1), 2)}
ВА51-37	~ 50; 60 Гц	380	0,25	–	25 ³⁾
		660	0,3		15 ³⁾
	Постоянный	220	–	10	40
ВА52-37	~ 50; 60 Гц	380	0,25	–	35 ³⁾
		660	0,3		20 ³⁾
	Постоянный	440	–	10	85

Примечания: ¹⁾ Предельная коммутационная способность при подаче напряжения от источника питания со стороны выводов 1, 3, 5 в коммутационных циклах О–П–ВО соответствуют указанной в таблице, где П – пауза, равная 180 с.

²⁾ При подводе питания со стороны выводов 2, 4, 6 предельная коммутационная способность выключателей на 50 % меньше вышеприведенных значений.

³⁾ Приведено действующее значение симметричной составляющей тока.

1.7.5. Автоматы серии "Электрон"

Предназначены для работы в электроустановках переменного тока частотой 50 Гц напряжением до 660 В и постоянного тока напряжением до 440 В для автоматического отключения силовых электрических цепей при редких КЗ, недопустимых перегрузках, для нечастых коммутаций при нормальных режимах работы. Выпускаются на токи от 800 до 5000 А в стационарном и выдвижном исполнениях.

Реле максимальной токовой защиты имеет четыре уставки по времени: мгновенно; 0,25; 0,45; 0,7 секунды. Имеется независимый расцепитель для дистанционного отключения.

1.8. КОНТАКТОРЫ

Контактор – это двухпозиционный коммутационный аппарат с самовозвратом, предназначенный для частых коммутаций токов, не превышающих токи перегрузки, и приводимый в действие приводом. Предназначен для дистанционного включения и отключения силовых цепей переменного и постоянного тока напряжением до 1000 В. Контакторы применяются также в устройствах автоматического включения резервного питания в сетях напряжением до 1000 В. Параметры контакторов переменного и постоянного тока серий КТ, КТП, МК, КМ даны в [2].

1.9. МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ

Магнитный пускатель – это коммутационный аппарат для прямого пуска, остановки и защиты электродвигателей. Наиболее распространены серии пускателей с контактной системой и электромагнитным приводом: ПМЕ, ПМА, ПА, ПВН, ПМЛ. В настоящее время для двигателей с номинальным током до 40 А включительно следует применять пускатели серии ПМЛ, для двигателей на 63 А и более – пускатели серии ПМА. Характеристики магнитных пускателей переменного и постоянного тока приведены в [2].

1.10. РУБИЛЬНИКИ И РАЗЪЕДИНИТЕЛИ

Рубильники предназначены для неавтоматического включения и отключения цепей переменного и постоянного тока напряжением до 660 В. Они изготавливаются преимущественно на номинальные токи 25, 100, 250, 400, 630 и 1000 А.

Наиболее распространены рубильники серий: Р, РБ, РПБ и РПЦ. Буквы обозначают: Р – рубильник, РБ – рубильник с боковой рукояткой; РПБ – рубильник с приводом боковым рычажным; РПЦ – рубильник с приводом центральным рычажным.

Рубильники выпускаются одно-, двух- и трехполюсными с передним или задним присоединением проводов (шин). Рубильники с открытыми ножами (без дугогасительных камер) называют разъединителями. Они обычно предназначены для создания видимого разрыва цепи. Разъединители новой серии РЕ19, рассчитанные на ток 1000 А и выше, приведены в [2].

1.11. БЛОК "ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ-ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ"

Данный блок представляет собой трехфазный коммутационно-защитный аппарат с номинальным током до 1000 А с двойным разрывом цепи, выполненный совместно с приводом в одном конструктивном элементе. В аппарате типа БПВ включение и отключение осуществляется патронами предохранителей типа ПН-2, смонтированными в рычажный привод.

2. ЗАЩИТНАЯ АППАРАТУРА

2.1. ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЩИТНЫМ АППАРАТАМ

Защита сетей напряжением до 1000 В осуществляется в целях ограничения размеров повреждения электроустановок при возникновении ненормальных режимов работы. Наиболее распространенными видами ненормальных режимов работы являются короткие замыкания между фазами, однофазные короткие замыкания в сетях с заземленной нейтралью или замыкания на землю одной из фаз при изолированной нейтрали, а также перегрузки, создаваемые потребителями.

В качестве основных аппаратов для защиты сетей напряжением до 1000 В применяют предохранители с плавкими вставками и автоматические выключатели. Аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать максимальному значению тока КЗ в начале защищаемого участка электрической сети [1].

Защита от токов КЗ должна осуществляться с наименьшим временем отключения и с обеспечением требования селективности. При этом защита должна обеспечивать отключение поврежденного участка сети при КЗ в конце его: одно-, двух- и трехфазных КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью, двух- и трехфазных КЗ в сетях с изолированной нейтралью.

Надежное отключение поврежденного участка сети обеспечивается, если отношение наименьшего расчетного тока КЗ к номинальному току плавкой вставки предохранителя или расцепителя автоматического выключателя будет не менее значения, указанного в [1].

Номинальные токи плавких вставок предохранителей и токи срабатывания автоматических выключателей должны быть минимально возможными и выбираться по расчетным токам нагрузки таким образом, чтобы эти аппараты не отключали питание электроприемников при кратковременных перегрузках, например при запуске электродвигателей или включении преобразовательных агрегатов.

В ряде случаев необходима защита сетей от возможной длительной перегрузки, которая может возникнуть при различных отклонениях технологического процесса от расчетного или при ненормальных режимах работы сети.

Электрические сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией, должны быть защищены от перегрузок с тем, чтобы предотвратить возникновение пожаров в этих помещениях вследствие перегрева проводов и возможного загорания изоляции. Кроме того, должны быть защищены от перегрузок сети внутри помещений: осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников (чайников, холодильников и т.п.), а также в пожароопасных зонах; силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях – только в тех случаях, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников; сети всех видов во взрывоопасных зонах.

В сетях, защищаемых от перегрузок, аппараты защиты по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников должны иметь кратность, не превышающую значений, указанных в ПУЭ.

2.2. МЕСТА УСТАНОВКИ ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ

Аппараты защиты должны устанавливаться непосредственно в местах присоединения защищаемых проводников к питающей линии. Причем их следует располагать по возможности в доступных для обслуживания местах так, чтобы была исключена возможность их механических повреждений и при оперировании с ними или при их действии была исключена опасность для обслуживающего персонала и возможность повреждения окружающих предметов.

При защите сетей предохранителями последние должны устанавливаться на всех нормально незаземленных полюсах или фазах. Установка предохранителей в нулевых рабочих проводниках запрещается. При защите сетей с глухозаземленной нейтралью автоматическими выключателями расцепители их должны устанавливаться во всех нормально незаземленных проводниках. При защите сетей с изолированной нейтралью в трехпроводных сетях трехфазного тока и двухпроводных сетях однофазного или постоянного тока допускается устанавливать расцепители автоматов в двух фазах при трехпроводных сетях и в одной фазе (полюсе) при двухпроводных сетях.

Не допускается устанавливать аппараты защиты в местах присоединения к питающей линии таких цепей управления, сигнализации и измерения, отключение которых может повлечь за собой опасные последствия (отключение пожарных насосов, вентиляторов и т.п.). Во всех случаях такие цепи должны выполняться проводниками в трубах и иметь негорючую оболочку [1].

2.3. ВЫБОР ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ И ИХ ПЛАВКИХ ВСТАВОК

Выбор предохранителей и их плавких вставок производится по двум критериям на основе технических условий и каталогов [2, 3].

1. Номинальные токи предохранителя ($I_{нп}$) и плавкой вставки ($I_{пв}$) не должны быть меньше максимального рабочего тока цепи ($I_{раб}$):

$$I_{\text{нп}} \geq I_{\text{раб}}, I_{\text{нв}} \geq I_{\text{раб}} \quad (2.1)$$

За максимальный рабочий ток в расчетах принимается:

а) для одного электроприемника – его номинальный ток, который указывается в паспортных данных или определяется по следующим формулам:

– для двигателя

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} 1000}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \cos \varphi \cdot \nu},$$

где $P_{\text{н}}$ – номинальная мощность двигателя, кВт; $U_{\text{н}}$ – линейное напряжение, В; $\cos \varphi$ – номинальный коэффициент мощности; ν – КПД двигателя;

– для преобразовательных установок, сварочных машин и аппаратов

$$I_{\text{н}} = \frac{S_{\text{нт}} \cdot 1000}{\sqrt{3} U_{\text{н}}},$$

где $S_{\text{нт}}$ – паспортная мощность питающего трансформатора, кВА;

– для осветительных установок

$$I_{\text{н}} = \frac{S_{\text{осв}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{\sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}},$$

где $P_{\text{осв}}$ – активная нагрузка освещения, Вт; $Q_{\text{осв}}$ – реактивная нагрузка освещения, вар;

б) для группы электроприемников с числом не более трех – расчетный ток, равный сумме номинальных токов электроприемников

$$I_{\text{раб}} = I_{\text{р}} = I_{\text{н1}} + I_{\text{н2}} + I_{\text{н3}}.$$

в) для группы электроприемников с числом более трех

– расчетный ток, учитывающий несовпадение максимумов нагрузки электроприемников

$$I_{\text{р}} = K_{\text{нм}} \sum I_{\text{нк}},$$

где $\sum I_{\text{нк}}$ – сумма всех номинальных токов электроприемников группы; $K_{\text{нм}}$ – коэффициент несовпадения максимумов нагрузки. Для электроприемников промпредприятий он изменяется в пределах $K_{\text{нм}} = 0,85 \dots 1,0$. Можно также использовать методику, изложенную в [2; 7].

2. Во избежание чрезмерного перегрева плавких вставок, окисления их поверхности, быстрого старения следует учитывать пиковые токи двигателей или технологической нагрузки по условию

$$I_{\text{нв}} \geq \frac{I_{\text{пик}}}{\alpha}, \quad (2.2)$$

где α – коэффициент тяжести пуска; $I_{\text{пик}}$ – пиковый ток электроприемников.

В зависимости от числа электроприемников пиковый ток определяется следующим образом:

– для одного электроприемника

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}} = K_{\text{п}} I_{\text{н}},$$

где $K_{\text{п}}$ – кратность пускового тока;

– для группы электроприемников числом не более трех

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{н1}} + I_{\text{н2}} + I_{\text{пуск макс}},$$

где $I_{\text{н1}}, I_{\text{н2}}$ – номинальные токи двух электроприемников; $I_{\text{пуск макс}}$ – наибольший пусковой ток третьего электроприемника;

– для группы электроприемников числом более трех

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск макс}} + (I_{\text{р}} - k_{\text{н}} I_{\text{н}}),$$

где $I_{\text{р}}$ – расчетный ток всей группы; $k_{\text{н}}, I_{\text{н}}$ – коэффициент использования и номинальный ток двигателя, для которого взят наибольший пусковой ток.

При небольшой частоте пусков двигателей и быстром их разгоне (менее двух секунд) принимают $\alpha = 2,5$. Это обычно характерно для условий работы большинства электродвигателей. При большой частоте пусков и длительности разгона более двух секунд принимается $\alpha = 1,6 \dots 2,0$. Это характерно, например, для двигателей подъемных кранов или двигателей, соединенных с механизмами, создающими при пуске большой момент сопротивления на валу двигателя.

По наибольшему току из условий (2.1) и (2.2) выбирается номинальный ток плавкой вставки (табл. 2.1, 2.2).

В соответствии с ПУЭ [1] выбранные плавкие вставки должны быть проверены по нескольким условиям.

1) По условию селективности их работы (рис. 2.1).

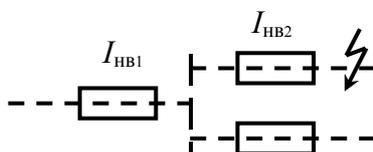


РИС. 2.1. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Селективность работы плавких вставок будет выполняться, если между номинальным током плавкой вставки головного участка сети ($I_{нв1}$) и номинальными токами плавких вставок на ответвлениях к потребителям ($I_{нв2}$) выдерживаются определенные соотношения.

Проверку плавких вставок по условию селективности следует проводить по типовым времятоковым характеристикам $t = f(I)$ с учетом возможного разброса реальных характеристик по данным заводов-изготовителей.

Соотношения между токами $I_{нв1}$ и $I_{нв2}$, обеспечивающие селективность работы предохранителей, зависят от величины тока короткого замыкания I_k . В литературе [3] приводится таблица номинальных токов последовательно включенных плавких вставок, обеспечивающих надежную селективность при различных токах короткого замыкания в начале защищаемого участка сети. Приблизительно можно считать, что предохранители работают селективно, если номинальные токи плавких вставок отличаются по шкале номинальных токов (табл. 2.1, 2.2) не менее чем на две ступени.

2.1. Параметры предохранителей типа ПН-2

Тип	Номинальный ток, А	Номинальные токи плавких вставок, А	Предельный ток отключения, кА, при напряжении	
			380 В	500 В
НПН-2-60	60	6, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60	10	–
ПН-2-100	100	30, 40, 50, 60, 80, 100	100	50
ПН-2-250	250	100, 120, 150, 200, 250	100	50
ПН-2-400	400	250, 300, 400	40	25
ПН-2-600	600	400, 500, 600	25	25

2.2. Параметры предохранителей типа ПР-2

Тип	Номинальный ток, А	Номинальные токи плавких вставок, А	Предельный ток отключения, кА, при напряжении	
			380 В	500 В
ПР-2-15	15	6, 10, 15	8	7
ПР-2-60	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	4,5	3,5
ПР-2-100	100	60, 80, 100	–	–
ПР-2-200	200	100, 125, 160, 200	11	10
ПР-2-350	350	200, 225, 260, 300, 350	13	11
ПР-2-600	600	350, 430, 500, 600	23	–
ПР-2-1000	1000	600, 700, 850, 1000	20	20

2) По условию чувствительности. При этом должно выполняться соотношение

$$I_{км} / I_{нв} \geq 3(4), \quad (2.3)$$

где $I_{км}$ – минимальный ток замыкания на корпус или на нулевой защитный проводник в конце защищаемого участка (4 – для взрывоопасных зон).

3) По условию защищаемости. Проверка осуществляется по соотношению

$$I_{нв} \leq kI_{доп}, \quad (2.4)$$

где $I_{доп}$ – допустимый ток проводников, А; k – кратность, указанная в ПУЭ; $k = 0,8$ – для проводников с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией, проложенных во взрывоопасных производственных помещениях; $k = 1,0$ – для кабелей с бумажной изоляцией во всех случаях; $k = 3,0$ – для сетей, защищаемых только от КЗ и не требующих защиты от перегрузок.

Если в защищаемой предохранителями сети установлены магнитные пускатели или контакторы, то для исключения их отпускания из-за снижения напряжения при коротких замыканиях плавкая вставка предохранителя должна перегореть за время $t = 0,1 \dots 0,2$ с при повреждении в наиболее удаленной точке сети. Это условие обеспечивается при выполнении соотношения

$$I_{k \min} / I_{нв} \geq (10 - 15). \quad (2.5)$$

Надежная работа предохранителей с калиброванными плавкими вставками и высокая предельная отключающая способность позволяют применять их для защиты сетей в большинстве случаев без ограничений. К их достоинствам следует отнести сравнительно небольшую стоимость, простоту устройства. Недостатками предохранителей являются необходимость замены плавких вставок после их перегорания, а также неустойчивость их защитных характеристик.

ПРИМЕР ВЫБОРА ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ И ЕГО ПЛАВКОЙ ВСТАВКИ

Задача. Выбрать предохранитель к двигателю, для которого имеем:
 $P_n = 28 \text{ кВт}$; $U_n = 380 \text{ В}$; $K_n = 5$; $\eta = 0,89$; $\cos \varphi = 0,9$.

Пуск двигателя осуществляется без нагрузки, т.е. $\alpha = 2,5$ [6].

Решение. Расчетным током участка сети является номинальный ток двигателя

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{28 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,89 \cdot 0,9} = 53,1 \text{ А}.$$

Пусковой ток двигателя определяется по соотношению

$$I_{\text{пуск}} = K_n I_n = 5 \cdot 53,1 = 265,5 \text{ А}.$$

Выбираем плавкую вставку по условиям (2.1) и (2.2).

$$I_{\text{нв}} \geq 53,1 \text{ А}; \quad I_{\text{нв}} \geq I_{\text{пуск}} / 2,5 = 106,2 \text{ А}.$$

По табл. 2.1 выбираем стандартную плавкую вставку с номинальным током 120 А. Для патрона предохранителя должно быть $I_{\text{нп}} \geq I_p$. Принимаем предохранитель типа ПН-2-250 с плавкой вставкой 120 А.

Предположим, что подвод питания к двигателю осуществляется тремя одножильными кабелями, проложенными в одной трубе. Тогда по [1] для сечения 16 мм² имеем $I_{\text{доп}} = 60 \text{ А}$. $60 \text{ А} > 53,1 \text{ А}$. Сеть прокладывается во взрывобезопасной зоне, защита от перегрузки не требуется. Тогда должно выполняться условие $I_{\text{нв}} / I_{\text{доп}} \leq 3$. Проверяем: $120 : 60 = 2$; $2 < 3$ – условие выполняется. По условию чувствительности: $I_{\text{к min}} / I_{\text{нв}} \geq 3$. Следовательно, минимальный ток короткого замыкания на корпус должен быть не менее 360 А.

2.4. Выбор автоматических выключателей и уставок их расцепителей

Основными характеристиками автоматов являются: номинальные ток $I_{\text{на}}$ и напряжение $U_{\text{на}}$, номинальный ток расцепителя $I_{\text{рп}}$, ток срабатывания (ток уставки) расцепителя $I_{\text{сп}}$ (табл. 2.3 – 2.8).

Номинальным током расцепителя называется наибольшее значение тока, длительное прохождение которого не вызывает срабатывания расцепителя. Током уставки расцепителя называют наименьшее значение тока, при прохождении которого расцепитель срабатывает. Сочетание теплового расцепителя с максимальным электромагнитным расцепителем образует комбинированный расцепитель, который имеет две уставки срабатывания: уставку замедленного срабатывания при перегрузках $I_{\text{сп}}$ и уставку мгновенного срабатывания при коротких замыканиях $I_{\text{ск}}$.

Выбор автоматических выключателей производится с соблюдением следующих условий:

1) номинальное напряжение автомата не должно быть ниже напряжения сети, т.е.

$$U_{\text{на}} > U_{\text{с}}; \tag{2.6}$$

2) номинальные токи автомата и его расцепителя не должны быть меньше максимального рабочего тока, т.е.

$$I_{\text{на}} \geq I_{\text{раб}}; \quad I_{\text{рп}} \geq I_{\text{раб}}; \tag{2.7}$$

3) автомат должен отключать максимальные токи КЗ, проходящие по защищаемой линии

$$I_{\text{откл}} \geq I_{\text{к max}}. \tag{2.8}$$

Токи срабатывания расцепителей $I_{\text{сп}}$ и $I_{\text{ск}}$ выбираются такими, чтобы расцепители не срабатывали в нормальном режиме и при кратковременных перегрузках. Ток срабатывания расцепителя с зависимой характеристикой определяется следующим образом

$$I_{\text{сп}} = (1,1 - 1,3) I_{\text{раб}}. \tag{2.9}$$

Для теплового элемента комбинированного расцепителя автомата А3100 ток срабатывания $I_{\text{сп}}$ не определяется, так как защитная характеристика не может быть изменена.

Для расцепителей мгновенного срабатывания всех типов автоматов ток уставки определяется по соотношению

$$I_{\text{ск}} = (1,25 - 1,35) I_{\text{пик}}, \tag{2.10}$$

где $I_{\text{пик}}$ – пиковый ток одного или группы электроприемников. Настройка расцепителей автоматов проверяется по тем же условиям, что и плавкая вставка предохранителей.

2.3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 220 И 380 В

Тип	Номинальный ток автомата, А	Число полюсов	Ток уставки $I_{\text{рп}}$, А	Предельный ток отключения, кА
АС-25	25	2, 3	1...20	9
АП-50	50	2, 3	1,6...50	2
АК-50	50	2, 3	2,0...50	9
АК-63	65	2, 3	0,6...63	9
АЕ-2020	16	1, 2, 3	0,3...16	16
АЕ-2040М	63		0,6...63	16
АЕ-2050М	100		10...100	16
АЕ-2060	160		16...160	16
АЕ-2530	25	1, 2, 3	0,6...25	16
АЕ-2540	63		25...63	16
АЕ-2550	100		50...100	16

Примечание. Шкала значений номинального тока расцепителя: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 2,0; 2,5; 3,25; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160 А.

**2.4. Токоограничивающие автоматические выключатели АЗ700Б
с электромагнитными и тепловыми расцепителями
на напряжения 380 и 660 В**

Тип	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А		Предельно допустимый ударный ток, кА, при напряжении	
	автомата	электромагнитного расцепителя	теплого расцепителя	тепловой расцепитель	электромагнитный расцепитель	660 В	380 В
АЗ715Б	160	160	16; 20; 25	18; 23; 29	630	5,0; 8,5; 10	5,5; 10,0; 15
АЗ710Б			32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	37; 46; 57; 72; 92; 115; 145; 185	630, 1600	15; 15; 20; 20; 30; 35; 35; 40	20; 20; 30; 30; 45; 60; 60; 75
АЗ725Б АЗ720Б	250	250	160; 200; 250	185; 230; 290	2500	40; 40; 40	65; 75; 75
АЗ735Б АЗ736Б	400	400	250; 320; 400	290; 370; 460	2500; 3200; 4000	40; 55; 55	65; 100; 100

2.6. Автоматические выключатели серии "Электрон" (выдвижные)

Тип	Номинальный ток автомата, А	Номинальный ток максимальной токовой защиты, А	Предельная коммутационная способность		
			380 В		660 В
			Ток включения, кА	Ток отключения, кА	Ток отключения, кА
Э06В	800	500; 800	85	40	30
	1000	500; 800			
Э16В	1250	1000	85	40	30
	1600	1000; 1600			
Э25В	2000	1600	100	45	35
	2500	2500			
Э40В	4000	2500; 4000	160	65	50
	5000	2500; 4000			

2.7. Технические характеристики автоматических выключателей серии ВА

Тип	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток расцепителя $I_{нр}$, А	
ВА51-25	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	
ВА14-26	32	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32	
ВА51-29	63	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	
ВА51-31 ВА52-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	
ВА51-33 ВА52-33	160	80; 100; 125; 160	
Тип	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток теплового расцепителя, А	Номинальный ток электромагнитного расцепителя, кА
ВА51-35 ВА52-35	250	160; 200; 250	1; 1,25; 1,6; 2; 2,5
ВА51-37 ВА52-37	400	250; 320; 400	1,6; 2; 2,5; 3,2; 4
ВА51-39 ВА52-39	630 630	400; 500; 630; 250; 320; 400; 500; 630	2,5; 3,2; 4; 5; 6,3

2.8. Автоматические выключатели серии ВА-74

Тип	Номинальный ток выключения, А, $I_{на}$	Номинальный ток расцепителя, А, $I_{нр}$	Уставки по току срабатывания в зоне токов КЗ $I_{ск} / I_{н}$	Номинальный ток устройства защиты при перегрузках, А, $I_{сп}$
ВА-74-40	800	130, 190, 260	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8	500, 625, 800, 1250
ВА-74-43	1600	1250, 1600	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8	1600, 2000
ВА-74-45	3000	2000, 2500, 3000	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8	3000, 4000
ВА-74-48	5500	4000, 5500	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8	

1) Условие селективности.

Для обеспечения селективного отключения последовательно установленных автоматов защитные характеристики их расцепителей не должны пересекаться. Если характеристика расцепителя головного автомата не удовлетворяет требованиям селективности, то его уставки токов срабатывания $I_{сп}$ и $I_{ск}$ принимают выше расчетных.

В сетях напряжением до 1000 В возможно совместное использование предохранителей и автоматов. Если ближе к источнику питания находится автомат, то селективность действия всегда можно достичь, используя селективный автомат. Если ближе к источнику находится предохранитель, то требования к селективности такие же, как и при согласовании между собой защитных характеристик предохранителей. Защитные характеристики расцепителей автоматов различных типов приведены в литературе [5].

2) Условие чувствительности.

Для электромагнитного расцепителя автомата с током до 100 А

$$I_{к \min} / I_{ск} \geq 1,4.$$

Для электромагнитного расцепителя автомата с током выше 100 А

$$I_{к \min} / I_{ск} \geq 1,25.$$

Для нерегулируемого расцепителя или расцепителя с обратной зависимостью от тока характеристикой (значение в скобках – для взрывоопасных зон)

$$I_{к \min} / I_{сп} \geq 3(6).$$

3) Условие защищаемости.

Для сетей, защищаемых от КЗ и от перегрузок, должны выполняться следующие условия:

– для автоматов только с максимальным расцепителем (отсечкой)

$$I_{ск} / I_{доп} \leq (0,8 - 1,0);$$

– для ненастраиваемого расцепителя замедленного срабатывания (независимо от наличия или отсутствия отсечки)

$$I_{нр} / I_{доп} \leq 1,0;$$

– для настраиваемого расцепителя замедленного срабатывания

$$I_{сп} / I_{доп} \leq (1,0 - 1,25).$$

Для сетей, не требующих защиты от перегрузок, должны обеспечиваться следующие соотношения:

– для автоматов только с отсечкой $I_{ск} \leq 4,5 I_{доп}$;

– для автоматов с нерегулируемой характеристикой расцепителя $I_{нр} \leq I_{доп}$;

– для расцепителя автомата с регулируемой обратной зависимостью от тока характеристикой $I_{сп} \leq 1,25 I_{доп}$.

При выполнении условия защищаемости для сетей, не требующих защиты от перегрузки, допускается не проверять автоматы по условию чувствительности [1].

По сравнению с предохранителями автоматические выключатели имеют определенные преимущества:

– в нормальном режиме и при любых видах КЗ они производят отключение всех трех фаз, исключая тем самым неполнофазные режимы;

– они являются аппаратами многократного действия;

– расцепители автоматов являются более совершенными устройствами, чем плавкая вставка предохранителя. Однако автоматический выключатель значительно дороже предохранителя, что ограничивает область его применения.

Пример выбора автоматического выключателя в цепи асинхронного двигателя

Задача. Выбрать сечение провода и автомат в цепи трехфазного асинхронного двигателя мощностью 55 кВт, напряжением 380 В. Номинальный ток двигателя 102 А, а пусковой ток 510 А.

Решение. Выбираем три одножильных провода с поливинилхлоридной изоляцией и алюминиевыми жилами, которые прокладываются в одной трубе. Сечение провода выбираем так, чтобы выполнялось условие $I_{доп} > I_p$. В нашем случае $I_p = I_{н} = 102$ А. Выбираем сечение $F = 50$ мм² с допустимым током 130 А. По условиям (2.6), (2.7) и

табл. 2.4 выбираем автомат АЗ715Б с номинальным током 160 А. Ток срабатывания теплового расцепителя определяется следующим образом:

$$I_{\text{сп}} = (1,1 - 1,3)I_{\text{раб}}; I_{\text{раб}} = I_{\text{н}} = 102 \text{ А}; k = 1,2;$$

$$I_{\text{сп}} = 1,2 \cdot 102 = 122 \text{ А}.$$

Принимаем тепловой расцепитель с номинальным током 125 А, а ток срабатывания по табл. 2.4 равен 145 А. Ток срабатывания электромагнитного расцепителя равен

$$I_{\text{ск}} = (1,25 - 1,35) I_{\text{пик}}, I_{\text{ск}} = 1,25 \cdot 510 = 637 \text{ А}.$$

Принимаем $I_{\text{ск}} = 630 \text{ А}$.

Чтобы проверить автомат по условиям селективности и чувствительности, нужно знать полную схему питания двигателя, для которой необходимо рассчитать минимальное значение тока короткого замыкания. Проверим автомат по условию защищаемости

$$I_{\text{сп}} < 1I_{\text{доп}} \quad 122 < 130.$$

Условие защищаемости выполняется.

3. РАСЧЕТЫ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В УСТАНОВКАХ ДО 1000 В

3.1. НАЗНАЧЕНИЕ РАСЧЕТОВ

Расчет коротких замыканий в электрических сетях напряжением до 1000 В необходим для проверки работы электроаппаратов и проводников в режиме сверхтоков, а также для проверки автоматического отключения линий в сетях до 1000 В с глухозаземленной нейтралью при возникновении замыканий на корпус.

В соответствии с [1] по режиму КЗ в электроустановках напряжением до 1000 В проверяются только распределительные щиты, токопроводы и силовые шкафы. Это означает, что электрические аппараты (за исключением трансформаторов тока) и проводники упомянутых устройств при проектировании должны рассчитываться на электродинамическую и термическую стойкость к действию токов КЗ, а аппараты защиты (автоматические выключатели и плавкие предохранители), кроме того, должны выбираться по условию коммутации ими токов КЗ.

Для выбора и проверки аппаратов и проводников по режиму КЗ следует принимать в качестве расчетных такой вид повреждения и его место, а также такую схему возможной работы, при которых возникают наиболее тяжелые условия работы электрооборудования.

В электроустановках напряжением до 1000 В расчетным видом является трехфазное КЗ, так как при этом ток, его динамическое и тепловое воздействие достигают своего наибольшего значения. По такому же принципу выбирается и расчетная точка КЗ. Аппараты защиты по отключающей способности должны соответствовать токам КЗ в начале защищаемого участка.

В случае питания электрической сети до 1000 В от нескольких источников предусматривается, как правило, раздельная работа их для ограничения токов КЗ. Возможная кратковременная параллельная работа источников питания при этом не учитывается.

Уточним теперь, какие параметры режима КЗ необходимо рассчитать для проверки электрооборудования. Во-первых, для проверки коммутационной способности автоматов и предохранителей используется начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ I_3 . Иногда для этой цели требуется знать и наибольшее действующее значение полного (с учетом апериодической составляющей) тока КЗ I_y , который определяется по выражению

$$I_y = I_3 \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}, \quad (3.1)$$

где K_y – ударный коэффициент. Ориентировочные его значения для рассматриваемых электроустановок лежат в пределах

$$1,0 \leq K_y \leq 1,5,$$

причем большие значения соответствуют точкам КЗ, расположенным вблизи выводов трансформаторов подстанций, а меньшие – более удаленным точкам.

Во-вторых, для проверки электродинамической стойкости аппаратов и проводников требуется расчет ударного тока КЗ

$$i_y = K_y \sqrt{2} I_3. \quad (3.2)$$

Наконец, для проверки термической стойкости нужно знать тепловой импульс B_k , который воздействует на проверяемый аппарат или проводник при протекании по нему тока КЗ за время $t_{\text{отк}}$. Если принять периодическую составляющую тока КЗ неизменной во времени по своей амплитуде, что близко к истине в электроустановках напряжением до 1000 В из-за их большой электрической удаленности от основных источников питания, то тепловой импульс КЗ можно найти по формуле

$$B_k = I_3^2 (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (3.3)$$

где T_a – время затухания апериодической составляющей тока КЗ.

Для защиты людей от поражения электрическим током в соответствии с ПУЭ [1] требуется, чтобы в сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью при возникновении замыкания на корпус происходило быстрое автоматическое отключение аварийного участка. Для этой цели выполняется зануление, т.е. преднамеренное соединение частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземленной нейтралью

обмотки низшего напряжения трансформатора подстанции при помощи нулевых защитных проводников. В качестве нулевых защитных проводников используются: нулевой рабочий (четвертый) проводник низковольтной сети, стальные трубы электропроводок, оболочки кабелей, кожухи и опорные конструкции шинопроводов, специально предусмотренные для этой цели проводники, например стальные полосы, металлические производственные и строительные конструкции и др. За счет зануления представляется возможным превращать любые случайные замыкания на конструктивные части электроустановки в однофазные КЗ, автоматически отключаемые той же защитой (автоматом, предохранителем), которая выбрана для отключения многополюсных замыканий. Однако величина тока однофазного КЗ, который в сетях до 1000 В всегда меньше трехфазного, может оказаться недостаточной по условиям чувствительности защиты. Поэтому ПУЭ регламентирует минимальную величину тока однофазного КЗ, который обеспечивает надежное срабатывание защитных аппаратов в установленное минимальное время. Выполнение этого условия очень важно. Только при быстром отключении любых, даже самых удаленных однофазных КЗ, зануление как защитное мероприятие может оправдать свое назначение, поскольку от момента замыкания на корпус до срабатывания аппарата защиты вся система зануления в целом оказывается опасной за счет появления некоторого напряжения относительно земли не только на корпусе аварийного электроприемника, но и на корпусах остальных электроприемников, соединенных с нейтралью трансформатора общим проводником зануления. Если проверка выявит недостаточное значение тока однофазного КЗ, требуется либо увеличить сечение проводников (только нулевого или вместе с ним и фазных), либо изменить конструкцию сети, чтобы получить ток однофазного КЗ нужной величины. Можно также выбрать другой аппарат защиты, отключающийся при меньшем расчетном токе однофазного КЗ.

Таким образом, при проектировании электрической сети для проверки быстрого и надежного отключения однофазных КЗ в сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью (380/220 В) необходимо уметь рассчитывать минимальное значение тока однофазного КЗ I_1 . Очевидно, что при этом расчетная точка КЗ должна выбираться в конце каждого участка сети, защищаемого автоматом или предохранителем (рис. 3.1).

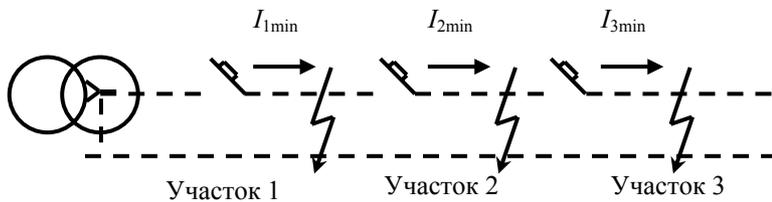


Рис. 3.1. Расчетная схема для проверки автоматического отключения однофазных КЗ в сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью

По приведенным соотношениям (3.1) – (3.3) можно определить все интересующие нас параметры через величину начального значения периодического тока КЗ. Рассмотрим, как рассчитать его для трехфазного и однофазного короткого замыкания.

3.2. РАСЧЕТ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО КЗ

Электрические установки напряжением до 1000 В в силу того, что их электроснабжение осуществляется от понижающих трансформаторов подстанций небольшой мощности, оказываются электрически удаленными от источников питания. Это позволяет считать, что при коротких замыканиях за такими трансформаторами напряжение на шинах присоединения их первичных обмоток остается практически неизменным и равным своему номинальному значению.

Существенное влияние на величину тока КЗ за силовым трансформатором оказывают как активные, так и индуктивные составляющие сопротивлений всех элементов низковольтной короткозамкнутой цепи: силового трансформатора подстанции, первичных обмоток измерительных трансформаторов тока, токовых катушек автоматов, сборных шин подстанции, кабелей, проводов и, наконец, контактных соединений – болтовых соединений шин, контактов коммутационных аппаратов, контакта в месте КЗ и т.п.

С учетом вышеизложенного схема замещения для расчета трехфазного КЗ может быть представлена в виде цепочки последовательно включенных сопротивлений прямой последовательности перечисленных элементов (рис. 3.2, а), расположенных между точкой КЗ и шинами высшего напряжения трансформатора, на которых приложено номинальное напряжение U_n , приведенное к вторичной обмотке трансформатора.

Руководящие указания [5] рекомендуют учитывать сопротивление X_c примыкающей к силовому трансформатору электрической системы, что дает некоторое уточнение при расчете электрически неудаленных КЗ за мощным силовым трансформатором (1600, 2500 кВА) при относительно небольшой мощности системы, которая характеризуется током или мощностью КЗ на шинах высшего напряжения подстанции. В частности, сопротивление системы учитывается, если $S_c \leq 50 S_n$, где S_c – мощность системы, S_n – номинальная мощность трансформатора, за которым рассчитывается ток короткого замыкания. При этом схема замещения принимает вид (рис. 3.2, б).

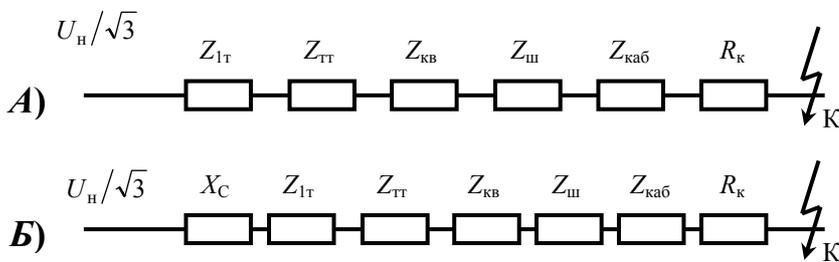


Рис. 3.2. Схема замещения для расчета трехфазного КЗ:
a – без учета сопротивления системы; *б* – с учетом сопротивления системы

Расчеты КЗ в электроустановках до 1000 В удобно вести в именованных единицах. Тогда, выражая все сопротивления в миллиомах, напряжения в вольтах, получаем ток КЗ в килоамперах

$$I_3 = \frac{U_n}{\sqrt{3(R_1^2 + X_1^2)}} \quad (3.4)$$

Результирующее сопротивление прямой последовательности определяется в соответствии с принятой схемой замещения:

$$R_1 = R_{1Т} + R_{ТТ} + R_{КВ} + R_{Ш} + R_{каб} + R_k, \quad (3.5)$$

$$X_1 = X_c + X_{1Т} + X_{ТТ} + X_{КВ} + X_{Ш} + X_{каб}. \quad (3.6)$$

где X_c – эквивалентное сопротивление системы, приведенное к ступени с напряжением U_n . Сопротивление X_c находится в миллиомах через мощность трехфазного КЗ $S_{кз}$ в кВА на шинах высшего напряжения силового трансформатора по формуле

$$X_c = \frac{U_n^2}{S_{кз}}, \quad (3.7)$$

где $R_{1Т}$, $X_{1Т}$ – активное и индуктивное сопротивления силового трансформатора, рассчитываемые в миллиомах через его каталожные данные, приведенные в прил. (табл. 1.П), по следующим формулам:

$$R_{1Т} = \frac{\Delta p_k U_n^2}{S_H^2}, \quad X_{1Т} = \sqrt{Z_{1Т}^2 - R_{1Т}^2}, \quad Z_{1Т} = \frac{U_k U_n^2}{100 S_H},$$

где S_H – номинальная мощность трансформатора, кВА; U_n – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения, В; Δp_k – потери короткого замыкания, кВт; U_k – напряжение короткого замыкания, %; $R_{ТТ}$, $X_{ТТ}$ – активное и индуктивное сопротивления первичных обмоток измерительных трансформаторов тока, принимаемые по табл. 2.П; $R_{КВ}$, $X_{КВ}$ – активное и индуктивное сопротивления токовых катушек автоматических выключателей, принимаемые по табл. 3.П; $R_{Ш}$, $X_{Ш}$ – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности шинопроводов (табл. 4.П, 5.П); $R_{каб}$, $X_{каб}$ – активное и индуктивное сопротивления кабельных линий (табл. 6.П); R_k – суммарное сопротивление различных контактных соединений.

Эта величина носит ярко выраженный вероятностный характер, так как зависит от состояния контактных поверхностей, степени затяжки болтов, силы сжатия пружин, контакта в месте КЗ, наличия или отсутствия дуги в месте повреждения и т.д.

Сопротивление контактных соединений может существенно влиять на ток трехфазного КЗ, при этом возможно его снижение на 50 % и более. Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий рекомендует для сетей, питающихся от силовых трансформаторов мощностью до 1600 кВА включительно, учитывать все контактные сопротивления совокупно величиной 15...30 мОм. При этом нижний предел соответствует КЗ около распределительного щита подстанции, а верхний – при КЗ непосредственно у электроприемников [4]. Заметим, что при введении в расчет рекомендованных значений сопротивлений контактных соединений ударный коэффициент K_y стремится к единице.

Приведенные значения R_k соответствуют типичным случаям протекания короткого замыкания в промышленных электроустановках, однако могут наблюдаться и отклонения. Поэтому, когда требуется повышенная надежность установки, например при выборе на питающей подстанции вводных автоматов от трансформаторов мощностью 1600 кВА и более, расчет токов КЗ следует производить без введения упомянутых расчетных величин R_k , но с учетом всех сопротивлений короткозамкнутой цепи, которые можно реально оценить. При этом сопротивления контактов коммутационных аппаратов учитываются по данным табл. 7.П. Такой подход допустим и в случаях, когда завышенные величины токов КЗ не изменяют проектного решения и не приводят к заметным дополнительным затратам.

3.3. РАСЧЕТ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ОДНОФАЗНОГО КЗ

В принятой проектной практике расчет однофазного КЗ для проверки автоматического отключения его проводится упрощенно. В частности, ток однофазного КЗ определяется приближенно лишь с учетом сопротивлений силового трансформатора и линий по формуле

$$I_1 = \frac{U_n / \sqrt{3}}{(Z_T / 3) + Z_n} \quad (3.8)$$

где Z_T – модуль полного сопротивления силового трансформатора току замыкания на корпус; Z_n – модуль полного сопротивления петли "фаза-нуль" линии от шин низшего напряжения трансформатора до точки КЗ.

Приближенность формулы (3.8) обуславливается также арифметическим суммированием модулей полных сопротивлений. Однако получающееся при этом значение тока I_1 в определенной степени компенсирует неучет ряда сопротивлений короткозамкнутой цепи.

Сопротивление петли "фаза-нуль" Z_n определяется арифметическим суммированием модулей полных сопротивлений, характеризующих Π отдельных участков линий длиной L_i , обладающих различными удельными сопротивлениями $Z_{ny(i)}$ петли "фаза-нуль", а именно:

$$Z_n = Z_{ny(i)} L_i. \quad (3.9)$$

Величина Z_{ny} для различного конструктивного выполнения электрической сети широко представлена в специальной справочной литературе. Основные данные приведены в табл. 9 – 13П.

Что касается сопротивления силового трансформатора току замыкания на корпус (Z_T), то при группе соединения его обмоток Δ/Y имеем

$$Z_T = 3Z_{1T}.$$

Для различных групп соединения обмоток трансформаторов значения Z_T приводятся в табл. 8П.

3.4. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА СТОРОНЕ ВЫПРЯМЛЕННОГО ТОКА ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Для расчета принимается наиболее тяжелый режим, когда угол управления вентилями при КЗ равен нулю. Вентиль открыт полностью. Среднее значение установившегося тока КЗ равно сумме сред них значений токов в Π вентилях, питающих место КЗ

$$I_k = \Pi I_{dk}. \quad (3.10)$$

Принимается, что при КЗ ток в вентилях синусоидальный с амплитудой $\sqrt{2}U_2/X_2$, где X_2 – индуктивное сопротивление цепи коммутации, отнесенное к вторичному напряжению U_2 . При этом ток за период будет равен

$$I = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi X_2}. \quad (3.11)$$

Для трехфазной мостовой схемы выпрямления $\Pi = 3$, так как шесть вентилях проводят ток попарно-последовательно. Тогда

$$I = \frac{3\sqrt{2}U_2}{\pi X_2} = 1,35 \frac{U_2}{X_2}. \quad (3.12)$$

В схеме выпрямления "две обратные звезды с уравнивающим реактором" $\Pi = 6$, так как все шесть вентилях включены параллельно. При этом получаем

$$I = \frac{6\sqrt{2}U_2}{\pi X_2} = 2,7 \frac{U_2}{X_2}. \quad (3.13)$$

При точных расчетах с учетом активных сопротивлений цепи коммутации R_2 в формулах (3.11) – (3.13) вместо X_2 необходимо подставить

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}. \quad (3.14)$$

Следует помнить, что все сопротивления схемы должны быть приведены к одному напряжению U_2 .

Рассмотрим примеры расчетов токов короткого замыкания в различных точках схемы электроснабжения предприятия.

Пусть имеется следующая схема электроснабжения предприятия (рис. 3.3):

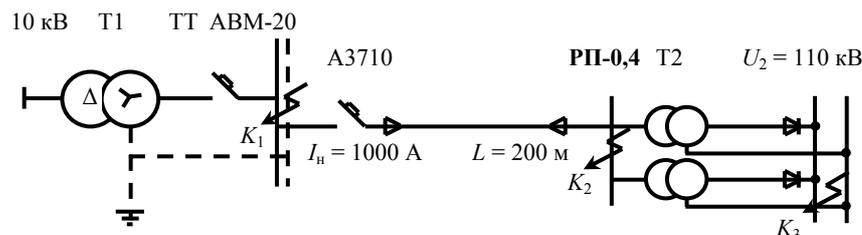


Рис. 3.3. Схема электроснабжения предприятия

Силовой трансформатор мощностью 1000 кВА, напряжением 10/0,4 кВ с соединением обмоток Δ/Y связан с РУ-0,4 кВ алюминиевыми шинами длиной 20 м. В цепи трансформатора установлен трансформатор тока 1500/5 и автоматический выключатель АВМ-20.

ЗАДАЧА 1.
ТРЕБУЕТСЯ РАССЧИТАТЬ ТОК ТРЕХФАЗНОГО КЗ В ТОЧКЕ К₁ (ЗА АВТОМАТОМ АВМ-20).

Решение. Составим расчетную схему.

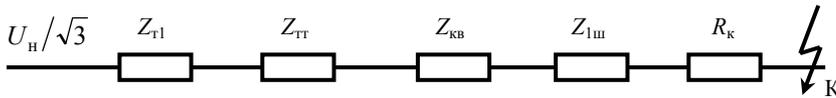


Рис. 3.4. Схема для расчета КЗ в точке К₁

Для трансформатора т1 по табл. 1П находим:

$\Delta P_{\text{к}} = 12,2$ кВт; $\Delta U_{\text{к}} = 6,5$ %. Определяем сопротивления трансформатора.

$$R_{\text{T1}} = \frac{\Delta P_{\text{р}} U^2}{S_{\text{н}}^2} = \frac{12,2 \cdot 0,4^2}{1000^2} = 2 \text{ мОм}; \quad Z_{\text{T1}} = \frac{\Delta U_{\text{к}} U^2}{100 S_{\text{н}}} = 8,8 \text{ мОм}; \quad X_{\text{T1}} = \sqrt{8,8^2 - 2^2} = 8,5 \text{ мОм}.$$

Сопротивления трансформатора тока принимаем равными

$$R_{\text{ТТ}} = 0,05 \text{ мОм}; \quad X_{\text{ТТ}} = 0,07 \text{ мОм}.$$

Для автомата АВМ-20 имеем (табл. 3П):

$$R_{\text{КВ}} = 0,12 \text{ мОм}; \quad X_{\text{КВ}} = 0,09 \text{ мОм}.$$

Для алюминиевых плоских шин сечением 100×8 мм, расположенных в одной плоскости, сначала определяем среднегеометрическое расстояние между фазами. При расстоянии между фазами $D = 240$ мм оно будет равно

$$D_{\text{сг}} = 1,26 \cdot D = 1,26 \cdot 240 = 300 \text{ мм}.$$

По табл. 5П находим: $R_{1\text{ш}} = 0,049$ мОм/м; $X_{1\text{ш}} = 0,157$ мОм/м. Для участка длиной 20 и получаем $R_{1\text{ш}} = 0,98$ мОм; $X_{1\text{ш}} = 3,14$ мОм.

В соответствии с СН-357-77 [4] суммарное сопротивление контактов при КЗ около распределительного щита подстанции следует принять:

$R = 15$ мОм. Ток трехфазного КЗ в точке К₁ определяется по формуле (3.6):

$$I_3 = \frac{0,4 \cdot 1000}{\sqrt{3 \cdot (18,15^2 + 11,8^2)}} = 10,67 \text{ кА};$$

$$R_1 = 2 + 0,05 + 0,12 + 0,98 + 15 = 18,15 \text{ мОм},$$

$$X_1 = 8,5 + 0,07 + 0,09 + 3,14 = 11,8 \text{ мОм}.$$

Коммутационная способность автомата АВМ-20 составляет 35 кА.

$$I_{\text{отк}} = 35 \text{ кА} \quad I_{\text{отк}} > I_3.$$

ЗАДАЧА 2.

ОТ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА 0,4 КВ ПОДСТАНЦИИ ПИТАЕТСЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ПУНКТ ПРЕДПРИЯТИЯ, УДАЛЕННЫЙ НА РАССТОЯНИЕ

200 М. ТРЕБУЕТСЯ ОПРЕДЕЛИТЬ ТОКИ ТРЕХФАЗНОГО И ОДНОФАЗНОГО КЗ НА ШИНАХ РП-0,4 КВ В ТОЧКЕ К₂. ПУСТЬ ЛИНИЯ ДЛИНОЙ 200 М ВЫПОЛНЕНА КАБЕЛЕМ С АЛЮМИНИЕВЫМИ ЖИЛАМИ СЕЧЕНИЕМ $3 \times 70 + 1 \times 35$.

Решение. Расчет трехфазного тока КЗ в точке К₂.

По табл. 6П для кабеля сечением 70 м находим: $R_0 = 0,55$ мОм/м;

$X_0 = 0,065$ мОм/м; $R_{\text{к2}} = 0,55 \cdot 200 = 110$ мОм; $X_{\text{к2}} = 0,065 \cdot 200 = 13$ мОм. По табл. 3.П для автомата А-3700 с $I_{\text{к}} = 100$ А имеем:

$R_{\text{КВ2}} = 1,3$ мОм;

$X_{\text{ка2}} = 0,86$ мОм. Полное сопротивление до места КЗ в точке К₂:

$$R_2 = R_1 + R_{\text{КВ2}} + R_{\text{к2}} = 18,15 + 1,3 + 110 = 129,45 \text{ мОм};$$

$$X_2 = X_1 + X_{\text{КВ2}} + X_{\text{к2}} = 11,8 + 0,86 + 13 = 25,66 \text{ мОм}.$$

По формуле (3.6) получаем

$$I_3 = \frac{0,4 \cdot 1000}{\sqrt{3 \cdot (129,15^2 + 25,66^2)}} = 1,75 \text{ кА}.$$

Расчет однофазного тока КЗ в точке К₂.

По табл. 8.П для трансформатора 1000 кВА со схемой соединения обмоток Δ/Y находим, что $Z_{\text{т}} = 27$ мОм. По табл. 10.П для кабеля 70 мм² определяем $Z_{\text{пу}} = 0,87$ мОм/м; $Z_{\text{п}} = 0,87 \cdot 200 = 174$ мОм.

По формуле (3.8) получаем

$$I_1 = \frac{400}{\sqrt{3 \cdot (27/3 + 174)}} = 1,26 \text{ кА}.$$

Задача 3. К распределительному пункту подключены два выпрямительных агрегата с $U_2 = 110$ В. Номинальная мощность каждого питающего трансформатора агрегата составляет 25 кВА. Схема выпрямления – трехфазная мостовая. Требуется определить ток короткого замыкания на стороне выпрямленного напряжения (точка К₃).

Решение. По табл. 1П для трансформатора т2 находим: $\Delta P_{\text{к}} = 0,56$ кВт; $\Delta U_{\text{к}} = 4,5\%$; $R_{\text{к2}} = 10,84$ мОм; $Z_{\text{т2}} = 21,78$ мОм; $X_{\text{т2}} = 18,89$ мОм.

С учетом параллельной работы двух преобразователей суммарные сопротивления до точки К₃ будут равны:

$$R_3 = R_2' + R_{r2}/2; X_3 = X_2' + X_{r2}/2;$$

$$R_2' = R_2 (U_2/U_1)^2 = 129,11 (0,11/0,4)^2 = 9,76 \text{ мОм};$$

$$X_2' = X_2 (U_2/U_1)^2 = 25,66 (0,11/0,4)^2 = 1,94 \text{ мОм};$$

$$R_2 = 9,76 + 10,84/2 = 15,18; X_2 = 1,94 + 18,89/2 = 11,38 \text{ мОм}.$$

По формуле (3.12) с учетом (3.14) получаем

$$I_{dk} = \frac{1,35 \cdot 110}{\sqrt{15,18^2 + 11,38^2}} = 7,83 \text{ кА}.$$

4. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ

4.1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Проводники любого назначения должны удовлетворять требованиям в отношении предельно допустимого нагрева с учетом не только нормальных, но и послеаварийных режимов, а также режимов в период ремонта и возможных неравномерностей распределения токов между линиями, секциями шин и т.п. [1]. При повторно-кратковременном и кратковременном режимах работы электроприемников в качестве расчетного тока для проверки сечения проводников по нагреву следует принимать ток, приведенный к длительному режиму.

Допустимые длительные токи для проводов с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией, шнуров с резиновой изоляцией и кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках приведены в табл. 4.1 – 4.5. Они приняты для температур жил +65, окружающего воздуха +25, земли +15 °С.

При количестве одновременно нагруженных проводов более четырех, проложенных в трубах, коробах, а также в лотках пучками, токи для проводов должны приниматься такими же, как для проводов, проложенных открыто (в воздухе) с введением снижающих коэффициентов: 0,68 для 5 и 6; 0,63 для 7 – 9; 0,6 для 10 – 12 проводов. При выборе снижающих коэффициентов контрольные и резервные провода и кабели не учитываются.

Для кабелей напряжением до 35 кВ с изоляцией из пропитанной кабельной бумаги в свинцовой, алюминиевой или поливинилхлоридной оболочке допустимые длительные токи определяются в соответствии с допустимыми температурами кабелей (табл. 4.1).

4.1. Допустимая температура кабелей

Номинальное напряжение, кВ	До 3	6	10	20	35
Допустимая температура жилы кабеля, °С	+80	+65	+60	+50	+50

4.2. Выбор сечений проводов и кабелей по условию нагрева

Сечения проводников электрических сетей напряжением до 1000 В выбираются по расчетному току таким образом, чтобы проводники при токах нагрузки, соответствующих работе в длительном режиме и в условиях нормированной для них температуры окружающей среды, не перегревались бы сверх допустимых пределов. Для выбранного сечения проводника должно выполняться условие

$$I_p \leq K_1 K_2 I_{\text{доп}}, \quad (4.1)$$

где I_p – расчетный ток нагрузки. Для одного электроприемника $I_p = I_n$ (другие случаи рассмотрены в гл. 2); K_1 – поправочный коэффициент на температуру окружающей среды (табл. 4.8); K_2 – поправочный коэффициент на число совместно проложенных проводов или кабелей; $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток, соответствующий данному сечению (табл. 4.2 – 4.7).

Выбранные таким образом сечения проводников проверяются по потере напряжения. Для трехфазных сетей получаем

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} I_p L (R_0 \cos \varphi + X_0 \sin \varphi) \cdot 100}{U_n}, \quad (4.2)$$

где L – длина проводника; R_0, X_0 – удельные активное и реактивное сопротивления проводника, Ом/м; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности и соответствующий ему $\sin \varphi$.

При этом должно выполняться условие

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (4.3)$$

где $\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимое снижение напряжения в электрической сети. В нормальных условиях принимается $\Delta U_{\text{доп}} = 5\%$, в аварийных режимах $\Delta U_{\text{доп}} = 10\%$.

Проверка сети по потере напряжения, как правило, не приводит к необходимости увеличивать сечение проводников, выбранных по нагреву расчетным током нагрузки. Такое увеличение сечения может оказаться необходимым только иногда, при очень протяженных линиях.

4.3. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ПО ДОПУСТИМОЙ ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Сечение проводов и кабелей по допустимой потере напряжения выбирают, как правило, для осветительных сетей. Данный метод может применяться также для силовых сетей большой протяженности.

Рассмотрим несколько случаев.

Случай 1. Трехфазная сосредоточенная нагрузка получает питание по линии длиной L .

По [4] допускается пренебрегать реактивным сопротивлением линий при $\cos\varphi = 0,5 \dots 0,6$ при проводке кабелями, проводами в трубах или многожильными проводами до сечений 16 (25) мм^2 включительно, а при $\cos\varphi = 0,9 \dots 0,95$ (120) мм^2 включительно. В скобках указаны сечения алюминиевых жил, без скобок – медных жил.

4.2. Допустимый длительный ток для проводов с медными жилами с резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и кабелей с медными жилами с резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной, найритовой или резиновой оболочке, бронированных и небронированных

Сечение жилы, мм^2	Ток, А, для проводов и кабелей				
	одножильных	двухжильных при прокладке		трехжильных	
		в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385
150	440	350	505	305	435
185	510	405	570	350	500
240	605	–	–	–	–

4.3. Допустимый длительный ток для проводов и шнуров с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией с медными жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		2 × 1ж	3 × 1ж	4 × 1ж	1 × 2ж	1 × 3ж
0,5	11	–	–	–	–	–
0,75	15	–	–	–	–	–
1,0	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		2 × 1ж	3 × 1ж	4 × 1ж	1 × 2ж	1 × 3ж
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	–	–	–
185	510	–	–	–	–	–
240	605	–	–	–	–	–
300	695	–	–	–	–	–
400	830	–	–	–	–	–

4.4. Допустимый длительный ток для проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		2 × 1ж	3 × 1ж	4 × 1ж	1 × 2ж	1 × 3ж
2	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	26
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	55	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		2 × 1ж	3 × 1ж	4 × 1ж	1 × 2ж	1 × 3ж
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190
150	340	275	255	—	—	—
185	390	—	—	—	—	—
240	465	—	—	—	—	—
300	535	—	—	—	—	—
400	645	—	—	—	—	—

4.5. Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных

Сечение жилы, мм ²	Ток, А, для кабелей				
	одножильных	двухжильных при прокладке		трехжильных	
		в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385
240	465	—	—	—	—

Тогда получаем

$$\Delta U_{\text{доп}} \geq \frac{\sqrt{3} I_p L}{U_n \gamma F};$$

$$F \geq \frac{\sqrt{3} I_p L \cdot 10^2}{\gamma \Delta U_{\text{доп}} U_n} \text{ или } F \geq \frac{PL10^5}{\gamma \Delta U_{\text{доп}} U_n}, \quad (4.4)$$

где I_p – расчетный ток нагрузки, А; P – активная мощность, кВт; γ – удельная проводимость, м/(Ом·мм²); U_n – линейное напряжение, В; $\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимая потеря напряжения, %.

В расчетах принимаются значения γ для алюминия – 34,5 м/(Ом·мм²); для меди – 57,0 м/(Ом·мм²).

Случай 2. По трехфазной сети, выполненной проводом одинакового сечения, получают питание несколько нагрузок (рис. 4.1).

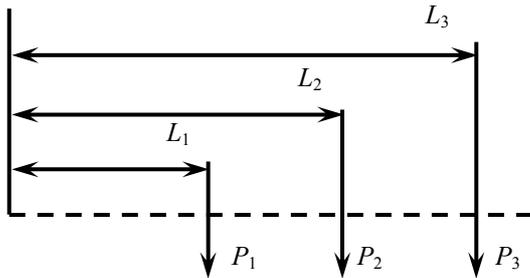


РИС. 4.1. ЛИНИЯ С НЕСКОЛЬКИМИ НАГРУЗКАМИ

Тогда вместо формулы (4.4) получаем соотношение

$$F \geq \frac{P_1 L_1 + P_2 L_2 + P_3 L_3 + \dots}{\gamma \Delta U_{\text{доп}} U_n}.$$

В практических расчетах можно пользоваться соотношением

$$F \geq \frac{P_1 L_1 + P_2 L_2 + P_3 L_3 + \dots}{C \Delta U_{LJG}}, \quad (4.5)$$

где C – коэффициент, определяемый по табл. 4.9.

4.9. Значения коэффициента C

Номинальное напряжение сети, В	Система сети и род тока	Значения коэффициента C для проводов	
		медных	алюминиевых
380/220	Трехфазная с нулевым проводом	77	46
380/220	Двухфазная с нулевым проводом	34	20
220	Двухпроводная переменного или постоянного тока	12,8	7,7
220/127	Трехфазная с нулевым проводом	25,6	15,5
220/127	Двухфазная с нулевым проводом	11,4	6,9
127	Двухпроводная переменного или постоянного тока	4,3	2,6
120	Двухпроводная переменного или постоянного тока	3,8	2,3
110	Двухпроводная переменного или постоянного тока	3,2	1,9
42	Двухпроводная переменного или постоянного тока	0,34	0,21
24	Двухпроводная переменного или постоянного тока	0,153	0,092
12	Двухпроводная переменного или постоянного тока	0,038	0,023

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Пример 1. Требуется выбрать силовой кабель для питания двигателя мощностью 5 кВт, напряжением 380 В. Другие параметры: $\cos \varphi = 0,8$; КПД = 97 %. Температура помещения +30 °С.

Решение. Находим номинальный ток двигателя

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi \eta} = \frac{5}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,97} = 9,8 \text{ А.}$$

Поправочные коэффициенты равны: $K_1 = 0,94$ (табл. 4.6); $K_2 = 1,0$. По табл. 4.3 для трехжильного кабеля с алюминиевыми жилами сечением $2,5 \text{ мм}^2$ в поливинилхлоридной оболочке находим $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$ (в воздухе). Проверяем: $9,8 < 1 \cdot 0,94 \cdot 19 \text{ А}$; $9,8 < 17,86$. Выбранный кабель проверим по потере напряжения. Пусть длина кабеля составляет 50 м. Для сечения $2,5 \text{ мм}^2$ $R_0 = 12,5 \text{ мОм/м}$; $X_0 = 0,104 \text{ мОм/м}$. По формуле (4.2) имеем

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 9,8 \cdot 50(12,5 \cdot 0,8 + 0,104 \cdot 0,6) \cdot 100}{380 \cdot 1000} = 2,2 \text{ \%}.$$

Полученное значение меньше допустимой величины, равной 5 %.

Пример 2. Требуется выбрать силовой кабель для питания преобразовательной установки с питающим трансформатором мощностью 20 кВА, напряжением 380 В. Температура среды +30 °С. Нагрузка чисто активная.

Решение. Определяем номинальный ток установки по мощности питающего трансформатора

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n} = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 30,4 \text{ А.}$$

Поправочные коэффициенты те же. Выбираем сечение кабеля 10 мм^2 (табл. 4.6) с $I_{\text{доп}} = 42 \text{ А}$

$$30,4 < 1 \cdot 0,94 \cdot 42; 30,4 < 39,5 \text{ А.}$$

Пример 3. Осветительная нагрузка предприятия составляет 10 кВт. Требуется определить сечение алюминиевого провода четырехпроводной линии трехфазного тока напряжением 380/220 В длиной 100 м. Допустимая потеря напряжения составляет 2,5 %.

Решение. По табл. 4.8 для данной сети находим $C = 46$. Сечение фазных проводов будет равно

$$F \geq \frac{PL}{C\Delta U_{\text{доп}}} = \frac{10 \cdot 100}{46 \cdot 2,5} = 8,7 \text{ мм}^2.$$

Принимаем стандартное сечение 10 мм^2 . По ПУЭ сечение жилы нулевого провода при четырехпроводной схеме должно быть не менее половины сечения фазного провода [1]. Поэтому принимаем стандартное сечение нулевого провода 6 мм^2 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Ю.Г. Барыбина. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 464 с.
3. Проектирование промышленных электрических сетей / В.И. Крупович, А.А. Ермилов, В.С. Иванов, Ю.В. Крупович. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1979. – 328 с.
4. Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий. СН-357-77. – М. : Стройиздат, 1977. – 96 с.
5. Руководящие указания по расчету коротких замыканий, выбору и проверке аппаратов и проводников по условиям короткого замыкания / Главтехуправление Минэнерго СССР. – М. : МЭИ, 1975. – 331 с.
6. Агеев, А.И. Коммутационная и защитная аппаратура электрических сетей напряжением до 1000 В : практ. пособие / А.И. Агеев. – Иваново : Иван. гос. энерг. ун-т., 1998. – 64 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

1.П. Каталожные данные силовых трансформаторов

Тип и мощность, кВА	Номинальные ВН, кВ	Напряжения обмоток НН, В	ΔP , кВт	U_k , %
ТГ-1	0,38; 0,66	37 или 95	0,21	4
ТГ-1,6	0,38; 0,66	или 170	0,18	4
ТГ-2,5	0,38; 0,66	220/133	0,18	4
ТГ-6	0,38; 0,66	220/133	0,26	4
ТГ-10	0,38; 0,66	230; 400	0,28	4,5
ТС-16	0,38; 0,66	230; 400	0,4	4,5
ТС-25	0,38; 0,66	230; 400	0,56	4,5
ТС-40	0,38; 0,66	230; 400	0,8	4,5
ТС-63	0,38; 0,66	230; 400	1,15	4,5
ТС-100	0,38; 0,66	230; 400	1,45	4,5
ТС-160	6; 10	230; 400	2,7	5,5
ТС-250	6; 10	230; 400	3,8	5,5
ТС-400	6; 10	230; 400	5,4	5,5
ТС-630	6; 10	230; 400	7,3	5,5
ТС-1000	6; 10	400	11,2	5,5
ТС-1600	6; 10	400	16,0	5,5
ТМ-160	6; 10	400	2,65	4,5
ТМ-250	6; 10	400	3,7	4,5
ТМ-400	6; 10	400	5,5	4,5
ТМ-630	6; 10	400	7,6	4,5
ТМ-1000	6; 10	400	12,2	5,5
ТМ-1600	6; 10	400	18,0	5,5
ТМ-2500	6; 10	400	24,3	5,5

2.П. Ориентировочные значения сопротивлений первичных обмоток катушечных трансформаторов тока напряжения до 1000 В

Коэффициент трансформации	Класс точности 1		Класс точности 2	
	$X_{гг}$, мОм	$R_{гг}$, мОм	$X_{гг}$, мОм	$R_{гг}$, мОм
10/5	270	170	70	75
15/5	120	75	30	33
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3,0
75/5	4,8	3	1,2	1,3
100/5	2,7	1,7	0,7	0,75
150/5	1,2	0,75	0,3	0,33
200/5	0,67	0,42	0,17	0,19
300/5	0,3	0,2	0,08	0,088
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

3.П. Ориентировочные значения сопротивлений катушек
(расцепителей) максимального тока автоматических выключателей

Номинальный ток катушки (расцепителя), А	$X_{кв}$, мОм	$R_{кв}$, мОм
50	2,7	5,5
70	1,3	2,4
100	0,86	1,3
140	0,55	0,74
200	0,28	0,36
400	0,1	0,15
600	0,09	0,12

При больших номинальных токах расцепителей сопротивления катушек автоматов можно принимать на уровне следующих значений:

0,09	0,12
------	------

4.П. Технические данные шинопроводов

Тип	Номинальный ток, А	Сопротивление проводов, мОм				Динамическая стойкость, кА
		фазного		нулевого		
		R	X	R	X	
ШМА-76	1000	58,2	50,2	95,6	–	40
ШМА-73	1600	31,0	17	72	98	70
ШМА-68	2500	20	20	268	458	70
ШМА-68	4000	13	20	70	46	100
ШРА-73	250	200	100	180	150	15
ШРА-73	400	130	100	169	129	25
ШРА-73	630	85	75	100	129	35
ШРА-74	250	180	200	230	180	10
ШРА-74	400	180	180	180	170	15
ШРА-74	630	85	75	170	170	35

5.П. Сопротивления плоских алюминиевых шин,
проложенных открыто

Размер фазных и нулевой шин, мм	Сопротивление прямой последовательности, мОм/м					Сопротивление петли "фаза – нулевая шина", мОм/м, $Z_{1ш}$ при различных расстояниях между нулевой шиной и крайней фазой, мм	
	$R_{1ш}$	$X_{1ш}$ при различных среднегеометрических расстояниях между фазами, мм					
		100	150	200	300	200	750
30 × 4	0,269	0,163	0,189	0,206	0,235	0,79	0,9
40 × 4	0,211	0,145	0,17	0,189	0,214	0,66	0,78
40 × 5	0,173	0,145	0,17	0,189	0,214	0,59	0,72
50 × 5	0,14	0,137	0,156	0,18	0,2	0,52	0,66
60 × 6	0,102	0,119	0,145	0,163	0,189	0,44	0,59
80 × 6	0,077	0,102	0,127	0,146	0,171	0,39	0,54
80 × 8	0,059	0,102	0,126	0,145	0,17	0,36	0,52
100 × 6	0,063	0,09	0,114	0,132	0,158	0,34	0,5
100 × 8	0,049	0,09	0,113	0,131	0,157	0,33	0,48
100 × 10	0,04	0,09	0,011	0,13	0,156	0,32	0,48

**6.П. Сопротивления прямой последовательности кабелей
до 1000 В с алюминиевыми жилами**

Сечение жилы, мм		$R_{l \text{ каб.}}$ мОм/м	$X_{l \text{ каб.}}$ мОм/м	
рабочей	нулевой		трехжильный	четырёхжильный
4	2,5	9,61	0,092	0,098
6	4	6,41	0,087	0,094
10	6	3,84	0,083	0,088
16	10	2,4	0,078	0,084
25	16	1,54	0,062	0,072
35	16	1,1	0,061	0,068
50	25	0,77	0,060	0,066
70	35	0,55	0,059	0,065
95	50	0,41	0,057	0,064
120	50	0,32	0,057	0,064
150	70	0,26	0,056	0,063
185	70	0,21	0,056	0,063
240	–	0,16	0,055	–

**7.П. Ориентировочные значения сопротивлений контактов
коммутационных аппаратов**

Номинальный ток аппарата, А	$R_{к.}$ мОм		
	автоматы	рубильники и предохранители	разъединители
50	1,3	–	–
70	1,0	–	–
100	0,75	0,5	–
150	0,65	–	–
200	0,6	0,4	–
400	0,4	0,2	0,2
600	0,25	0,15	0,15
1000	Данные	0,08	0,08
2000	отсутствуют	–	0,08
3000	–	–	0,02

**8.П. Полные сопротивления току замыкания на корпус
трансформаторов со вторичным напряжением 0,4 кВ**

Номинальная мощность, кВ·А	Номинальное напряжение обмоток ВН, кВ	Группа соединения обмоток	$Z_{т.}$ мОм
160	6,10	Y/Y0	487
	6,10	Y/Z0	141
	20,35	Y/Y0	478
	20,35	Y/Z0	203
250	6,10	Y/Y0	312
	6,10	Y/Z0	90
	20,35	Y/Y0	305
	20,35	Y/Z0	130
400	6,10	Y/Y0	195
	6,10	Δ / Y0	56
	20,35	Y/Y0	191
630	6,10	Y/Y0	129
	6,10	Δ / Y0	42
	20,35	Y/Y0	121
1000	6,10	Y/Y0	81
	6,10	Δ / Y0	27
	20,35	Y/Y0	77

	20,35	Δ / Y_0	32
1600	10	Y/Y_0	54
	10	Δ / Y_0	16,5
	20	Δ / Y_0	19,5
	35	Y/Y_0	51

9.П. Полное сопротивление петли "фазный проводник – нулевой проводник" четырехпроводных линий, выполненных четырехжильными кабелями, проводами или одножильными проводами, проложенных пучком, с алюминиевыми жилами

Сечение проводника, мм ²		Z _{пу} , мОм/м	Сечение проводника, мм ²		Z _{пу} , мОм/м
фазного	нулевого		фазного	нулевого	
2,5	2,5	29,64	50	50	1,48
4	2,5	24,08	70	35	1,59
4	4	18,52	70	50	1,27
6	4	15,43	70	70	1,06
6	6	12,34	95	50	1,13
10	6	9,88	95	70	0,92
10	10	7,41	95	95	0,78
16	10	5,92	120	50	1,05
16	16	4,43	120	70	0,84
25	10	5,19	120	95	0,7
25	16	3,7	150	70	0,82
25	25	2,96	150	95	0,67
35	16	3,35	150	120	0,52
35	25	2,54	185	70	0,53
35	35	2,12	185	95	0,59
50	25	2,22	185	120	0,51
50	35	1,8			

10.П. Полное сопротивление петли "фазная жила – нулевая жила" с учетом проводимости алюминиевой оболочки четырехжильного кабеля с бумажной изоляцией

Сечение жилы, мм ²		Z _{пу} , мОм/м	
фазной	нулевой	медь	алюминий
6	4	4,74	7,49
10	6	3,06	4,73
16	10	2,01	3,08
25	16	1,38	2,1
35	16	1,06	1,57
50	25	0,78	1,16
70	35	0,61	0,87
95	35	0,48	0,69
120	50	0,41	0,58
150	50	0,31	0,45
185	70	0,27	0,35

11.П. Полное сопротивление петли "фазная жила – алюминиевая оболочка" трехжильных кабелей с бумажной изоляцией

Сечение фазной жилы, мм ²	$Z_{\text{пу}}$, мОм/м		Сечение фазной жилы, мм ²	$Z_{\text{пу}}$, мОм/м	
	медь	алюминий		медь	алюминий
6	4,98	7,67	70	0,83	1,06
10	3,31	4,92	95	0,66	0,83
16	2,31	3,33	120	0,56	0,7
25	1,7	2,44	150	0,44	0,54
35	1,37	1,83	185	0,36	0,45
50	1,07	1,4	240	0,29	0,36

12.П. Полное сопротивление петли "фазный провод – труба" трехпроводной линии с алюминиевыми проводами, проложенными в стальной тонкостенной трубе, $Z_{\text{пу}}$, мОм/м

Сечение фазной жилы, мм ²	Наружный диаметр × толщина стенки трубы, мм				
	20 × 1,6	26 × 1,8	32 × 2	47 × 2	59 × 2
2,5	18,69	18,22	17,61	17,01	16,55
4	13,19	12,71	12,09	11,48	11,01
6	10,17	9,67	9,04	8,42	7,94
10	7,78	7,28	6,64	6,01	5,52
16	–	5,87	5,22	4,57	4,07
25	–	5,19	4,53	3,88	3,37
				3,48	2,98

**13.П. Полное сопротивление петли "фазный провод – нулевой провод" четырехпроводной линии с алюминиевыми проводниками,
 проложенными в стальной тонкостенной трубе с учетом совместного использования проводимостей нулевого провода и стальной трубы,
 $Z_{\text{пн}}$, мОм/м**

Сечение жилы, мм ²		Наружный диаметр × толщина стальной трубы, мм				
фазной	нулевой	20 × 1,6	26 × 1,8	32 × 2	47 × 2	59 × 2
2,5	2,5	17,93	17,64	–	–	–
4	2,5	12,44	12,21	11,66	–	–
4	4	12,12	11,84	11,47	–	–
6	4	9,10	8,81	8,42	8,0	–
6	6	8,77	8,54	8,22	7,86	–
10	6	–	6,17	5,82	5,44	5,12
10	10	–	5,79	5,51	5,22	4,96
16	10	–	–	4,10	3,79	3,52
16	16	–	–	3,80	3,54	3,33
25	10	–	–	–	3,20	2,82
25	16	–	–	–	2,85	2,64

Сечение жилы, мм ²		Наружный диаметр × толщина стальной трубы, мм				
фазной	нулевой	20 × 1,6	26 × 1,8	32 × 2	47 × 2	59 × 2
25	25	–	–	–	2,68	2,48
35	16	–	–	–	2,50	2,25
35	25	–	–	–	2,32	2,11
35	35	–	–	–	2,18	1,98
50	25	–	–	–	–	1,83
50	35	–	–	–	–	1,72
50	50	–	–	–	–	1,61
70	35	–	–	–	–	1,55
70	50	–	–	–	–	1,45
70	70	–	–	–	–	1,37

14.П. Условные графические обозначения, применяемые в электрических схемах

Наименование	Обозначение
Машина асинхронная трехфазная с фазным ротором	
Машина асинхронная трехфазная с короткозамкнутым ротором	
Машина синхронная трехфазная	
Машина постоянного тока: с независимым возбуждением	
с последовательным возбуждением	
с параллельным возбуждением	
с возбуждением от постоянных магнитов	
Катушка индуктивности, дроссель без магнитопровода	
Реактор	
Трансформатор однофазный с магнитопроводом	
Автотрансформатор однофазный с магнитопроводом	
Трансформатор тока с одной вторичной обмоткой	
Резистор постоянный	
Резистор переменный	
Терморезистор прямого подогрева	
Конденсатор постоянной емкости	
Наименование	Обозначение
Прибор электроизмерительный:	

показывающий

с цифровым отсчетом

Диод

Тиристор триодный незапираемый с управлением по катоду

Транзистор типа n-p-n с коллектором, электрически соединенным с корпусом

Полевой транзистор с каналом p-типа

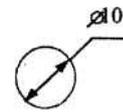
Полевой транзистор с изолированным затвором: обогащенного типа с p-каналом

обогащенного типа с n-каналом

Электронагреватель индукционный. Общее обозначение

Контакт коммутационного устройства. Общее обозначение:

замыкающий



Наименование	Обозначение
--------------	-------------

размыкающий

переключающий

Контакт замыкающий с замедлителем, действующим: при срабатывании

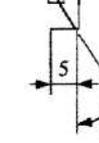
при возврате

Контакт размыкающий с замедлителем, действующий: при срабатывании

при возврате

Контакт для коммутации силовой цепи:

замыкающий



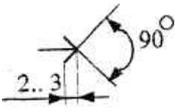
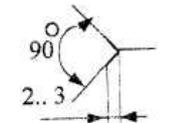
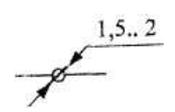
размыкающий	
замыкающий дугогасительный	
размыкающий дугогасительный	
Контакт разъединителя	

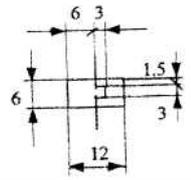
Наименование	Обозначение
--------------	-------------

Контакт выключателя разъединителя	
Контакт с автоматическим возвратом при перегрузке	
Контакт электротеплового реле при разнесенном способе изображения реле	
Выключатель трехполюсный (рубильник)	
Выключатель автоматический трехполюсный с автоматическим возвратом	
Выключатель высокого напряжения	
Отделитель	
Короткозамыкатель	
Выключатель путевой: однополюсный	
трехполюсный	
Выключатель кнопочный нажимной:	
с замыкающим контактом	
с размыкающим контактом	

Наименование	Обозначение
--------------	-------------

<p>Переключатели со сложной коммутацией изображают на схеме одним из следующих способов:</p> <p>первый способ: переключатели изображают в виде условного обозначения, а на поле схемы помещают таблицу замыкания контактом</p>	
второй способ	

Контакт контактного соединения:	
штырь	
гнездо	
разборного соединения	
неразборного соединения	
Катушка электромеханического устройства (контактора, реле)	
Катушка электромеханического устройства с указанием вида обмотки:	
обмотка напряжения	

Наименование	Обозначение
обмотка максимального тока	
Воспринимающая часть электротеплового реле (нагревательный и биметаллический элементы)	

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

.....	3
1. КОММУТАЦИОННЫЕ АППАРАТЫ	5
1.1. Автоматические выключатели	5
1.2. Конструкция автоматических выключателей	6
1.3. Принципиальные электрические схемы автоматических выключателей	7
1.4. Основные электрические параметры автоматических выключателей	8
1.5. Времятоковые характеристики	11
1.6. Выбор автоматических выключателей	12
1.7. Технические данные автоматических выключателей общего применения до 630 А	12
1.7.1. Автоматы серии А3700	12
1.7.2. Автоматы установочные серии А3100	36
1.7.3. Автоматы серии АВМ	36
1.7.4. Автоматы серии ВА	36
1.7.5. Автоматы серии "Электрон"	43
1.8. Контактторы	43
1.9. Магнитные пускатели	44
1.10. Рубильники и разъединители	44
1.11. Блок "предохранитель-выключатель"	44
2. ЗАЩИТНАЯ АППАРАТУРА	44
2.1. Требования к защитным аппаратам	44
2.2. Места защитных аппаратов	46
2.3. Выбор предохранителей и их плавких вставок	46
2.4. Выбор автоматических выключателей и уставок их расцепителей	50
3. РАСЧЕТЫ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	
В УСТАНОВКАХ ДО 1000 В	57
3.1. Назначение расчетов	57
3.2. Расчет периодической составляющей тока трехфазного КЗ	60
3.3. Расчет периодической составляющей тока однофазного КЗ	63
3.4. Расчет токов короткого замыкания на стороне выпрямленного тока вентильных преобразователей	63
4. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ	67
4.1. Основные требования	67
4.2. Выбор сечений проводов и кабелей по условию нагрева	67
4.3. Выбор сечений проводов и кабелей по допустимой потере напряжения	68
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	78
ПРИЛОЖЕНИЕ	79

1.4. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ РАСЦЕПИТЕЛЯМИ ТОКА. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток полупроводникового максимального расцепителя тока ¹⁾ , А	Базовый номинальный ток полупроводникового расцепителя, А	Калибруемое значение номинального рабочего тока полупроводникового расцепителя $I_{рп}^{2),3)}$, А	Калибруемое значение уставки полупроводникового расцепителя по току срабатывания, кратное номинальному рабочему току в зоне токов короткого замыкания	Калибруемое значение уставки полупроводникового расцепителя по времени срабатывания ^{4),5)} , с	Уставка по току срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне перегрузки, кратная номинальному рабочему току	Уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя тока, А	
А3713Б, А3714Б	~50 Гц ~60 Гц	660 380	160	32	20, 25, 32, 40	2, 3, 5, 7	4, 8, 16	1,25	1600	
				63	40, 50, 63, 80					
				125	80, 100, 125, 160					
А3713Б	Постоянный	440		32	20, 25, 32, 40	2, 4, 6				
				63	40, 50, 63, 80					
				125	80, 100, 125, 160					
А3723Б, А3724Б	~50 Гц ~60 Гц	660 380	250	200	160, 200, 250	2, 3, 5, 7, 10	1,25	2500		
									А3723Б	Постоянный
А3793Б, А3794Б	~50 Гц ~60 Гц	660		400	320	250, 320, 400				
				630	500	400, 500, 630			6300	

Продолжение табл. 1.4

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток полупроводникового максимального расцепителя тока ¹⁾ , А	Базовый номинальный ток полупроводникового расцепителя, А	Калибруемое значение номинального рабочего тока полупроводникового расцепителя $I_{рп}^{2),3)}$, А	Калибруемое значение уставки полупроводникового расцепителя по току срабатывания, кратное номинальному рабочему току в зоне токов короткого замыкания	Калибруемое значение уставки полупроводникового расцепителя по времени срабатывания ^{4),5)} , с	Уставка по току срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне перегрузки, кратная номинальному рабочему току	Уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя тока, А			
А3794Б	~50 Гц ~60 Гц	380	250	200	160, 200, 250	2, 3, 5, 7, 10			4000*			
										400	320	250, 320, 400
А3793Б	Постоянный	440		250	200	160, 200, 250			2, 4, 6	2400		
				400	320	250, 320, 400						
				630	500	400, 500, 630					3800	

- Примечания:
- 1) Номинальный ток выключателя определяется номинальным током расцепителя.
 - 2) Номинальный рабочий ток полупроводникового расцепителя, установленный при регулировке.
 - 3) Номинальный ток полупроводникового расцепителя соответствует максимальному калибруемому значению номинального рабочего тока.
 - 4) Уставки по времени срабатывания в зоне токов перегрузки указаны при $6I_{рп}$ переменного и $5I_{рп}$ постоянного тока.
 - 5) При соответствующей оговорке в заказе выключатели могут поставляться без защиты в зоне токов перегрузки.

**1.5. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ И ТЕПЛОВЫМИ
РАСЦЕПИТЕЛЯМИ ТОКА.
ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ**

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А	
			выключателей	электромагнитных расцепителей	тепловых расцепителей	тепловых расцепителей	электромагнитных расцепителей
А371.5Б, А3716Б	~50 Гц ~60 Гц	660, 380	160	160	16	18	630
	~400 Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	20	23	
	~400 Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	25	29	
	~400 Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	32	37	630, 1600
	~400 Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	40	46	
	~400 Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	50	57	
	~400 Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	63	72	
	~400 Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	80	92	
	~400 Гц	380		150			
Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А	
			выключателей	электромагнитных расцепителей	тепловых расцепителей	тепловых расцепителей	электромагнитных расцепителей
А3715Б, А3716Б	~50 Гц ~60 Гц	660, 380	160	160	100	115	630, 1600
	~400 Гц	380		180			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	125	145	
	~400 Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	160	185	
	~400 Гц	380		150			
А3715Б	Постоянный	440	160	160	16	18	600
					20	23	
					25	29	
					32	37	
					40	46	
					50	57	
					63	72	600, 900
					80	92	
					100	115	
					125	145	
					160	185	
А3725Б, А3726Б	~50 Гц ~60 Гц	660, 380	250	250	160	185	2500
	~400 Гц	380			200	230	
					250	290	
А3725Б	Постоянный	440	250	250	170	195	2000
					160	185	
					200	230	
					250	290	1500

**1.6. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ РАСЦЕПИТЕЛЯМИ ТОКА.
ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ**

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А		Калибруемое значение уставки по току срабатывания электромагнитного расцепителя тока, А
			выключателя	электромагнитного расцепителя	
А3711Б, А3712Б	~ 50 Гц, ~ 60 Гц	660, 380	160	80	400
				160	630, 1000, 1600
А3711Б	Постоянный	440			600, 750, 960
А3721Б, А3722Б	~ 50 Гц, ~ 60 Гц	660, 380	250	250	1600, 2000, 2500
					960, 1200, 1500
А3721Б	Постоянный	440			
А3791Б, А3792Б	~ 50 Гц, ~ 60 Гц	660, 380	630	630	2500, 3200, 4000, 5000, 6300
					2400, 3800
А3791Б	Постоянный	440			

**1.7. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НЕТОКООГРАНИЧИВАЮЩИЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ И ТЕПЛОВЫМИ РАСЦЕПИТЕЛЯМИ ТОКА.
Основные технические данные**

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А	
			выключателя	электромагнитных расцепителей	тепловых расцепителей	тепловых расцепителей	электромагнитных расцепителей
А3715Ф, А3716Ф	~50 Гц	380	160	160	16	18	630
	~400 Гц			150			
	~50 Гц			160	20	23	
	~400 Гц			150			
	~50 Гц			160	25	29	
	~400 Гц			150			

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А	
			выключателя	электромагнитных расцепителей	тепловых расцепителей	тепловых расцепителей	электромагнитных расцепителей
А3715Ф, А3716Ф	~50 Гц	380	160	160	32	37	630, 1600
	~400 Гц			150			
	~50 Гц			160	40	46	
	~400 Гц			150			
	~50 Гц			160	50	57	
	~400 Гц			150			
	~50 Гц			160	63	72	
	~400 Гц			150			
	~50 Гц			160	80	92	
	~400 Гц			150			
	~50 Гц			160	100	115	
	~400 Гц			150			
	~50 Гц			160	125	145	
	~400 Гц			150			
	~50 Гц			160	160	185	
	~400 Гц			150			
~50 Гц	160	150	172				
~400 Гц	150						
А3715Ф	Постоянный	220	160	16	16	18	600
				20			
				25	23	29	
				32			
				40	37	46	600, 900
				50			
				63	57	72	
				80			

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А		
			выключателе й	электромагнитных расцепителей	тепловых расцепителей	тепловых расцепителей	электромагнитных расцепителей	
А3715Ф	Постоянный	220	160	160	100	115	600, 900	
					125	145		
					160	185		
А3725Ф, А3726Ф	~50 Гц	380	250	250	160	185	1500	
	~400 Гц				200	230		
					250	290		
А3725Ф	Постоянный	220	250	170	170	195	2000	
					150	160		185
						200		230
А3795Н, А3796Н	~50 Гц ~60 Гц	660, 380	630	630	250	290	2500	
					320	370	3200	
					400	460	4000	
					500	575	5000	
					630	725	6300	
					А3795Н	Постоянный	440	630
320	370							
400	460							
500	575	3800						
630	725							

1.8. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НЕТОКООГРАНИЧИВАЮЩИЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ РАСЦЕПИТЕЛЯМИ ТОКА. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А		Калибруемое значение уставки по току срабатывания электромагнитного максимального расцепителя тока, А
			выключателя	электромагнитного расцепителя	
А3711Ф, А3712Ф	~50 Гц	380	160	80	400
				160	630, 1000, 1600
	~400 Гц			150	630
А3711Ф	Постоянный	220		160	600, 750, 960
А3721Ф,	~50 Гц	380	250	250	1600, 2000, 2500
А3722Ф	~400 Гц			200	2000
А3721Ф	Постоянный			250	960, 1200, 1500

1.9. Выключатели без максимальных расцепителей тока. Основные технические данные

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Термическая стойкость, А ² -с	Мгновенное значение тока электродинамической стойкости, А, не менее
А3717Б, А3717Б	~50 Гц, ~ 60 Гц	660, 380	160	6·10 ⁶	2500
А3717Б	Постоянный	440			
А3727Б, А3728Б	~50 Гц, ~ 60 Гц	660, 380	250	15·10 ⁶	3000
А3727Б	Постоянный	440			
А3717Ф, А3718Ф	~50 Гц, ~ 60 Гц	380	160	6·10 ⁶	2500
	~400 Гц		150		
А3717Ф	Постоянный	220	160		
А3727Ф, А3728Ф	~50 Гц, ~ 60 Гц	380	250	10·10 ⁶	3000
	~400 Гц		200		
А3727Ф	Постоянный	220	250		
А3797С, А3798С	~50 Гц, ~ 60 Гц	660, 380	630	130·10 ⁶	40 000
А3797С	Постоянный	440			35 000

1.10. Отклонение уставок по току и времени срабатывания расцепителей
при температуре окружающего воздуха 25 ± 10 °С

Вид уставки	Зона защиты	Значение уставки	Пределы допустимого отклонения уставки при протекании тока ³⁾		
			по двум полюсам	по одному полюсу	по трем полюсам
Уставка по току срабатывания, краткая $I_{нр}$ ¹⁾	Зона токов перегрузки	1,25	1,15...1,35	1,05...1,4	1,15...1,35
	Зона токов короткого замыкания	2	1,8...2,2	1,6...2,4	1,6...2,4
		3	2,7...3,3	2,4...3,6	2,4...3,6
		4	3,6...4,4	3,2...4,8	3,2...4,8
		5	4,5...5,5	4,0...6,0	4,0...6,0
		6	5,4...6,6	4,8...7,2	4,8...7,2
		7	6,3...7,7	5,6...8,4	5,6...8,4
		10	9,0...11,0	8,0...12,0	8,0...12,0
Уставка по времени срабатывания, с	Зона токов перегрузки ²⁾	4	3,0...5,0	2,0...6,0	2,0...5,0
		8	6,5...9,5	5,0...11,0	5,0...9,5
		16	14,0...18,0	12,0...20,0	12,0...18,0
	Зона токов короткого замыкания	0,1	—	0,08...0,12	—
		0,25		0,23...0,27	
		0,4		0,38...0,42	

Примечания: ¹⁾ $I_{нр}$ – номинальный рабочий ток полупроводникового расцепителя – ток, установленный при регулировании.

²⁾ Уставки по времени срабатывания в зоне токов перегрузки указаны при $6I_{нр}$ переменного тока и $5I_{нр}$ постоянного тока

³⁾ Пределы допустимых отклонений уставок по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания и уставок по времени срабатывания в зоне токов перегрузок указаны для базового значения номинального тока.

**1.11. ВРЕМЯТОКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ С ХОЛОДНОГО СОСТОЯНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ СЕРИИ АЗ700
ПОСТОЯННОГО И
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЧАСТОТОЙ 50 И 400 ГЦ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА 40 °С**

Тип выключателя	Номинальный ток максимального теплового расцепителя	Род тока	Время срабатывания полупроводникового расцепителя, с, в характерных точках							
			Зоны токов перегрузки	Зоны действия уставки по току срабатывания электромагнитного расцепителя						
			при кратностях тока нагрузки к номинальному току расцепителя, $I/I_{нр}$							
			1,05	2	3	4	5	6	7	10
АЗ710	16, 80, 125	Постоянный	Срабатывает при $t \geq 5000$	35...300	–	6...30	–	3...13	–	
		Переменный		–	11...70	–	4...18	–	2...10	1,5...6,5
	20, 40, 50, 63	Постоянный		50...400	–	7...40	–	4...17	–	
		Переменный		–	18...100	–	5...23	–	3...11	1,7...7
	25, 32, 100, 160	Постоянный		65...400	–	11...60	–	5...25	–	
		Переменный		–	25...140	–	8...37	–	4,2...18	2,3...9,5
АЗ720	160, 200, 250	Постоянный	65...500	–	10...60	–	4,5...25	–		
		Переменный	–	20...150	–	7...45	–	3,5...20	1,9...11	
АЗ790Н	250, 320, 400, 500, 630	Постоянный	Не срабатывает при $t < 10000$	60...250	–	12...34	–	4,9...15	–	
		Переменный		–	20...65	–	6,5...19	–	3...10	1,6...5,5

1.12. ВРЕМЯТОКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ХОЛОДНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРИИ АЗ700 ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЧАСТОТЫ 50 ГЦ ДЛЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА

Тип выключателя	Температура окружающего воздуха, °С	Время срабатывания полупроводникового расцепителя, с, в характерных точках							
		Зоны токов перегрузки	Зоны действия уставки по току срабатывания электромагнитного расцепителя						
			постоянного и переменного тока	постоянного тока		переменного тока			
		при кратностях тока нагрузки к номинальному току расцепителя, $I/I_{нр}$							
		1,05	2	4	6	3	5	7	10
А3715, А3716	-60	Не срабатывает при $t < 10\ 000$	325...3500	20...150	7,5...55	50...380	12...80	5...40	2,4...20
	-50		325...2000	20...120	7,5...45	50...250	12...60	5...30	2,4...15
	-10		220...1250	27...125	11...43	58...280	16...65	7,5...31	3,5...15
	45	Срабатывает при $t \geq 6000$	110...400	14...48	5,4...20	30...100	8...30	3,9...15	2...5
	55	2500...8000	150...450	20...50	8...17	43...125	12...27	5,5...11	2,8...4,9
А3725, А3726	-60	Не срабатывает при $t < 10\ 000$	650...4000	45...250	20...90	100...650	27...140	14...60	9...28
	-50		650...2700	45...170	20...60	100...450	27...90	14...42	9...20
	-10		550...1250	70...135	33...50	145...280	43...75	25...38	16...22
	45	Срабатывает при $t > 7000$	160...330	25...50	13...24	50...95	16...33	9,5...18	6...11
	55	3000...10 000	140...300	23...42	9,5...16	50...90	15...24	7...12	4...5,3

1.14. ПРЕДЕЛЬНАЯ КОММУТАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НЕТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ БЕЗ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСЦЕПИТЕЛЕЙ ТОКА

Тип выключателя	Вид максимального расцепителя тока	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток электромагнитного максимального расцепителя тока, А	Номинальный ток максимального теплового расцепителя, А	Пределная коммутационная способность выключателя			Износостойкость выключателя		
							Пределно допустимый ожидаемый ток короткого замыкания ¹⁾ , кА	Количество коммутационных циклов О-П-ВО-П-ВО ^{2), 3), 4)}	Количество коммутационных операций О ⁴⁾	Общее количество циклов ВО	Из общего количества циклов ВО	
											коммутационная	механическая
А3715Ф, А3716Ф	Электромагнитный и тепловой	~50 Гц	380	160	160	16	5,5	3	1	16 000	10 000	6000
		~400 Гц			150							
		~50 Гц			160	20	10					
		~400 Гц			150		6,0					
		~50 Гц			160	25	15					
		~400 Гц			150		9,0					
		~50 Гц			160	32	20,0					
		~400 Гц			150		10,0					
		~50 Гц			160	40	20					
		~400 Гц			150		13,0					
		~50 Гц			160	50	25,0					
		~400 Гц			150		19,0					
		~50 Гц			160	63	25,0					
		~400 Гц			150		20,0					
~50 Гц	160	80	25,0									
~400 Гц	150		20,0									
А3715Ф, А3716Ф	Электромагнитный и тепловой	~50 Гц	380	160	160	100	80	2	1	16 000	10 000	6000
		~400 Гц			150		23,0					
		~50 Гц			160	25,0						
		~400 Гц			150							
		~50 Гц			160							
~400 Гц	150	150										
А3715Ф	Постоянный	220		160	16	5,0						
					20	6,0						
					25	8,0						

1.18. Классификация и основные технические данные

Тип выключателя	Частота питающей сети, Гц	Номинальное напряжение, В	Конструктивное исполнение по наличию и видам максимальных расцепителей тока		Номинальный ток максимального расцепителя тока	Уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя в зоне токов короткого замыкания, кратная номинальному току расцепителя	Уставка по току срабатывания максимального теплового расцепителя, кратная номинальному току выключателя	Пределы регулирования уставки номинального тока теплового расцепителя	Исполнение по количеству и сочетанию свободных контактов
			Количество электромагнитных максимальных расцепителей тока	Количество максимальных тепловых расцепителей					
BA51-25	50; 60	660	3	—	0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,80; 1,00; 1,25; 1,60; 2,00; 2,50; 3,15; 4,00	7; 10	—	—	Без контактов, 2 замыкающих, 1 размыкающий, 1 замыкающий
				3			1,35	0,8-1,0	
50; 60; 400	380	—		—					
		1,35		—					
BA51Г25	50; 60	660	3		5,00; 6,30; 8,00; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25 0	14	1,2	0,8...1,0	
	50; 60; 400	380							

1.19. Условия срабатывания (несрабатывания) максимальных расцепителей тока

Характер работы выключателя	Защитная характеристика выключателя	Вид максимального расцепителя тока ^{1), 2)}	Температура окружающего воздуха, °С	Ток несрабатывания	Ток срабатывания	Состояние выключателя	Время несрабатывания	Время срабатывания
				в кратности к номинальному току расцепителя				
Одновременная нагрузка всех полюсов	Защита сети	Тепловой	40	1,05	—	Холодное	Менее 1ч	—
				—	1,35	Нагретое ³⁾	—	Менее 1ч
	Защита электродвигателей			—	Холодное	Менее 1ч	—	
				1,2	Нагретое ³⁾	—	Не более 30 мин	
				1,5	Нагретое			Менее, чем за 2 мин
				7	Холодное			В течение 3–15 с
6	В течение 4–8 с							
—	Защита сети и электродвигателей	Электромагнитный	—	5,6; 8,0; 11,2 ⁴⁾	—	—	3а (0,1 ± 0,01) с	—
				—	8,4; 12,0; 16,8 ⁵⁾		—	Не более, чем через 0,04 с

Примечания: ¹⁾ Выключатели с максимальными тепловыми расцепителями допускают повторное включение после отключения тока перегрузки или короткого замыкания не более чем через 120 с.

²⁾ Выключатели с электромагнитными максимальными расцепителями тока допускают повторное включение после срабатывания; не более чем через 2 с.

³⁾ Нагретое состояние, соответствующее току $1,05 I_n$, действующему в течение 1 ч.

⁴⁾ Токи несрабатывания равны или меньше 0,8 уставок по току срабатывания.

⁵⁾ Токи срабатывания равны или больше 1,2 уставок по току срабатывания.

2.5. Селективные автоматические выключатели АЗ700С с полупроводниковыми расцепителями

Тип	Род тока	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Полупроводниковый расцепитель				Предельный ударный ток, кА
				Номинальный ток расцепителя, А	Уставки		для перегрузок от $I_{пр}$	
					ток $\frac{I_{нк}}{I_{на}}$	время		
АЗ733С АЗ734С	Переменный	380; 660	250 400	160; 200; 250	3; 5	0,1	1; 25	50
				250; 320; 400	7; 10	0,25 0,4		
АЗ743С АЗ744С	Переменный	380; 660	400 630	250; 320; 400	3; 5	0,1	1,25	60
				400; 500; 630	7; 10	0,25 0,4		
АЗ733С	Постоянный	440	250 400	160; 200; 250	2; 4; 6	0,1	1,25	30
				250; 320; 400		0,25		
АЗ743С	Постоянный	440	400 630	250; 320; 400 400; 500; 630	2; 4; 6	0,1 0,25	1,25	35

1.2. Классификация выключателей серии А3700

Величина автоматического выключателя А3700	Исполнение выключателя по числу полюсов, виду установки максимальных расцепителей тока и максимально-токовой защите (условное обозначение)	Род тока	Частота питающей сети, Гц	Номинальное напряжение главной цепи, В	Номинальный ток выключателя, А	Количество полюсов	Вид максимальных расцепителей тока	Исполнение по виду максимально-токовой защиты	Исполнение выключателя по способу установки	
9	3С	Переменный	50, 60	660, 380	630	2	Полупроводниковый	Селективный	Стационарное исполнение, выдвигаемое исполнение	
	4С					3				
1	3Б	Переменный	50, 60	660, 380	160	2	Электромагнитный и полупроводниковый	Токоограничивающий		
	4Б					3				
2	3Б	Переменный	50, 60	660, 350	250	2				
	4Б					3				
9	3Б	Переменный	50, 60	660, 380	630	2				
	4Б					3				
1	5Б	Переменный	50, 60	660, 380	160	2				Электромагнитный и тепловой
			400	380						
2	5Б	Переменный	50, 60	660, 380	250	2				
			400	380						
9	3Б	Переменный	50, 60	660, 380	630	2				
									4Б	
1	6Б	Переменный	50, 60	660, 380	160	3				
			400	380						
2	5Б	Переменный	50, 60	660, 380	250	2				
			400	380						

Величина автоматического выключателя А3700	Исполнение выключателя по числу полюсов, виду установки максимальных расцепителей тока и максимально-токовой защите (условное обозначение)	Род тока	Частота питающей сети, Гц	Номинальное напряжение главной цепи, В	Номинальный ток выключателя, А	Количество полюсов	Вид максимальных расцепителей тока	Исполнение по виду максимально-токовой защиты	Исполнение выключателя по способу установки
2	6Б		50, 60	660, 380		3	Электромагнитный	Нетокоограничивающий	Стационарное исполнение
			400	380					
1	5Б	Постоянный	-	440	160	2			
2Б	Переменный	50, 60	660, 380	250	3				
1Б						Постоянный			
2Б	Постоянный	-	440	630	2				
9						1Б			
	2Б	Постоянный	-	440	2				
1	5Ф					Переменный			
		6Ф	Постоянный	-	220				
2	6Ф	Переменный				50, 400			
			5Ф	Постоянный	-		220	2	
3	6Ф	Переменный	50			380			630
				5Ф	Постоянный		-	220	
9	5Н	Переменный	50, 60	660, 380		630			2
					6Н		Постоянный	-	
9	5Н	Переменный	50, 60	660, 380	630	3			
							6Н	Постоянный	-

Величина автоматического выключателя А3700	Исполнение выключателя по числу полюсов, виду установки максимальных расцепителей тока и максимально-токовой защите (условное обозначение)	Род тока	Частота питающей сети, Гц	Номинальное напряжение главной цепи, В	Номинальный ток выключателя, А	Количество полюсов	Вид максимальных расцепителей тока	Исполнение по виду максимально-токовой защиты	Исполнение выключателя по способу установки
1	1Ф	Переменный	50, 400	380	160	2	Электромагнитный	Нетокоограничивающий	Стационарное исполнение, выдвигаемое исполнение
2	1Ф	Переменный	50, 400	380	250	2			
							2Ф	Постоянный	-

	1Ф	Постоянный	–	220		2			
3	2Ф	Переменный	50	380	630	3			
	1Ф	Постоянный	–	220		2			
1	7Б	Переменный	50, 60	630, 380	160	3			
	8Б					2			
	7Б	Постоянный	–	440		3			
2	8Б	Переменный	50, 60	660, 380	250	2			
	7Б	Постоянный	–	440		3			
1	7Ф	Переменный	50	380	160	2	Без расцепителя	На базе токоограничивающего	
	8Ф		400			3			
2	7Ф	Переменный	50	380	250	2			
	8Ф		400			3			
9	7Ф	Переменный	–	220	250	2			
	7С		50, 60			660, 380			3
	8С	Постоянный	–	440		2			

1.3. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ СЕЛЕКТИВНЫЕ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ РАСЦЕПИТЕЛЯМИ ТОКА. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток полупроводникового максимального расцепителя ток ¹⁾ , А	Базовый номинальный ток полупроводникового расцепителя, А	Калибруемое значение номинального рабочего тока полупроводникового расцепителя $I_{np}^{2),3)}$, А	Калибруемое значение уставки полупроводникового расцепителя по току срабатывания, кратное номинальному рабочему току в зоне токов короткого замыкания	Калибруемое значение уставки полупроводникового расцепителя по времени срабатывания ^{4),5)} , с		Уставка по току срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне перегрузки, кратная номинальному рабочему току
							в зоне токов короткого замыкания	в зоне токов перегрузки	
A3793C, A3794C	~ 50 Гц ~ 60 Гц	660 380	250	200	160, 200, 250	2, 3, 5, 7, 10	0,10	4, 8, 16	1,25
			400	320	250, 320, 400		0,250		
			630	500	400, 500, 630		0,40		
A3793C	Постоянный	440	250	200	160, 200, 250	2, 4, 6	0,10	4, 8, 16	1,25
			400	320	250, 320, 400		0,25		
			630	500	400, 500, 630				

- Примечания:
- Номинальный ток выключателя определяется номинальным током расцепителя.
 - Номинальный рабочий ток полупроводникового расцепителя, установленный при регулировке.
 - Номинальный ток полупроводникового расцепителя соответствует максимальному калибруемому значению номинального рабочего тока.
 - Уставки по времени срабатывания в зоне токов перегрузки указаны при $6I_{np}$ переменного и $5I_{np}$ постоянного тока.
 - При соответствующей оговорке в заказе выключатели могут поставляться без защиты в зоне токов перегрузки.

4.6. Токовые нагрузки на силовые кабели с пропитанной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемые в воздухе

Сечение жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А, на кабели											
	с медными жилами						с алюминиевыми жилами					
	1 ж до 1 кВ	2 ж до 1 кВ	3 ж до 3 кВ	3 ж до 6 кВ	3 ж до 10 кВ	4 ж до 1 кВ	1 ж до 1 кВ	2 ж до 1 кВ	3 ж до 3 кВ	3 ж до 6 кВ	3 ж до 10 кВ	4 ж до 1 кВ
6	–	55	45	–	–	–	–	42	35	–	–	–
10	95	75	60	55	–	60	75	55	46	42	–	45
16	120	95	80	65	60	80	90	75	60	50	46	60
25	160	130	105	90	85	100	125	100	80	70	65	75
35	200	150	125	110	105	120	155	115	95	85	80	95
50	245	185	155	145	135	145	190	140	120	110	105	110
70	305	225	200	175	165	185	235	175	155	135	130	140
95	360	275	245	215	200	215	275	210	190	165	155	165
120	415	320	285	250	240	260	320	245	220	190	185	200
150	470	375	330	290	270	300	360	290	255	225	210	230
185	525	–	375	325	305	340	405	–	290	250	235	260
240	610	–	430	375	350	–	470	–	330	290	270	–
300	720	–	–	–	–	–	555	–	–	–	–	–
400	880	–	–	–	–	–	675	–	–	–	–	–
500	1020	–	–	–	–	–	785	–	–	–	–	–
625	1180	–	–	–	–	–	910	–	–	–	–	–
800	1400	–	–	–	–	–	1080	–	–	–	–	–

4.7. Токовые нагрузки на силовые кабели с бумажной пропитанной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемые в земле

Сечение жилы, мм ²	Токовые нагрузки, А, на кабели											
	с медными жилами						с алюминиевыми жилами					
	1ж до 1 кВ	2ж до 1 кВ	3ж до 3 кВ	3ж до 6 кВ	3ж до 10 кВ	4ж до 1 кВ	1ж до 1 кВ	2ж до 1 кВ	3ж до 3 кВ	3ж до 6 кВ	3ж до 10 кВ	4ж до 1 кВ
6	–	80	70	–	–	–	–	60	55	–	–	–
10	140	105	95	80	–	85	110	80	75	60	–	65
16	175	140	120	105	95	115	135	110	90	80	75	90
25	235	185	160	135	120	150	180	140	125	105	90	115
35	285	225	190	160	150	175	220	175	145	125	115	135
50	360	270	235	220	180	215	275	210	180	155	140	165
70	440	325	285	245	215	265	340	250	220	190	165	200
95	520	380	340	295	265	310	400	290	260	225	205	240
120	595	435	390	340	310	350	460	335	300	260	240	270
150	675	500	435	390	355	396	520	385	335	300	275	305
185	755	–	490	440	450	450	580	–	380	340	310	345
240	880	–	570	510	460	–	675	–	440	390	355	–
300	1000	–	–	–	–	–	770	–	–	–	–	–
400	1220	–	–	–	–	–	940	–	–	–	–	–
500	1400	–	–	–	–	–	1080	–	–	–	–	–
625	1520	–	–	–	–	–	1170	–	–	–	–	–
800	1700	–	–	–	–	–	1310	–	–	–	–	–

4.8. Поправочные коэффициенты на температуру земли и воздуха для токовых нагрузок на кабели, голые и изолированные провода

Расчетная температура, °С	Нормальная температура	Поправочные коэффициенты на токи при фактической температуре среды, °С											
		–5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
25	70	1,29	1,24	1,15	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
15	60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	–
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	–

1.4. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ РАСЦЕПИТЕЛЯМИ ТОКА. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток полупроводникового максимального расцепителя тока ¹⁾ , А	Базовый номинальный ток полупроводникового расцепителя, А	Калибруемое значение номинального рабочего тока полупроводникового расцепителя I _{кр} ^{2),3)} , А	Калибруемое значение уставки полупроводникового расцепителя по току срабатывания, кратное номинальному рабочему току в зоне токов короткого замыкания	Калибруемое значение уставки полупроводникового расцепителя по времени срабатывания ^{4),5)} , с	Уставка по току срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне перегрузки, кратная номинальному рабочему току	Уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя тока, А
А3713Б, А3714Б	~50 Гц ~60 Гц	660 380	160	32	20, 25, 32, 40	2, 3, 5, 7			1600
				63	40, 50, 63, 80				
				125	80, 100, 125, 160				
А3713Б	Постоянный	440		32	20, 25, 32, 40	2, 4, 6	4, 8, 16	1,25	960
				63	40, 50, 63, 80				
				125	80, 100, 125, 160				
А3723Б, А3724Б	~50 Гц ~60 Гц	660 380	250	200	160, 200, 250	2, 3, 5, 7, 10			2500
А3793Б, А3794Б	~50 Гц ~60 Гц	660	400	320	250, 320, 400	2, 3, 5, 7			4000
			630	500	400, 500, 630				6300

Продолжение табл. 1.4

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток полупроводникового максимального расцепителя тока ¹⁾ , А	Базовый номинальный ток полупроводникового расцепителя, А	Калибруемое значение номинального рабочего тока полупроводникового расцепителя I _{кр} ^{2),3)} , А	Калибруемое значение уставки полупроводникового расцепителя по току срабатывания, кратное номинальному рабочему току в зоне токов короткого замыкания	Калибруемое значение уставки полупроводникового расцепителя по времени срабатывания ^{4),5)} , с	Уставка по току срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне перегрузки, кратная номинальному рабочему току	Уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя тока, А
А3794Б	~50 Гц ~60 Гц	380	250	200	160, 200, 250	2, 3, 5, 7, 10			4000*
			400	320	250, 320, 400				6300
			630	500	400, 500, 630				
А3793Б	Постоянный	440	250	200	160, 200, 250	2, 4, 6			2400
			400	320	250, 320, 400				3800
			630	500	400, 500, 630				

Примечания: ¹⁾ Номинальный ток выключателя определяется номинальным током расцепителя.

²⁾ Номинальный рабочий ток полупроводникового расцепителя, установленный при регулировке.

³⁾ Номинальный ток полупроводникового расцепителя соответствует максимальному калибруемому значению номинального рабочего тока.

⁴⁾ Уставки по времени срабатывания в зоне токов перегрузки указаны при 6 I_{нр} переменного и 5 I_{нр} постоянного тока.

⁵⁾ При соответствующей оговорке в заказе выключатели могут поставляться без защиты в зоне токов перегрузки.

**1.5. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ И ТЕПЛОВЫМИ
РАСЦЕПИТЕЛЯМИ ТОКА.
ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ**

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А	
			Выключателей	электромагнитных расцепителей	тепловых расцепителей	тепловых расцепителей	электромагнитных расцепителей
А371.5Б, А3716Б	~50 Гц ~60 Гц	660, 380	160	160	16	18	630
	~400Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	20	23	
	~400Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	25	29	
	~400Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	32	37	630, 1600
	~400Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	40	46	
	~400Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	50	57	
	~400Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	63	72	
	~400Гц	380		150			
~50 Гц ~60 Гц	660, 380	160	80	92			
~400Гц	380	150					
Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А	
			Выключателей	электромагнитных расцепителей	тепловых расцепителей	тепловых расцепителей	электромагнитных расцепителей
А3715Б, А3716Б	~50 Гц ~60 Гц	660, 380	160	160	100	115	630, 1600
	~400Гц	380		180			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	125	145	
	~400Гц	380		150			
	~50 Гц ~60 Гц	660, 380		160	160	185	
	~400Гц	380		150			
А3715Б	Постоянный	440	160	160	16	18	600
					20	23	
					25	29	
					32	37	600, 900
					40	46	
					50	57	
					63	72	
					80	92	
					100	115	
					125	145	
160	185						
А3725Б, А3726Б	~50 Гц ~60 Гц	660, 380	250	250	160	185	2500
	~400Гц	380			200	230	
					250	290	
А3725Б	Постоянный	440	250	250	170	195	2000
					160	185	
					200	230	
					250	290	1500

**1.6. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩИЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ РАСЦЕПИТЕЛЯМИ ТОКА.
ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ**

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А		Калибруемое значение уставки по току срабатывания электромагнитного расцепителя тока, А
			выключателя	Электромагнитного расцепителя	
A3711Б, A3712Б	~ 50 Гц, ~ 60 Гц	660, 380	160	80	400
A3711Б	Постоянный	440		160	630, 1000, 1600
A3721Б, A3722Б	~ 50 Гц, ~ 60 Гц	660, 380	250	250	1600, 2000, 2500
A3721Б	Постоянный	440			960, 1200, 1500
A3791Б, A3792Б	~ 50 Гц, ~ 60 Гц	660, 380	630	630	2500, 3200, 4000, 5000, 6300
A3791Б	Постоянный	440			2400, 3800

**1.7. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НЕТОКОГРАНИЧИВАЮЩИЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ И ТЕПЛОВЫМИ РАСЦЕПИТЕЛЯМИ ТОКА.
Основные технические данные**

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А	
			выключателя	электромагнитных расцепителей	тепловых расцепителей	тепловых расцепителей	электромагнитных расцепителей
A3715Ф, A3716Ф	~50Гц	380	160	160	16	18	630
	~400Гц			150			
	~50Гц			160	20	23	
	~400Гц			150			
	~50Гц			160	25	29	
	~400Гц			150			

Продолжение табл. 1.7

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А	
			выключателя	электромагнитных расцепителей	тепловых расцепителей	тепловых расцепителей	электромагнитных расцепителей
A3715Ф, A3716Ф	~50Гц	380	160	160	32	37	630, 1600
	~400Гц			150			
	~50Гц			160	40	46	
	~400Гц			150			
	~50Гц			160	50	57	
	~400Гц			150			
	~50Гц			160	63	72	
	~400Гц			150			
	~50Гц			160	80	92	
	~400Гц			150			
	~50Гц			160	100	115	
	~400Гц			150			
	~50Гц			160	125	145	
	~400Гц			150			
~50Гц	160	160	185				
~400Гц	150						
A3715Ф	Постоянный	220	160	16	16	18	600
				20			
				25	25	29	
				32			
				40	40	46	600, 900
				50			
				63	63	72	
				80			
160	160	185					
150							

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А			Уставка по току срабатывания, А	
			выключателя	электромагнитных расцепителей	тепловых расцепителей	тепловых расцепителей	электромагнитных расцепителей
A3715Ф	Постоянный	220	160	160	100	115	600, 900
					125	145	
					160	185	
A3725Ф, A3726Ф	~50Гц	380	250	250	160	185	1500
					200	230	
					250	290	

	~400Гц			170	170	195	
А3725Ф	Постоянный	220		150	160	185	2000
					200	230	
					250	290	
А3795Н, А3796Н	~50Гц ~60Гц	660, 380	630	630	250	290	2500
					320	370	3200
					400	460	4000
					500	575	5000
					630	725	6300
А3795Н	Постоянный	440			250	290	2400
					320	370	
					400	460	
					500	575	3800
					630	725	

1.8. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НЕТОКООГРАНИЧИВАЮЩИЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ РАСЦЕПИТЕЛЯМИ ТОКА. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А		Калибруемое значение уставки по току срабатывания электромагнитного максимального расцепителя тока, А
			выключателя	электромагнитного расцепителя	
А3711Ф, А3712Ф	~50 Гц	380	160	80	400
				160	630, 1000, 1600
	~400 Гц			150	630
А3711Ф	Постоянный	220		160	600, 750, 960
А3721Ф,	~50 Гц	380	250	250	1600, 2000, 2500
А3722Ф	~400 Гц			200	2000
А3721Ф	Постоянный	220		250	960, 1200, 1500

1.9. Выключатели без максимальных расцепителей тока. Основные технические данные

Тип выключателя	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Термическая стойкость, А ² -с	Мгновенное значение тока электродинамической стойкости, А, не менее
А3717Б, А3717Б	~50 Гц, ~ 60 Гц	660, 380	160	6·10 ⁶	2500
А3717Б	Постоянный	440			
А3727Б, А3728Б	~50 Гц, ~ 60 Гц	660, 380	250	15·10 ⁶	3000
А3727Б	Постоянный	440			
А3717Ф, А3718Ф	~50 Гц, ~ 60 Гц	380	160	6·10 ⁶	2500
	~400 Гц		150		
А3717Ф	Постоянный	220	160		
А3727Ф, А3728Ф	~50 Гц, ~ 60 Гц	380	250	10·10 ⁶	3000
	~400 Гц		200		
А3727Ф	Постоянный	220	250		
А3797С, А3798С	~50 Гц, ~ 60 Гц	660, 380	630	130·10 ⁶	40000
А3797С	Постоянный	440			35000

**1.10. Отклонение уставок по току и времени срабатывания расцепителей
при температуре окружающего воздуха 25±10 °С**

Вид уставки	Зона защиты	Значение уставки	Пределы допустимого отклонения уставки при протекании тока ³⁾		
			по двум полюсам	по одному полюсу	по трем полюсам
Уставка по току срабатывания, краткая $I_{нр}^{1)}$	Зона токов перегрузки	1,25	1,15...1,35	1,05...1,4	1,15...1,35
	Зона токов короткого замыкания	2	1,8...2,2	1,6...2,4	1,6...2,4
		3	2,7...3,3	2,4...3,6	2,4...3,6
		4	3,6...4,4	3,2...4,8	3,2...4,8
		5	4,5...5,5	4,0...6,0	4,0...6,0
		6	5,4...6,6	4,8...7,2	4,8...7,2
		7	6,3...7,7	5,6...8,4	5,6...8,4
	10	9,0...11,0	8,0...12,0	8,0...12,0	
Уставка по времени срабатывания, с	Зона токов перегрузки ²⁾	4	3,0...5,0	2,0...6,0	2,0...5,0
		8	6,5...9,5	5,0...11,0	5,0...9,5
		16	14,0...18,0	12,0...20,0	12,0...18,0
	Зона токов короткого замыкания	0,1	-	0,08...0,12	-
		0,25		0,23...0,27	
		0,4		0,38...0,42	

Примечания: ¹⁾ $I_{нр}$ – номинальный рабочий ток полупроводникового расцепителя – ток, установленный при регулировании.

²⁾ Уставки по времени срабатывания в зоне токов перегрузки указаны при 6 $I_{нр}$ переменного тока и 5 $I_{нр}$ постоянного тока

³⁾ Пределы допустимых отклонений уставок по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания и уставок по времени срабатывания в зоне токов перегрузок указаны для базового значения номинального тока.

**1.11. ВРЕМЯТОКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ С ХОЛОДНОГО СОСТОЯНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ СЕРИИ АЗ700
ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЧАСТОТОЙ 50 И 400 ГЦ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕГО
ВОЗДУХА 40 °С**

Тип выключателя	Номинальный ток максимального теплового расцепителя	Род тока	Время срабатывания полупроводникового расцепителя, с, в характерных точках						
			Зоны токов перегрузки	Зоны действия уставки по току срабатывания электромагнитного расцепителя					
				при кратностях тока нагрузки к номинальному току расцепителя, $I/I_{нр}$					
			1,05	2	3	4	5	6	7
АЗ710	16, 80, 125	Постоянный	Срабатывает при $t \geq 5000$	35...300	-	6...30	-	3...13	-
		Переменный		-	11...70	-	4...18	-	2...10
	20, 40, 50, 63	Постоянный		50...400	-	7...40	-	4...17	-
		Переменный		-	18...100	-	5...23	-	3...11
	25, 32, 100, 160	Постоянный		65...400	-	11...60	-	5...25	-
		Переменный		-	25...140	-	8...37	-	4,2...18
АЗ720	160, 200, 250	Постоянный	65...500	-	10...60	-	4,5...25	-	
		Переменный	-	20...150	-	7...45	-	3,5...20	1,9...11
АЗ790Н	250, 320, 400, 500, 630	Постоянный	Не срабатывает при $t < 10000$	60...250	-	12...34	-	4,9...15	-
		Переменный	-	20...65	-	6,5...19	-	3...10	1,6...5,5

1.12. ВРЕМЯТОКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ХОЛОДНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРИИ А3700 ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЧАСТОТЫ 50 ГЦ ДЛЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА

Тип выключателя	Температура окружающего воздуха, °С	Время срабатывания полупроводникового расцепителя, с, в характерных точках							
		Зоны токов перегрузки	Зоны действия уставки по току срабатывания электромагнитного расцепителя						
			Постоянного и переменного тока	постоянного тока		переменного тока			
		при кратностях тока нагрузки к номинальному току расцепителя, $I/I_{нр}$							
		1,05	2	4	6	3	5	7	10
А3715, А3716	-60	Не срабатывает при $t < 10000$	325...3500	20...150	7,5...55	50...380	12...80	5...40	2,4...20
	-50		325...2000	20...120	7,5...45	50...250	12...60	5...30	2,4...15
	-10		220...1250	27...125	11...43	58...280	16...65	7,5...31	3,5...15
	45	Срабатывает при $t \geq 6000$	110...400	14...48	5,4...20	30...100	8...30	3,9...15	2...5
	55	2500...8000	150...450	20...50	8...17	43...125	12...27	5,5...11	2,8...4,9
А3725, А3726	-60	Не срабатывает при $t < 10000$	650...4000	45...250	20...90	100...650	27...140	14...60	9...28
	-50		650...2700	45...170	20...60	100...450	27...90	14...42	9...20
	-10		550...1250	70...135	33...50	145...280	43...75	25...38	16...22
	45	Срабатывает при $t > 7000$	160...330	25...50	13...24	50...95	16...33	9,5...18	6...11
	55	3000...10000	140...300	23...42	9,5...16	50...90	15...24	7...12	4...5,3

1.13. Пределная коммутационная способность и износостойкость селективных и токоограничивающих выключателей

Тип выключателя	Вид максимального расцепителя тока	Род тока и частота сети	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток максимального расцепителя тока или выключателя, А	Базовый номинальный ток полупроводникового расцепителя, А	Номинальный ток электромагнитного максимального расцепителя тока, А	Номинальный ток максимального теплового расцепителя, А	Пределная коммутационная способность выключателя			Износостойкость выключателя								
								Предельно допустимый ожидаемый ток короткого замыкания, кА	Количество коммутационных операций O ³		Общее количество циклов ВО	Из общего количества циклов ВО							
									ОП-ВО-П-ВО ^(1,2)	циклов		коммутационная	механическая						
А3793С	Полупроводниковый	~50; 60 Гц	660 380	250, 400, 630	200, 320, 500			60 111,1	1	-			3000						
А3713Б, А3714Б	Электромагнитный и полупроводниковый	~50; 60 Гц	660 380	160	32 63 125 32 63 125	-	-	18 36 40 18 36 75	2 1 -	2	16 000	10 000		6000					
А3713Б								Постоянный	440	32, 63, 125	110	-							
А3723Б, А3724Б								~50; 60 Гц	660 380	250	200	40 80	1						
А3723Б	Электромагнитный и полупроводниковый	~50; 60 Гц	440	250	200	-	-	110		1	16000	10000	6000						
А3793Б								Постоянный	660 380	250, 400, 630	200, 320, 500	-	-	60 111,1		1	16 000 ³⁾ 10000	13 000 ³⁾ 7000	3000
А3794Б																			
А3793Б																			
А3715Б, А3716Б	Электромагнитный и тепловой	~50; 60 Гц	660 380	160	-	160 150	16	5,0 5,5	2 1	1	16 000	10 000	6000						
								~400 Гц											

A3792Б			380				111,1		10 000	7000	
A3791Б		Постоянный	440								

Примечания: ¹⁾ О – операция отключения; П – пауза 180 с; ВО – операция включения (В), за которой немедленно (без дополнительной, сверх полного времени срабатывания выключателя, выдержки времени) следует операция отключения для всех типов выключателей, кроме А3790Б, выключателям типа А3790Б соответствует коммутационный цикл О–ВО–ВО; ²⁾ Пауза между коммутационным циклом О–П–ВО–П–ВО и операцией О не менее 15 мин для выключателей с электромагнитными и полупроводниковыми расцепителями, для выключателей с электромагнитными и тепловыми расцепителями, для выключателей с электромагнитными расцепителями типов А3710Б и А3720Б; пауза между коммутационными циклами О–П–ВО–П–ВО не менее 30 мин для выключателей с электромагнитными и тепловыми расцепителями; пауза между операциями О не менее 15 мин для выключателей с электромагнитными и полупроводниковыми расцепителями; ³⁾ В числителе указана износостойкость выключателей без электромагнитного привода, в знаменателе – с электромагнитным приводом.

1.23. Классификация и основные технические данные

Тип выключателя	Номинальное напряжение главной цепи, В		Количество полюсов	Вид максимального расцепителя тока	Номинальный ток максимального теплового расцепителя, А	Уставка по току срабатывания электромагнитного максимального расцепителя тока в зоне токов короткого замыкания, кратная номинальному току максимального теплового расцепителя		Калибруемое значение уставки по току срабатывания электромагнитного максимального расцепителя тока для исполнения без тепловых расцепителей, А	
	переменного тока частоты 50, 60 Гц	постоянного тока				при переменном токе	при постоянном токе	при переменном токе	при постоянном токе
ВА51-37	До 660	–	2; 3	Электромагнитный и тепловой, электромагнитный	250; 320; 400	10	–	1600; 2000; 2500; 3200; 4000	–
	–	220	2			–	6	–	2000; 2500
ВА52-37	До 660	–	2; 3			10	–	1600; 2000; 2500; 3200; 4000	–
	–	440	3			–	6	–	2000; 2500

1.24. Времятоковые характеристики выключателей типов ВА51-37 и ВА52-37

Состояние выключателя	Время срабатывания теплового расцепителя, с, в характерных точках					
	зоны токов перегрузки	в зоне действия уставки по току срабатывания электромагнитного расцепителя				
		$6 I_{нр}$ при постоянном токе		$10 I_{нр}$ при переменном токе		
	при кратностях тока нагрузки к номинальному току расцепителя, $I/I_{нр}$					
	1,05	1,25	4,8	7,2	8	12
Холодное	Не срабатывает при $t < 10000$	–	3,8	7	1,4	3
Нагретое ¹⁾	–	580–1000	0,7	1,7	0,28	0,65

Примечание. ¹⁾ Нагревание производится током $1,05 I_{нр}$ в течение 2 ч.