

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. В. Гурин

ЗАЩИТА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И СВЕРХТОКОВ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
высших учебных заведений Республики Беларусь
по образованию в области сельского хозяйства в качестве учебно-
методического пособия для студентов высших учебных заведений
специальности 1-53 01 01-09 Автоматизация технологических
процессов и производств (сельское хозяйство)*

Минск
БГАТУ
2010

УДК 621.316.9(07)
ББК 31.27–05я7
Г95

Рецензенты:

кафедра «Автоматизация производственных процессов
и электротехники» Белорусского государственного технологического
университета; кандидат технических наук, доцент *Л. М. Давидович*;
зав. лабораторией АУЭ РУП «Белорусский теплоэнергетический инсти-
тут», доктор технических наук, профессор
Е. П. Забелло

Гурин, В. В.

Г95 Защита средств автоматизации и электронной аппаратуры
от импульсных перенапряжений и сверхтоков : учеб.-метод.
пособие / В. В. Гурин. – Минск: БГАТУ, 2010. – 236 с.
ISBN 978-985-519-329-7.

Изложена защита от импульсных перенапряжений полупроводниковых преобразователей и коммутаторов, электронной аппаратуры, средств автоматизации, линий связи и телекоммуникации, а так же защита их от сверхтоков с помощью автоматических выключателей, плавких предохранителей, термopредохранителей, самовосстанавливающихся и электронных предохранителей.

Для студентов вузов и ССУЗов специальности 1-53 01 01-09 Автоматизация технологических процессов и производств (сельское хозяйство).

Может использоваться студентами вузов и ССУЗов, обучающихся по специальности 1-74 06 05-01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика).

УДК 621.316.9(07)
ББК 31.27–05я7

ISBN 978-985-519-329-7

© БГАТУ, 2010

ВВЕДЕНИЕ

На современном автоматизированном предприятии рядом находятся электрические машины, компьютеры, датчики, кабели силовых сетей, кабели связи и передачи цифровых данных. Каждый из этих элементов производит свое электромагнитное поле, создающее наведенный заряд в соседних электрических цепях. Этот наведенный заряд может вывести чувствительные электронные приборы из строя.

Самые разрушительные последствия может иметь удар молнии, наводящий кратковременный импульс огромной энергии в цепях питания и передачи данных. Например, в Германии ежегодно фиксируется около 700 000 грозových разрядов; одна треть отказов электроники вызвана воздействием грозových разрядов.

В обычной сети электропитания переменного тока при коммутации силовых приборов или тока короткого замыкания возникает очень быстрое изменение тока. В системе с реактивной нагрузкой это вызывает переходные процессы и перенапряжения в виде высокочастотных колебаний или высоковольтных пиков напряжения большой величины.

В первой главе данного пособия рассматривается защита средств автоматизации и электронной аппаратуры, полупроводниковых преобразователей и коммутаторов, линий связи и телекоммуникаций от высоковольтных импульсов грозových и коммутационных перенапряжений.

Во второй главе данного пособия рассматривается защита средств автоматизации и электронной аппаратуры от сверхтоков с помощью автоматических выключателей, плавких предохранителей, термopредохранителей, самовосстанавливающихся и электронных предохранителей.

ЗАЩИТА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

1.1. Общие сведения о перенапряжениях

Перенапряжением в электротехническом устройстве называется напряжение между двумя точками этого устройства, значение которого превышает наибольшее рабочее значение напряжения [1].

Перенапряжения опасны тем, что могут привести к электрическому пробое изоляции и возникновению тока короткого замыкания (КЗ).

Перенапряжения делятся на 2 группы: 1 – импульсные; 2 – временные.

Импульсное перенапряжение – это резкое увеличение напряжения в точке электрической сети, вслед за которым напряжение восстанавливается до первоначального или близкого к нему уровня. Импульсные перенапряжения длятся кратковременно, до 5 мс.

Импульс перенапряжения характеризуется амплитудой $U_{u.a}$ и продолжительностью его действия $\Delta t_{n0,5}$ при напряжении $0,5U_{u.a}$.

Временное перенапряжение – повышение напряжения в электрической сети выше 110 % номинального напряжения продолжительностью более 10 мс, возникающее в системах электроснабжения при коммутации или коротких замыканиях.

Временное перенапряжение характеризуется продолжительностью перенапряжения $t_{п}$ и кратностью перенапряжения (т. е. отношением амплитуды перенапряжения к амплитуде номинального напряжения). На рис. 1.1 изображены формы кривых импульсного и временного перенапряжений.

Наибольшую опасность для электроустановок представляют импульсные перенапряжения.

Перенапряжения делятся на внешние и внутренние, в зависимости от места, где они возникают (по отношению к электроустановке).

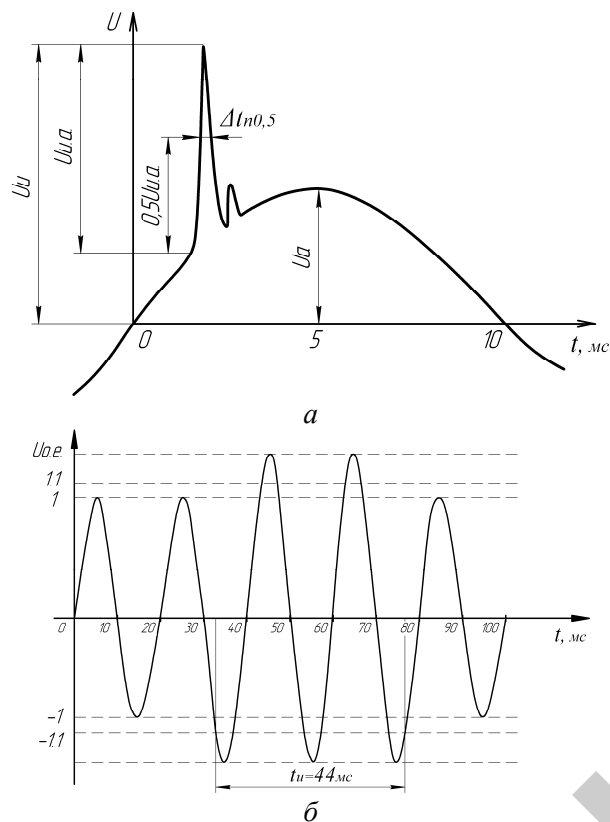


Рис. 1.1. Импульсное (а) и временное (б) перенапряжения

Внешние перенапряжения чаще всего возникают от действия высоковольтного атмосферного разряда во внешних цепях (по отношению к электроустановке). Этот разряд оказывает прямое или не прямое воздействие.

Прямое воздействие возникает при прямом ударе молнии в электроустановку. При этом возникают большие (десяти или сотни кА) кратковременные токи и перенапряжения на проводящих эле-

ментах электроустановки. Защита от прямого удара молнии осуществляется с помощью молниеотводов.

Непрямое воздействие молнии встречается наиболее часто. Оно проявляется в следующих случаях:

1) при ударе молнии в линии электропередачи, от которой получает питание электроустановка. Вследствие этого перенапряжение достигает нескольких десятков тысяч вольт, а значение тока – несколько тысяч ампер. Грозовой разряд носит характер бегущей волны с большой крутизной и временем возрастания от нуля до максимума за 1–8 мкс и длительностью до 350 мкс. Перенапряжение по линии электропередач переносится к потребителям;

2) при ударе молнии внутри облака или между облаками, в деревья или другие предметы. Вследствие электромагнитного излучения индуцируются перенапряжения в проводах наружных и внутренних цепей;

3) при ударе молнии в землю вблизи заземления или заземляющего контура. Возникает скачок напряжения на заземляющем проводнике, проникающий в электроустановку через ее заземление.

В сетях напряжением 0,4 кВ могут быть грозовые импульсные напряжения величиной до 10 кВ в воздушной линии питания и до 6 кВ – во внутренней проводке зданий и сооружений [2]. Следует также отметить, что вероятность появления молнии с амплитудой 65 кА составляет примерно 8 %, а с амплитудой 100 кА – 2 %.

Внешние коммутационные импульсы перенапряжения могут появляться в результате:

- переключений в мощных системах энергоснабжения (например, при коммутациях конденсаторных батарей);
- переключений в системах электроснабжения в непосредственной близости от электроустановок зданий или изменений нагрузки в электрических распределительных системах;
- резонансных колебаний напряжения в электрических сетях, обусловленных работой таких переключающих приборов, как тиристоры;
- повреждений в системах (например, при коротких замыканиях (КЗ) на землю и дуговых разрядах в электрических установках).

Грозовые и коммутационные импульсные напряжения возникают как в воздушных, так и в кабельных линиях питания. В сети напряжением 0,4 кВ могут быть коммутационные импульсные перенапряжения с амплитудой до 4,5 кВ.

Внутренние коммутационные импульсы перенапряжения возникают внутри электроустановок при коммутации емкостей, индуктивностей (трансформаторов, дросселей), тиристоров из-за наличия в них накопленного заряда не основных носителей, при мгновенных изменениях тока в цепи и т. п.

Выполнять основную изоляцию электрооборудования на уровне перенапряжения экономически невыгодно. Изоляцию надо защищать от возникающих перенапряжений. Для этого служат средства защиты от перенапряжений, которые ограничивают перенапряжения до допустимых для изоляции значений.

Известно, что с увеличением подводимого к изоляции электрооборудования напряжения допустимое время нахождения изоляции под этим напряжением уменьшается [3]. Средство защиты от перенапряжения должно «пробиваться» раньше, чем изоляция защищаемого электрооборудования. После «пробоя» защищаемая сеть оказывается заземленной через внутреннее сопротивление средства защиты от перенапряжения и сопротивление заземляющего устройства. Эти сопротивления ограничивают импульс разряда тока при пробое средства защиты. На них возникает падение напряжения, которое называется *остающимся напряжением*.

Прохождение импульса тока в защитном устройстве может спровоцировать возникновение тока КЗ на землю с частотой сети. Например, в сетевых разрядниках искровой промежуток после пропускания импульса тока оказывается ионизированным и легко пробивается номинальным фазным напряжением. Возникает ток частотой 50 Гц, который называется *сопровождающим*.

Чтобы избежать срабатывания релейной защиты и отключения электрооборудования, разрядник (или другое устройство защиты) должен отключать сопровождающий ток за возможно малое время, не более 10 мс.

1.2. Защита от прямых ударов молнии

Удар молнии в землю – электрический разряд атмосферного происхождения между грозовым облаком и землей, состоящий из одного или нескольких импульсов тока.

Типовые параметры разряда молнии следующие: средняя мощность разряда – более 1 МВт; пиковое значение разрядного тока – около 200 кА; скорость нарастания тока – 200 кА/мкс; ток продол-

жительного разряда – более 10 кА; скорость нарастания напряжения – 12 кВ/мкс; длительность разряда молнии – 300 мкс.

Непосредственное опасное воздействие молнии – это пожары, механические повреждения, травмы или летальные исходы для людей и животных, а также повреждения электрического и электронного оборудования. Последствиями удара молнии могут быть взрывы и выделение опасных продуктов – радиоактивных и ядовитых химических веществ, а также бактерий и вирусов.

Наведенные потенциалы могут быть очень большой величины из-за сверхбыстрого распространения разряда молнии.

Удары молнии могут быть особо опасны для информационных систем, систем управления, контроля и электроснабжения. Для электронных устройств, установленных в объектах разного назначения, требуется специальная защита.

Защита от прямых ударов молнии сводится к устройству молниеотводов. Они отвлекают грозовой разряд молнии от защищаемого объекта на себя и отводят ток молнии в землю.

Защитное действие молниеотвода проявляется в том, что вокруг молниеотвода образуется пространство (зона защиты молниеотвода), внутри которой здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с надежностью не ниже определенного значения.

По опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения объекты делятся на обычные и специальные. Например, обычные – это жилье и административные здания и сооружения высотой не более 60 м, предназначенные для сельского хозяйства, торговли, промышленного производства.

По надежности защиты от прямых ударов молнии различают четыре уровня защиты (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Уровни защиты от прямых ударов молнии для обычных объектов

Уровень защиты	Надежность защиты
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Параметры токов молнии необходимы для расчета механических и термических воздействий, а также для нормирования средств защит от электромагнитных воздействий.

Для каждого уровня молниезащиты должны быть определены предельно допустимые параметры тока молнии. Данные, приведенные в инструкции [4], относятся к нисходящим и восходящим молниям.

Соотношение полярностей разрядов молнии зависит от географического положения местности. В отсутствие местных данных принимают это соотношение равным 10 % для разрядов с положительными и 90 % для разрядов с отрицательными токами.

Механические и термические действия молнии обусловлены пиковым значением тока I , полным зарядом $Q_{\text{полн}}$, зарядов в импульсе $Q_{\text{имп}}$ и удельной энергии W/R . Наибольшие значения этих параметров наблюдаются при положительных разрядах.

Повреждения, вызванные индуцированными перенапряжениями, обусловлены крутизной фронта тока молнии. Крутизна оценивается в пределах 30 %-ного и 90 %-ного уровней от наибольшего значения тока. Наибольшее значение этого параметра наблюдается в последующих импульсах отрицательных разрядов.

Значения расчетных параметров для принятых в табл. 1.1 уровней защиты (при соотношении 10 % к 90 % между долями положительных и отрицательных разрядов) приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Соответствие параметров тока молнии и уровней защиты

Параметр молнии	Уровень защиты		
	I	II	III, IV
Пиковое значение тока I , кА	200	150	100
Полный заряд $Q_{\text{полн}}$, Кл	300	225	150
Заряд в импульсе $Q_{\text{имп}}$, Кл	100	75	50
Удельная энергия W/R , кДж/Ом	10000	5600	2500
Средняя крутизна $di/dt_{(30-90)\%}$, кА/мкс	200	150	100

Кроме механических и термических воздействий ток молнии создает мощные импульсы электромагнитного излучения, которые могут быть причиной повреждения систем, включающих оборудование связи, управления, автоматики, вычислительные и информационные устройства и т. п. Эти сложные и дорогостоящие системы используются во многих отраслях производства и бизнеса. Их повреждения в результате удара молнии крайне нежелательно по соображениям безопасности, а также по экономическим соображениям.

Удар молнии может содержать либо единственный импульс тока, либо состоять из последовательности импульсов, разделенных промежутками времени, за которые протекает слабый сопровождающий ток. Параметры импульсов тока первого компонента существенно отличаются от характеристик импульсов последующих компонентов. В [4] приводятся характеризующие расчетные параметры импульсов тока первого и последующих импульсов, а также длительного тока в паузах между импульсами для обычных объектов при различных уровнях защиты.

Защита от прямых ударов молнии сводится к применению комплекса средств молниезащиты. Комплекс средств молниезащиты зданий или сооружений включает в себя устройства защиты от прямых ударов молнии [внешняя молниезащитная система (МЗС)] и устройства защиты от вторичных воздействий молнии (внутренняя МЗС). В частных случаях молниезащита может содержать только внешние или только внутренние устройства. В общем случае часть токов молнии протекает по элементам внутренней молниезащиты.

Внешняя МЗС может быть изолирована от сооружения (отдельно стоящие молниеотводы – стержневые или тросовые, а также соседние сооружения, выполняющие функции естественных молниеотводов), или может быть установлена на защищаемом сооружении и даже быть его частью.

Внутренние устройства молниезащиты предназначены для ограничения электромагнитных воздействий токов молнии и предотвращения искрений внутри защищаемого объекта.

Устройство молниезащиты – система, позволяющая защитить здание или сооружение от воздействий молнии. Она включает в себя внешние и внутренние устройства. Молниезащита может содержать только внешние или только внутренние устройства [4].

Устройства защиты от прямых ударов молнии (молниеотводы) – комплекс, состоящий из молниеприемников, токоотводов и заземлителей.

Устройства защиты от вторичных воздействий молнии – устройства, ограничивающие воздействия электрического и магнитного полей молнии.

Устройства для выравнивания потенциалов – элементы устройств защиты, ограничивающие разность потенциалов, обусловленную растеканием тока молнии.

Молниеприемник – часть молниеотвода, предназначенная для перехвата молний.

Токи молнии, попадающие в молниеприемники, отводятся в заземлитель через систему токоотводов (спусков) и растекаются в земле.

Токоотвод (спуск) – часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлитель – проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через проводящую среду.

Заземляющий контур – заземляющий проводник в виде замкнутой петли вокруг здания в земле или на ее поверхности.

Внешняя МЗС в общем случае состоит из молниеприемников, токоотводов и заземлителей. Их материал и сечения должны удовлетворять требованиям табл. 1.3.

Таблица 1.3

Материал и минимальные сечения элементов внешней МЗС

Уровень защиты	Материал	Сечение, мм ²		
		молниеприемника	токоотвода	заземлителя
I - IV	Сталь	50	50	80
I - IV	Алюминий	70	25	Не применяется
I - IV	Медь	35	16	50

Примечание. Указанные значения могут быть увеличены при повышенной коррозии или механических воздействиях на элементы МЗС.

Желательно, чтобы токоотводы равномерно располагались по периметру защищаемого объекта. По возможности они прокладываются вблизи углов зданий.

Не изолированные от защищаемого объекта токоотводы прокладываются следующим образом:

- если стена выполнена из негорючего материала, токоотводы могут быть закреплены на поверхности стены или проходить в стене;
- если стена выполнена из горючего материала, токоотводы могут быть закреплены непосредственно на поверхности стены так, чтобы повышение температуры при протекании тока молнии не представляло опасности для материала стены;
- если стена выполнена из горючего материала и повышение температуры токоотводов представляет для него опасность, они должны располагаться таким образом, чтобы расстояние между ними и защищаемым объектом всегда превышало 0,1 м. Металлические скобы для крепления токоотводов могут быть в контакте со стеной.

Не следует прокладывать токоотводы в водосточных трубах. Рекомендуется размещать токоотводы на максимально возможных расстояниях от дверей и окон.

Токоотводы прокладываются по прямым и вертикальным линиям, чтобы путь до земли был по возможности кратчайшим. Не рекомендуется прокладка токоотводов в виде петель.

Целесообразно использовать следующие типы заземлителей специально прокладываемых заземляющих электродов:

- один или несколько контуров;
- вертикальные (или наклонные) электроды;
- радиально расходящиеся электроды или заземляющий контур, уложенный на дне котлована;
- заземляющие сетки.

Сильно заглубленные заземлители оказываются эффективными, если удельное сопротивление грунта уменьшается с глубиной и на большой глубине оказывается существенно меньше, чем на уровне обычного расположения.

Заземлитель в виде наружного контура предпочтительно прокладывать на глубине не менее 0,5 м от поверхности земли и на расстоянии не менее 1 м от стен. Заземляющие электроды должны

располагаться на глубине не менее 0,5 м за пределами защищаемого объекта и быть как можно более равномерно распределенными; при этом надо стремиться свести к минимуму их взаимное экранирование. Рекомендуемые размеры искусственных заземлителей изложены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Рекомендуемые размеры искусственных заземлителей	
Характеристика заземлителя	Эскиз
Стальной двухстержневой: полоса 40×4 мм; стержень диаметром 10-20 мм, сопротивление грунта $\rho \leq 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$	
Стальной трехстержневой: полоса 40×4 мм; стержень диаметром 10-20 мм, удельное электрическое сопротивление грунта $\rho \geq 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$	

Глубина закладки и тип заземляющих электродов выбираются из условия обеспечения минимальной коррозии, а также возможно меньшей сезонной вариации сопротивления заземления в результате высыхания и промерзания грунта.

Количество соединений токоотводов сводится к их минимальному числу.

Соединения выполняются сваркой, пайкой, допускается также вставка в зажимной наконечник или болтовое крепление [4].

В качестве примера на рис. 1.2 изображен одиночный стержневой молниеотвод. Стандартной зоной защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h является круговой конус высотой $h_0 < h$, вершина которого совпадает с вертикальной осью молниеотвода (рис.1.2 б). Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса h_0 и радиусом конуса на уровне земли r_0 .

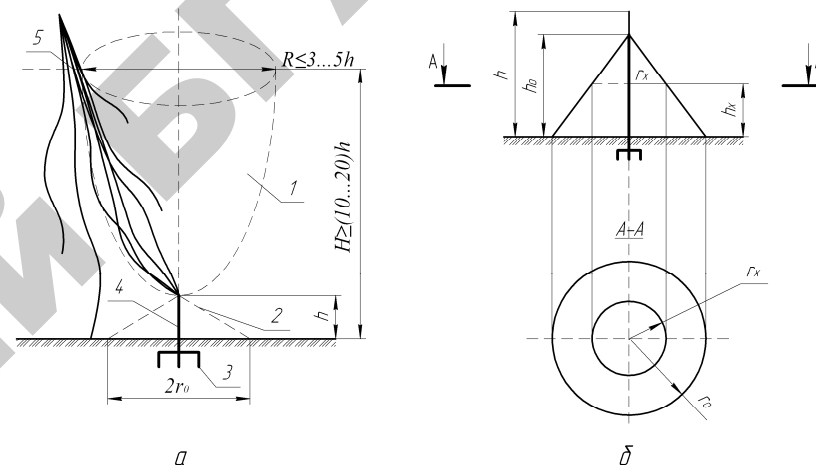


Рис. 1.2. Зона 100 % поражения (а) и зона защиты (б) одиночного стержневого молниеотвода высотой h :

1 – зона 100 % поражения; 2 – зона защиты; 3 – заземляющее устройство; 4 – стержневой молниеотвод; 5 – лидер молнии

Для зоны защиты требуемой надежности P_3 радиус горизонтального сечения r_x на высоте h_x (рис. 1.2, б) определяется по формуле:

$$r_x = \frac{r_0 (h_0 - h_x)}{h_0}. \quad (1.1)$$

Зоны защиты одиночного и двойного тросового молниеотвода, а также двойного стержневого молниеотвода приведены в [4] или [5].

Приведенные ниже расчетные формулы (табл. 1.5) пригодны для молниеотводов высотой до 150 м. При более высоких молниеотводах следует пользоваться специальной методикой расчета.

Таблица 1.5

Расчет зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

Надежность защиты P_3	Высота молниеотвода h , м	Высота конуса h_0 , м	Радиус конуса r_0 , м
0,9	от 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
	от 100 до 150	$0,85h$	$[1,2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$
0,99	от 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
	от 30 до 100	$0,8h$	$[0,8-1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	от 100 до 150	$[0,8-10^{-3}(h-100)]h$	$0,7h$
0,999	от 0 до 30	$0,7h$	$0,6h$
	от 30 до 100	$[0,7-7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$	$[0,6-1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	от 100 до 150	$[0,65-10^{-3}(h-100)]h$	$[0,5-2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$

1.3. Зонная концепция защиты от импульсных перенапряжений

Пространство, в котором расположены электрические и электронные системы, должно быть разделено на зоны различной степени защиты. Зоны характеризуются существенным изменением электромагнитных параметров на границах зон.

В общем случае, чем выше номер зоны, тем меньше значения параметров электромагнитных полей, токов и напряжений в пространстве зоны [4].

Зона 0 – зона, где каждый объект подвержен прямому удару молнии, и поэтому через него может протекать полный ток молнии. В этой области электромагнитное поле имеет максимальное значение.

Зона 0_E – зона, где объекты не подвержены прямому удару молнии, но электромагнитное поле не ослаблено и также имеет максимальное значение. Зона 0_E находится под защитным действием молниеотвода.

Зона 1 – зона, где объекты не подвержены прямому удару молнии, и ток во всех проводящих элементах внутри зоны меньше,

чем в зоне 0_E; в этой зоне электромагнитное поле может быть ослаблено экранированием.

Прочие зоны – эти зоны устанавливаются, если требуется дальнейшее уменьшение тока и ослабление электромагнитного поля; требования к параметрам зон определяются в соответствии с требованиями к защите различных зон объекта.

Общие принципы разделения защищаемого пространства на зоны молниезащиты показаны на рис. 1.3.

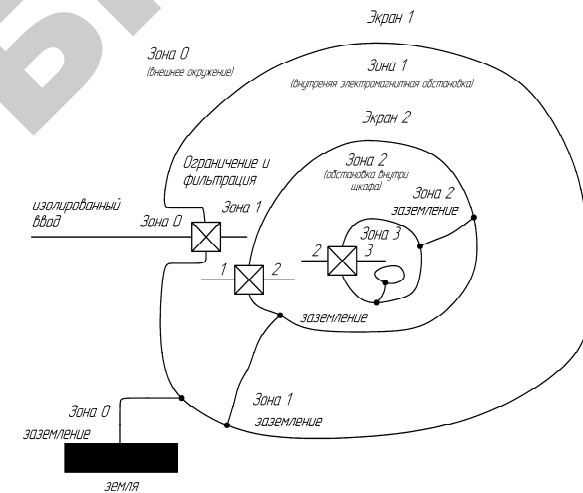


Рис. 1.3. Зоны защиты от воздействия молнии

На границах зон должны осуществляться меры по экранированию и соединению всех пересекающих границу металлических элементов и коммуникаций. Соединения металлических элементов необходимы для уменьшения разности потенциалов между ними внутри защищаемого объекта. Соединения металлических элементов и систем, находящихся внутри защищаемого пространства и пересекающих границы зон молниезащиты, выполняются на границах зон. Осуществлять соединения следует с помощью специальных проводников, или зажимом и, когда это необходимо, с помощью устройств защиты от перенапряжений.

Кабели электропитания, связи и другие металлические коммуникации должны входить в защитную зону 1 в одной точке и своими экранными оболочками или металлическими частями под-

ключаться к главной заземляющей шине на границе раздела зоны O_E и зоны 1.

На рис. 1.4 приводится пример разделения защищаемого объекта (здания) на зоны.

Все входящие снаружи в объект проводники соединяются с системой молниезащиты.

- Если внешние проводники, силовые кабели или кабели связи входят в объект в различных точках, и поэтому имеется несколько общих шин, последние присоединяются по кратчайшему пути к замкнутому контуру заземления или арматуре конструкций и металлической внешней облицовке (при ее наличии).

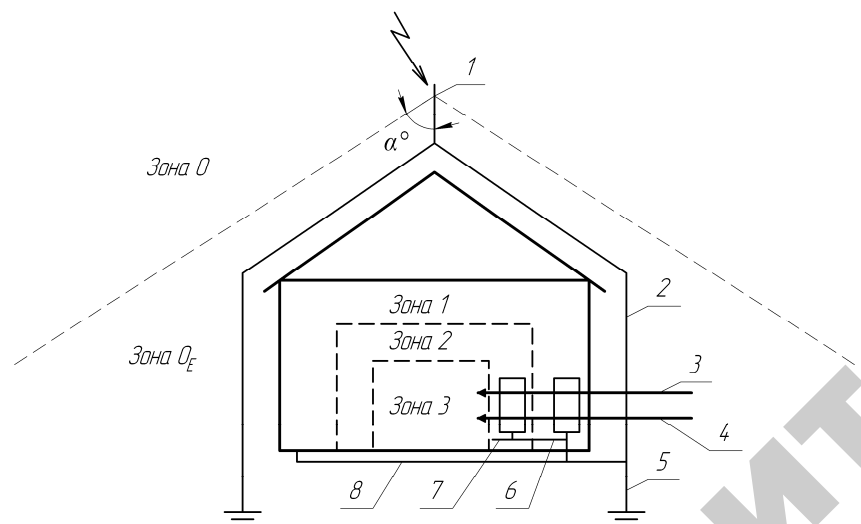


Рис. 1.4. Пример разделения защищаемого объекта на несколько зон:

1 – молниеприемник; 2 – токоотвод; 3 – кабель электропитания;
4 – телекоммуникационный кабель; 5 – заземлитель; 6 – главная заземляющая шина; 7 – шина уравнивания потенциалов; 8 – проводники системы уравнивания потенциалов

- Если замкнутого контура заземления нет, указанные общие шины присоединяются к отдельным заземляющим электродам и соединяются внешним кольцевым проводником, или разорванным кольцом.

- Если внешние проводники входят в объект над землей, общие шины присоединяются к горизонтальному кольцевому проводнику внутри или снаружи стен. Этот проводник, в свою очередь, соединяется с нижними проводниками и арматурой.

- Проводники и кабели, входящие в объект на уровне земли, рекомендуется соединять с системой молниезащиты на этом же уровне. Общая шина в точке входа кабелей в здание располагается как можно ближе к заземлителю и арматуре конструкции, с которыми она соединена. Кольцевой проводник соединяется с арматурой или другими экранирующими элементами, такими как металлическая облицовка, через каждые 5 м. Минимальное поперечное сечение медных или стальных оцинкованных электродов – 50 мм^2 .

- Общие шины для объектов, имеющих информационные системы, где влияние токов молнии предполагается свести к минимуму, следует изготавливать из металлических пластин с большим числом присоединений к арматуре или другим экранирующим элементам. Для контактных соединений и устройств защиты от перенапряжений, расположенных на границах зон 0 и 1, принимаются параметры токов, указанные в табл. 1.2. При наличии нескольких проводников необходимо учитывать распределение токов по проводникам.

- Для проводников и кабелей, входящих в объект на уровне земли, оценивают проводимую ими часть тока молнии. Для определения доли грозового тока, попадающего через отдельные вводы в здание, следует руководствоваться методикой расчета тока растекания, изложенной в ГОСТ Р 51992–2002 (МЭК 61643-1-98), приложение А. На рис. 1.5 приведен классический пример распределения грозового тока в объекте, подвергнутом прямому удару молнии (МЭК 61024-1-1; МЭК 61643-12).

Для определения распределения токов между металлическими элементами конструкции здания и попадания молнии в систему внешней молниезащиты необходимо рассчитать сопротивления заземляющих устройств, трубопроводов, электрического ввода, ввода кабелей связи и т. п.

В случаях, когда трудно осуществить сложный расчет, осуществляется так называемая квалифицированная оценка по данным,

приведенным на рис. 1.5. После этого выбирается защитное устройство класса I с некоторым запасом (20–30 %), учитывая возможную неравномерность растекания токов по различным проводникам.

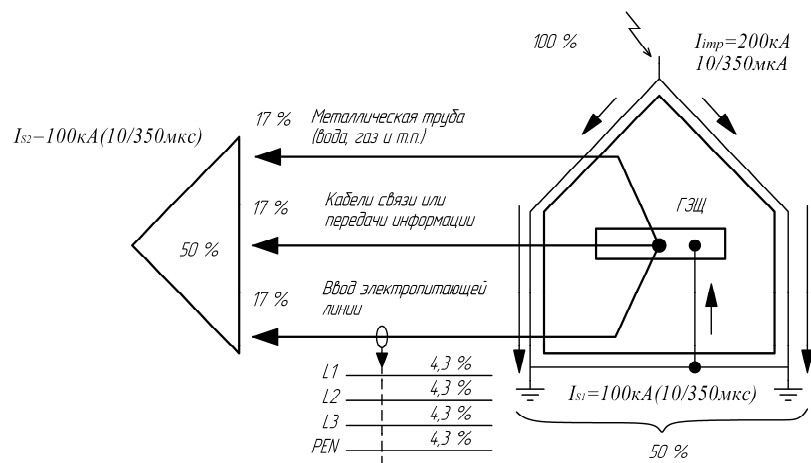


Рис. 1.5. Распределение токов молнии при прямом ударе в объект

В случае изменения исходных данных, т. е. числа вводов в объект, типа системы электропитания, количества проводов в кабеле и т. д., токовые значения могут существенно изменяться. При этом изменения могут произойти как в сторону уменьшения импульсных токов, так и в сторону их возрастания. В случае применения экранированных кабелей большая часть токов растекается через экранные оболочки, что лишний раз подтверждает необходимость применения данных кабелей на объектах с повышенными требованиями к защищенности от ударов молнии [2].

Приведенные выше заключения справедливы для объектов, оборудованных внешней системой молниезащиты и имеющих кабельный подземный ввод электропитания. Ситуация может серьезно усложниться в случае наличия воздушного ввода электропитания. Расчет показывает, что при прямом попадании молнии с импульсным пиковым током 200 кА с фронтом импульса 10/350 мкс и при условии его равномерного распределения по четырем

проводам системы TN-C, импульсные токи в каждом проводе имеют значение около 50 кА. Стеkanie этих токов на землю будет осуществляться в две стороны: через оборудование низковольтной стороны подстанции и элементы электроустановки объекта в примерном соотношении 1:1. Таким образом, в каждом проводе на вводе электропитающей линии будет ток величиной 25 кА (10/350 мкс). Если предположить, что равномерного растекания токов по какой-то причине не произошло, то это значение может возрасти до 45–50 кА и более [2].

Сечения соединительных проводников системы уравнивания потенциалов определяются согласно табл. 1.6 и 1.7. Таблица 1.6 используется, если через проводящий элемент протекает более 25 % тока молнии, а таблица 1.7 – если менее 25 %.

Таблица 1.6

Сечения проводников, через которые протекает большая часть тока линии

Уровень защиты	Материал	Сечение, мм ² , не менее
I - IV	Медь	16
I - IV	Алюминий	25
I - IV	Железо	50

Устройство защиты от импульсных перенапряжений выбирается таким, чтобы оно выдерживало часть тока молнии, ограничивало перенапряжения и обрывало сопровождающие токи после главных грозовых импульсов.

Таблица 1.7

Сечения проводников, через которые протекает незначительная часть тока линии

Уровень защиты	Материал	Сечение, мм ² , не менее
I - IV	Медь	6
I - IV	Алюминий	10
I - IV	Железо	16

Максимальное перенапряжение U_{\max} на входе в объект координируется с выдерживаемым напряжением системы (допустимым импульсным напряжением).

Чтобы значение U_{\max} сводилось к минимуму, линии присоединяются к общей шине проводниками минимальной длины.

Все проводящие элементы, такие как кабельные линии, пересекающие границы зон молниезащиты, соединяются на этих границах. Соединение осуществляется на общей шине, к которой также присоединяются экранирующие и другие металлические элементы (например, корпуса оборудования).

Для контактных зажимов и устройств подавления перенапряжений параметры тока оцениваются в каждом отдельном случае. Максимальное перенапряжение на каждой границе координируется с выдерживаемым напряжением системы. Устройства защиты от перенапряжений на границе различных зон также координируются по энергетическим характеристикам.

Все внутренние проводящие элементы значительных размеров, такие как направляющие лифтов, краны, металлические полы, рамы металлических дверей, трубы, кабельные лотки присоединяются к ближайшей общей шине или другому общему соединительному элементу по кратчайшему пути. Желательны и дополнительные соединения проводящих элементов.

Поперечные сечения соединительных проводников указаны в табл. 1.7. Предполагается, что в соединительных проводниках проходит только незначительная часть тока молнии.

Все открытые проводящие части информационных систем соединяются в единую сеть. В особых случаях такая сеть может не иметь соединения с заземлителем.

Есть два способа присоединения к заземлителю металлических частей информационных систем, таких как корпуса, оболочки или каркасы.

Первая основная конфигурация соединений выполняется в виде радиальной системы, или в виде сетки.

При использовании радиальных систем все ее металлические части изолируются от заземлителя на всем протяжении, кроме единственной точки соединения с ним. Обычно такая система используется для относительно небольших объектов, где все элементы и кабели входят в объект в одной точке. Радиальная система

заземления присоединяется к общей системе заземления только в одной точке (рис. 1.6).

В этом случае все линии и кабели между устройствами оборудования должны прокладываться параллельно образующим звезду проводникам заземления для уменьшения петли индуктивности. Благодаря заземлению в одной точке токи низкой частоты, появляющиеся при ударе молнии, не попадают в информационную систему. Кроме того, источники низкочастотных помех внутри информационной системы не создают токов в системе заземления. Ввод в защитную зону проводов производится исключительно в месте центральной точки системы уравнивания потенциалов. Указанная общая точка является также наилучшим местом присоединения устройств защиты от перенапряжения.

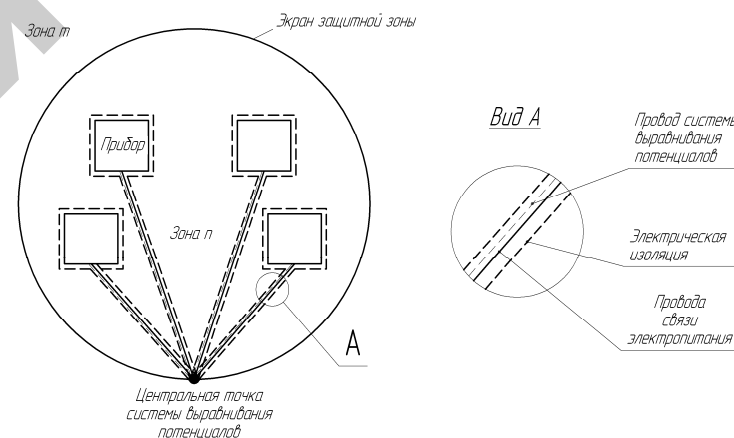


Рис. 1.6. Схема соединения проводов электропитания и связи при звездообразной системе уравнивания потенциалов

Разделение объекта на условные зоны позволяет на практике эффективно решать вопросы защиты электрических сетей до 1000 В с помощью ограничителей перенапряжений нелинейных (ОПН), а также линий связи, передачи данных, компьютерных сетей и других коммуникаций, входящих в объект, с помощью применения различного типа устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП).

1.4. Защита электрооборудования зданий и сооружений от импульсных перенапряжений

Средства защиты электроустановок зданий от импульсных перенапряжений – разрядники различных типов и оксидно-цинковые варисторы. Согласно стандарту ГОСТ Р 51992–2002 (МЭК 61643–1–98) средства защиты от импульсных перенапряжений получили название УЗИП (устройства защиты от импульсных перенапряжений).

По определению ГОСТ Р 51992–2002 УЗИП – это устройство, которое предназначено для ограничения переходных перенапряжений и для отвода импульсов тока. Это устройство содержит, по крайней мере, один нелинейный элемент [6].

Различают УЗИП коммутирующего типа и УЗИП ограничивающего типа, а также УЗИП комбинированного типа.

УЗИП коммутирующего типа в отсутствие перенапряжения сохраняют высокое полное сопротивление, но могут мгновенно изменять его на низкое сопротивление в ответ на скачок напряжения. К ним относятся воздушные и газовые разрядники. Их часто называют молниеразрядниками или разрядниками грозовой защиты.

УЗИП ограничивающего типа в отсутствие перенапряжения сохраняет высокое полное сопротивление, но постепенно снижает его с возрастанием волны тока и напряжения. К ним относятся варисторы и диодные разрядники. Такие УЗИП иногда называются ограничителями напряжения [6].

УЗИП комбинированного типа содержит элементы как коммутирующего, так и ограничивающего типов. Такие УЗИП могут коммутировать и ограничивать напряжение, а также выполнять обе функции; их действие зависит от характеристик подаваемого напряжения.

УЗИП типа искрового разрядника имеет простую конструкцию. В термостойком (обычно керамическом) корпусе закреплены специальные электроды, образующие искровой воздушный промежуток. Электроды имеют специальную форму, способствующую выходу ионизированных газов в одну сторону.

Основной недостаток такой конструкции состоит в том, что при пробивании воздушного промежутка может возникнуть режим КЗ в питающей сети и сопровождающий ток. Конструкция искрового разрядника должна способствовать быстрому прерыванию этого тока. В корпусе разрядника должны быть отверстия для выхода

ионизированного газа. Сопровождающий ток может вызвать срабатывание элементов релейной защиты и отключение установки или линии.

Более совершенны искровые разрядники, имеющие закрытый керамический корпус, заполненный инертным газом. В более сложных и наукоемких УЗИП коммутирующего типа искровой промежуток разделен на несколько участков. Напряжение срабатывания их существенно понижено с помощью подачи управляющего импульса зажигания от электронной схемы (триггера). Таким образом, получается высокая импульсная пропускная способность разрядника при одновременном достижении низкого уровня остаточного напряжения или напряжения срабатывания. Такой разрядник называется *управляемым разрядником*. Преимущество такого разрядника состоит в том, что его корпус полностью закрыт и не имеет выхлопных отверстий. Этим предотвращается выброс раскаленных газов, имеющий место в обычных воздушных разрядниках.

Второе преимущество управляемого разрядника состоит в высокой удельной мощности и способности гасить сопровождающий ток до 25 кА. Эта особенность позволяет устанавливать их без дополнительного внешнего предохранителя в распределительных щитах на вводе в здание [7].

С применением управляемых грозозащитных разрядников появилась возможность непосредственного параллельного включения искрового управляемого разрядника и варистора. Такие изделия получили название *комбинированных УЗИП*. В комбинированных разрядниках автоматически контролируется напряжение на варисторе (во время разряда) до его остающегося напряжения. Если оно превышает некоторый уровень (< 900 В (или < 1500 В, или < 2500 В), то электронная схема зажигает разряд в искровом разряднике. Он включается параллельно варистору. Теперь грозовой ток течет через варистор и искровой разрядник, отчего варистор разгружается от тока и служит дольше.

УЗИП на базе грозоразрядников выпускаются многими производителями с индикатором функционирования. Этот индикатор сигнализирует о готовности электронной схемы зажигания и является дополнительным элементом контроля работы разрядника.

Встречаются в УЗИП системы сигнализации выхода их из строя на базе переключающихся контактов, блоков звуковой или световой сигнализации.

УЗИП варисторного типа изготавливаются на базе оксидно-цинковых варисторов. Их выпускают более 20 производителей в Западной Европе и России. Среди них известные фирмы Германии (DEHN, OBO BETTERMANN, PHOENIX CONTACT), Словении (EZETEK), России (ИЭК).

В России компанией ИЭК выпускаются ограничители напряжения силовые (ОПС1) классов 1 (В), 2 (С) и 3 (D) для внутренних установок зданий и сооружений на базе оксидно-цинкового варистора со сменными модулями защиты и визуальным механическим указателем степени «износа» варистора [8]. Технические данные УЗИП типа ОПС1 приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Технические характеристики ОПС1

Технические характеристики	ОПС1 В(I)	ОПС1 С(II)	ОПС1 Д(III)
Номинальное рабочее напряжение (наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение), В	400	400	230
Максимальное напряжение, В	440	440	250
Номинальный разрядный ток 8/20 мкс, кА	30	20	5
Максимальный разрядный ток 8/20 мкс, кА	60	40	10
Уровень напряжения защиты, не более, кВ	2,0	1,8	1,0
Классификационное напряжение, В	700	650	530
Время реакции, не более, нс	25	25	25
Количество полюсов	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2
Условия эксплуатации	УХЛ 4	УХЛ 4	УХЛ 4
Сечение присоединяемых проводов, мм ²	25	25	25

Варисторные ограничители перенапряжений типа ОПС1 имеют модульное исполнение. Конструктивно состоят из основания (корпуса) с присоединительными зажимами и пластины с резьбовым отверстием для присоединения заземляющего проводника. Средняя часть корпуса имеет прямоугольный вырез, в который по направляющим вставляется варисторный сменный модуль. Модуль имеет боковые пластинчатые выводы, входящие в контакт с внутренней частью присоединительных зажимов. Внутри корпуса мо-

дуля расположен варистор и простейший механизм указателя степени «износа» варистора.

Металлооксидный варистор, применяемый в модуле, содержит 90 % окиси цинка, смешанной с керамической основой, и до 10 % добавок для получения специальных запирающих свойств. Он обладает свойством практически мгновенно снижать свое сопротивление в тысячи раз при появлении на его выводах напряжения, превышающего предельно допустимую величину. Благодаря размерам и массе варистор способен при грозном разряде рассеять значительную энергию.

Электрические схемы включения ОПС1 изображены на рис. 1.7, а внешний вид и конструкция ОПС1 – на рис. 1.8.

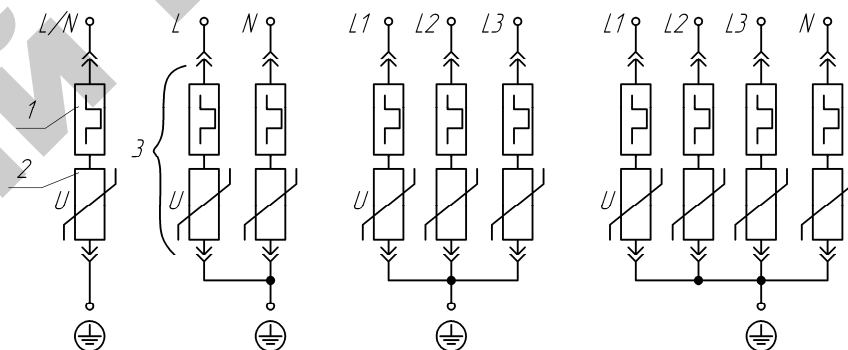


Рис. 1.7. Электрические схемы УЗИП типа ОПС1:

1 – встроенное тепловое инерционное устройство расщепления; 2 – варистор; 3 – сменный защитный модуль

ОПС1 имеют модульное исполнение со стандартными размерами и установкой на DIN-рейку, встроенное тепловое инерционное устройство расщепления для защиты от перегрева варисторного элемента; визуальный указатель «износа» сменного защитного элемента.

Электрооборудование, по способности его изоляции выдерживать периодически возникающее импульсное напряжение во время грозных или коммутационных перенапряжений, разделяют на четыре категории перенапряжений (категории импульсных выдерживаемых напряжений).

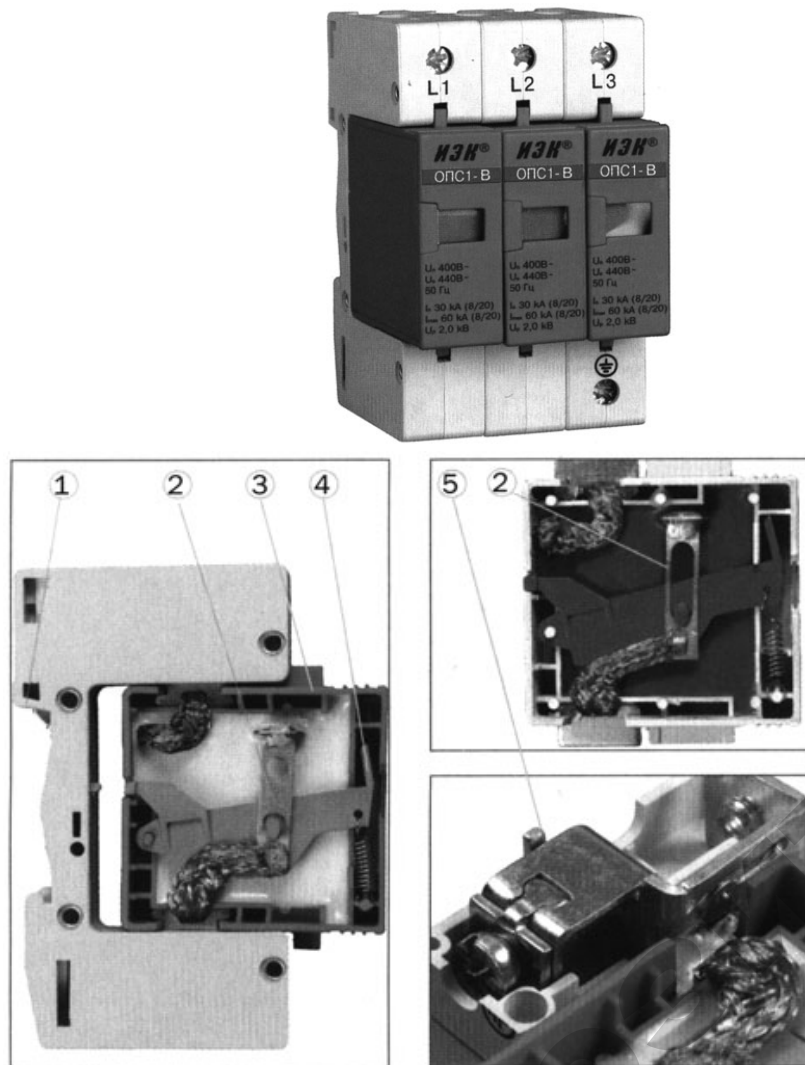


Рис. 1.8. Ограничитель импульсных перенапряжений ОПС1:
 1 – модульное исполнение; 2 – встроенный предохранитель; 3 – сменный защитный элемент; 4 – указатель «износа» защитного элемента; 5 – насечки на контактных зажимах

Оборудование категории I – специальное оборудование, которое, будучи присоединено к существующим электроустановкам зданий, нуждается в дополнительных устройствах защиты от импульсных перенапряжений. Эти УЗИП могут быть встроены в оборудование категории I или расположены между этим оборудованием и остальной частью электроустановки. *Пример такого оборудования* – персональные компьютеры, которые подключены к питающей сети через удлинители со встроенными УЗИП.

Оборудование категории II – оборудование, которое присоединяется к существующим электроустановкам зданий посредством штепсельных розеток и других аналогичных соединителей. *Примеры такого оборудования* – бытовые электроприборы, радиоэлектронные приборы, переносной инструмент.

Оборудование категории III – оборудование, установленное внутри зданий, которое составляет часть конкретной электроустановки здания и доступно для обычных лиц и необученного персонала. *Примеры такого оборудования* – распределительные пункты, щиты, силовые кабели, выключатели и розетки, электроплиты, стационарно подключенные электродвигатели.

Оборудование категории IV – оборудование, установленное вблизи от электроустановок зданий (внутри или снаружи) перед главным распределительным щитом, которым может быть вводно-распределительное устройство для многоэтажных или производственных зданий, или квартирный щиток для индивидуальных зданий. *Примеры такого оборудования* – электрические счетчики, первичные аппараты защиты от сверхтоков, УЗИП, размещенные во вводных устройствах и доступные только квалифицированному персоналу.

Категории перенапряжений характеризуют различную степень пригодности электрооборудования с точки зрения его длительной эксплуатации и допустимого риска отказов при импульсных перенапряжениях.

В табл. 1.9 приведено номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, установленное для различных категорий перенапряжений для трехфазных систем напряжением 380/220 В.

Существует взаимосвязь между зонами молниезащиты, классами защитных устройств и категориями стойкости изоляции оборудования к импульсным перенапряжениям (рис. 1.9).

Таблица 1.9

Номинальные импульсные выдерживаемые напряжения для различных категорий стойкости к перенапряжениям

Категория стойкости к перенапряжениям	IV	III	II	I
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, кВ	6,0	4,0	2,5	1,5

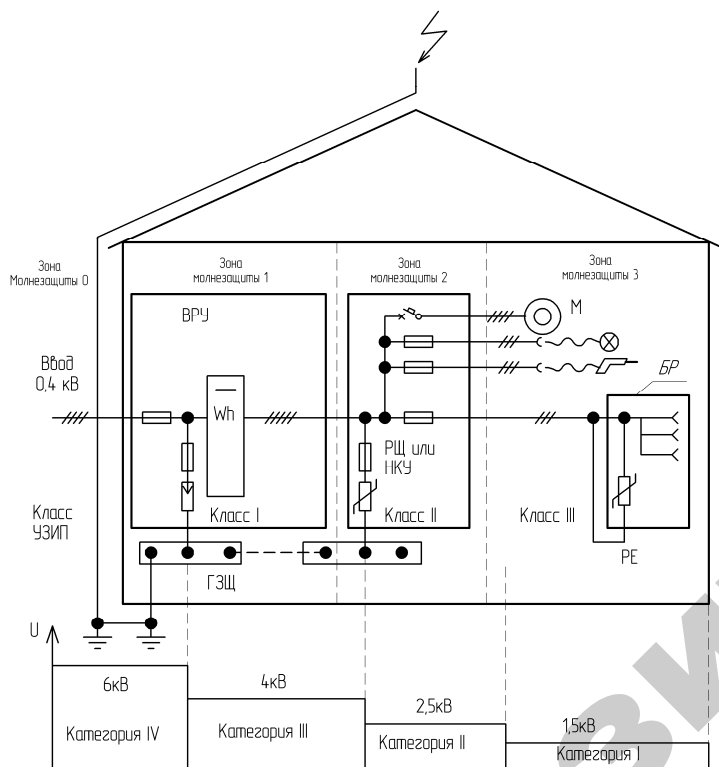


Рис. 1.9. Взаимосвязь между зонами молниезащиты, классами защитных устройств и категориями стойкости изоляции к перенапряжениям:

ВРУ – вводно-распределительное устройство; РЩ – распределительный щит; НКУ – низковольтное комплектное устройство; БР – блок розеток с встроенным УЗИП

УЗИП, в зависимости от места установки и способности пропускать через себя различные импульсные токи, делятся на следующие классы: I, II, III (или B, C, D).

Защитные устройства класса I устанавливаются на вводе в здание (во вводном щите, ГРЩ или же специальном боксе) после плавких предохранителей (на границе зон 0 и 1).

Защитные устройства класса II устанавливаются во вторичных распределительных щитах. Например, в этажных или других щитах, в низковольтных комплектных устройствах (НКУ). Желательно размещать их до групповых плавких предохранителей или автоматических выключателей. Точка размещения этого класса устройств может находиться на границе зон 1 и 2. Возможно размещение этих устройств в зоне 1 вместе с устройствами класса I.

Защитные устройства класса III могут устанавливаться в НКУ или непосредственно возле потребителя (защитная зона 3). При расстояниях более 10–15 метров от места установки УЗИП до потребителя желательно установить дополнительно УЗИП III класса в непосредственной близости от защищаемого оборудования, чтобы гарантированно устранить возможные перенапряжения.

ГОСТ Р 51992–2002 определяет, что защитный элемент УЗИП может подсоединяться между фазами, или между фазой и землей, или между фазой и нейтрально, или между нейтралью и землей, или в любой из комбинаций.

Известны две основные схемы включения УЗИП (рис. 1.10).

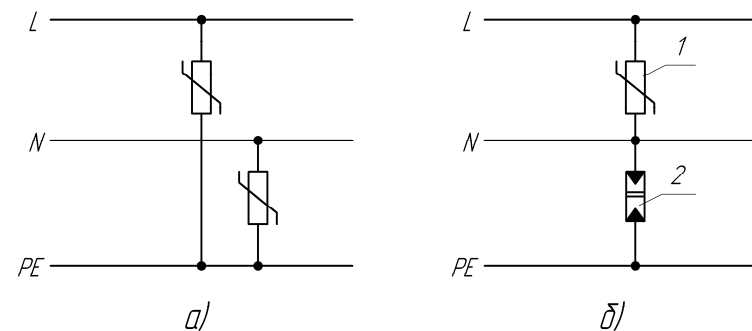


Рис. 1.10. Схема включения УЗИП для защиты от синфазных (продольных) перенапряжений (а) и противофазных (поперечных) перенапряжений (б):

1 – УЗИП на базе варистора; 2 – УЗИП на базе разрядника суммарного тока

Наиболее опасны для защищаемого оборудования противофазные (поперечные) перенапряжения (на клеммах электроприемников L/N) по сравнению с продольными перенапряжениями (на клеммах электроприемников L/PE и N/PE).

На рис. 1.11 изображена схема включения УЗИП в сети TN-C-S. Молниеразрядник класса 1 используется в каждой фазе.

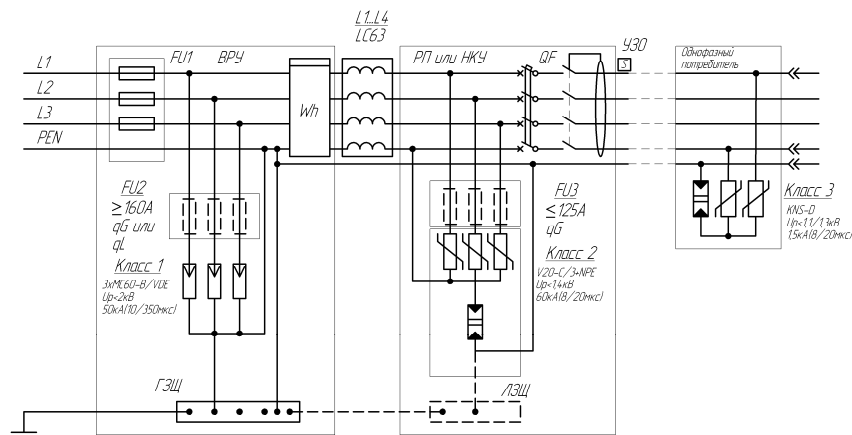


Рис. 1.11. Вариант включения УЗИП фирмы «OBO BETTERMANN» в сети TN-C-S: ГЗШ – главная заземляющая шина; ЛЗШ – локальная заземляющая шина

В [7] рекомендуют использовать молниеразрядник фирмы «OBO BETTERMANN» MC 50-B/VDE. Он является многократным искровым разрядником закрытого типа, что позволяет полностью избежать искровых выбросов вне корпуса устройства. Он предназначен для отвода мощного импульсивного тока 50 кА при импульсе 10/350 мкс. Имеет уровень защиты менее 2 кВ, отключающую способность сопровождающего тока 12,5 кА.

Перед молниеразрядниками устанавливаются плавкие предохранители FU2 с номинальным током 160–500 А (меньшим, чем ток предохранителей FU1) и характеристикой срабатывания gG или gL (по ГОСТ Р 50339.0–92).

Нижние зажимы молниеразрядников соединены вместе и подключаются к PEN-проводнику и к главной заземляющей шине (ГЗШ) вводно-распределительного устройства (ВРУ).

PEN-проводник разделяется в ВРУ на N и PE-проводники, причем PE-проводник соединяется с ГЗШ. Далее в здании распростра-

няется проводка из пяти проводников, устанавливается счетчик электроэнергии.

Если длина кабеля между ВРУ и локальным распределительным щитом, или НКУ менее 10 м, то для согласования (координации) срабатывания УЗИП разных классов устанавливаются индуктивные развязки L1–L4. В [7] рекомендуется использовать индуктивную развязку LC63. Она предназначена для нагрузки линии до 63 А, имеет номинальную индуктивность 5 мкГн. При подземном вводе (когда в первом каскаде защиты установлены варисторы) величина индуктивности может быть 5–6 мкГн, при воздушном вводе (в первом каскаде защиты установлены разрядники) это значение должно быть не менее 12–15 мкГн. Это объясняется разным временем срабатывания разрядников и варисторов. У разрядников время срабатывания примерно в 4 раза больше.

В распределительном шкафу (или НКУ) используются УЗИП класса 2. Они выбираются на базе варисторов, например, V20-C/3+NPE «OBO BETTERMANN» [7], параметры следующие: номинальный импульсный ток 60 кА при импульсе 8/20 мкс; уровень защиты 1,4 кВ. Нижние зажимы варисторного УЗИП подключаются к нейтральному проводнику (N), а нейтральный проводник через искровой разрядник суммарного тока подключается к защитному проводнику (PE). Разрядник суммарного тока позволяет избежать появления напряжения на защитный проводник и возникновения опасного контактного напряжения в месте уравнивания потенциалов.

Если в распределительном щите имеется локальная заземляющая шина, то она соединяется защитным проводником с главной заземляющей шиной (пунктирная линия на рис. 1.11).

УЗИП класса 3 используются для защиты от коммутационных перенапряжений в электрических цепях, установленных в конце линии. Здесь перенапряжения возникают, главным образом, между фазой L и нулевым проводником N. Варисторы защищают проводники L и N и через разрядник суммарного тока связаны с защитным проводником PE. На рис. 1.11 указано однофазное УЗИП, например, типа KNS-D фирмы «BO BETTERMANN» [7]. Благодаря этой защитной системе между фазой L и нулевым проводником N при поперечных перенапряжениях не происходит прохождение импульсного тока в защитный проводник PE. Устройства защитного отклонения (УЗО) не срабатывает. Его можно устанавливать в сети после места включения УЗИП класса 2. Уровень защиты U_p

на рис. 1.11 для УЗИП класса 3 задан в виде дроби 1,1/1,3 кВ, что означает:

$U_p = 1,1 \text{ кВ}$ – для симметричных перенапряжений; $U_p = 1,3 \text{ кВ}$ – для асимметричных перенапряжений.

Плавкие предохранители FU2 и FU3 необходимы только в том случае, если плавкие предохранители FU1 в сети больше 125 А.

В сети TN-S УЗИП присоединяются между фазой и нейтральным проводником (N). Нейтральный проводник соединяется через разрядник суммарного тока с защитным проводником (PE). Так включаются УЗИП классов 1, 2, 3 (рис. 1.12).

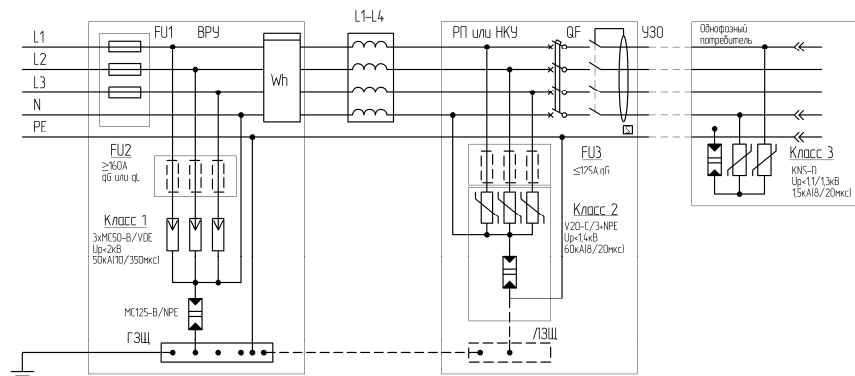


Рис. 1.12. Вариант включения УЗИП фирмы «ОВО BETTERMANN» в сети TN-S

Счетчик электрической энергии включается после УЗИП класса 1, а УЗО – после УЗИП класса 2.

УЗИП класса 2 устанавливаются в (каждом) устройстве вторичного распределения тока, а УЗИП класса 3 – перед подключением конечного токоприемника (в переходниках розеток на 16 А, в кабельных адаптерах и т. п.). Обычно УЗИП класса 3 – однофазные [7], устанавливаются у каждого потребителя.

Одним из преимуществ приведенных схем является то, что разрядники в цепи N – PE позволяют обеспечить гальваническую развязку этих проводников, следовательно, и лучшую помехозащищенность оборудования связи или обработки информации. Известно, что нулевой рабочий проводник практически всегда находится под каким-то потенциалом (от единиц до десятков вольт), зависящим от симметричности распределения нагрузки по фазам. Или, например, при работе импульсных нагрузок (импульсных

выпрямителей с преобразованием частоты) в нулевом рабочем проводнике появляются высшие гармоники рабочей частоты сети 50 Гц. Все эти помехи могут приводить к ошибкам и сбоям в работе сверхчувствительных нагрузок через цепи заземления и уравнивания потенциалов, т. е. через PE-проводники. Применение системы электропитания типа TN-S с разрядниками в цепи N – PE позволяет свести эти влияния к минимуму.

Для удобства монтажа и обслуживания устройства защиты могут размещаться в отдельном щитке [2]. Причем в одном щитке могут быть установлены ограничители перенапряжения разных классов. Это становится возможным в случае установки между ними разделительных дросселей. Пример схемы подключения к электроустановке защитного щитка с двумя ступенями защиты приведен на рис. 1.13.

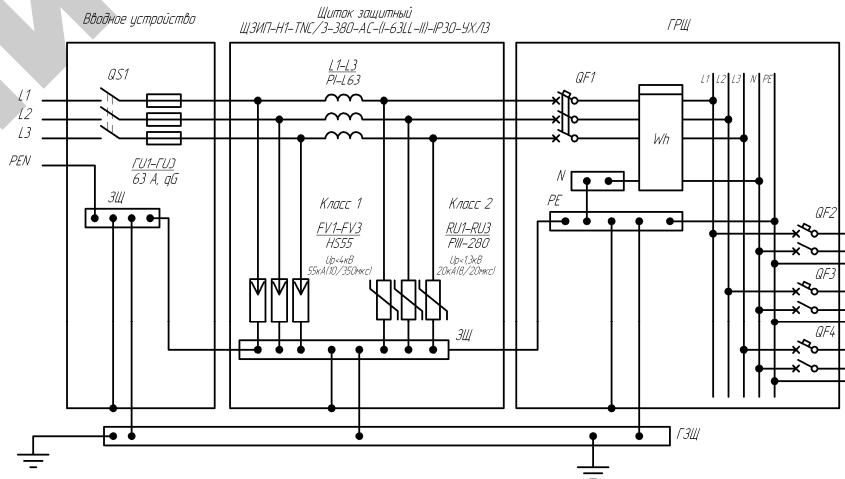


Рис. 1.13. Вариант включения УЗИП фирмы «НАКЕЛ», установленного в защитном щитке, в трехфазную сеть TN-C-S

К нагрузочной стороне вводного устройства подключается вход защитного щитка с УЗИП, к силовой стороне группового автомата – выход защитного щитка. Заземление щитка осуществляется на главную заземляющую шину объекта и на PE-шину главного распределительного щита (ГРЩ).

Основные требования по монтажу и подключению главной заземляющей шины (ГЗШ) изложены в главе 1.7 ПУЭ (7-е издание),

а так же в Техническом циркуляре ассоциации «РОСЭЛЕКТРО-МОНТАЖ» № 6/2004 от 16.02.2004 «О выполнении основной системы уравнивания потенциалов на вводе в здание».

Применение УЗИП требуется в следующих случаях:

а) если электроустановка получает питание от воздушной линии, число грозových дней в году не превышает 25, но возможна повышенная опасность или повышенный риск (например, электроустановки взрывоопасных или пожароопасных помещений);

б) если электроустановка получает питание по воздушной линии или включает в себя наружную проводку, а число грозových дней в году превышает 25.

При воздушном вводе в жилые и общественные здания установка УЗИП является обязательной (ПУЭ, 7-е издание, разделы 6 и 7).

Применение УЗИП не требуется, если электроустановка получает питание по кабелю, проложенному в земле, или по кабелю, броня которого не заземлена, а импульсное выдерживаемое напряжение электрооборудования не меньше указанного в таблице 1.9 для соответствующей категории.

Рекомендуется применение УЗИП, если:

1) электроустановка размещена в здании, имеющем систему молниезащиты, или вблизи от системы молниезащиты;

2) длина кабеля недостаточна для надлежащего затухания грозového импульса напряжения, появившегося в воздушной части питающей сети при воздействии молнии;

3) на подземный кабель может воздействовать прямой удар молнии при высоком удельном сопротивлении почвы;

4) высота здания или его размеры достаточно велики или оно размещено таким образом, что повышена вероятность прямого удара молнии, который может привести к большим материальным потерям;

5) имеется риск прямого удара молнии в другие входящие и отходящие цепи (телефонные линии, антенные системы и т. п.), что может привести к переходу импульса напряжения из этих цепей на электрооборудование здания;

6) имеются другие виды наружного обеспечения здания, проходящие в воздухе (металлические трубы газоснабжения, водопровода, канализации, воздухопроводы вентиляции и кондиционирования);

7) несколько зданий обеспечиваются энергией от одной питающей сети или имеют общий заземлитель. В этом случае электрические цепи тех зданий, которые имеют УЗИП, могут быть подвержены повышенным импульсным перенапряжениям.

Выбор УЗИП имеет следующие цели: обеспечить максимальные условия защиты изоляции электроустановки; предохранить УЗИП от аварийных режимов.

Перед выбором УЗИП необходимо иметь представление о трех группах параметров: о свойствах защищаемого объекта; об электрической сети; об условиях установки и окружающей среде.

О свойствах защищаемого объекта нужно знать следующее: тип защищаемой электроустановки; способы включения ее в сеть; номинальное испытательное напряжение изоляции электроустановки; ожидаемые уровни токов молнии.

Электрическая цепь должна характеризоваться следующим: наибольшим напряжением сети; видом ввода (воздушный или кабельный); системой заземления; максимальным временем продолжения КЗ на землю; величиной тока КЗ в месте установки УЗИП; максимальным значением медленно изменяющихся перенапряжений и временем их действия; длиной кабельного участка.

Условия установки и окружающей среды: температура и влажность окружающего воздуха; место и способ установки УЗИП.

Один из параметров выбора УЗИП – выбор наибольшего длительно допустимого рабочего напряжения U_c . При выборе должно быть использовано условие:

U_c УЗИП должно быть больше наибольшего сетевого напряжения U_m с запасом 10 %. Если U_m неизвестно, то следует принимать:

$$U_m = 1,1 U_{н.сети}, \quad (1.2)$$

где $U_{н.сети}$ – номинальное напряжение электрической сети в месте установки УЗИП, В.

В сельском хозяйстве Беларуси используется силовая электрическая сеть 220/380 В с глухо заземленной нейтралью. УЗИП в этой сети устанавливаются на фазное напряжение сети. В этом случае:

$$U_c \geq 1,1 \left(\frac{U_m}{\sqrt{3}} \right) = 1,1 \left(\frac{380}{\sqrt{3}} \right) = 246,6 \text{ В.}$$

Следовательно, УЗИП должно иметь $U_c > 247 \text{ В}$.

Максимальное длительное рабочее напряжение (U_c) УЗИП должно быть согласовано с возможным временным перенапряжением.

При обрыве нулевого рабочего или PEN-проводника в трехфазных сетях и при значительной несимметрии фазных нагрузок уровень временных перенапряжений может достигать значений междуфазного напряжения (380 В), а его длительность – нескольких часов. В связи с этим в системах TN рабочее напряжение УЗИП должно быть не ниже 242 В для надежной их работы в нормальных режимах, и не ниже 380 В для исключения возможности выхода из строя УЗИП при неблагоприятном стечении обстоятельств. Предпочтительные значения напряжения U_c УЗИП выбирают из следующего ряда: 250; 260; 275; 280; 320; 420 В. При этом необходимо иметь в виду, что меньшему значению напряжения U_c соответствует и меньший уровень остающегося напряжения УЗИП, но при этом возрастает риск выхода УЗИП из строя при временных перенапряжениях. Для устранения этого противоречия электроустановка должна быть дополнительно защищена от воздействия временных перенапряжений при помощи специальных устройств, к которым можно отнести, например, реле контроля напряжения, или реле контроля фаз с функцией управления контактором.

Уровень защиты напряжения УЗИП, размещаемых в электроустановках зданий, должен соответствовать категории перенапряжений II, т. е. должен быть не выше 2,5 кВ. При выборе уровня защиты перенапряжений УЗИП должен учитываться уровень стойкости электрооборудования к перенапряжениям. При использовании электронного оборудования уровень защиты УЗИП должен быть менее 1,5 кВ.

Выбор УЗИП связан с местом его установки в здании и внешними условиями, в частности, ожидаемым током молнии на вводе (см. рис. 1.5).

При воздушном вводе электропитания, вне зависимости от наличия внешней системы молниезащиты, когда возможно прямое попадание молнии в провода линии электропередачи (в непосредственной близости от объекта) устанавливаются в качестве первой системы защиты грозовые разрядники. Они должны быть способны пропускать через себя импульсные токи формы 10/350 мкс с амплитудным значением 50–100 кА и гасить сопровождающие токи величиной более 4 кА, а также обеспечивать уровень защиты

(U_p) менее 4 кВ (например, многоззорные угольные искровые разрядники без выброса ионизированных газов типа HS55 производства фирмы «Hakel» или MC50-B VDE (MCD50-B) фирмы «OBO BETTERMANN»).

При подземном вводе электропитания и при наличии внешней системы молниезащиты, когда существует вероятность попадания молнии в молниеприемник, можно устанавливать варисторные защитные устройства. Они должны быть способны пропускать через себя импульсные токи формы 10/350 мкс с амплитудным значением 10–25 кА и также обеспечивать уровень защиты $U_p < 4$ кВ (например, устройства серии SPC1/1 или SPC3/1 фирмы «Hakel», устройства V20-C/3+NPE или V25-C/3+NPE фирмы «OBO BETTERMANN»).

При отсутствии внешней системы молниезащиты рекомендуется ее установить, так как прямой удар молнии в этом случае, как правило, приводит к динамическим воздействиям на строительные конструкции объекта, а также может вызвать пожар за счет искрения и перекрытия воздушных промежутков между токопроводящими элементами объекта [2].

В качестве второй ступени защиты в цепях L – N используются устройства на базе варисторов с максимальным импульсным током 20–40 кА формы 8/20 мкс и уровнем защиты (U_p) менее 2,5 кВ (устройства фирмы «Hakel» серии PII-230, PIIIM-230, PII-280, PIIIM-280, SPU1, SPU3 или фирмы «OBO BETTERMANN» серии V20-C/3+NPE).

В цепях N – PE в качестве второй ступени защиты применяются газонаполненные металлокерамические разрядники, способные выдерживать импульсные токи с амплитудой 20–40 кА формы 8/20 мкс. Сопровождающие токи в цепях N – PE не возникают, поэтому в данном случае могут применяться разрядники с $I_f = 100–300$ А (разрядники B20-C).

В качестве третьей ступени защиты используются модули с максимальным импульсным током 6–10 кА формы 8/20 мкс уровнем защиты (U_p) менее 1,5 кВ. Могут применяться комбинированные устройства, включающие в себя дополнительно помехозащитный фильтр на полосу частот в диапазоне 0,15–30 МГц (устройства серии PI-k8, PI-k32, PI-3k80 и др. фирмы «Hakel» или VF230-AC/DC, KNS-D, SMS-D фирмы «OBO BETTERMANN»).

С переходом от первого до третьего класса УЗИП уровень номинального разрядного тока должен уменьшаться. Это условие записывается в виде:

$$I_{п.кл.1} > I_{п.кл.2} > I_{п.кл.3} \quad (1.3)$$

Кроме того, с переходом от первого до третьего класса УЗИП остающееся напряжение должно уменьшаться. Это условие также записывается в виде:

$$U_{р.кл.1} > U_{р.кл.2} > U_{р.кл.3} \quad (1.4)$$

С остающимся напряжением тесно связано номинальное импульсное (выдерживаемое) напряжение электроустановки $U_{имп.ном}$.

Требуется, чтобы всегда:

$$U_p < U_{имп.ном} \quad (1.5)$$

Если расстояние между УЗИП разных классов менее 10 м, то для координации временных характеристик УЗИП используют разделительные дроссели. Разделительные дроссели выбираются, исходя из величины максимальных рабочих токов нагрузки, например: 16, 32, 63 или 120 А (PI-L16/15, PI-L32/15, PI-L63/15 фирмы «Nakel» или LC-63 фирмы «OBO BETTERMANN»), где первые цифры – ток, а вторые – индуктивность, мкГн).

В некоторых случаях установить УЗИП только на вводе здания недостаточно для того, чтобы с большой степенью вероятности защитить такую категорию потребителей электроэнергии, как высокочувствительная электронная техника. УЗИП III класса в этом случае устанавливаются непосредственно возле защищаемого оборудования (в розетках, вилках, кабельных лотках).

УЗИП включается между проводниками, одним из которых, как правило, является фазный проводник, а другим – нулевой рабочий или нулевой защитный проводник. При этом, в случае выхода из строя УЗИП, возможно возникновение режима КЗ между данными проводниками, что может привести к выходу из строя электроустановки и даже возникновению пожара. Поэтому для защиты электроустановки и УЗИП от режимов КЗ необходимо предусматривать дополнительную защиту в виде предохранителей с характеристикой срабатывания gG или gL , установленных последовательно с каждым УЗИП.

Применение защитных автоматических выключателей в данной ситуации может не обеспечить необходимый результат. Опыт эксплуатации показывает, что сами автоматические выключатели мо-

гут быть повреждены импульсом тока при грозовом разряде. При этом может произойти приваривание контактов и появляется вероятность несрабатывания автомата при КЗ в защищенной линии. Плавкий предохранитель полностью исключает подобную ситуацию. При правильном выборе номинального тока плавкого предохранителя практически исключается вероятность перегорания предохранителя при прохождении через защитное устройство импульсного тока при ударе молнии.

При отказе от установки предохранителей, в случае возникновения КЗ хотя бы в одном из УЗИП, произойдет срабатывание плавкого предохранителя ВРУ и электропитание потребителя будет отключено до устранения неисправности. Применение предохранителей в цепи каждого УЗИП значительно уменьшает вероятность такой ситуации.

Номиналы предохранителей и тип их времятоковых характеристик определяются конкретным производителем УЗИП и отражаются в технической документации. Как уже указывалось выше, для этих целей обычно используются плавкие предохранители типа gG или gL , предназначенные для защиты проводников и коммутационного оборудования от перегрузок и КЗ. Они обладают значительно меньшим временем срабатывания по сравнению с автоматическими выключателями тех же номиналов. При этом предохранители имеют более высокую стойкость к импульсным токам значительных величин.

1.5. Защита от импульсных перенапряжений полупроводниковых преобразователей и коммутаторов

Полупроводниковые преобразователи и коммутаторы получают питание от НКУ внутренних электрических сетей зданий. В этих сетях уровень импульсных перенапряжений снижен установкой УЗИП на вводе и в распределительном пункте, или НКУ. Если в таких электрических сетях длина кабеля, питающего преобразователь или коммутатор более 5 м, требуется дополнительная защита от импульсных перенапряжений. Обычно изготовители этой техники встраивают элементы УЗИП внутри изделий.

В преобразователях наиболее чувствительны к импульсным перенапряжениям тиристоры, диоды и силовые транзисторы. Эти

элементы могут быть подвергнуты импульсным перенапряжениям трех групп [9].

Первую группу составляют импульсные перенапряжения, которые попадают в преобразователь из питающей сети.

Вторую группу образуют импульсные перенапряжения, которые возникают при коммутации вентилей из-за наличия в них накопленного заряда не основных носителей.

Третью группу составляют импульсные перенапряжения, которые возникают в цепи индуктивной нагрузки, например, при быстром изменении тока якоря или тока обмотки возбуждения электрической машины, при перегорании быстродействующего предохранителя или отключении нагрузки преобразователя.

Импульсные перенапряжения, поступающие из сети, могут быть ограничены общим защитным блоком (ЗБ) на входе преобразователя (рис. 1.14, а, б).

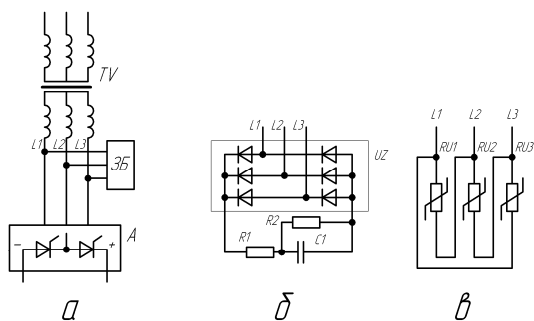


Рис. 1.14. Подключение защитного устройства на входе преобразователя с понижающим трансформатором (а), блока защиты на базе выпрямителя UZ и R-С цепи (б) и на базе оксидно-цинковых варисторов (в)

В качестве элементов защиты могут использоваться выпрямитель с R-С цепью (рис. 1.14, б) или варисторы (рис. 1.14, в).

Параметры R1–C1 цепочки (рис. 1.14, б) определяются для наиболее опасного режима – отключения трансформатора на холостом ходу. В этом случае перенапряжения могут во много раз превысить рабочее напряжение. При отключении трансформатора запасенная в нем электромагнитная энергия заряжает конденсатор C1. Емкость конденсатора C1 (мкФ) в сети 50 Гц при намагничивающем токе трансформатора 5 % и коэффициенте запаса по напряжению 1,5 упрощенно определяется [10] по выражению:

$$C_1 \approx (20-60) \frac{S_2}{U_2^2}, \quad (1.6)$$

где S_2 – полная мощность обмотки трансформатора, ВА;

U_2 – действующее значение фазного напряжения вторичной обмотки, В.

Блок защиты включается на линейное напряжение. Резистор R1 должен ограничивать ток через диоды выпрямителя UZ при включении, следовательно, его сопротивление должно составлять:

$$R_1 = \frac{U_{\text{обр}}}{I_{\text{max пр}}}, \quad (1.7)$$

где $U_{\text{обр}}$ – допустимое обратное напряжения диодов выпрямителя, В;

$I_{\text{max пр}}$ – максимальное значение прямого тока диодов, А.

Для защиты от внешних импульсных перенапряжений наиболее эффективно применение оксидно-цинковых варисторов. Для преобразователей с трансформатором их включают в схему «треугольник» на линейное напряжение. Для преобразователей без силовых трансформаторов варисторы включаются между фазными и нулевыми проводниками и дополнительно между проводниками N и PE. Могут быть использованы УЗИП на базе оксидно-цинковых варисторов класса 2 или 3 модульного исполнения (например, ОПС1). В преобразователе с силовым трансформатором вторичное напряжение меньше, чем в питающей сети, могут быть использованы варисторы на другие напряжения. Их выбор рассмотрен в пункте 1.6.

Защита от импульсных перенапряжений, обусловленных эффектом накопления заряда в диодах или тиристорах, осуществляется с помощью R-С цепи.

Появление перенапряжений в моменты коммутации тока через вентили объясняется следующим образом [9]. При изменении направления тока в полупроводниковом приборе возникают обратные токи, ограниченные только сопротивлением силового трансформатора. Появление этих токов обусловлено конечным временем рекомбинации носителей в базовой области, накопленных в период проводящего состояния вентиля. Время протекания обратного тока практически равно времени жизни носителей. С окончанием рекомбинации носителей обратный ток резко падает, что приводит к появлению напряжения на выключаемом приборе.

Время выключения для небыстродействующих тиристоров составляет 800–40 мкс, а быстродействующих – 63–0,5 мкс. Поскольку время рассасывания накопленных зарядов составляет часть от времени выключения, то очевидно, что скорость изменения обратного тока может составлять значительную величину (например, 10^8 А/с). Обратное напряжение после переключения прямо-пропорционально скорости изменения тока di_T/dt и индуктивности силового трансформатора.

Для устранения импульсных перенапряжений, возникающих на тиристорах, применяются R-C цепи, включенные параллельно тиристорам (рис. 1.15).

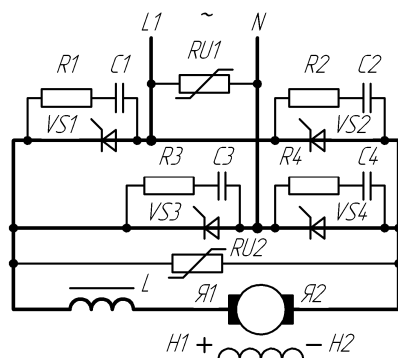


Рис. 1.15. Пример использования элементов защиты от импульсных перенапряжений в комплектном однофазном электроприводе ЭПУ-2

В моменты включения полупроводниковых приборов обратный ток из цепи прибора коммутируется в R-C цепь. Заряд конденсатора носит колебательный характер.

Емкость цепи R-C вычисляется [10] по формуле:

$$C = \frac{u_k i_{\text{обр max}}^2}{\omega i_{\text{прям max}} u_{\text{обр}}}, \quad (1.8)$$

где u_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, о.е.;

$i_{\text{обр max}}$ – максимальное амплитудное значение обратного тока вентиля, А;

ω – угловая скорость электромагнитного поля, с^{-1} ;

$i_{\text{прям max}}$ – амплитудное значение прямого тока вентиля, А;

$u_{\text{обр}}$ – допустимая амплитуда обратного напряжения вентиля,

В.

Сопротивление резистора R в R-C цепи выбирается по формуле (1.7). Защитная R-C цепочка должна иметь малую собственную индуктивность. Для этого R-C цепочку размещают непосредственно около вентиля. Емкость конденсатора в защитной цепи обычно составляет 0,01–1 мкФ, а сопротивление резистора – $R \approx 20\text{--}300$ Ом.

Для защиты элементов силовых преобразователей от импульсных перенапряжений, поступающих со стороны нагрузки, наиболее целесообразно применение оксидно-цинковых варисторов. На рис. 1.15 изображена схема силовой части комплектного однофазного электропривода ЭПУ-2 постоянного тока, выпускаемого электротехнической промышленностью, с элементами защиты от импульсных перенапряжений.

На входе преобразователя установлен варистор RU1, защищающий вход от импульсных перенапряжений, поступающих от сети. На выходе преобразователя устанавливается варистор RU2, защищающий тиристоры от импульсных перенапряжений со стороны нагрузки. Для защиты тиристоров от импульсных перенапряжений, обусловленных эффектом накопления заряда в тиристорах, применяются R-C цепочки. В частности, C1–C4 – конденсаторы типа МБГЧ1-2А емкостью 0,25 мкФ, 500 В, резисторы R1–R4 – типа С5-35 В, 33 Ом, 10 Вт. В преобразователе используются варисторы типа СН2-2А-750 В.

Для защиты от импульсных перенапряжений тиристоров, рассчитанных на большие токи и изготовливаемых в виде дисков, используются аналогичные по конструкции полупроводниковые ограничители перенапряжений (ПОН) типа ОНС 233-200.

Принцип действия ПОН описан в параграфе 1.7, а внешний вид ПОН типа ОНС 233-200 изображен на рис. 1.25. Этот симметричный полупроводниковый ограничитель напряжения удобно монтировать на один радиатор с силовыми таблеточными тиристорами, используя изолирующие прокладки из слюды. Он подключается параллельно тиристорам. ПОН типа ОНС 233-200 имеют напряжение открывания, зависящее от класса защищаемых тиристоров. При классе тиристоров 11 напряжение открытия ПОН при токе 2 мА составляет 1100–1199 В, при классе 12 – 1200–1299 В, при

классе 13 – 1300–1399 В и т. д., до класса 16 – 1600–1699 В. Дифференциальное сопротивление ОНС 233-200 составляет 1,7 Ом, масса – 120 г.

В современной технике широко используются полупроводниковые коммутаторы на тиристорах, симисторах или мощных биполярных транзисторах с изолированным затвором, или МОП-транзисторах (полевых).

Основной мерой перенапряжений является шунтирование их R-С цепочкой и дополнительно варистором. Например, для защиты оптоэлектронных реле средней мощности типа 5П..., выпускаемых ЗАО «Протон-импульс», г. Орел, рекомендуются варисторы СН2-1 и СН2-2 с коэффициентом нелинейности $\alpha > 30$ и энергией абсорбции 10–114 Дж [11]. При защите тиристоров такого реле следует так же уменьшить импульсные перенапряжения, обусловленные эффектом накопления заряда в тиристорах (симисторах), и шунтировать их R-С цепочкой. Параметры R-С цепи выбираются экспериментально и составляют $R \approx 20\text{--}50$ Ом, $C \approx 0,01\text{--}0,1$ мкФ [12]. Например, при коммутации однофазного электродвигателя с помощью оптореле защита симисторов от перенапряжений осуществляется по схеме (рис. 1.16, а).

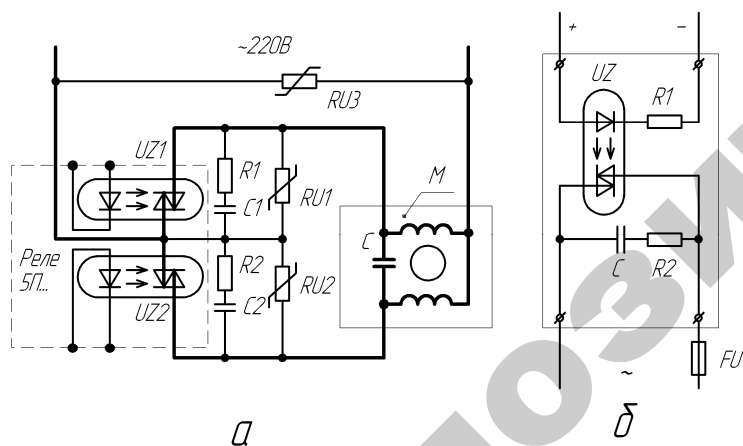


Рис. 1.16. Защита выходов оптореле типа 5П... от перенапряжений в схеме реверсивного управления однофазным асинхронным электродвигателем (а) и выходов реле SSRP фирмы «Комеко» (б)

Двойная защита выходов оптореле повышает надежность его работы. Для защиты от внешних перенапряжений в электрической сети используется варистор RU3.

Некоторые оптореле имеют встроенные в корпус R-С цепочки защиты. Например, оптореле SSRP фирмы «Комеко» (Болгария) на 10–40 А и напряжени до 275 В имеет симистор и защитную R-С цепочку (рис. 1.16, б).

Для защиты мощных биполярных транзисторов с изолированным затвором и МОП-транзисторов, переключающих цепи с частотой до 100 кГц, применяются *ультрабыстрые диоды*. Их особенность – малое время восстановления запирающих свойств (25–75 нс). Такие диоды включают параллельно (и встречно) транзисторам (рис. 1.17).

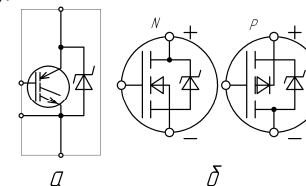


Рис. 1.17. Защита мощных IGBT модулей (а) и МОП-транзисторов (б) с помощью встречно включенных ультрабыстрых диодов

Обычно они выполняются в одном корпусе с биполярным транзистором с изолированным затвором (IGBT-модуль) или с МОП-транзистором.

Для защиты выходов микроконтроллеров на переменном токе от импульсных перенапряжений применяются R-С цепочки или варисторы (рис. 1.18, а).

Гомельский завод низковольтной аппаратуры выпускает пускатели ПМ-12, которые комплектуются УЗИП типа ОПН-12...(R-С цепочки) или ОПН-22...(варисторы). Номинальное напряжение катушек электромагнитных пускателей переменного тока 24, 48, 110 и 220 В с ОПН-12... и 110, 220 и 380 В с ОПН-22...

Если выходы микроконтроллеров имеют постоянный ток, то для защиты их от импульсных перенапряжений параллельно и встречно катушкам реле или катушкам электромагнитных пускателей включаются диоды (рис. 1.18, а). При размыкании цепи катушки возникает ЭДС обратного знака, которая вызывает ток через катушку и диод. Импульс перенапряжения на выходе микрокон-

троллера не возникает. Аналогичное явление происходит, если в электронной схеме транзистор работает на катушку реле (рис. 1.18, б).

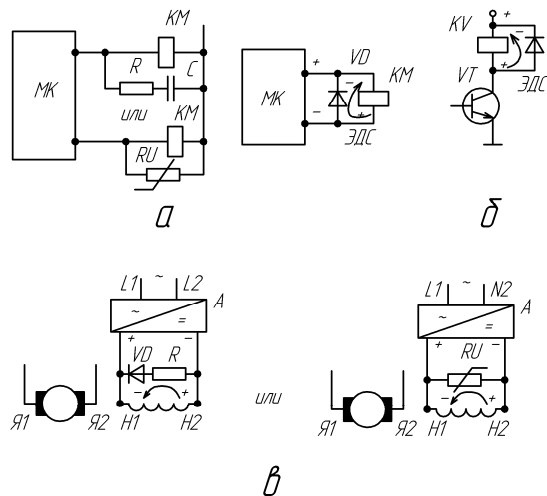


Рис. 1.18. Защита от импульсных перенапряжений выходных цепей микроконтроллера на переменном и на постоянном токах (а), транзистора в цепи катушки реле (б), преобразователя в цепи обмотки возбуждения двигателя постоянного тока (в)

В цепях с большой индуктивностью запасается значительная энергия магнитного поля, например, в обмотке возбуждения Н1-Н2 двигателя постоянного тока. Для ограничения величины импульса тока через диод VD в момент отключения обмотки и возникновения ЭДС обратного знака включается резистор R. Обычно сопротивление резистора выбирается в 6–10 раз большее, чем сопротивление обмотки (рис. 1.18, в). Цепочка VD и R может быть заменена варистором.

1.6. Выбор варисторов

Основными параметрами, достаточными для выбора варистора, являются:

- 1) номинальное рабочее напряжение постоянного U_{dc} или переменного U_{ac} тока;
- 2) ток импульсной нагрузки i_{max} или энергия абсорбции W_{max} ;

- 3) максимальное значение рассеиваемой мощности P_{max} ;
- 4) максимальное напряжение ограничения U_C .

Номинальное напряжение переменное U_{ac} или постоянное U_{dc} – максимальное напряжение, которое должно быть приложено к варистору в постоянном, рабочем режиме. Оно может быть превышено только кратковременным импульсом перенапряжения. Напряжение $U_{dc} \approx 1,3U_{ac}$ (в некоторых источниках вместо U_{ac} указывают U_{rms}).

Величина тока перегрузки I_{max} (8/20 мкс) характеризует амплитуду и длительность импульса тока стандартной формы 8/20 мкс, который может быть приложен к варистору (или максимальный ток одиночного импульса 8/20 мкс). Форма импульсного тока 8/20 мкс изображена на рис. 1.19.

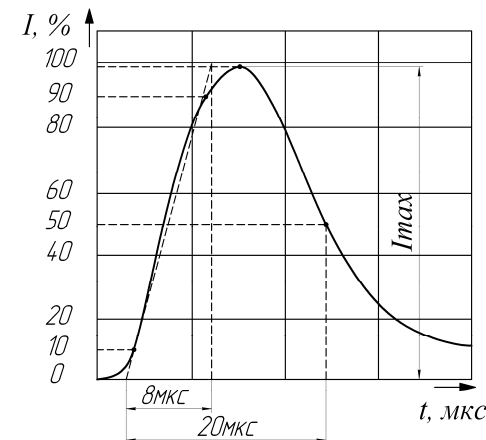


Рис. 1.19. Форма импульсного тока 8/20 мкс

Величина тока I_C характеризует квалификационный ток для 100 импульсов с периодом следования 2 импульса в минуту, не приводящий к повреждению варистора.

Энергия абсорбции W_{max} – энергия, поглощаемая (рассеиваемая) варистором при протекании через него одиночного максимального импульса тока прямоугольной формы 10/1000 мкс (или 2 мс) для варисторов фирмы EPCOS. Обычно при выборе конкретного варистора используют именно величину W_{max} , а не i_{max} (8/20 мкс). Энергия абсорбции пропорциональна i_{max} (8/20 мкс).

Максимальное значение рассеиваемой мощности P_{\max} характеризует ту максимальную мощность рассеивания, которая не приводит к повреждению варистора при температуре окружающей среды 25 °С. Эта величина, в основном определяется выбранным значением $U_{\text{дс}}$ или $U_{\text{ас}}$ и геометрическими размерами варистора, а также конструкцией выводов. Для увеличения мощности рассеивания часто применяют массивные выводы, которые играют роль своеобразного радиатора.

Максимальное напряжение ограничения U_C – максимальное кратковременное (пиковое) напряжение на варисторе при прохождении кратковременного импульса тока (квалификационного тока продолжительностью 8/20 мкс).

Различают также напряжение на варисторе при токе 1 мА. Это напряжение по российской терминологии называется квалификационным и обозначается $U_{\text{кл}}$.

При токе 1 мА на вольт-амперной характеристике варистора имеется ступенька (рис. 1.20).

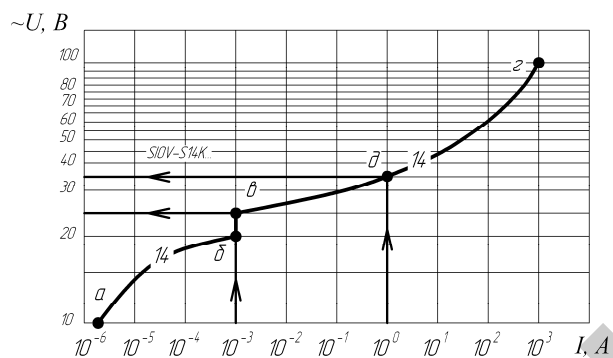


Рис. 1.20. Вольтамперная характеристика варистора типа SIOV-S14K с номинальным рабочим напряжением 14 В

Влево от ступеньки $бв$ изображается характеристика $аб$ варистора в рабочем состоянии при эксплуатации. Эта часть характеристики показывает напряжение и токи при отсутствии перенапряжений, т. е. при высоком сопротивлении варистора. Часть вольт-амперной характеристики $вг$ вправо от ступеньки $бв$ показывает максимальное напряжение на варисторе при перенапряжениях. Это состояние варистора при низком сопротивлении (при перенапряжении).

Квалификационное напряжение $U_{\text{кл}}$ соответствует началу нелинейной вольт-амперной характеристики варистора (точка $в$). Максимальное напряжение ограничения U_C соответствует максимальной величине импульса тока и находит отображение на характеристике (точка $г$ на рис. 1.20). Величина напряжений по вольт-амперной характеристике задается с некоторой точностью, обычно $\pm 10\%$ при токе 1 мА и $\pm 20\%$ при больших токах. Коэффициент нелинейности α варистора можно рассчитать, если взять значения тока $I_1 = 1 \cdot 10^{-3}$ А и $I_2 = 1$ А и определить для них по вольт-амперной характеристике значение напряжения U_1 в точке $в$ при $I_1 = 1 \cdot 10^{-3}$ А и U_2 в точке $д$ при $I_2 = 1$ А.

Коэффициент нелинейности:

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right)}{\ln\left(\frac{U_2}{U_1}\right)}. \quad (1.9)$$

Например, для приведенной на рис. 1.20 вольт-амперной характеристики $\alpha = \ln(1/10^{-3})/\ln(35/25) = 6,9078/0,3365 = 20,5$. Обычно $\alpha \approx 15-60$.

Чем больше коэффициент нелинейности α , тем лучшими защитными свойствами обладает варистор и тем менее круто поднимается вверх вольт-амперная характеристика на участке $вг$, меньше остающееся напряжение на нагрузке.

В некоторых справочных материалах указывается коэффициент защиты варистора. Это отношение напряжения на варисторе при токе 100 А к напряжению на варисторе при токе 1 мА (т. е. к квалификационному напряжению). Этот коэффициент для оксидно-цинковых варисторов равен 1,4–1,6. В то же время отношение токов равно $100/1 \cdot 10^{-3} = 10^6$ раз. Этим коэффициентом иногда пользуются для определения остающегося напряжения при токе в импульсе 100 А. Например, если квалификационное напряжение для варистора МОВС1354-230 $\pm 10\%$ 1200 А составляет 400 В, то при импульсе 100 А остающееся напряжение составит $400 \cdot (1,4-1,6) = (560-640 \text{ В}) \pm 10\%$.

Кроме перечисленных выше параметров и понятий при выборе варистора следует обращать внимание на его конструкцию и назначение. На рис. 1.21 изображен внешний вид некоторых типов варисторов, в основном, фирмы EPCOS.

В электронных устройствах используются варисторы чип – для поверхностного монтажа (рис. 1.21, а) или с выводами для навесного монтажа (рис. 1.21, б, в). В силовой электронике и в варисторных грозоразрядниках используются дисковые или накладные или блочные варисторы (рис. 1.21, г–е). Для автомобильной техники используются свои варисторы – чипы или дисковые с выводами. С конструкцией варисторов тесно связаны его параметры.

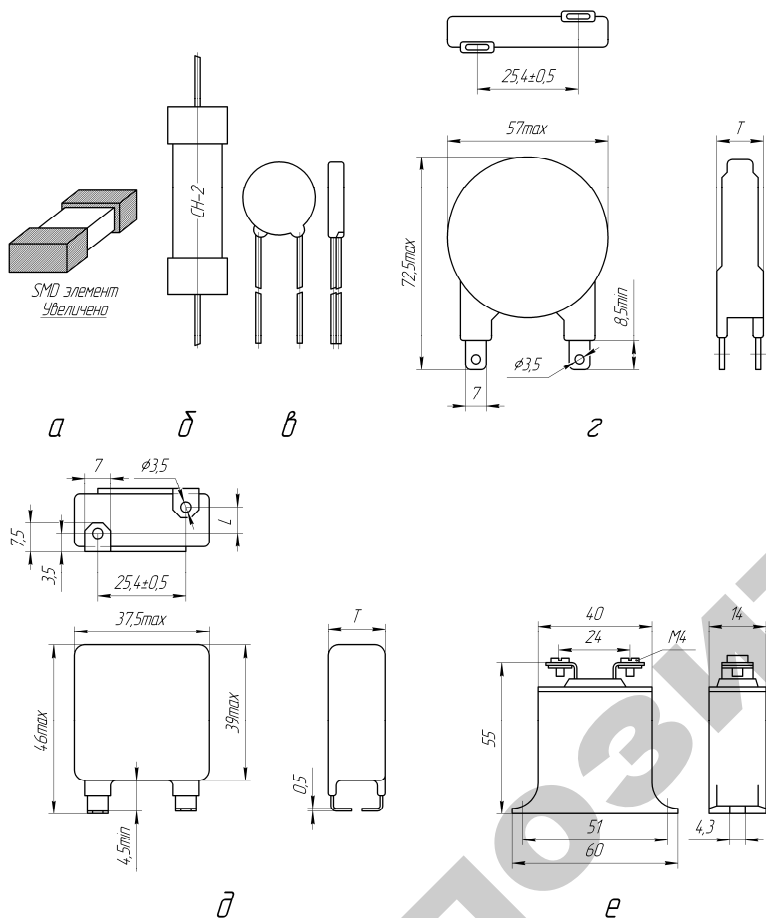


Рис. 1.21. Конструкции некоторых варисторов: а – чипов; б – цилиндрических с выводами; в – дисковых или прямоугольных с выводами; г – дисковых мощных; д – накладных; е – блочных с отдельным креплением корпуса и выводов

В табл. 1.10 приведены параметры варисторов немецкого концерна EPCOS, лидера в их производстве [13].

Таблица 1.10

Типы варисторов EPCOS и их параметры

Параметр	Группа и тип варистора							
	Чип (SMD)	Дисковые (много-слойные с эпоксидным покрытием)	Для автомобильной техники		Hi-Cap (малогоабаритные)	Силовые, в корпусе накладного типа, мощные (для тяжелых условий работы)		
			Чип (SMD)	Дисковые		SIOV-B25* SIOV-LS40	SIOV-B60	SIOV-B80
	SIOV-CN SIOV-CU	SIOV-S SIOV-SR	SIOV-CN - AUTO SIOV-CU- AUTO	SIOV-S(R)- AUTO-Д1	SIOV-SR1 SIOV-SR2			
Импульсный максимальный ток, КА	1,2	10	1	2	1	40	70	100
Максимальная энергия абсорбции, Дж	23	410	12(15)	100	12	1200	3000	6000
Максимальная рассеиваемая мощность, Вт	0,25	1	0,03	0,2	0,03	1,4	1,6	2,0

*25, 40 и т. д. – диаметр диска, мм.

Из табл. 1.10 следует, что в электронных устройствах импульсные токи имеют величину не выше 2 кА, а энергия абсорбции – не выше 100 Дж. В устройствах питания и в силовом электрооборудовании импульсные токи составляют 10–100 кА, а энергия абсорбции – от 400 до 6000 Дж, рассеиваемая мощность – 1–2 Вт.

Из табл. 1.10 также следует, что энергия абсорбции и мощность потерь варистора определяются его размерами.

В большинстве случаев выбор варисторов достаточно провести по следующим трем критериям.

1. По номинальному рабочему напряжению, с учетом возможного 10 % увеличения. При переменном токе:

$$U_{ac} \geq 1,1U_{номc}, \quad (1.10)$$

где $U_{номc}$ – номинальное напряжение сети, В.

Удобно производить выбор по квалификационному напряжению так, чтобы выполнялось условие:

$$\text{на переменном токе } U_{кл} \geq \frac{U_{номc}}{0,6}; \quad (1.11)$$

$$\text{на постоянном токе } U_{кл} \geq \frac{U_{номc}}{0,85}, \quad (1.12)$$

где $U_{кл}$ – квалификационное напряжение при токе через варистор 1 мА.

2. По энергии абсорбции варистора W_{max} :

$$W_{max} > W_{ож}, \quad (1.13)$$

где $W_{ож}$ – энергия ожидаемого импульса, Дж.

Энергия, запасенная в катушке индуктивности:

$$W_{ож} = \frac{LI^2}{2}, \quad (1.14)$$

где L – индуктивность, Гн;

I – ток катушки, А.

При однофазной нагрузке:

$$W_{ож} = \frac{Q}{w}, \quad (1.15)$$

где Q – потребляемая реактивная мощность, Вар;

w – угловая частота электромагнитного поля, c^{-1} ; $w = 2\pi f$, где $f = 50 c^{-1}$.

При номинальных параметрах индуктивной нагрузки:

$$Q = \frac{P_H}{\eta_H} \operatorname{tg} \varphi_H, \quad (1.16)$$

где P_H – номинальная мощность, Вт;

η_H – номинальный коэффициент полезного действия, о.е.;

φ_H – электрический угол между вектором тока и напряжения, град.

2. По остающемуся напряжению U_c :

$$U_c < U_{доп}, \quad (1.17)$$

где $U_{доп}$ – допустимое перенапряжение в защищаемой схеме, В.

Технические данные чип-варисторов и дисковых ПО «Монолит» приведены в табл. 1.11 [14], а варисторов российских производителей – в табл. 1.12.

Хотя варисторы имеют широкий диапазон номинальных напряжений с малым шагом, на практике точный подбор требуемого напряжения может быть обеспечен их последовательным включением. В этом случае следует учитывать, что падение напряжения на каждом варисторе пропорционально его сопротивлению. Приблизительно можно считать, что падение напряжения на варисторе пропорционально номинальному напряжению. Поглощаемая энергия находится в той же пропорции. Например, необходимо выбрать варистор на рабочее напряжение 350 В и максимальный импульсный ток 1200 А. Выбираем 2 варистора типа МОВС1354-175±10%1200А (табл. 1.11) и соединяем их последовательно.

Для получения большего пропускаемого через варистор тока можно соединять варисторы параллельно. В этом случае требуется совпадение характеристик варисторов, иначе один варистор будет перегружен, а второй – недогружен. На практике это означает, что можно применить два одинаковых варистора.

В некоторых случаях при выборе варисторов надо обращать внимание на их емкость при частоте 1 кГц (см. табл. 1.11). Она может изменяться от десятков пФ (чип-варисторы) до нескольких тысяч пФ (дисковые варисторы).

В коаксиальных линиях связи и в высоковольтных линиях передачи данных (интерфейсах) требуется использовать варисторы с минимальной емкостью. Наоборот, варисторы с емкостью 0,45–4,7 мкФ могут быть использованы для шумопоглощения. Емкость варистора не есть величина постоянная. В зоне малых токов она максимальная, при больших токах – падает до нуля.

Таблица 1.11

Параметры чип-варисторов МЧВС и дисковых варисторов МОВС ПО
«Монолит» (г. Витебск) на напряжение от 100 В

Тип	U_{ac} , В	U_{dc} , В	$U_{кл}$, В при токе 1 мА	U_c , В при 8/20 мкс	I_c , А при 0,1 I_m	W_{max} , Дж при 10/100 мкс	P_{max} , Вт	I_{max} , А при 8/20 мкс	C , нФ при 1 кГц
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
МЧВС 3225, МОВС 1153	115	150	180	300	5,0	3,6	0,1	400	160
МЧВС 4032, МОВС 1354	115	150	180	300	10,0	8,4	0,2	1200	270
МЧВС 3225, МОВС 1153	130	170	205	340	5,0	4,2	0,1	400	150
МЧВС 4032, МОВС 1354	130	170	205	340	10,0	9,5	0,2	1200	250
МЧВС 3225, МОВС 1153	140	180	220	360	5,0	4,5	0,1	400	145
МЧВС 4032, МОВС 1354	140	180	220	360	10,0	10,0	0,2	1200	240
МЧВС 3225, МОВС 1153	150	200	240	395	5,0	4,9	0,1	400	140
МЧВС 4032, МОВС 1354	150	200	240	395	10,0	11,0	0,2	1200	220
МЧВС 3225, МОВС 1153	175	225	270	455	5,0	5,6	0,1	400	130
МЧВС 4032, МОВС 1354	175	225	270	455	10,0	13,0	0,2	1200	200
МЧВС 4032, МОВС 1153	230	300	360	595	5,0	7,2	0,1	400	110
МЧВС 4032, МОВС 1354	230	300	360	595	10,0	17,0	0,2	1200	170
МЧВС 3225, МОВС 1153	250	320	390	650	5,0	8,2	0,1	400	110
МЧВС 4032, МОВС 1354	250	320	390	650	10,0	19,0	0,2	1200	160
МЧВС 3225, МОВС 1153	275	350	430	710	5,0	8,6	0,1	400	100
МЧВС 4032, МОВС 1354	275	350	430	710	10,0	21,0	0,2	1200	150
МЧВС 3225, МОВС 1153	300	385	470	775	5,0	9,6	0,1	400	90
МЧВС 4032, МОВС 1354	300	385	470	775	10,0	23,0	0,2	1200	140

Другие параметры: температурный коэффициент ТКУ, %/°C – 0,05; коэффициент нелинейности $\alpha \geq 15$; диапазон рабочих температур для варисторов МОВС – (-55...+85) °C и для варисторов МЧВС – (-55...+125) °C.

Таблица 1.12

Параметры варисторов СН2 и ВР российских производителей

U_{ac} , В	U_{dc} , В	$U_{кл}$, В, при токе I МА,	Максимальная энергия, Дж, рассеивания варисторов					
			СН2-2А	СН2-1а	СН2-2б	СН2-1в	ВР-1-1	ВР-1-2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	8	10	-	-	-	-	0,18	-
9	12	15	-	-	-	-	0,26	-
14	18	22	-	-	-	-	0,56	0,23
17	22	27	-	-	-	-	0,64	0,26
20	26	33	-	-	-	-	0,71	0,30
25	31	39	-	-	-	-	1,3	0,47
30	38	47	-	-	-	-	1,6	0,56
35	45	56	-	-	-	-	1,9	0,66
40	56	68	-	-	-	-	2,3	0,76
50	65	82	-	-	-	-	-	-
60	85	100	-	17,0	10	2,7	-	-
75	100	120	-	25,2	12	3,0	-	-
95	120	150	-	31,5	15	3,8	-	-
110	150	180	-	37,8	18	4,5	-	-
130	170	200	-	42,0	20	5,0	-	-
140	180	220	-	46,2	22	5,5	-	-
150	200	240	-	50,4	25	6,0	-	-
175	225	270	-	56,7	28	-	-	-
190	245	300	-	63,0	31	-	-	-
210	270	330	104	69,3	34	-	-	-
230	300	360	115	75,6	37	-	-	-
250	320	390	125	81,9	40	-	-	-
275	350	430	138	90,3	43	-	-	-
300	385	470	152	98,7	47	-	-	-
320	420	510	168	107	-	-	-	-
350	460	560	187	118	-	-	-	-
385	505	620	207	130	-	-	-	-
420	560	680	227	143	-	-	-	-
460	615	750	248	158	-	-	-	-
510	670	820	280	172	-	-	-	-
550	745	910	312	191	-	-	-	-
625	825	1000	247	210	-	-	-	-

Окончание таблицы 1.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
680	895	1100	385	233	-	-	-	-
750	980	1200	424	252	-	-	-	-
810	1080	1300	463	-	-	-	-	-
940	1230	1500	508	-	-	-	-	-

Варисторы МЧВС и МОВС до напряжения $U_{ac} = 40$ В имеют максимальный ток 500 А, а при напряжении от 50 до 300 В – 1200 А [14].

Расшифровка обозначения: $MX_1VCX_2X_3X_4X_5 X_6 \pm 10\% X_7A$.

X_1 – если Ч – чип; если О – дисковый;

$X_2X_3X_4X_5$ – размер;

X_6 – напряжение $U_{rms}(U_{ac})$;

X_7 – максимальный импульсный ток.

На рис. 1.22 изображен пример применения варистора для защиты от импульсных перенапряжений блока питания счетчика электроэнергии на микросхеме АД7755 [15].

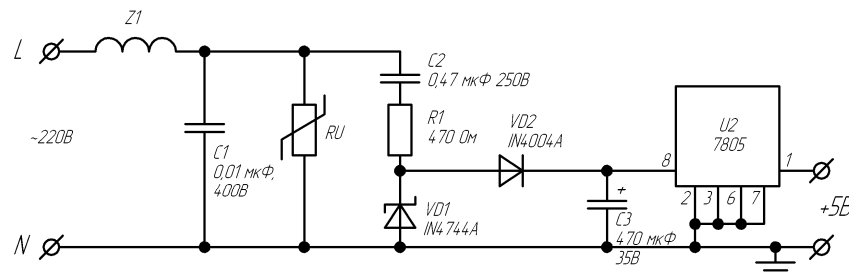


Рис. 1.22. Схема питания и защиты от импульсных перенапряжений счетчика электроэнергии на микросхеме АД7755: Z1 – дроссель на ферритовой бусинке; RU – варистор S20K275 с энергией адсорбции и 140 Дж; VD1 – ограничительный диод (супрессор) IN4744A, 15 В; U2 – интегральный стабилизатор LM 7805ACM, 5 В

1.7. Защита электронной аппаратуры от импульсных перенапряжений

По данным фирмы «SIEMENS», для электрических сетей 220 В характерны следующие значения внешних импульсных перена-

пряжений: до 6 кВ частотой 0,05–5 мГц, длительностью 0,1–100 мкс. Следовательно, в этих сетях также требуется защищать электронную технику от импульсных перенапряжений.

На вводе или в распределительных щитах должны быть установлены УЗИП классов 1 и 2 (см. рис. 1.11). Непосредственно у электронных приборов должны действовать УЗИП класса 3. Они представляют собой некоторые микросборки, содержащие в разной комбинации варисторы, терморазъединители, предохранители, дроссели, полупроводниковые ограничители напряжений (ПОН). В их состав могут входить так же светодиоды, контакты сигнализации и звуковые устройства для сигнализации о неисправности элементов защиты от перенапряжений. Большой арсенал таких устройств выпускает фирма «ОВО BETTERMANN» (Германия) и другие производители. На рис. 1.23 представлены схемы некоторых устройств защиты от импульсных перенапряжений [7].

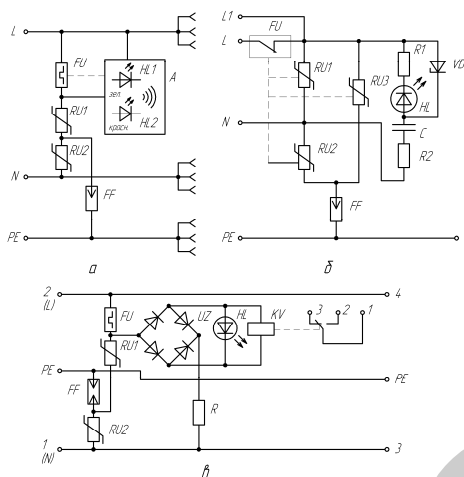


Рис. 1.23. Принципиальные электрические схемы УЗИП класса 3 «ОВО BETTERMANN» для защиты бытовой электронной техники от перенапряжений:
а – типа CNS 3-D-F; б – типа SNS-D; в – типа VF-230-AC/DC-FS

Устройство CNS 3-D-F (рис. 1.23, а) предназначено для защиты компьютера, принтера, ксерокса и т. д. от импульсных перенапряжений. Представляет собой колодку для трехштексельных розеток. В устройстве используются оксидно-цинковые варисторы RU1 и

RU2, включенные последовательно с терморазъединителем FU между фазой и нулевым проводником. Газовый разрядник FF включен между средней точкой варисторов и РЕ-проводником. Сигнальное устройство А имеет звуковой излучатель и два светодиода. При выходе из строя варистора перегорает терморазъединитель FU и срабатывает сигнальное устройство: светится красный светодиод и звучит звуковой сигнал. В нормальном режиме работы горит зеленый светодиод. Расчетное напряжение разрядника – 255 В, номинальный импульсный ток – 2,5 кА (8/20 мкс), максимальный импульсный ток – 7 кА, номинальный ток нагрузки – 16 А, уровень защиты (L-N/L/N-PE) составляет < 1000/ < 1500 В, причем 1000 В относится к симметричным перенапряжениям, а 1500 В – к асимметричным.

Еще более глубокий уровень снижения перенапряжения достигается в защитном устройстве SNS-D с тремя варисторами, предназначенном для установки во всех стандартных видах переключателей и штексельных розеток. Принципиальная электрическая схема устройства приведена на рис. 1.23, б. В этом устройстве два варистора и разрядник включены аналогично устройству, изображенному на рис. 1.23, а. Третий варистор включен между фазой и нулевым проводником. Такое включение обеспечивает более высокий уровень защиты, менее 1000 В для симметричных и асимметричных перенапряжений. Функциональная безопасность устройства обеспечивается температурным разъединителем. Индикация зеленым светодиодом означает правильную работу устройства. При возникновении неисправностей в устройстве розетка может отключаться от сети, если подключена к выводу L, или оставаться в работе, если подключена к выводу L1. Расчетное напряжение разрядника – 255 В. Номинальный импульсный ток составляет 1,8 кА, максимальный импульсный ток – 6,5 кА, номинальный ток нагрузки – 16 А. Время срабатывания – 25 нс.

Защитное устройство VF 230-AC/DC-FS (рис. 1.23, в) предназначено для лабораторий, индивидуальных домов, мастерских и монтируется в шкафу на рейке 35 мм. Подходит для сетей постоянного и переменного токов. Защитная система из газонаполненного разрядника и двух варисторов подвергается постоянному температурному контролю. Функциональный индикатор (светодиод) сигнализирует о возникновении помех или дефекта. Устройство снабжено реле с переключающим контактом для телесигнализации. Расчетное напряжение разрядника – 255 В для переменного

тока и 350 В – для постоянного тока. Номинальный импульсный ток составляет 2,5 кА, максимальный импульсный ток – 7 кА, номинальный ток нагрузки – 20 А. Уровень защиты (симметричный/асимметричный) составляет ≤ 1400 / ≤ 1060 В. Время срабатывания – 25 нс.

Для защиты электронной аппаратуры от импульсных перенапряжений часто используются *полупроводниковые ограничители напряжения (ПОН)* [16]. Они изготавливаются из селена или кремния, симметричные (двухсторонней проводимости) и несимметричные (односторонней проводимости). По принципу действия ограничители перенапряжений подобны стабилитронам, поскольку основным физическим процессом, характеризующим их работу, является пороговое появление проводимости *p-n*-перехода при определенном обратном напряжении («пробой» Зенера). Однако ограничители имеют другие параметры, конструкцию и методику испытаний. Они обеспечивают более высокий уровень допустимого тока. Ограничители рассчитаны на рассеивание энергии мощных одиночных импульсов напряжения в течение ограниченного времени.

Промышленность выпускает три разновидности ограничителей – обычные (или одиночные), симметричные и малоемкостные. Первые, составляющие более многочисленную группу, предназначены для защиты от импульсных перенапряжений цепей постоянного тока. Для защиты цепей переменного тока включают два обычных ограничителя встречно параллельно, либо один симметричный (неполярный) ограничитель. Он представляет собой пару *p-n*-переходов, включенных встречно последовательно, как у двуханодного стабилитрона. Отличить симметричный ограничитель от остальных легко – у него на корпусе нет белой полосы или знака диода, указывающих на полярность. В конце наименования симметричного ограничителя предусмотрена буква С. Малоемкостные ограничители перенапряжений предназначены для защиты высокочастотных цепей.

Вольт-амперные характеристики этих проборов подобны на характеристики стабилитронов. На ветви ограничения 0-2-1 таких приборов различают характерные точки 1 и 2 (рис. 1.24).

В точке 2 обратная (рабочая для ПОН) часть характеристики преломляется, наступает «открытое» состояние прибора. На участке 0-2 токи малые (мкА). В точке 1 – максимальное значение импульсного тока $I_{огр\ имп\ max}$ (десятки-сотни Ампер), напряжения

$U_{огр\ имп\ max}$ и мощности $P_{имп\ max}$ при заданной температуре 25 °С. Напряжение, ток и мощность в точке 1 относятся к заданной скважности и длительности импульса (обычно 1 мс). С увеличением длительности импульса в 10 раз (с 1 до 10 мс) импульсная мощность уменьшается примерно в 1,41 раза. Наоборот, с уменьшением импульса в 100 раз (с 1 до 0,01 мс) импульсная мощность увеличивается в 10 раз. Импульсная мощность при увеличении температуры окружающей среды с 25 до 80° уменьшается примерно в 2 раза.

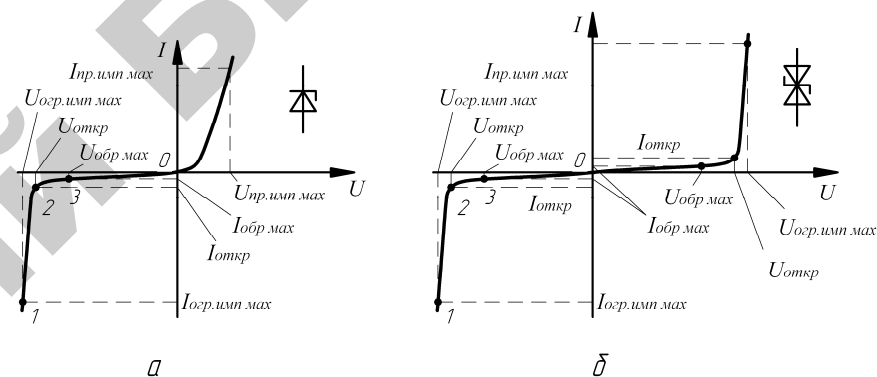


Рис. 1.24. Зависимость ток – напряжение для полупроводникового ограничителя напряжения с односторонней проводимостью (а) и двухсторонней проводимостью (б)

Основные электрические характеристики полупроводниковых ограничителей перенапряжений следующие [17]:

$U_{откр}$ – напряжение открывания (пробоя) прибора при заданном испытательном открывающем токе $I_{откр}$;

$I_{закр}$ – постоянный ток, протекающий через закрытый прибор (ток утечки) при заданном напряжении $U_{закр}$, меньшем $U_{откр}$;

$U_{раб}$ – постоянное рабочее эксплуатационное напряжение, равное $0,85U_{откр}$ и $0,81U_{откр}$ для приборов с разбросом $\pm 5\%$ и $\pm 10\%$ по напряжению $U_{откр}$ соответственно. По этому параметру выбирают требуемый ограничитель;

$I_{огр\ имп\ max}$ – пиковое значение амплитуды тока при заданных длительности, скважности и форме импульсов, а также температуре окружающей среды;

$U_{\text{огр имп max}}$ – максимальное импульсное напряжение ограничителя при максимальном импульсном токе $I_{\text{огр имп max}}$ и заданных длительности, скважности и форме импульсов, а также температуре окружающей среды;

$P_{\text{имп max}}$ – максимально допустимая импульсная мощность, рассеиваемая при заданной длительности, скважности и форме импульсов, а также температуре окружающей среды. По этому параметру выбирают требуемый ограничитель;

$I_{\text{пр}}$ – постоянный прямой ток (протекающий в обратном рабочему направлению) через ограничитель при заданном прямом напряжении $U_{\text{пр}}$.

Ограничители классифицируют по импульсной мощности при заданных параметрах испытательного импульса (зачастую для экспоненциального импульса длительностью 1 мс).

Выбирают ПОН таким образом, чтобы выполнялись условия:

$$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{раб}}; \quad (1.18)$$

$$P_{\text{ож}} \leq P_{\text{имп max}}; \quad (1.19)$$

где $P_{\text{ож}}$ – ожидаемая импульсная мощность в сети, кВт.

Для сравнения различных типов ПОН по защитным свойствам используется коэффициент ограничения:

$$K_{\text{огр}} = \frac{U_{\text{огр имп max}}}{U_{\text{откр}}}. \quad (1.20)$$

Обычно для ПОН $K_{\text{огр}} = 1,2 \dots 1,3$ (меньшее – лучше).

На рис. 1.25 изображены симметричные (двухсторонней проводимости) ПОН российских производителей.

Большая группа полупроводниковых ограничителей перенапряжений имеет обозначения КС... или 2С... [18]. Они имеют типовое напряжение открытия от 5,1 до 400 В, допустимую импульсную мощность рассеяния от 0,15 до 5 кВт.

Если в электрической сети появляются импульсы перенапряжений, энергия которых будет больше допустимой для ПОН, то он перегревается и выходит из строя. С этого момента аппаратура, включенная в сеть, оказывается незащищенной.

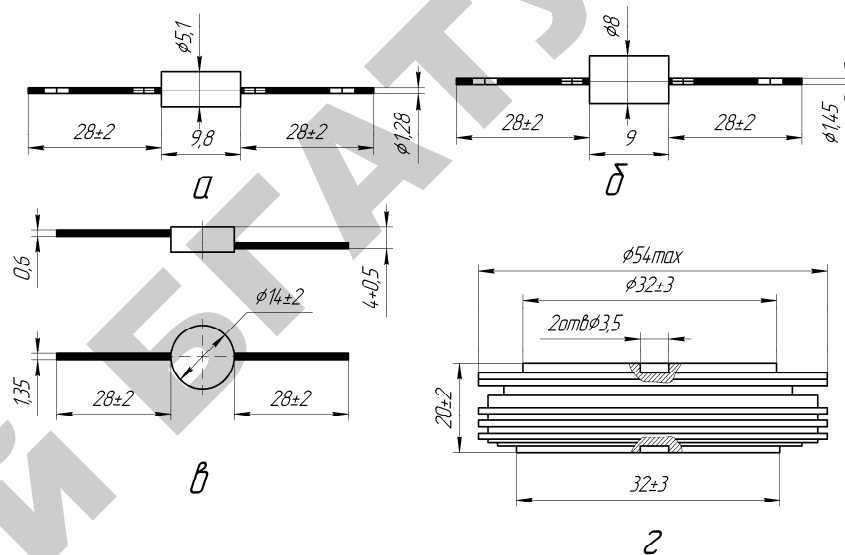


Рис. 1.25. Полупроводниковые симметричные ограничители напряжений российских производителей различной мощности: а – 1,5 и 3,0 кВт; б – 5,0 кВт; в – 10; 15; 20 кВт; г – 200 кВт, таблеточного типа ОНС 233-200 для защиты тиристорных таблеточной конструкции в мощных регуляторах или преобразователях напряжения

Существенным недостатком применения ПОН считается отсутствие информации об его работоспособности. Этот недостаток устранен в микросборках типа ЗА российских производителей (рис. 1.26), построенных на базе ПОН. Чтобы обеспечить индикацию исправного состояния симметричного ПОН, его составляют из двух обычных ограничителей, включенных встречно последовательно. К ним подключают цепь из трех светодиодов и двух токоограничивающих резисторов (см. рис. 1.26). Особенность работы индикатора исправности состоит в использовании светодиодов в нестандартном режиме.

При исправных ПОН VD1 и VD2 и положительном полупериоде напряжения сети (плюс – на верхнем проводе) ток беспрепятственно протекает через ПОН VD1, открытый в прямом направлении, и через светодиод HL1. ПОН VD2 в это время закрыт. В это время почти все сетевое напряжение прикладывается к цепи HL3R2, причем к светодиоду – в обратном направлении. Поэтому светодиод HL3 открывается в обратном направлении, ток через

него ограничивается резистором R2 до значения около 2 мА. Этого достаточно, чтобы обеспечить заметное свечение зеленого светодиода HL1. Светодиод HL2 не светится, так как к цепи HL2R1 приложено напряжение менее 3 В.

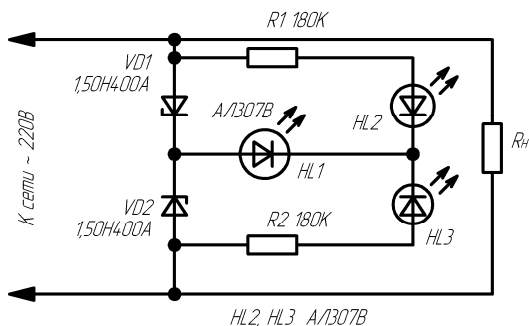


Рис. 1.26. Принципиальная электрическая схема модуля защиты от перенапряжений ЗА-О, собранного на базе ПОН VD1 и VD2

При смене полярности напряжения сети происходят те же процессы, только меняются местами VD1 и VD2, R2 и R1, HL3 и HL2. Легко видеть, что при выходе из строя (обрыве) ПОН VD1 гаснет зеленый светодиод HL1 и включается красный светодиод HL2, а при выходе из строя ПОН VD2 – красный светодиод HL3.

На рис. 1.27 изображен внешний вид микросборок ЗА российских производителей [19].

Приборы ЗА-0 имеют проволочные выводы и рассчитаны на встраивание в аппаратуру, а ЗА-1 оформлены в виде пластмассовой сетевой вилки для установки в стандартную сетевую розетку. На лицевую сторону микросборок выведены три светодиодных индикатора. Средний светодиод – зеленого свечения, светит при наличии сетевого напряжения и при исправных ПОН. Красные светодиоды (оба или один из них) включаются при выходе из строя обоих или одного ПОН.

Выпускаются микросборки ЗА-0 и ЗА-1 на напряжение открытия 400, 450, 540, 630, 720, 800 В. Они имеют разброс напряжений открытия $\pm 5\%$ и $\pm 10\%$, массу 10 г (ЗА-0) и 30 г (ЗА-1). Максимальное не открывающееся напряжение составляет 0,8 напряжения

открытия. Амплитуда рабочего напряжения не должна превышать максимального не открывающегося напряжения.

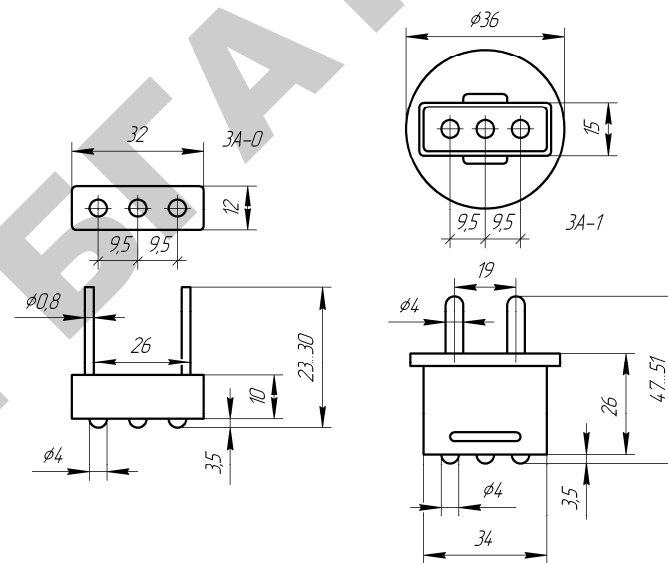


Рис. 1.27. Внешний вид и размеры микросборок ЗА-0 и ЗА-1 на базе полупроводниковых ограничителей перенапряжений

Структура обозначения микросборок ЗА-0 и ЗА-1 следующая [18]:

ЗА-Х-1,5 – YYYZ,

где Х – тип микросборки: 0 или 1;

1,5 – импульсная максимальная допустимая мощность, кВт;

YYY – напряжение открытия, В;

Z – разброс напряжения открытия, %: 5 или 10.

Описанные выше принципы и устройства защиты от перенапряжений действуют хорошо при малой продолжительности их импульсов (мкс). Но в сети могут быть выбросы перенапряжений продолжительностью от единиц миллисекунд до единиц секунд. В этом случае варисторы и ПОН перегреваются, устройство может выйти из строя. Можно этого избежать, если дополнить устройство защиты от перенапряжений быстродействующим выключателем, который отключит нагрузку при появлении продолжительных выбросов перенапряжений.

1.8. Защита средств автоматизации, линий связи и телекоммуникации от импульсных перенапряжений

Для средств автоматизации и телекоммуникации наибольшую опасность представляют наведенные перенапряжения. При разряде молнии значения тока достигают 200 кА за микросекунду, а скорость изменения напряжения – 12 кВ/мкс. Быстрое изменение тока и его высокое значение приводят к наводке в проводах и линиях вторичных токов до 5 кА с напряжением в импульсе более 10 кВ. Электропроводка систем автоматизации и телекоммуникации выполняется кабелями и проводами, проложенными обычно на большие расстояния. Поэтому размеры зон, подвергаемых грозовым разрядам, значительны. Высоковольтные высокочастотные импульсы, наведенные в проводниках датчика, способны воздействовать на сам датчик и на выходные цепи системы управления. Последние выполняются обычно с применением чувствительных микропроцессорных устройств, для разрушения которых достаточно энергии от единиц до сотен мкДж.

Для защиты средств автоматизации и линий связи используются специальные модули, содержащие газонаполненные разрядники и полупроводниковые ограничительные диоды, а так же небольшие индуктивности или резисторы для создания задержки на последовательное срабатывание газового разрядника и ограничительных диодов. Газовые разрядники отводят значительный ток в землю, а полупроводниковые ограничители напряжений ограничивают перенапряжение до допустимого уровня.

На рис. 1.28 показан импульс перенапряжений, ограниченный с помощью газового разрядника, варистора и ПОН [20].

Наименьшее остающееся напряжение обеспечивают ПОН. Газовые разрядники имеют наибольшее время срабатывания. Варисторы более быстродействующие, чем газовые разрядники, но не всегда приемлемы по стабильности. Их характеристики ухудшаются после воздействия высоковольтных импульсов предельной величины. ПОН – быстродействующие, имеют стабильные характеристики во времени, меньшие квалификационные напряжения, чем варисторы. Их недостаток – зависимость импульсного тока и импульсной мощности от температуры более 25 °С.

Варисторы имеют устойчивые параметры до температуры окружающей среды +85 °С. Варисторы дешевле ПОН. Кроме этого, в некоторых приложениях многослойные чип-варисторы имеют

меньшие габариты, чем лучшие из ПОН, специальные TVS-диоды, и могут иметь малую емкость и малое время срабатывания.

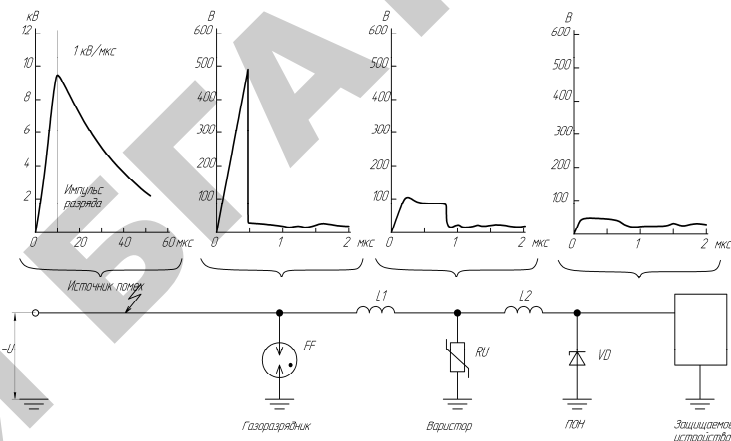


Рис. 1.28. Ограничение импульса перенапряжения с помощью последовательно включенного разрядника, варистора и ПОН

На рис. 1.29 приведены электрические схемы модуля SPB серий K-LB-2.30 и K-LB-2.30G фирмы Pepperl + Fuchs [21].

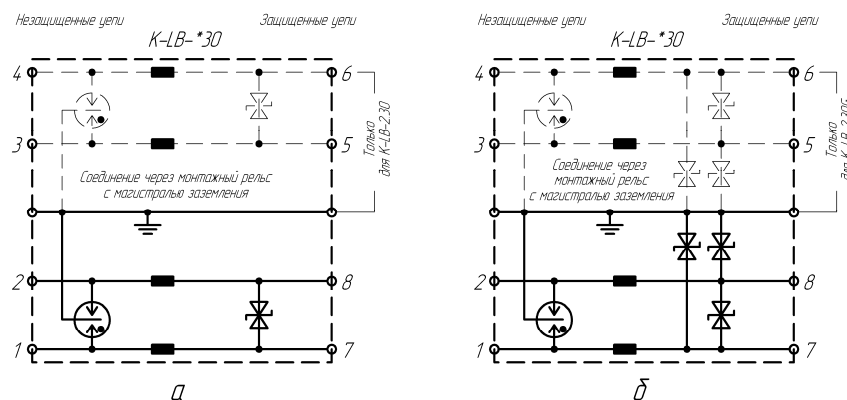


Рис. 1.29. Модули SPB серий K-LB-2.30 и K-LB-2.30G фирмы Pepperl + Fuchs защиты от перенапряжений: а – с ограничением перенапряжений между проводами; б – с ограничением перенапряжений между проводами и корпусом

Модули защиты рассчитаны на две линии. Защищают от несимметричных (между проводом и корпусом) и симметричных (между проводами) напряжений. В качестве защитных компонентов в этих модулях применяются газонаполненные трехэлектродные разрядники и ПОН. Импульсный дроссель используется как искусственная линия задержки. Это обеспечивает последовательное срабатывание газового разрядника и ПОН.

Такие модули рассчитаны на рабочее напряжение ≤ 30 В, рабочий ток линии < 250 мА. Допустимое напряжение модуля – ≤ 45 В. Они выдерживают импульсный ток 10 кА при 8/20 мкс и напряжение 10 кВ при импульсе 12/50 мкс. Модули размещены в пластмассовом корпусе и рассчитаны для монтажа на DIN-рейке.

Известны модули серии FS-LB этой фирмы, предназначенные для защиты от перенапряжений цепей датчиков и устройств управления с рабочим напряжением ≤ 48 В, допустимым напряжением ≤ 85 В. Они имеют исполнение в стальном нержавеющей корпусе для вворачивания в корпус защищаемого устройства. Известно аналогичное устройство в России под маркой TP48.

Применение модулей SPB для защиты выносных устройств систем автоматизации показано на рис. 1.30.

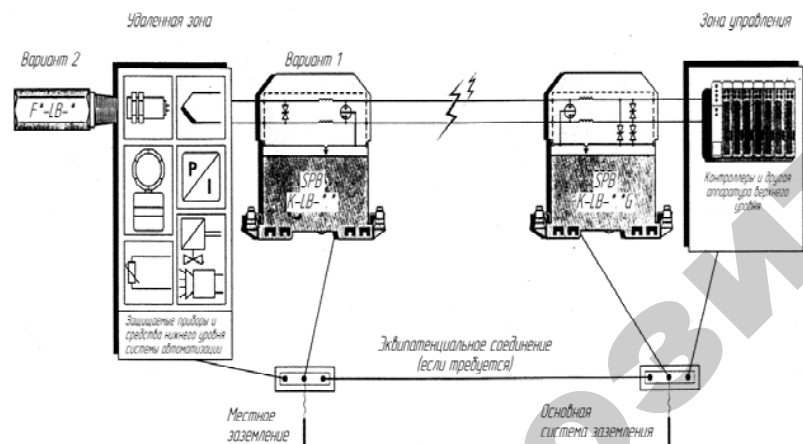


Рис. 1.30. Применение модулей SPB для защиты выносных устройств систем автоматизации от импульсных перенапряжений

Устройства нижнего уровня систем автоматизации защищаются модулями SPB серии K-LB... в стандартном исполнении, размещенными в пластмассовой оболочке (1 вариант), или серии

F-LB-... в стальном корпусе (2 вариант). Контроллеры и устройства распределенной системы управления защищены модулями SPB серии K-LB-...G, устанавливаемыми совместно с аппаратурой верхнего уровня в шкафах комплектной автоматики [21].

На рис. 1.31 изображены принципиальная электрическая схема и схема электрических присоединений устройства типа UZ-2 фирмы «Aplisens» защиты от импульсных перенапряжений в цепи питания датчиков.

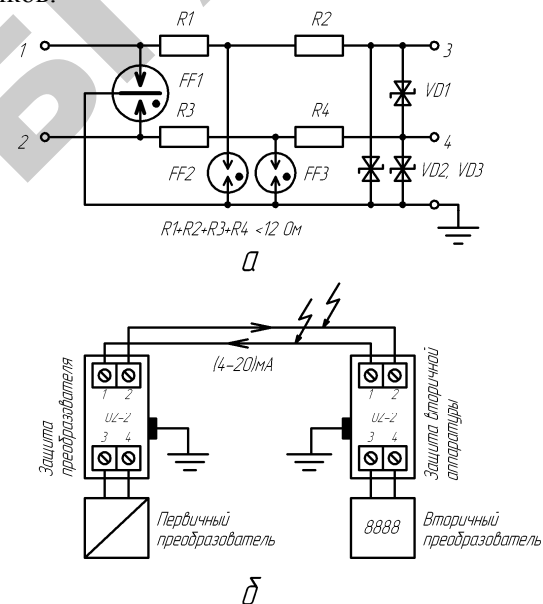


Рис. 1.31. Устройство защиты от импульсных перенапряжений типа UZ-2 фирмы «Aplisens»:

а – принципиальная электрическая схема; б – схема электрических присоединений

Устройство состоит из газовых разрядников, резисторов и диодов Зенера. Первую волну перенапряжений ограничивают газовые разрядники. Резисторы корректируют задержку времени на включение в работу диодов Зенера. Напряжение на диодах Зенера составляет около 43 В. Защищаются от перенапряжений оба провода линии связи независимо друг от друга.

Максимальный рабочий ток устройства – 150 мА, максимальное рабочее напряжение постоянного тока – 36,5 В.

При проектировании надежного средства от перенапряжений следует применять несколько элементов защиты от перенапряжений одновременно: разрядники, варисторы, стабилитроны. Например, газовый разрядник устанавливается в начале схемы и принимает на себя основной разряд высокого напряжения. Индуктивности L1 и L2 позволяют обеспечить временные задержки. Установленный варистор вступает в действие позже и еще глубже защищает схему от остающегося напряжения. С некоторой задержкой в действие вступает ограничительный диод. Он поддерживает еще меньший уровень напряжения. Таким образом, электронная схема будет защищена от быстрых высоковольтных перенапряжений (срабатывают газовый разрядник и варистор) и от небольших перенапряжений (срабатывает ограничительный диод).

Из приведенных выше примеров видно, что в устройствах защиты от перенапряжений широко применяются *разрядники*.

Работа газовых разрядников основана на законах Пашена и Столетова. Закон Пашена гласит: пробой газа происходит для каждого газа при определенном, характерном для него, отношении напряженности поля к давлению.

Закон Столетова: максимальный ток наблюдается для исследуемого газа всегда при одном и том же отношении напряженности поля E к давлению p :

$$E/p = c, \quad (1.21)$$

где c – константа Столетова.

Поскольку напряженность поля E есть напряжение U , прикладываемое к электродам, деленное на расстояние между электродами d , то формула (1.21) примет вид:

$$U = c \cdot p \cdot d. \quad (1.22)$$

Законы Пашена и Столетова объясняются тем, что при малом давлении велика длина свободного пробега электронов, вследствие этого электронные лавины образуются при меньших напряжениях [22].

Из формулы (1.22) следует, что напряжение пробоя газового разрядника зависит от вида газа (c), от давления газа (p) и расстояния между электродами (d). Именно эти параметры используются при конструировании газовых разрядников.

Газовый разрядник имеет четыре состояния: 1) высокого сопротивления (10 ГОм) при напряжении, ниже пробивного; 2) при напряжении пробоя, которое переходит в тлеющий разряд (третье состояние, при токах примерно до 0,5 А) или в дуговой разряд (четвертое состояние, при больших токах и напряжении 35–10 В, рис. 1.32).



Рис. 1.32. Рабочие состояния газового разрядника

Основные конструкции газовых разрядников изображены на рис. 1.33.

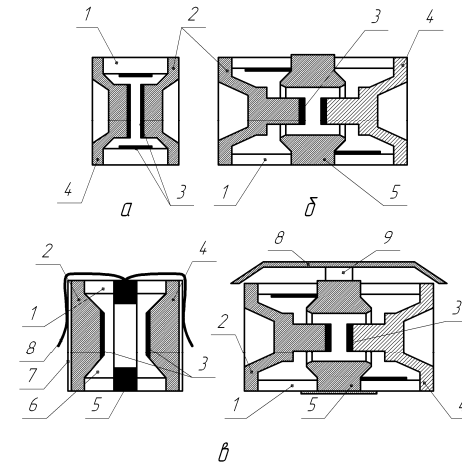


Рис. 1.33. Конструкция двухэлектродного разрядника (а), трехэлектродного с замыкающей пружинной скобой (б): 1 – керамический корпус; 2, 4, 5 – электроды; 3 – катализатор; 6 – инертный газ; 7 – термопленка; 8 – термозамыкатель; 9 – оловянное или пластмассовое термокольцо

Внутри герметичного керамического корпуса находятся электроды, выполненные из сплава на основе никеля. Между ними располагается разрядное пространство, заполненное газом (обычно смесью аргона и неона). Там же находится вещество, которое называется катализатор, способствующее возникновению и стабилизации дугового разряда. Газовые разрядники с замыкающей пружинной скобой имеют термопленку, или кольцо оловянное, или пластмассовое, плавящееся при 180 °С (олово) или 260 °С (пластмасса). При этом пружинная скоба замыкает электроды. Это происходит при перегреве газового разрядника.

Широко известны газовые разрядники EPCOS [13]. Они изготавливаются двух- и трехэлектродные (рис. 1.34).

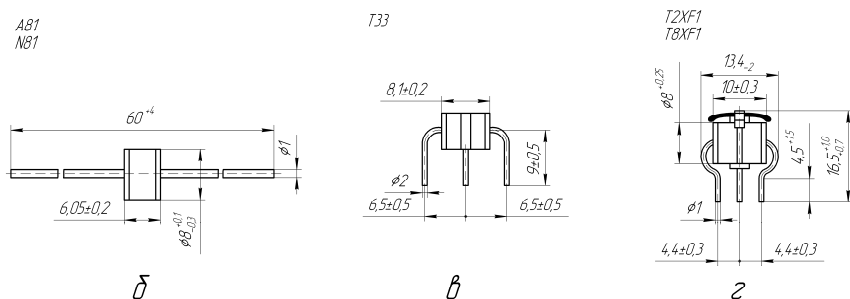


Рис. 1.34. Внешний вид и габаритные размеры некоторых типов газовых разрядников фирмы «EPCOS»: а – двухэлектродных газовых разрядников; б – трехэлектродных; в – трехэлектродных с термозамыкателем

Двухэлектродные разрядники миниатюрной серии ($\phi 5 \times 5$ мм или $\phi 5,5 \times 5$ мм) изготавливаются на напряжение пробоя (постоянное) 75, 90, 230, 300, 350, 400, 600 В ± 20 % и токи импульсного разряда 2,5 или 5 кА (8/20 мкс) и разрядный ток 2,5 или 5 А при частоте 50 Гц продолжительностью 1 с. Они обозначаются 2,5 кА/2,5 А или 5 кА/5 А. Разрядники мощные ($\phi 8 \times 6$ мм) изготавливаются на токи 10 кА/10 А или 20 кА/20 А и напряжения 90, 150, 230, 250, 350, 500 и 600 В ± 20 %. Высоковольтные разрядники ($\phi 8 \times 8$ мм) выпускаются на напряжение пробоя (постоянное) 800, 1000, 1400, 1600, 2000, 3500, 4500 В и имеют токи 10 кА/10 А или 2,5 кА/2,5 А.

Трехэлектродные разрядники EPCOS изготавливаются на напряжения пробоя (постоянные) 90, 150, 230, 350, 420, 600, 620, 650 В при импульсных токах 5 кА/5 А, 10 кА/10 А, 10 кА/30 А, 20

кА/20 А, 20 кА/10 А. Встречаются серии газовых трехэлектродных разрядников с пружинной замыкающей скобой (рис. 1.33, з).

Более подробные данные приводятся в каталогах, например, в [23]. Различают также напряжение пробоя импульсное, при скорости подъема 100 В/мкс (оно во много раз больше напряжения пробоя постоянного), и напряжение пробоя импульсное 1000 В/мкс (оно больше, чем при 100 В/мкс). Очень важны еще два параметра: импульсный разрядный ток (кА) при импульсе 8/20 мкс и выдерживаемый разрядный ток (А) при частоте 50 Гц в течение 1 с. Записываются эти токи через черту, например, 5 кА/5 А. Чем больше эти токи, тем лучше. В технических данных приводятся: сопротивление изоляции разрядника (1 или 10 ГОм); емкость (не более 1; 1,5; 10 пФ); диапазон рабочих температур (-40...+90 °С).

В обозначении разрядников EPCOS указывается серия и через дефис – напряжение пробоя (постоянное), например, А61-230Х, где 230 – напряжение пробоя (постоянное).

Выбираются газовые разрядники по условию:

$$1,41 U_{нс} < U_{пр п}; \quad (1.23)$$

$$I_{имп разр} > I_{имп ож}, \quad (1.24)$$

где $U_{нс}$ – действующее напряжение в сети, В;

$U_{пр п}$ – напряжение пробивное (постоянное) разрядника, В;

$I_{имп разр}$ – импульсный (8/20 мкс) разрядный ток, кА;

$I_{имп ож}$ – импульсный ожидаемый ток в цепи, кА.

На рис. 1.35 изображены основные схемы включения двухэлектродных и трехэлектродных газовых разрядников, в том числе с пружинной замыкающей скобой и РТС-термисторами (самовосстанавливающимися предохранителями) [24]. Включение РТС-термисторов позволяет защитить линию от токовой перегрузки и скоординировать работу разрядника.

Большинство современных мультимедийных и цифровых приборов (компьютер, модем, тюнер спутникового ТВ, видеомагнитофон, камера) имеют общую черту – они имеют интерфейсные разъемы (входы и выходы), которые соединяются кабелями с другими приборами. Внешний интерфейс может стать причиной наводок и импульсных перенапряжений. Поэтому устройства цифровой техники обязательно должны быть защищены от очень быстрых электрических и других видов воздействий. Здесь важно иметь быстроедействующие средства защиты от перенапряжений [25].

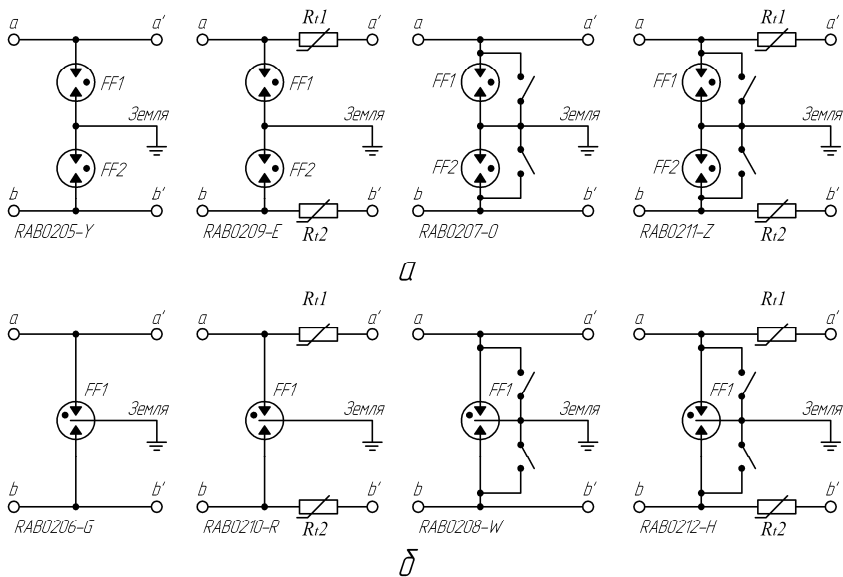


Рис. 1.35. Принципиальные электрические схемы включения двухэлектродных газовых разрядников (а) и трехэлектродных газовых разрядников (б)

Таковыми являются *быстродействующие супрессор-диоды* или TVS-диоды с рассеивающей импульсной мощностью от десятков до нескольких тысяч Вт, по сути те же ПОН, но очень быстродействующие (пикосекундный диапазон быстродействия). Например, такими являются ограничительные диоды торговой марки TRANSIL™ (transient voltage suppressor diode) фирмы STMicroelectronics. Они изготавливаются на напряжение ограничения от 5 до 376 В и имеют рассеивающую мощность от 80 Вт до 5 кВт. Такие диоды бывают однонаправленными (рис. 1.36, а) и двухнаправленными (рис. 1.36, б). Последние представляют собой составной прибор, содержащий два однонаправленных и включенных встречно диода. Выпускаются в виде чип-диодов для поверхностного монтажа серий SMA..., SMB..., SMC... импульсной мощностью 400, 600 и 1500 Вт и в отдельных корпусах с теплоотводом серий BZW... и др.

Такие диоды выбираются по рабочему напряжению и импульсной мощности так же, как и ПОН. Эти параметры зашифрованы в

обозначении. Диоды серии BZW $x_1x_2 - x_3x_4$ (В) имеют расшифровку:

x_1x_2 – импульсная мощность, Вт, (если число x_1x_2 умножить на 100);

x_3x_4 – рабочее напряжение диода, В; «В» означает – двунаправленный.

Например, запись супрессор-диода BZW 06-5,8(В) означает: импульсная мощность $0,6 \times 100 = 600$ Вт; рабочее напряжение – 5,8 В; В – двунаправленный.

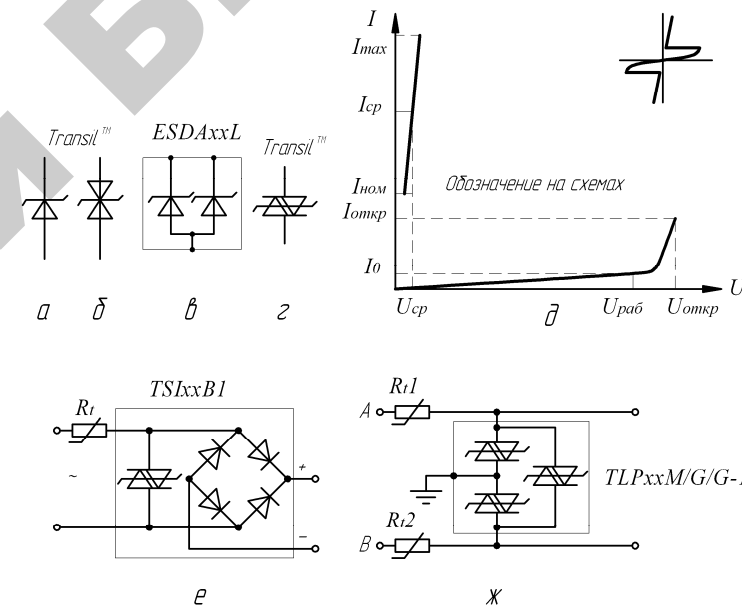


Рис. 1.36. Элементы защиты от импульсных перенапряжений линий связи в системах автоматизации и линий телекоммуникации:

а – супрессор-диод однонаправленный; б – супрессор-диод двухнаправленный; в – сборка супрессор-диодов; г – супрессор-динистор; д – вольт-амперная характеристика элемента SiBar; е – сборка TSI защиты абонентского оборудования; ж – сборка супрессор-динисторов для замены газоразрядников в абонентских линиях

На базе диодов TRANSIL™ изготавливаются сборки диодов (рис. 1.36, в) серии ESDAxL (от 2 до 18 в одном корпусе с общим

анодом или катодом), где x – напряжение рабочее. Например, микросборка ESDA5,3L обеспечивает рабочее напряжение 5,3 В.

Известны также супрессор-диодные элементы защиты по напряжению, в основе работы которых лежат свойства супрессор-диодов. Например, приборы торговой марки TRISIL™, предназначенные для защиты от перенапряжений чувствительного электронного оборудования (рис. 1.36, *з*).

Они представляют собой двухнаправленные приборы с двумя состояниями, до определенного значения напряжения работающие в оба направления как стабилитроны, а далее, при незначительном увеличении тока, лавинообразно уменьшающие сопротивление до единиц или десятков Ом, ограничивая импульс перенапряжения. Они устанавливаются параллельно защищаемой схеме.

Похожие свойства имеют приборы SiBar, разработанные фирмой «Raychem Circuit Protection». Приборы SiBar типа TVB имеют высокое (свыше 1 ГОм) сопротивление в рабочем состоянии и, таким образом, не препятствуют функционированию цепи. Когда превышено напряжение открывания $U_{откр}$, устройство SiBar переходит в низкоомное состояние, шунтируя нагрузку (рис. 1.36, *д*). В таком состоянии находится SiBar до тех пор, пока ток, протекающий через устройство, не станет ниже номинального значения, при котором элемент возвращается к высокому сопротивлению.

Приборы SiBar типа TVB имеют в обозначении цифры, обозначающие максимальное рабочее напряжение $U_{раб}$, которое в 1,3–1,6 раз меньше напряжения открытия $U_{откр}$. Для этих приборов минимальный ток $I_{ном}$ открытого состояния составляет 150 мА, среднее напряжение $U_{ср}$ в открытом состоянии – 4 В.

На рис. 1.36, *е* показан прибор торговой марки TSIxxB1, содержащий супрессор-диод TRISIL™ и выпрямитель. Такие приборы предназначены для защиты телекоммуникационного оборудования по току и напряжению. Защиту по току обеспечивает самовосстанавливающийся предохранитель R_i .

На рисунке 1.36, *ж* показано подключение микросборки торговой марки TLP..., имеющей три супрессор-диода, предназначенной для замены газовых разрядников при защите оборудования абонентских телефонных линий от перенапряжений. В этой схеме важную роль играют самовосстанавливающиеся предохранители R_{i1} и R_{i2} . Обычно эта микросборка используется совместно с газо-

выми разрядниками. Рассмотрим поведение простейшей защитной цепочки (рис. 1.37).

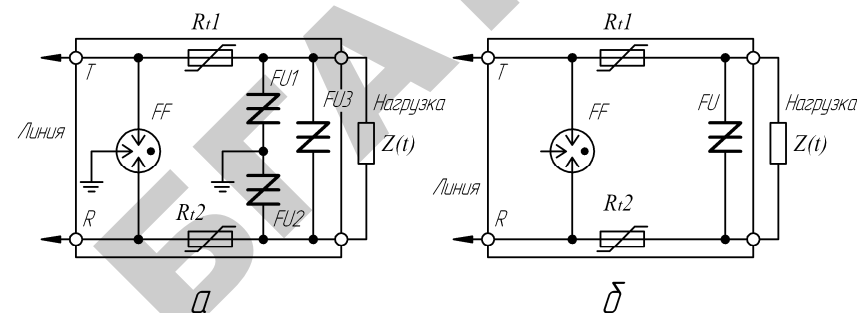


Рис. 1.37. Координация первичной и вторичной защит от импульсных перенапряжений в схемах с заземлением (*а*) и без заземления (*б*) с использованием тиристорных SiBar (FU) и самовосстанавливающихся предохранителей PolySwitch (R_i)

В качестве элемента первичной защиты от перенапряжений в схеме (рис. 1.37) используются двухэлектродные разрядники, выпускаемые фирмами Siemens или Raychem, а в качестве вторичной защиты – полупроводниковые ограничители перенапряжений SiBar, выпускаемые фирмой Raychem [25].

Между первичной и вторичной защитами от перенапряжения устанавливаются самовосстанавливающиеся предохранители PolySwitch. Они играют двойную роль. Во-первых, обеспечивают защиту линии от перегрузки по току. Во-вторых, выполняют координирующую миссию, обеспечивая координацию (влияние) вторичной защиты от перенапряжений на срабатывание первичной.

Рассмотрим работу схемы, состоящей из разрядника с номинальным напряжением 400 В, самовосстанавливающегося предохранителя PolySwitch с начальным сопротивлением 6,7 Ом и SiBar – тиристорного элемента защиты с напряжением срабатывания 170 В, в качестве вторичной защиты по напряжению [25].

Допустим, что данная цепочка подвергается грозовому разряду. Последний модулируется напряжением 4000 В и длительностью 700 мкс, с фронтом нарастания импульса перенапряжения 10 мкс.

Первым (за время порядка 1 мкс) на такое воздействие среагирует тиристорный SiBar. Через 5 мкс он будет полностью открыт.

Все это время будет возрастать ток через PolySwitch, отчего будет возрастать на нем и напряжение. Возрастание напряжения на нем через несколько микросекунд приводит к «поджигу» разрядника – срабатывает первичная защита по напряжению. В результате срабатывания газонаполненный разрядник гасит опасную энергию газового разряда и возвращается к нормальной работе.

Таким образом, самовосстанавливающийся предохранитель Poly-Switch играет координирующую роль в этой схеме. Он координирует работу тиристорного SiBar и разрядника. Одновременно он защищает цепи от токовых перегрузок. Такая схема защиты эффективна и получила широкое распространение.

1.9. Защита от заноса высоких потенциалов в здание

Для обеспечения электробезопасности и защиты от заноса высоких потенциалов в здание должна быть предусмотрена основная система уравнивания потенциалов на вводе в него и дополнительно установлена внутри системы уравнивания потенциалов.

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части (рис. 1.38):

- 1) нулевой защитный проводник 4 (РЕ или PEN-проводник питающей линии в системе TN);
- 2) заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки (в системах IT и TT);
- 3) заземляющий проводник 13, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);
- 4) металлические трубы 15 коммуникаций, входящих в здание: водоснабжение, канализации, отопления, газоснабжения и т. п. Если трубопровод имеет изолированную вставку на вводе в здание, то к основной системе уравнивания потенциалов присоединяется только часть трубопровода, находящаяся относительно вставки со стороны здания;
- 5) металлические части каркаса здания;
- 6) металлические части 12 централизованных систем вентиляции и кондиционирования. При наличии децентрализованных систем вентиляции и кондиционирования металлические воздуховоды следует присоединять к шине РЕ щитков питания вентиляторов и кондиционеров;

7) заземляющие устройства 3 систем молниезащиты 2-й и 3-й категории;

8) заземляющий проводник 11 функционального (рабочего) заземления, если такое имеется и отсутствуют ограничения на присоединение сети рабочего заземления к заземляющему устройству защитного заземления;

9) металлические оболочки телекоммуникационных кабелей [26].

Все указанные выше части должны быть присоединены к главной заземляющей шине (ГЗШ) при помощи проводников 3, 11, 13, 16 (рис. 1.38) системы уравнивания потенциалов.

Система дополнительного уравнивания потенциалов должна соединять между собой все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические части строительных конструкций здания, а также нулевые защитные проводники в системе TN и защитные проводники в системах IT и TT, включая защитные проводники штепсельных розеток [26].

Для уравнивания потенциалов используются специально предусмотренные проводники.

Заземляющий проводник, присоединяющий заземлитель рабочего (функционального) заземления к главной заземляющей шине, должен иметь сечение не менее: 10 мм² – для меди; 16 мм² – для алюминия; 75 мм² – для стали.

Главная заземляющая шина должна быть, как правило, медная (допускается стальная), но не алюминиевая. Ее сечение должно быть не менее сечения РЕ или PEN-проводника питающей линии.

Наименьшее сечение защитных проводников (РЕ) связано с сечением проводников (из одного и того же материала) следующими соотношениями:

при сечении фазных проводников ≤ 16 мм² сечение защитных проводников равно фазному;

при сечении фазных проводников $16 \leq S \leq 5$ мм² сечение защитного проводника равно 16 мм²;

при сечении фазного проводника $S > 35$ мм² сечение защитного проводника равно $S/2$.

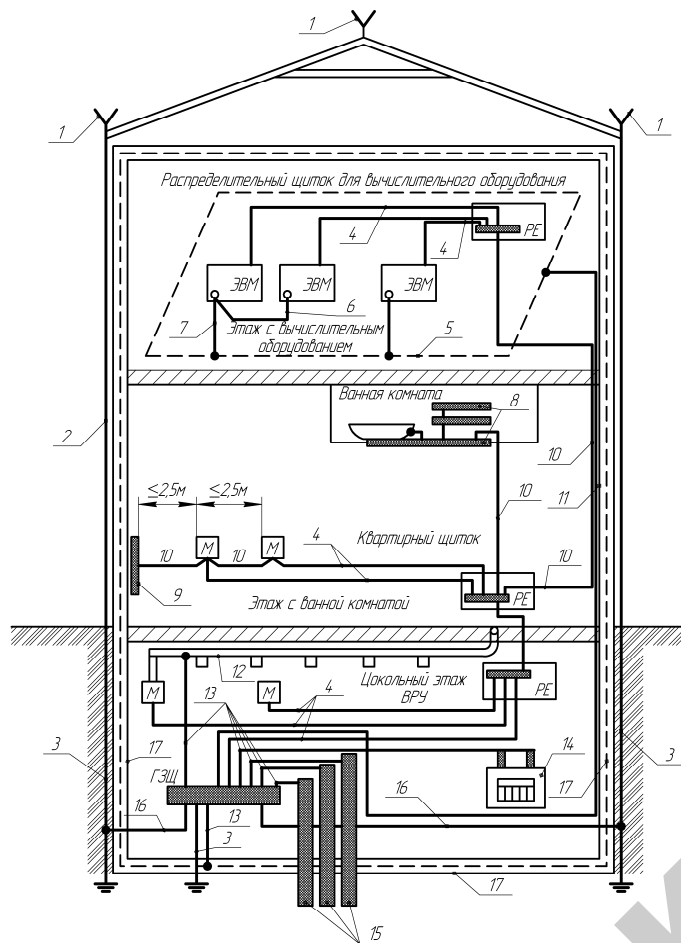


Рис. 1.38. Система уравнивания потенциалов в здании:

1 – молниеприемник; 2 – токоотвод системы молниезащиты; 3 – заземляющий проводник; 4 – нулевой защитный проводник; 5 – контур (магистраль) рабочего заземления в помещении с информационным оборудованием; 6 – проводник выравнивания потенциалов в системе рабочего (функционального) заземления; 7 – проводник рабочего (функционального) заземления; 8 – металлические водопроводные трубы в ванной комнате; 9 – сторона проводящая часть в пределах досягаемости открытых проводящих частей; 10 – проводник дополнительной системы уравнивания потенциалов; 11 – проводник рабочего (функционального) заземления; 12 – металлический воздуховод; 13 – проводник основной системы уравнивания потенциалов; 14 – система отопления с трубопроводами; 15 – металлические трубы водопровода, канализации и газоснабжения с изолированной вставкой на вводе; 16 – проводник связи ГЗШ с заземлением молниезащиты; 17 – металлические части каркаса здания; ГЗШ – главная заземляющая шина; ВРУ – вводно-распределительное электрическое устройство

Медные защитные проводники, не входящие в состав кабеля, или проложенные не в общей оболочке (трубе, коробе, на одном лотке) с фазными проводниками должны быть не менее: $2,5 \text{ мм}^2$ – при наличии механической защиты; 4 мм^2 – при отсутствии механической защиты.

Сечение отдельно проложенных алюминиевых защитных проводников должно быть не менее 16 мм^2 [26].

В многофазных цепях в системе TN для стационарно проложенных кабелей, жилы которых имеют сечение не менее 10 мм^2 по меди, или 16 мм^2 по алюминию, функции нулевого защитного (PE) и нулевого рабочего (N) проводников могут быть совмещены.

Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника электроустановки, если сечение проводника уравнивания потенциалов не превышает 25 мм^2 по меди (или равноценное ему из других материалов). В любом случае оно должно быть не менее: 6 мм^2 – для меди; 16 мм^2 – для алюминия; 50 мм^2 – для стали.

Более обширная информация об устройстве системы выравнивания потенциалов в здании изложена в ПУЭ, издание 7 [26].

1.10. Комплексная защита от импульсных перенапряжений офисного оборудования здания

Потребители электрической энергии в жилых и ведомственных зданиях должны иметь надежную комплексную защиту от перенапряжений. Такая защита должна иметь пять зон:

1 – внешнюю защиту (молниезащиту на вводе или ближайшей опоре);

2 – внутреннюю первую (на вводном устройстве);

3 – внутреннюю вторую (на распределительных пунктах);

4 – внутреннюю третью (на низковольтных комплексных устройствах или у силового электрооборудования);

5 – дополнительную четвертую непосредственно у потребителей, имеющих электронное оборудование.

Для зданий с малым числом электроприемников зоны 2, 3 и 4 могут быть объединены. При отсутствии электронных устройств зоны 5 может не быть.

В основу комплексной (системной) защиты от перенапряжений электрооборудования жилых и ведомственных зданий должен

быть положен принцип искусственного, за счет средств защиты, понижения уровня перенапряжения от ввода до потребителя. Аналогично снижаются по величине импульсные токи защитных устройств.

Защита от импульсных перенапряжений офисного оборудования здания изображена на рис. 1.39. Представлено двухэтажное здание из восьми помещений. В цокольном этаже размещены следующие помещения: I – теплоузел; II – комната с оборудованием для Интернета; III – электрощитовая.

На первом этаже размещены комнаты IV и V пользователей Интернета. На втором этаже – ванная комната VI и производственные комнаты VII и VIII.

Предположим, что для данного здания запроектирована системная защита от импульсных перенапряжений фирмы «PHOENIX-CONTACT».

В электрощитовую введены электрический, телефонный и телевизионный кабели. Во вводном устройстве устанавливается самый мощный (для данного здания) искровой разрядник 1 (цифра в кружке) торговой марки «FLASHTRAB», типа FLT на 25 кА. Поскольку от вводного щитка электрическая линия идет к распределительным этажным щиткам, то в каждом этажном щитке устанавливается блок защиты от перенапряжения «VALVETRAB» с оксидно-цинковыми варисторами (цифра 2 в кружке).

От первого распределительного щитка UV1 проложены в комнату II и I электрические кабели. На вводах силового оборудования в эти комнаты устанавливаются элементы внутренней второй зоны защиты от перенапряжений (цифра 7 в кружке) «MAINS-MODU-TRAB», типа MT-2PE/S-230AC.

От второго распределительного щитка UV2 электрические кабели приходят к розеткам. У розеток устанавливается адаптер гнезда защиты «MAINTRAB-SFP-TRAB» (цифра 5 в кружке), блок защиты от перенапряжений и интерференционный фильтр SFP1-10.

В комнате V устанавливается устройство защиты для установки в коммутационные панели, включающие розетки внутреннего монтажа, вставку со световой индикацией PRT-S-230/Фм и вставку со световой и звуковой индикациями PRT-S/A-230/Фм. У телекоммуникационного оборудования устанавливается комбинированная (с защитой) розетка «COMBITRAB» для линии питания и ISDN интерфейса типа СВТ-2М-2ISDN (цифра 8 в кружке на рисунке).

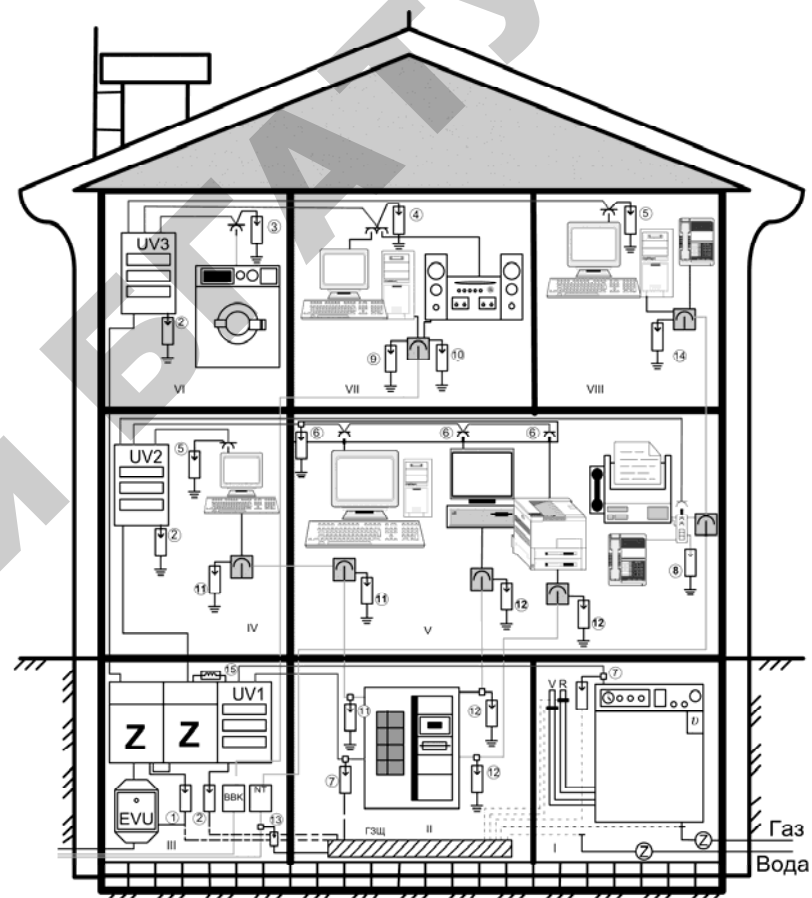


Рис. 1.39. Комплексная защита от перенапряжений современного электро- и телекоммуникационного (офисного) оборудования на базе устройств фирмы «PHOENIX CONTACT»: I – теплоузел; II – комната для интернет-оборудования; III – щитовая; IV и V – интернет-комнаты; VI – ванная; VII и VIII – производственные комнаты; 1 – грозоразрядник, 1 фаза, «FLASHTRAB»; 2 – УЗИП, 1 фаза, модуль «VALVETRAB»; 3 – гнезда защиты устройств со световым и звуковым предупреждением «SOCKETRAB»; 4 – гнезда защиты со световым и звуковым предупреждением «COMBITRAB»; 5 – адаптер гнезда защиты «MAINTRAB/SFP-TRAB»; 6 – защита устройств для установки в коммутационные панели и кабельные окончания «MAINS-PRINTRAB»; 7 – односекционный модуль защиты «MAINS-MODU-TRAB»; 8 – защита телекоммуникационного оборудования «COMBITRAB»; 9 – адаптер защиты для входа телевизионной антенны «COAXTRAB C-TV»; 10 – адаптер защиты для входа радиоантенны «COAXTRAB C – RF»; 11 – защита от перенапряжений для TOKEN-RING DATA-TRAB/WESTERNTRAB»; 12 – защита от перенапряжений для Ethernet «DATATRAB/WE-STERN-TRAB»; 13 – защита от перенапряжений Uko «PLUGTRAB»; 14 – защита от перенапряжений для ISDN «DATATRAB/WESTERNTRAB»; 15 – индуктивность для развязки грозоразрядника и устройства защиты от перенапряжений «L-TRAB»

От третьего распределительного щитка UV3 первый электрический кабель питает розетку, предназначенную для включения стиральной машины. Здесь устанавливается гнездо защиты «SOCETTRAB» со звуковым и световым предупреждениями срабатывания узла защиты.

В комнате VII устанавливаются две розетки и гнездо защиты «SOCETTRAB» со звуковым и световым предупреждениями и интерференционным фильтром. В комнате VIII электрический кабель заканчивается адаптером гнезда защиты «MAINTRAB/SFP-TRAB», имеющим также интерференционный фильтр для снижения высокочастотных помех. Возле теле- и радиоприемников (комната VII) устанавливаются адаптер «COAXTRAB C-TV» защиты для входа телевизионной антенны и адаптер «COAXTRAB C-PF» – для входа радиоантенны.

По информационным входам для Ethernet, Tokenring и ISDN устанавливаются специальные, предназначенные для них средства защиты (цифры 11, 12, 14 в кружках на рисунке 1.39).

Обратите внимание, что все корпуса электрооборудования и трубопроводы присоединены к общей заземляющей шине в комнате II. Металлические корпуса телекоммуникационных устройств присоединены к проводу PE, проложенному совместно с кабелем или отдельно, образуя контур заземления. Второй конец провода PE присоединяется к общей заземляющей шине.

2.11. Контрольные вопросы и задачи

1. Что называется перенапряжением в электротехническом устройстве?
2. Чем опасны перенапряжения?
3. Чем отличаются импульсные перенапряжения от временных перенапряжений?
4. Чем отличаются внешние перенапряжения от внутренних перенапряжений?
5. В чем состоят защитные действия молниеотвода?
6. Из каких элементов состоит молниеотвод?
7. В чем состоит разность между внешней молниезащитной системой и внутренней?
8. Нарисуйте зону 100 % поражения и зону защиты одиночного стержневого молниеотвода?
9. Какая зона защиты в помещении более защищает от перенапряжений, первая или третья?

10. Какие сечения должны иметь соединительные проводники из меди, алюминия и стали в системе уравнивания потенциалов здания, если через них будет протекать 25 % тока молнии?

11. Как расшифровать сопротивление «УЗИП»? Какие элементы составляют УЗИП для электроустановок зданий?

12. Объясните понятие «УЗИП коммутирующего типа».

13. Объясните понятие «УЗИП ограничивающего типа».

14. Объясните конструкцию УЗИП типа искрового разрядника.

15. Объясните конструкцию УЗИП варисторного типа.

16. Какие бывают категории стойкости электрооборудования к перенапряжениям?

17. Какие значения номинальных импульсных выдерживаемых напряжений соответствуют категориям стойкости электрооборудования к перенапряжениям?

18. На какие классы делятся УЗИП?

19. Где устанавливаются УЗИП классов 1, 2, 3?

20. Какая связь существует между категориями стойкости изоляции электрооборудования к импульсным перенапряжениям и классами УЗИП?

21. Нарисуйте схему включения УЗИП для защиты от синфазных (продольных) перенапряжений.

22. То же, но для противофазных (поперечных) перенапряжений.

23. Нарисуйте принципиальную электрическую схему включения УЗИП в сеть TN-C-S.

24. То же, в сеть TN-S.

25. Какую наименьшую величину должно иметь наибольшее длительное допустимое рабочее напряжение УЗИП в сети 380/220 В?

26. В каком случае требуется устанавливать разделительные дроссели между УЗИП разных классов?

27. Можно ли применять автоматические выключатели для защиты цепей УЗИП от КЗ?

28. Какие аппараты применяются для защиты цепей УЗИП от КЗ? Как они включаются?

29. Какие защитные устройства применяются для защиты от перенапряжений на входе преобразователей с понижающим трансформатором? Нарисуйте схему включения.

30. Какие элементы используются для защиты от коммутационных перенапряжений тиристоров? Нарисуйте их схему включения.

31. Какие защитные элементы используются для защиты от перенапряжений полупроводниковых коммутаторов? Нарисуйте их схему включения.

32. Какие диоды называются «ультрабыстрые»? Нарисуйте их схему включения для защиты МОП-транзистора.

33. Какие элементы используются для защиты выходов микроконтроллера от коммутационных перенапряжений на переменном токе? То же, на постоянном токе.

34. Нарисуйте схему включения промежуточного реле в цепь коллектора транзистора с защитой транзистора от коммутационного перенапряжения.

35. Какими УЗИП комплектуются электромагнитные пускатели ПМ-12 Гомельского завода низковольтной аппаратуры?

36. По каким основным параметрам выбирают варисторы?

37. Нарисуйте вольт-амперную характеристику варистора и покажите на ней участок рабочих напряжений.

38. Нарисуйте вольт-амперную характеристику варистора и покажите на ней квалификационные напряжения $U_{кл}$.

39. То же, но покажите на ней максимальное напряжение ограничения U_c .

40. При выборе варисторов разных производителей установили, что вольт-амперная характеристика одного варистора поднимается круче, чем другого. Какой варистор лучше для защиты – с круто поднимающейся или пологой вольтамперной характеристикой?

41. Какие конструкции варисторов вам известны?

42. Запишите условия выбора варистора по номинальному рабочему напряжению, по энергии абсорбции, по остающемуся напряжению.

43. Нарисуйте вольтамперную характеристику ПОН двухсторонней проводимости и его обозначение на схемах.

44. Запишите условия выбора ПОН по рабочему напряжению и импульсной мощности.

45. Нарисуйте вольтамперную характеристику ПОН и укажите на ней напряжение открытия и максимальное импульсное напряжение (и ток) ограничения.

46. Расшифруйте структуру обозначения микросборки ЗА-1-1,5-275-5.

47. Нарисуйте схему ограничения импульсного перенапряжения с помощью последовательного включения разрядника, варистора и ПОН.

48. От чего зависит напряжение пробоя газового разрядника?

49. Объясните рабочие состояния газового разрядника.

50. Объясните конструкцию газового разрядника.

51. Запишите условия выбора газового разрядника по напряжению и току.

52. Нарисуйте схему включения газового разрядника (двух и трехэлектродного).

53. Какие особенности имеют супрессор-диоды или TVS-диоды?

54. Нарисуйте схему (без заземления) координации первичной и вторичной защиты от импульсных перенапряжений с использованием разрядника, тиристорного SiVar и самовосстанавливающегося предохранителя.

55. Какие проводящие части здания объединяет основная система уравнивания потенциалов?

56. То же, дополнительная система уравнивания потенциалов.

57. Объясните требования к главной заземляющей шине здания.

58. Объясните наименьшие сечения защитных проводников (РЕ).

59. Какие пять зон должна иметь комплексная защита от перенапряжений здания?

60. Объясните понятия «непрямое воздействие молнии», «прямое воздействие молнии». В каких случаях проявляется прямое воздействие молнии?

61. Выбрать дисковый варистор серии MOVС для работы в сети переменного тока напряжением 110 В, если ожидаемая энергия импульса составляет 7 Дж.

62. Выбрать варистор для работы в сети переменного тока напряжением 110 В, если ожидаемая энергия импульса составляет 17 Дж.

63. Выбрать варистор для работы в сети переменного тока напряжением 220 В, если ожидаемая энергия импульса составляет 80 Дж.

64. Выбрать варистор для работы в сети постоянного тока напряжением 220 В, если ожидаемая энергия импульса составляет 60 Дж.

65. Выбрать варистор для работы в сети постоянного тока напряжением 24 В, если ожидаемая энергия импульса составляет 0,2 Дж.

ЗАЩИТА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ОТ СВЕРХТОКОВ

2.1. Общие сведения о сверхтоках

Средства автоматизации и бытовые приборы получают электрическое питание от внутренней электрической сети.

Внутренние электрические сети – это электрические сети от вводного распределительного устройства объекта до любой электроустановки объекта.

Под *электроустановкой* понимается любое сочетание взаимосвязанного электрооборудования в пределах данного пространства или помещения [27].

Под *сверхтоком*, согласно ГОСТ 30331–95, понимается ток, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение тока электроустановки [27]. Сверхтоками являются токи перегрузки и токи КЗ.

Ток перегрузки – сверхток в электрической цепи электроустановки при отсутствии повреждений, по величине превышающий номинальный ток электроустановки.

Ток повреждения – ток, который появляется в результате повреждения или перекрытия изоляции. Повреждение изоляции приводит к утечке тока, а перекрытие изоляции — к короткому замыканию.

Замыкание – всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы электрическое соединение различных точек электроустановок между собой или с землей [28].

Короткое замыкание – замыкание, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима.

Короткое замыкание сопровождается токами короткого замыкания (КЗ).

Ток КЗ – сверхток, обусловленный повреждением с пренебрежимо малым полным сопротивлением между точками, находящи-

мися под разными потенциалами в нормальных рабочих условиях [27]. Ток КЗ в десятки-сотни раз больше рабочего тока цепи.

Токи КЗ опасны своими электродинамическими и термическими воздействиями.

Электродинамическое действие тока КЗ – механическое действие электродинамических сил, обусловленных током короткого замыкания на элементы электроустановки [28].

Электродинамические силы действуют мгновенно, их максимум имеет место при ударных токах КЗ.

Термическое действие тока КЗ – тепловое действие тока КЗ, вызывающее изменение температуры элементов электроустановки [28].

Термическое действие тока КЗ проявляется в нагреве проводников и аппаратов за время короткого замыкания, отчего выгорает изоляция и может возникнуть пожар в электроустановке.

Напряжение в сети при КЗ резко снижается, а в момент прекращения тока КЗ может наблюдаться всплеск перенапряжения из-за индуктивностей в цепи КЗ.

2.2. Токи короткого замыкания и основы их расчета

Причины возникновения КЗ в трехфазных сетях с глухозаземленной нейтралью следующие:

- 1) пробой или перекрытие изоляции между фазами;
- 2) обрыв фазного провода на землю или заземленное оборудование;
- 3) схлестывание проводов воздушной линии;
- 4) механическое повреждение проводов или жил кабеля с замыканием их между собой;
- 5) ошибочная сборка электрической схемы и т. д.

Основными видами КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью являются:

1) *трехфазное* (5 % всех КЗ). Трехфазное КЗ – короткое замыкание между тремя фазами в трехфазной электроэнергетической системе;

2) *двухфазное* (10 %). Двухфазное КЗ – короткое замыкание между двумя фазами в трехфазной электроэнергетической системе;

3) *двухфазное на землю* (10 %). Двухфазное КЗ на землю – КЗ на землю в трехфазной электроэнергетической системе с глухо или

эффективно заземленными нейтралями силовых элементов, при котором с землей соединяются две фазы;

4) *однофазное на землю* (75 %). Однофазное КЗ – короткое замыкание на землю в трехфазной электроэнергетической системе с глухо или эффективно заземленными нейтралями силовых элементов, при котором с землей соединяется только одна фаза.

Наибольшие токи возникают при трехфазных КЗ, наименьшие – при однофазных КЗ.

Возникновение КЗ в цепи сопровождается переходным процессом, который заканчивается установившимся режимом.

В токе КЗ различают *периодическую* i_m составляющую тока и *апериодическую* i_{at} , затухающую по закону экспоненты. В сумме они дают общий ток КЗ, изменяющийся во времени.

Апериодическая составляющая тока КЗ – свободная составляющая тока КЗ, изменяющаяся во времени без перемены знака [28].

Периодическая составляющая тока короткого замыкания рабочей частоты – составляющая тока КЗ, изменяющаяся по периодическому закону с рабочей частотой.

Наибольшее возможное мгновенное значение тока КЗ называется *ударным током* i_y . Он действует в первый полупериод сетевого напряжения. По величине ударный ток КЗ составляет 1,1–1,3 установившегося тока на вводно-распределительном устройстве здания.

В низковольтных внутренних сетях 0,4 кВ, имеющих значительное электрическое сопротивление, переходной процесс быстро затухает, им можно пренебречь. Следовательно, ударный ток во внутренних сетях зданий и сооружений не проявляется.

Большинство КЗ в сетях 0,4 кВ происходит через электрическую дугу в месте повреждения. При больших токах КЗ электродинамические силы достигают такой величины, что прикоснувшиеся между собой проводники тут же отталкиваются друг от друга и образуется электрическая дуга, которая выплавляет место соединения и ограничивает ток КЗ. В [29] экспериментально доказано, что переходное сопротивление R_d дуги в месте КЗ существенно уменьшает токи КЗ. По результатам опытов определено, что это сопротивление $R_d = 0,015$ Ом или $R_d = 15$ мОм. В [28] и [30] показано, что для других условий R_d находится расчетным путем.

Установившийся ток КЗ – значение тока КЗ после окончания переходного процесса, характеризуемого затуханием всех свободных составляющих этого тока и прекращением изменения тока от воздействия устройств автоматического регулирования возбуждения источников энергии [28].

Начальное действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания – условная величина, равная двойной амплитуде периодической составляющей тока короткого замыкания в начальный момент времени, уменьшенной в $2\sqrt{2}$ раз [2]. По сути, начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ равно действующему значению установившегося тока КЗ, если не учитывать изменение тока во времени из-за действия сопротивления дуги и изменяющегося сопротивления кабелей и других элементов схемы под действием нагрева токами КЗ. По этой причине справедливо считается, что ток КЗ изменяется во времени и необходимо вычислять его начальное действующее значение и конечное, в момент отключения тока КЗ [30]. Конечное действующее значение тока КЗ меньше начального действующего значения.

Различают удаленное и близкое КЗ. *Удаленное КЗ* – КЗ в электроустановке, при котором амплитуды периодической составляющей тока данного источника энергии в начальный и произвольный моменты времени практически одинаковы [28].

Близкое КЗ – КЗ в электроустановке, при котором амплитуды периодической составляющей тока данного источника энергии в начальный и произвольный моменты времени существенно отличаются. В отечественной и зарубежной практике КЗ принято считать близким, если их отношение равно двум или больше двух.

Электрооборудование выбирается по параметрам продолжительного режима и проверяется по параметрам кратковременных режимов, определяющим из которых является режим КЗ.

По режиму КЗ электрооборудование проверяется на электродинамическую и термическую стойкость, а коммутационные аппараты – на коммутационную способность.

При проверке проводников и электрических аппаратов на термическую стойкость и на коммутационную способность расчетным видом КЗ является, как правило, трехфазное КЗ.

При проверке аппаратов защиты на чувствительность и селективность расчетным видом КЗ является однофазное КЗ.

На рис. 2.1, а показана зависимость величины трехфазного тока КЗ на шинах ТП от мощности питающего трансформатора [31].

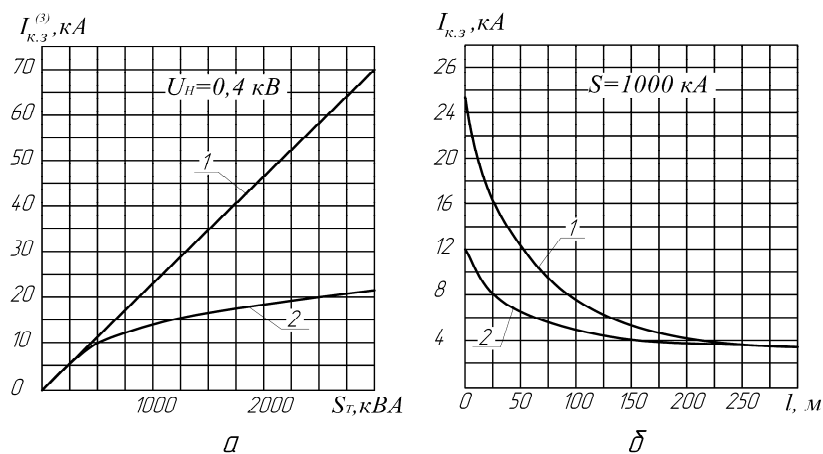


Рис. 2.1. Изменение токов КЗ на шинах 0,4 кВ от мощности трансформатора (а) и от длины линии, выполненной кабелем $3 \times 150 \text{ мм}^2$ (б):

1 – ток металлического КЗ $I_{\text{КЗ}}^{(3)}$; 2 – ток $I_{\text{КЗ}y}^{(3)}$ с учетом переходного сопротивления дуги

Из рис. 2.1, а следует, что ток трехфазного металлического КЗ $I_{\text{КЗ}}^{(3)}$ не превышает 60 кА при мощности трансформатора 2500 кВА. Но такие трансформаторы на сельскохозяйственных объектах встречаются редко. Обычно работают трансформаторы мощностью до 630 кВА. При этом ток $I_{\text{КЗ}}^{(3)}$ металлического КЗ не превышает 15 кА, а с учетом переходного сопротивления дуги – 10 кА.

Из рис. 2.1, а следует, что заметное влияние на ток КЗ на шинах ТП имеет переходное сопротивление дуги R_d при мощности трансформатора более 250 кВА. Чем больше мощность трансформатора, тем заметнее влияние R_d .

По мере удаления точки КЗ от шин 0,4 кВ ТП ток КЗ заметно снижается, а влияние переходного сопротивления R_d дуги уменьшается (рис. 2.1, б). Если на шинах 0,4 кВ ТП мощностью

1000 кВА ток $I_{\text{КЗ}}^{(3)}$ составляет 25 кА, то с учетом R_d он уменьшается до $I_{\text{КЗ}R}^{(3)} = 12$ кА [31]. Через 100 м кабельной линии $3 \times 150 \text{ мм}^2$ ток уменьшается до $I_{\text{КЗ}R}^{(3)} = 7,2$ кА, а с учетом R_d – до $I_{\text{КЗ}R}^{(3)} = 5,3$ кА, т. е. уменьшается больше чем в 2 раза. Через 300 м разница между токами $I_{\text{КЗ}}^{(3)}$ и $I_{\text{КЗ}R}^{(3)}$ составляет менее 20 %, а максимальный ток КЗ снижается до 3 кА [31].

Учет электрической дуги в месте КЗ рекомендуется производить введением в расчетную схему активного сопротивления дуги R_d , которое определяется на базе вероятностных характеристик влияния устойчивой дуги на ток КЗ [30].

Для внутренних сетей зданий и сооружений, имеющих кабели малых сечений и большой длины, учет R_d имеет малое влияние на определение тока КЗ.

Особенности расчета токов КЗ во внутренних сетях зданий и сооружений следующие:

1) ударный ток КЗ в этих сетях не рассчитывается, поскольку аperiodическая составляющая тока КЗ незначительна из-за больших электрических сопротивлений цепи внутренних сетей и быстро затухает;

2) для внутренних сетей зданий и сооружений характерно значительное влияние сопротивлений элементов схемы на значение токов КЗ. Наблюдается быстрое снижение токов КЗ по мере удаления места повреждения от ВРУ;

3) при мощности питающего трансформатора менее 250 кВА переходное сопротивление дуги при расчете тока КЗ можно не учитывать;

4) во внутренних сетях зданий и сооружений не учитывается подпитка тока КЗ от параллельно работающих электродвигателей или комплексной нагрузки, если их суммарный номинальный ток не превышает 1 % начального значения периодической составляющей тока КЗ, рассчитанного без учета этих электродвигателей или комплексной нагрузки [30].

Таким образом, величина тока КЗ в электрических сетях пропорциональна мощности питающего трансформатора, обратно пропорциональна электрическому сопротивлению линии до места КЗ и сопротивлению питающей системы, существенно уменьшает-

ся от учета переходного сопротивления дуги для трансформаторов мощностью более 250 кВА и для коротких линий. В длинных линиях питания потребителей влияние переходного сопротивления дуги и подпитки тока КЗ от работающих параллельно электродвигателей несущественно.

Расчет токов КЗ в электроустановках до 1 кВ производится по правилам, утвержденным ГОСТ 28249–93 [30] и руководящими указаниями по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153-34.0-20.527-98 [28].

При расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать (по [30]):

- 1) индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи;
- 2) активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;
- 3) активные сопротивления различных контактов и контактных соединений.

При расчетах токов КЗ допускается:

- 1) использовать упрощенные методы расчетов, если их погрешность не превышает 10 %;
- 2) максимально упрощать всю внешнюю сеть по отношению к месту КЗ и индивидуально учитывать только автономные источники энергии и электродвигатели, непосредственно примыкающие к месту КЗ;
- 3) не учитывать ток намагничивания трансформаторов.

Токи КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах. При составлении эквивалентных схем замещения параметры всех сопротивлений исходной расчетной схемы следует выражать в МОм [28].

Учитывая дискретный характер изменения параметров электрооборудования, расчет токов КЗ для проверки допускается производить приближенно, с принятием ряда допущений, при этом погрешность расчетов тока КЗ не должна превышать 10 % [30].

Расчет тока КЗ выполняется с целью обоснования выбора защитных и коммутационных аппаратов, кабелей, проверки чувствительности защит.

В зависимости от цели расчета вычисляются различные значения токов КЗ. При выборе аппаратов определяют трехфазный максимальный ток КЗ. По максимальному току КЗ проверяется стойкость аппаратов и кабелей к току КЗ, а для аппаратов защиты – надежность отключения максимального тока КЗ.

Для выбора токов уставки защитных аппаратов и проверки их чувствительности и селективности вычисляют минимальный ток однофазного КЗ.

Таким образом, для внутренних сетей предприятий актуальными являются расчеты начального действующего трехфазного (максимального) тока КЗ $I_{КЗ}^{(3)}$ и начального действующего однофазного (минимального) тока КЗ $I_{КЗ}^{(1)}$. Методы расчета этих токов КЗ рассмотрены далее.

Что касается расчетов ударного тока КЗ, апериодической составляющей тока КЗ, двухфазного тока КЗ, тока КЗ в произвольный момент времени, учета асинхронных двигателей и комплексной нагрузки на ток КЗ, то для выбора аппаратов, проводников и проверки чувствительности аппаратов защиты их расчет для внутренних сетей зданий и сооружений не актуален. Методики расчетов токов КЗ для этих случаев приведены в [28] и [30].

Методика расчета начального действующего значения периодической составляющей тока КЗ в электроустановках до 1 кВ зависит от способа электроснабжения:

- 1) от энергосистемы;
- 2) от автономного генератора.

Первая методика – питание от энергосистемы, поскольку этот способ питания характерен для большинства сельскохозяйственных потребителей. В случае питания от автономного генератора пользуются методикой, изложенной в [28].

Начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ ($I_{КЗ0}^{(3)}$) в кА от энергосистемы без учета подпитки от электродвигателей по [30] следует рассчитывать по формуле:

$$I_{КЗ0}^{(3)} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}}, \quad (2.1)$$

где U_n – номинальное линейное напряжение сети, в которой произошло КЗ, В; рекомендуется принимать $U_n = 400$ В;

$R_{1\Sigma}$, $X_{1\Sigma}$ – соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи КЗ, МОм.

Если электроснабжение электроустановки напряжением до 1 кВ осуществляется от энергосистемы через понижающий трансформатор, то начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ от энергосистемы, кА, следует рассчитывать по формуле:

$$I_{\text{КЗ}0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{н}}}{\sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (2.2)$$

где $R_{1\Sigma}$ и $X_{1\Sigma}$ – соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления прямой последовательности расчетной схемы относительно точки КЗ, мОм;

$R_{0\Sigma}$ и $X_{0\Sigma}$ – соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления нулевой последовательности расчетной схемы относительно точки КЗ, мОм.

При необходимости учета активного сопротивления электрической дуги в формулы (2.1) и (2.2) добавляется сопротивление дуги, вследствие чего начальное значение периодической составляющей тока КЗ уменьшается.

Подробные сведения о составлении расчетных схем и расчете сопротивлений элементов схем приведены в [28] и [30], а также в учебном пособии автора [32].

2.3. Общие вопросы выбора и защиты электрических проводников от сверхтоков

Внутренние силовые (0,4 кВ) электрические сети зданий и сооружений выполняются почти повсеместно кабелями. Только в редких случаях прокладывается проводка в трубах отдельными изолированными проводниками.

В сетях выбор проводов и кабелей, защитных и коммутационных аппаратов взаимосвязан. Для любого присоединения нагрузки набор указанных аппаратов и проводников должен обеспечивать нормальный режим работы, стойкость при КЗ и защиту от КЗ, перегрузки и других ненормальных режимов.

Для проводников (проводов и кабелей) это означает иметь номинальное напряжение и допустимые токи, соответствовать по степени защиты условиям среды, соответствовать условиям монтажа, быть стойкими при КЗ, не перегреваться при перегрузках.

Выбор аппаратов защиты и проводников во внутренних сетях предприятий выполняется в следующем порядке [31]:

1) определяют рабочий ток присоединения, место подключения, составляют схему питания;

2) выбирают сечения проводников предварительно по условиям нагрева в нормальном режиме (по допустимым токовым нагрузкам);

3) проверяют достаточность сечения проводника по потере напряжения;

4) выбирают тип и параметры аппаратов защиты предварительно по данным присоединения. Проверяют стойкость аппаратуры к току КЗ. Рассчитывают уставки защиты. Проверяют чувствительность защиты;

5) при необходимости выбирают защиту проводников от перегрузки и определяют ее параметры. При этом возможно уточнение установок защиты или сечения проводников;

6) проверяют селективность защиты с выше и нижестоящими аппаратами защиты [32].

Выбор сечения проводников во внутренних сетях предприятий выполняется по допустимым длительным токовым нагрузкам. При этом считается, что если токовая нагрузка потребителя не превышает допустимую длительную токовую нагрузку проводника, то температура нагрева проводника не превысит допустимую температуру, определяемую классом изоляции проводника.

Допустимые длительные токи проводов и кабелей приведены в табл. 2.1–2.5 по данным [33].

Значения допустимых длительных токов $I_{\text{доп дл}}$ указаны для продолжительного режима работы и нормальных условий работы одиночных проводов и кабелей, а именно; температура жил +65 °С; температура окружающего воздуха +25 °С и земли +15 °С. При нарушении этих условий должны вводиться поправочные коэффициенты.

Длительный рабочий ток цепи I_p должен быть равен или меньше значения длительно допустимого тока проводов или кабеля с учетом коэффициентов:

$$I_p \leq K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot I_{\text{доп дл}}, \quad (2.3)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий повторно-кратковременный или кратковременный режимы работы;

K_2 – коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды в месте прокладки;

K_3 – коэффициент, учитывающий ухудшение охлаждения от рядом проложенных проводников, или других условий монтажа.

Таблица 2.1

Допустимый длительный ток проводов и шнуров с резиновой изоляцией с медными жилами

Сечение проводящей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных в одной трубе					
	открыто	двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	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
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	—	—	—

* Для сечения токопроводящей жилы 185, 240, 300 и 400 мм² данные приведены в [33].

Коэффициент K_1 [33] определяется только для медных проводников сечением более 6 мм² и алюминиевых проводников сечением более 10 мм² при работе их в повторно-кратковременном режиме. Общая длительность цикла ($t_{ц}$) должна быть до 10 мин, а длительность рабочего периода (t_p) менее 4 мин:

$$K_1 = \frac{0,875}{\sqrt{t_p/t_{ц}}} \quad (2.4)$$

Например, при $t_p = 4$ мин и при $t_{ц} = 10$ мин $K_1 = 0,875/\sqrt{4/10} = 1,38$.

Этот же коэффициент вводится при кратковременном режиме работы проводников продолжительностью до 4 мин. При t_p более 4 мин, а также при перерывах недостаточной длительности между включениями рекомендуется принимать $K_1 = 1$ [33].

Таблица 2.2

Допустимый длительный ток проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией, с алюминиевыми жилами

Сечение проводящей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных в одной трубе**					
	открыто	двух одножил.	трех одножил.	четырёх одножил.	одного двухжил.	одного трехжил.
2	21	19	18	19	17	14
2,5	24	20	19	21	19	16
3	27	24	22	23	22	18
4	32	28	28	27	25	21
5	36	32	30	15	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	85	95	75
50	165	140	13	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190
150*	340	275	255	—	—	—

* для сечения токопроводящей жилы 185, 240, 300 и 400 мм² данные приведены в [33].

** при определении количества проводов, прокладываемых в одной трубе (или жил многожильного проводника), нулевой рабочий проводник четырехпроводной системы трехфазного тока, а также заземляющие и нулевые защитные проводники в расчет не принимаются.

Следует осторожно подходить к введению коэффициента K_1 . Принимать $K_1 > 1$ можно в случае 100 % уверенности в работе проводников в указанном выше повторно-кратковременном или кратковременном (до 4 мин) режимах работы.

Таблица 2.3

Допустимый длительный ток для переносных шланговых легких и средних шнуров, переносных шланговых тяжелых кабелей, шахтных гибких шланговых, прожекторных кабелей и переносных проводов с медными жилами

Ток *, А, для проводов и кабелей			
Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Сечение токопроводящей жилы, мм ²		
	одножильных	двухжильных	трехжильных
0,5	—	12	—
0,75	—	16	14
1,0	—	18	16
1,5	—	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	190	150	130
50	235	185	160
70	290	235	200

* Токи относятся к шнурам, проводам и кабелям с нулевой жилой.

Таблица 2.4

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

Ток *, А, для проводов и кабелей						
Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Сечение токопроводящей жилы, мм ²					
	одножильных	двухжильных			трехжильных	
		при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле	
1	2	3	4	5	6	
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	

Окончание таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6
16	100	98	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	—	—	—	—

* Токи относятся к проводам и кабелям как с нулевой жилой, так и без нее.

Таблица 2.5

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

Ток *, А, для проводов и кабелей						
Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Сечение токопроводящей жилы, мм ²					
	одножильных	двухжильных			трехжильных	
		при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле	
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	270	270	390	235	335	

Примечание. Допустимые длительные токи для четырехжильных кабелей с пластмассовой изоляцией на напряжение до 1 кВ могут выбираться по табл. 2.5, как для трехжильных кабелей, но с коэффициентом 0,92.

Коэффициент K_2 учитывает влияние температуры окружающей среды и определяется по данным табл. 2.6. Он изменяется от 0,55 до 1,18 для кабеля, проложенного в земле при расчетных температурах

турах среды от +50 до – 5 °С. В воздухе этот коэффициент изменяется от 0,61 до 1,32. Более подробные данные приведены в [33].

Таблица 2.6

Коэффициент K_2 для кабеля, неизолированных и изолированных проводов и шин в зависимости от температуры земли и воздуха [33]

Условная температура среды, °С	Нормированная температура жрип, °С	Поправочный коэффициент K_2 на токи при расчетной температуре среды, °С											
		-5 и ниже	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
в земле, 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
в воздухе, 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

Коэффициент K_3 принимается не равным 1, если количество одновременно нагруженных проводов, проложенных в трубах (заземляющие и нулевые проводники в расчет не берутся), а также в лотках пучками более 4.

Коэффициент K_3 для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах, приведен в табл. 2.7.

Длительно допустимые токи для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах, следует принимать по табл. 2.1–2.5 как для одиночных проводов и кабелей, проложенных открыто (в воздухе).

Коэффициент K_3 для одновременно нагруженных проводов более четырех, проложенных в трубах, коробах, а также в лотках пучками, принимается: 0,68 – для 5 и 6 проводников; 0,63 – для 7–9 и 0,6 – для 10–12 проводников. При этом токи для проводников должны приниматься по табл. 1.1 и 1.2 как для проводников, проложенных открыто (в воздухе).

Коэффициент $K_3 = 1$ для проводов, прокладываемых в лотках при однорядной прокладке (не в пучке). Допустимые токи принимаются как для проводов, прокладываемых в воздухе [33].

Таблица 2.7

Коэффициент K_3 для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки и количество проводов и кабелей		K_3 для проводов и кабелей, питающих	
одножильные	многожильные	отдельные электрические приемники с коэффициентом использования до 0,7	отдельные электрические приемники с коэффициентом использования более 0,7 и группы электрических приемников
		многослойно и пучками	
-	До 4	1,0	-
2	5...6	0,85	-
3...9	7...9	0,75	-
10...11	10...11	0,70	-
12...14	12...14	0,65	-
15...18	15...18	0,60	-
однослойно			
2...4	2...4	-	0,67
5	5	-	0,6

Выбранные по допустимому длительному току провода и кабели проверяют по допустимой потере напряжения и, в отдельных случаях, по условиям стойкости к токам КЗ. Кроме этого, проводники и кабели должны соответствовать условиям защиты их аппаратами защиты от токов КЗ или перегрузки.

Падение напряжения (в %) в линии рассчитывается по формуле:

$$\Delta U = \frac{(Pr_{уд} + Qx_{уд})L}{U_n^2} \cdot 100 \%, \quad (2.5)$$

где P – активная нагрузка, кВт;

Q – реактивная нагрузка, кВАр;

$r_{уд}, x_{уд}$ – удельные активное и реактивное сопротивления кабеля или проводников линии, мОм/м;

L – длина линии, м;

U_n – номинальное напряжение, В.

Если известен расчетный ток I_p в линии, то падение напряжения (В) можно определить по формуле:

$$\Delta U = 10^{-3} \sqrt{3} I_p L (r_{уд} \cos \varphi + x_{уд} \sin \varphi), \quad (2.6)$$

где L – длина линии, м;

$r_{уд}$ и $x_{уд}$ – соответственно, активное и индуктивное сопротивление кабеля или воздушной линии, мОм/м;

φ – фазный угол нагрузки.

Допустимые отклонения напряжения электрических приемников устанавливает ГОСТ [1]. В соответствии с требованиями этого ГОСТа, допустимые отклонения напряжения для электрических приемников составляют $\pm 5\%$, в переходных режимах – $\pm 10\%$.

Отклонение напряжения – это алгебраическая разность между номинальным и действительным напряжениями у токоприемника, а *падение напряжения* – это геометрическая разность между номинальным и действительным напряжениями у токоприемника. При активной нагрузке отклонение напряжения равно падению напряжения в линии, при смешанной нагрузке отклонение напряжения всегда меньше потери напряжения в линии.

Падение напряжения можно условно разделить на две составляющие:

- 1) во внешней сети;
- 2) во внутренней сети предприятия.

В практике проектирования этими составляющими задаются. Обычно считают, что во внутренних сетях предприятия ΔU не должно превышать 0,5 допустимого отклонения напряжения, т. е. 2,5 %.

Проверку на потерю напряжения обязательно выполняют для осветительных сетей и для длинных линий силовых сетей.

Сечение проводников в линии должно быть таким, чтобы пусковые токи не вызывали значительного падения напряжения в линии. В результате снижения напряжения на зажимах асинхронного электродвигателя вращающий момент снижается пропорционально квадрату напряжения, т. е. $M \equiv U^2$, и электродвигатель может не разогнаться до рабочей скорости. Для приводных механизмов с малым начальным моментом сопротивления (вентиляторы, насосы) допустимо снижение напряжения до 30% при пуске электродвигателя под нагрузкой. Для приводных механизмов с постоянным моментом сопротивления – не более, чем 20 %.

Для практической проверки выполнения условия $\Delta U \leq 20\%$ некоторые авторы [31] рекомендуют пользоваться критерием:

$$I_{КЗ}^{(3)} / I_{п.дв} \geq 3,5, \quad (2.7)$$

где $I_{КЗ}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ на зажимах электродвигателя, А;

$I_{п.дв}$ – пусковой ток электродвигателя, А.

Проверка проводников по условиям стойкости в режиме КЗ сводится к проверке на нагрев силового кабеля за время КЗ на начальном участке линии. Минимальное допустимое сечение кабеля (мм^2) по этому условию составляет [34]:

$$S_{\min} \geq I_{КЗ} \cdot \frac{\sqrt{t}}{K}, \quad (2.8)$$

где $I_{КЗ}$ – ток КЗ, обеспечивающий срабатывание защитного аппарата за время t , указанное в таблице 2.8, или за время не более 5 с, А;

t – время срабатывания защитного устройства, с;

K – коэффициент, значение которого зависит от материала проводника, его изоляции, начальной и конечной температур. Значения коэффициента K для защитных и фазных проводников приведены в табл. 2.9.

По режиму стойкости к КЗ должны проверяться в электроустановках до 1000 В распределительные щиты, токопроводы и силовые кабели.

Проводники в электроустановках, находящихся под напряжением, должны быть защищены одним или несколькими устройствами автоматического отключения питающего напряжения в случае перегрузки и КЗ. Для этих цепей могут быть использованы автоматические выключатели с комбинированным расцепителем (тепловым и электромагнитным), плавкие предохранители, автоматические выключатели с токовой отсечкой (электромагнитные расцепители), автоматические выключатели с электромагнитным расцепителем и гидравлическим замедлителем срабатывания, автоматические выключатели с электронным расцепителем, устройства защитного отключения (при однофазных КЗ на землю).

Отключающая способность этих аппаратов должна быть не менее значения ожидаемого тока КЗ в начале защищаемой линии. Ожидаемый ток КЗ определяется путем расчета или измерением.

Допускается применение устройств с более низкой отключающей способностью, если другое защитное устройство, имеющее необходимую отключающую способность, установлено со стороны питания.

Таблица 2.8

Наибольшее допустимое время автоматического отключения

Номинальное фазное напряжение, В	Время отключения, с		
	для системы		для системы TN в помещениях для содержания животных
	TN	IT	
127	0,8	-	0,35
220	0,4	0,8	0,2
380	0,2	0,4	0,05
660	0,1	0,2	-
более 660	0,1	0,1	-

Таблица 2.9

Значения коэффициента K для фазных и защитных проводников, входящих в многожильный кабель

Материал изоляции	Коэффициент K для проводника		Начальная температура, °C	Конечная температура, °C
	медного	алюминиевого		
Поливинилхлорид (ПВХ)	115	74	70	160
Сшитый полиэтилен, этиленпропиленовая резина	143	94	90	250
Бутиловая резина	134	89	85	220

Номинальные токи плавких вставок предохранителей и токи уставок автоматических выключателей во всех случаях следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам этих участков или по номинальным токам электрических приемников. При этом аппараты защиты не должны отключать электрические приемники при кратковременных перегрузках и пусковых токах.

Аппараты защиты проводников допускается не устанавливать [33]:

1) в местах ответвления шин щита к аппаратам, установленным на том же щите, если проводники выбраны по расчетному току ответвления;

2) в местах снижения сечения питающей линии по ее длине и на ответвлениях от нее, если защита предыдущего участка защищает ответвление;

3) если незащищенные участки или ответвления от нее выполнены проводниками, выбранными с сечением не менее половины сечения проводников защищенного участка линии;

4) в местах ответвления от питающей линии к электрическим приемникам малой мощности, если питающая их линия защищена аппаратом с установкой не более 25 А для силовых электрических приемников и бытовых приборов;

5) в местах ответвления от осветительных линий: при длине ответвления до 3 м при любом способе прокладки; при любой длине и прокладке в стальных трубах;

6) в местах ответвления от питающей линии цепей измерения, управления и сигнализации, если эти проводники не выходят за пределы соответствующих машин или щита, или если проводники выходят за пределы, но электропроводка выполнена в трубах или имеет негорючую оболочку.

Нельзя устанавливать аппараты защиты [33] в местах присоединения к питающей линии таких цепей управления, сигнализации и измерения, отключение которых может повлечь за собой опасные последствия (отключение пожарных насосов, вентиляторов, предотвращающих образование взрывоопасных смесей и т. д.).

Во всех случаях такие цепи должны выполняться проводниками в трубах или иметь негорючую оболочку. Сечение таких цепей должно быть не ниже $1,0 \text{ мм}^2$ для меди и $2,5 \text{ мм}^2$ для алюминия, а при присоединении пайкой – $0,5 \text{ мм}^2$ для меди.

2.4. Выбор плавких предохранителей

Плавкие предохранители выбирают по следующим параметрам:

- 1) номинальному напряжению;
- 2) номинальному току плавкой вставки;
- 3) номинальному току предохранителя;
- 4) по назначению;

5) по конструктивному исполнению и способу монтажа и другим особенностям, указанным в его условном обозначении или паспорте.

Выбранный предохранитель проверяют:

- 1) по отключающей способности;
- 2) по чувствительности к однофазному току КЗ;
- 3) на селективность с другими предохранителями или автоматическими выключателями;
- 4) на селективность с контактором или электромагнитным пускателем.

Для любых предохранителей условие выбора по напряжению имеет вид:

$$U_{\text{ном}} \geq U_c, \quad (2.9)$$

где U_c – напряжение сети, в которую включается предохранитель, В.

Рекомендуется выбирать предохранители на то напряжение сети, в которой он будет работать, т. е. $U_{\text{ном}} = U_c$. Если выбирать предохранитель на большее напряжение, то следует иметь в виду, что предохранитель будет иметь большие габариты, а время его срабатывания увеличится.

Выбор серии предохранителя, его типоразмера и других особенностей производят в следующем порядке.

1. Сначала определяют тип предохранителя по назначению: общего назначения; для защиты полупроводниковых приборов; бытовые; приборные; сопутствующие. Назначение определяет функциональные признаки предохранителя по времятоковым характеристикам, по конструкции и другим признакам.

Например, предохранители общего назначения имеют плавкие вставки типа G , а быстродействующие – типа R и т. д.

2. Определяют требуемый тип защитной характеристики. По типу защитной характеристики плавкие предохранители бывают: типа g – с отключающей способностью в полном диапазоне токов отключения, способные отключать токи перегрузки и токи КЗ, и типа a – с отключающей характеристикой в части диапазона токов отключения (нечувствительны к перегрузкам, способны отключать только токи КЗ).

Например, сопутствующие предохранители имеют характеристику и назначение, которое записывается aG , а общего назначения – gG .

3. Выбираются конкретные серии предохранителей, обеспечивающие выполнение пунктов 1 и 2, пригодные для работы под напряжением сети, в которую включается предохранитель.

Например, выбираются предохранители общего назначения (G) с времятоковыми характеристиками типа g . Ими являются предохранители серий ПН-2, ППН, ППНИ.

Из этих серий выпускаемых предохранителей выбирается одна серия, наиболее экономичная по потерям мощности, габаритам и массе, стоимости или другим критериям, имеющая номинальное напряжение предохранителей, равное (или большее) напряжению сети (лучше равное, чем большее).

При выборе серии обращают внимание на области применения предохранителей.

Например, из указанных серий выбирается предохранитель серии ППНИ, предназначенный для вводно-распределительных устройств, шкафов и пунктов распределительных, шкафов низкого напряжения и ящиков управления.

4. Далее обращаются к структуре условного обозначения предохранителей выбранной серии. Например, для серии ППНИ структура условного обозначения плавкой вставки приведена ниже.

При выборе серии и типоразмера предохранителя обращают внимание:

1) на способ монтажа и вид присоединения проводников к выводам предохранителя (монтаж на собственном изоляционном основании; на изоляционном основании комплектующего устройства; на проводниках комплектного устройства);

2) наличие указателя срабатывания (наличие бойка) и свободных контактов (если требуется дистанционно передать сигнал о срабатывании предохранителя);

3) степень защиты (обычно IP00) и на климатическое исполнение и категорию размещения (УХЛ3, УХЛ2, Т3);

4) диапазон рабочих температур;

5) номинальную отключающую способность предохранителя.

Если плавкий предохранитель монтируется на собственном изоляционном основании (держателе), то требуется выбрать это основание. Например, для предохранителей ППНИ используется держатель предохранителя типа ДП, типоразмер которого определяется по типоразмеру плавкой вставки предохранителя (всего 5 типоразмеров в 5 габаритах).

Например, предохранители ППНИ имеют следующую структуру условного обозначения:

ППНИ – X_1X_2 , габ. X_3X_4 , $X_5X_6X_7A$,

где ППНИ – серия предохранителя;

X_1X_2 – шифр номинального тока: 33 – номинальный ток предохранителя 160 А; 35 – 250 А; 37 – 400 А; 39 – 630 А;

габ. X_3X_4 – габарит: 00; 0; 1; 2; 3;

$X_5X_6X_7A$ – номинальный ток плавкой вставки, А (от 2 до 630 А, см. табл. 2.11).

Например, предохранители ППН имеют следующую структуру условного обозначения:

ППН – $X_1X_2 - X_3X_4 - X_5X_6X_7X_8$,

где ППН – серия предохранителя;

X_1X_2 – шифр номинального тока: 31 – номинальный ток предохранителя 100 А; 33 – 160 А; 35 – 250 А; 37 – 400 А; 39 – 630 А;

X_3 – способ монтажа и вид присоединения проводников к выводам предохранителя: 2 – монтаж на собственном изоляционном основании; 5 – на изоляционном основании комплектующего устройства; 7 – на проводниках комплектного устройства;

X_4 – наличие указателя срабатывания, бойка и свободных контактов: 0 – без указателя срабатывания, без бойка и без свободных контактов; 1 – с указателем срабатывания, со свободными контактами; 3 – с указателем срабатывания, без бойка, без свободных контактов;

X_5X_6 – степень защиты: 00 – степень защиты IP00;

X_7X_8 – климатическое исполнение и категория размещения (УХЛ13; Т3; УХЛ12).

Например, требуется выбрать предохранитель для следующих условий: предохранитель общего назначения; расчетный ток плавкой вставки 125 А; для монтажа в шкафу на шинах; с указателем срабатывания и свободным контактом; для установки под навесом в умеренном климате.

Необходим (с учетом условий) следующий тип предохранителя: ППН-33-70-00УХЛ2; $I_{вст\ ном} = 125\text{ А}$, $U_{ном} = 380\text{ В}$, 50 Гц.

При выборе номинального тока плавкой вставки руководствуются следующими соображениями.

Допустимый нагрев предохранителя обеспечивается при номинальном токе плавкой вставки. Следовательно, при продолжительном режиме работы и не изменяющемся по величине токе нагрузки (рис. 2.2, а) номинальный ток плавкой вставки должен быть равен (или больше) рабочему току цепи $I_{раб}$:

$$I_{ном\ пл\ вст} \geq I_{раб}. \quad (2.10)$$

В остальных случаях требуется учитывать токовую нагрузочную диаграмму защищаемой цепи (рис. 2.2).

При продолжительном режиме работы и изменяющемся по величине токе нагрузки без пусковых токов вычисляется расчетный $I_{расч}$ (эквивалентный) ток (рис. 2.2, б). Номинальный ток плавкой вставки в этом случае должен быть

$$I_{ном\ пл\ вст} \geq I_{расч} K_{зап}, \quad (2.11)$$

где $K_{зап}$ – коэффициент запаса, учитывающий увеличение рабочего тока относительно расчетного тока; $K_{зап} = (1,1 \dots 1,2)$.

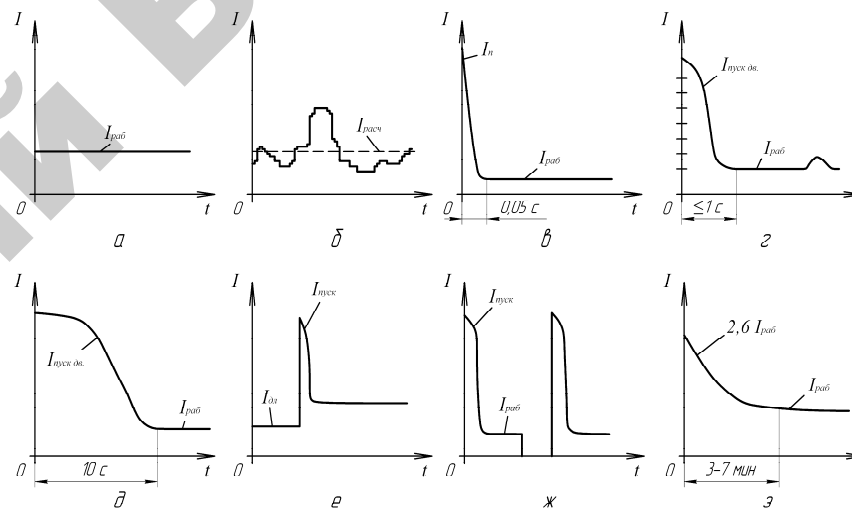


Рис. 2.2. Нагрузочные диаграммы типовых токовых нагрузок электрической цепи:

- а – электрического водонагревателя; б – групповое включение без электродвигателей; в – групповое включение осветительных приборов с энергосберегающими лампами; г – одиночного асинхронного электродвигателя; е – группы электрических приемников с электродвигателем; ж – одиночного электродвигателя в режиме частых включений; з – лампы типа ДРЛ

При включении осветительных установок наблюдаются кратковременные (менее 0,05 с) броски тока, превышающие рабочие токи в 8–14 раз (рис. 2.2, в). Аналогичные броски тока имеют место при включении контакторов и электромагнитов переменного тока. При частых включениях таких электрических приборов необходимо

завышать ток плавкой вставки и вычислять его по уравнению (2.11).

При пуске асинхронных электродвигателей наблюдаются значительные пусковые токи различной продолжительности и частоты, превышающие номинальные токи в 4,5–7,5 раза (рис. 2.2, з).

В этом случае

$$I_{\text{ном пл вст}} = I_{\text{пуск дв}} / \alpha, \quad (2.12)$$

где α – коэффициент, зависящий от времени действия пусковых токов и частоты их проявления.

Если продолжительность пуска менее 1 с (рис. 2.2, з) и пусков в час не более 15, то $\alpha = 2,5$.

Если продолжительность пуска от 1 с до 10 с (рис. 2.2, д) и пусков в час не более 15, то α изменяется от 2,5 до 1,75.

Если электродвигатель работает в повторно-кратковременном режиме с частыми пусками, то α уменьшают до 1,6 (рис. 2.2, ж). Чем чаще производится включение и отключение электродвигателей, тем больший должен быть запас надежности предохранителей. В этих режимах медные плавкие элементы плавких вставок подвержены значительным термическим напряжениям и быстро стареют. Это обстоятельство является причиной, по которой плавкие предохранители с медными плавкими элементами не рекомендуются для защиты цепей асинхронных двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме.

Многими исследованиями установлено, что старение плавких вставок предохранителей происходит при токах, равных половине тока плавления [3]. Следовательно, для стабильности характеристик кратковременные перегрузки по току не должны превышать половины тока плавления (срабатывания) плавкой вставки. Руководствуясь этими данными и зная время разбега электродвигателя, находим допустимую кратность тока плавкой вставки. Например, для плавких вставок типа ППНИ зависимость $t = f(k_i)$ построена на рис. 2.3, причем линия AB примерно соответствует плавким вставкам от 40 до 125 А, а линия BC – плавким вставкам от 160 до 400 А.

Например, при времени пуска $t_n = 2$ с и при выборе предполагаемого предохранителя ППНИ до 125 А на линии AB получаем $k_{i \text{ граф}} = 3,8$, рис. 2.3. Следовательно, ток срабатывания $I_{\text{ср}} = 3,8 I_{\text{ном пл вст}}$.

Пользуясь приведенным критерием, имеем:

$$I_{\text{пуск дв}} = 0,5 I_{\text{ср}} = 0,5 \times 3,8 I_{\text{ном пл вст}} = 1,9 I_{\text{ном пл вст}}. \quad (2.13)$$

Следовательно, $I_{\text{ном пл вст}} = I_{\text{пуск дв}} / 1,9$. В этом выражении $\alpha = 1,9$.

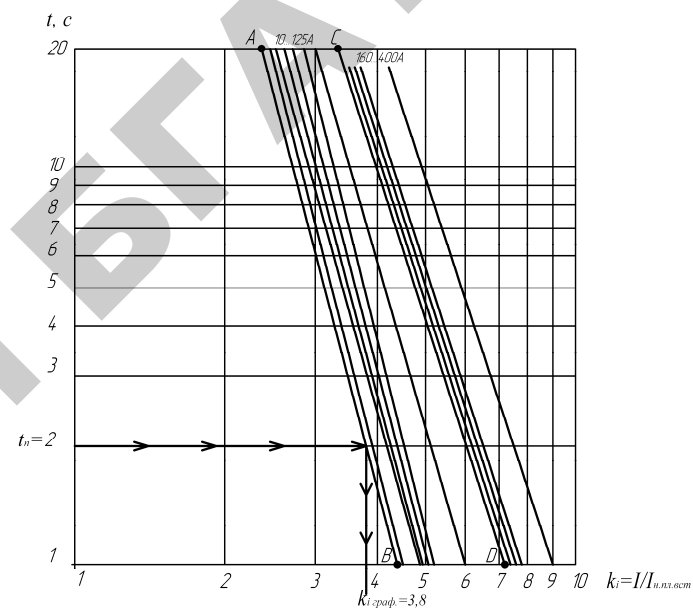


Рис. 2.3. Зависимость времени срабатывания предохранителей серии ППНИ от кратности тока перегрузки плавкой вставки

Если в расчете получается ток плавкой вставки более 125 А, то, пользуясь линией CD , при заданном времени пуска определяют $k_{i \text{ граф}}$, ток срабатывания и далее номинальный ток плавкой вставки.

Пользуясь этой методикой, можно найти коэффициент α (для любого времени пуска электродвигателя):

$$\alpha = 0,5 k_{i \text{ граф}}. \quad (2.14)$$

Для предохранителей других серий возможны иные значения $k_{i \text{ граф}}$. Например, согласно рис. 2.4, предохранитель ПН2 срабатывает за время 1 с при кратности тока 5. Следовательно, $k_{i \text{ граф}} = 5$. Ток $I_{\text{ср}} = 5 I_{\text{вст.ном}}$. Тогда, пользуясь проведенным выше критерием, среднее значение пускового тока $I_{\text{пуск дв}}$ за этот период должно быть не более 0,5 тока срабатывания $I_{\text{ср}}$ плавкой вставки за это же

время. Таким образом, пусковой ток двигателя связан с током вставки соотношением:

$$I_{\text{ном пл вст}} = 0,5 I_{\text{ср}} = 0,5 (5 I_{\text{ном пл вст}}) = 2,5 I_{\text{ном пл вст}}.$$

Отсюда следует: при $t_{\text{пуск дв}} = 1 \text{ с}$, $I_{\text{ном пл вст}} \geq I_{\text{пуск дв}} / 2,5$. Здесь $\alpha = 2,5$.

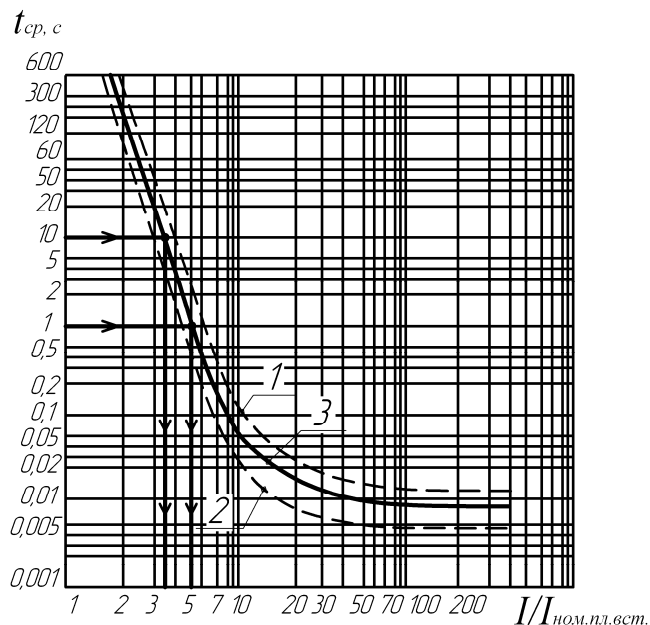


Рис. 2.4. Времятоковая характеристика предохранителя ПН2:
1 - с холодного состояния; 2 - с горячего состояния

При тяжелых условиях пуска электродвигателя ($t_{\text{п дв}} > 1 \text{ с}$) по аналогии с приведенным выше расчетом, используя рис. 2.19, можно установить требуемый ток плавкой вставки $I_{\text{ном вст}}$. Например, при $t_{\text{п дв}} = 10 \text{ с}$ допустимый пусковой ток должен составлять $0,5 I_{\text{ср}}$ предохранителя. Следовательно, он равен $0,5 (3,5 I_{\text{нпл.вст}}) = 1,75 I_{\text{ном пл вст}}$. Отсюда $I_{\text{ном пл вст}} = I_{\text{п дв}} / 1,75$. В этом случае $\alpha = 1,75$.

Аналогично можно найти ток плавкой вставки при любой продолжительности пуска электродвигателя и для любой серии плавкого предохранителя.

Следует отметить, что для более точного нахождения коэффициента α можно воспользоваться времятоковыми характеристиками

конкретной серии предохранителей. При заданном времени пуска находят ток срабатывания предохранителей $I_{\text{ср}}$ для группы плавких вставок. Далее выбирают плавкую вставку, для которой $I_{\text{пуск дв}} \leq 0,5 I_{\text{ср}}$.

Для цепей, питающих группу электрических приемников (электродвигателей)

$$I_{\text{н.пл.вст}} = (I'_{\text{пуск}} + I'_{\text{дл}}) / \alpha, \quad (2.15)$$

где $I'_{\text{пуск}}$ - пусковой ток наибольшего по мощности электродвигателя (или группы одновременно включаемых электродвигателей), А (рисунок 2.2, е);

$I'_{\text{дл}}$ - длительный расчетный ток линии до момента пуска наибольшего по мощности электродвигателя (или группы одновременно включаемых электродвигателей) без рабочего тока пускаемого электродвигателя (или группы электродвигателей), А (рисунок 2.2, е).

В осветительных установках с лампами высокого давления типа ДРЛ пусковой ток составляет $(2-2,6) I_{\text{раб}}$ и длится, постепенно уменьшаясь, 3-7 мин (рис. 2.2, и).

В этом случае

$$I_{\text{ном пл вст}} = (1,8-2,4) I_{\text{раб}}. \quad (2.16)$$

В цепях управления и сигнализации номинальный ток плавкой вставки выбирают по условию:

$$I_{\text{ном пл вст}} \geq \sum I_{\text{раб}} + 0,1 \sum I_{\text{вкл}}, \quad (2.17)$$

где $\sum I_{\text{раб}}$ - суммарный рабочий ток, потребляемый катушками аппаратов, сигнальными лампами, и другими потребителями защищаемой цепи при их одновременной работе, А;

$\sum I_{\text{вкл}}$ - суммарный ток, потребляемый при включении катушек одновременно включаемых аппаратов переменного тока, А.

Номинальный ток плавкой вставки выбирается из ряда стандартных значений для конкретного типа предохранителя. Выбирается ближайшее большее стандартное значение.

Плавкие предохранители не рекомендуется использовать в НКУ (низковольтных комплексных устройствах) для защиты цепей отдельных электродвигателей по следующим причинам.

Во-первых, при перегорании одного предохранителя создается неполнофазный режим питания электродвигателя. Этот режим питания является аварийным режимом для двигателя. Он приводит к выходу нагруженного электродвигателя из строя.

Во-вторых, по причине необеспечения селективности с контактором (см. материал далее).

После выбора номинального тока плавкой вставки и конкретного типа предохранителя проверяют, сможет ли выбранный предохранитель отключить расчетный ток КЗ, не разрушаясь.

Проверка на отключающую способность:

$$I_{\text{пред откл}} > I_{\text{кз}}^{(3)}, \quad (2.18)$$

где $I_{\text{пред откл}}$ – предельный (максимальный) отключаемый предохранителем ток, кА;

$I_{\text{кз}}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ, который проходит через предохранитель, кА.

Проверка на чувствительность к однофазному току КЗ вызвана тем, что токи однофазного КЗ меньше трехфазного и могут составлять небольшую кратность к току плавкой вставки. В этом случае время отключения КЗ значительно, возможен перегрев проводов и возгорание изоляции. Поэтому чувствительность предохранителя определяется отношением: $I_{\text{кз}}^{(1)} / I_{\text{ном пл вст}}$. Чем больше это отношение, тем более чувствителен предохранитель к однофазному КЗ (быстрее сработает). Правила устройств электроустановок (ПУЭ) определяют, что однофазный ток КЗ должен превышать не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки предохранителя в невзрывоопасных помещениях, т. е. должно выполняться условие:

$$I_{\text{ном пл вст}} < I_{\text{кз}}^{(1)} / 3. \quad (2.19)$$

Для взрывоопасных помещений:

$$I_{\text{ном пл вст}} < I_{\text{кз}}^{(1)} / 4. \quad (2.20)$$

Проверка на селективность предохранителей проводится в том случае, если в цепи КЗ установлены несколько последовательно включенных предохранителей.

На рис. 2.5, а показана схема питания потребителя. Для обеспечения селективности (при КЗ у потребителя) требуется, чтобы первым сработал предохранитель FU3. Если же этого не произойдет,

то перегорит FU2 и отключатся все потребители, подключенные к НКУ, что недопустимо.

Чтобы избежать этого, защитная характеристика более удаленного предохранителя должна быть выше защитной характеристики ближайшего к месту КЗ предохранителя (рис. 2.5, б). В этом случае фактическое время срабатывания $t_{\text{ср2}}$ предохранителя FU2 (на больший ток) должно быть больше наибольшего времени срабатывания $t_{\text{ср3}}$ предохранителя FU3 (на меньший ток), т. е. $t_{\text{ср2}} \geq t_{\text{ср3}}$. Учитывая 50 %-й разброс характеристик, для предохранителя FU2 следует взять отрицательный допуск по времени срабатывания, а для предохранителя FU3 – положительный допуск. Тогда $0,5t_{\text{ср2}} > 1,5t_{\text{ср3}}$. В результате получим необходимое условие селективности в общем виде:

$$t_{\text{ср б.}} \geq 3t_{\text{ср м.}}, \quad (2.21)$$

где $t_{\text{ср б.}}$, $t_{\text{ср м.}}$ – время срабатывания большего и меньшего (по току срабатывания) предохранителя, с.

Таким образом, для селективной работы предохранителей необходимо, чтобы время срабатывания предохранителя на больший ток было в три раза больше, чем у предохранителя на меньший ток.

Однако на практике сравнивать защитные характеристики предохранителей, заданные в логарифмическом масштабе, неудобно. Удобнее сравнивать номинальные токи плавких вставок. Но в этом случае выполнение условия (2.21) возможно с большей погрешностью, поскольку наклон защитных характеристик плавких вставок к оси токов различный. То, что справедливо для малых токов, не подтверждается при больших токах.

Поэтому для практиков, не желающих определять селективность по защитным характеристикам, рекомендуется следующее правило: последовательно установленные в цепи однотипные предохранители должны отличаться на одну или две ступени шкалы, а разнотипные – на три ступени. Это правило учитывает 50 %-ю погрешность времени срабатывания предохранителей.

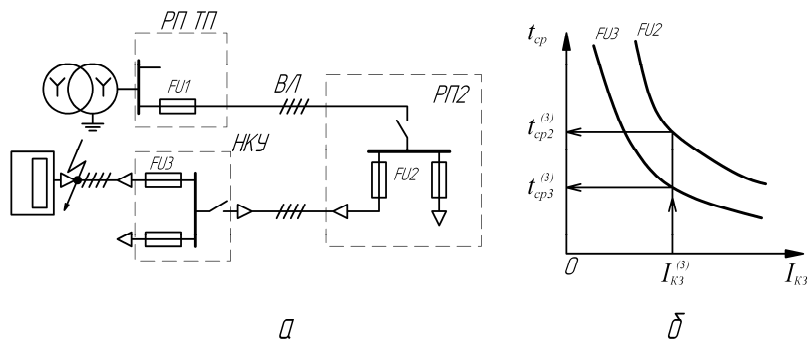


Рис. 2.5. Однолинейная схема питания трехфазного потребителя (а) и требуемые защитные характеристики предохранителей, включенных последовательно (б): $I_{K3}^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ

Если в электрической сети установлены предохранители и автоматические выключатели, то проверяется селективность их работы.

Рассмотрим случай, когда ближе к источнику питания находится автоматический выключатель. В этом случае селективность обеспечивается, если автоматический выключатель имеет отсечку тока большую, чем ток КЗ за предохранителем. Предохранитель для надежного срабатывания должен иметь плавкую вставку в 3 раза ниже тока КЗ за предохранителем (условие чувствительности предохранителя).

Возможно использование для обеспечения селективности автоматического выключателя с полупроводниковым расцепителем, который обеспечивает регулируемую выдержку времени при срабатывании. В этом случае легко обеспечить селективность, выбрав выдержку времени срабатывания автоматического выключателя $t_{ср.ав}$ при КЗ больше времени срабатывания предохранителя $t_{ср.пр}$. Поскольку автоматические выключатели имеют меньшую погрешность срабатывания, чем предохранители, то уместно принять разброс времени срабатывания предохранителя и автоматического выключателя по 25 %. При этом селективность обеспечивается, если $0,75 t_{ср.ав} \geq 1,25 t_{ср.пр}$, откуда

$$t_{ср.ав} \geq 1,67 t_{ср.пр} \quad (2.22)$$

Рассмотрим второй случай, когда ближе к источнику питания находится плавкий предохранитель. В этом случае селективность обеспечивается, если время срабатывания предохранителя при КЗ больше, чем автоматического выключателя. При погрешности защитных характеристик этих аппаратов по времени в 25 % получим выражение $0,75 t_{ср.пр} \geq 1,25 t_{ср.ав}$, откуда

$$t_{ср.пр} \geq 1,67 t_{ср.ав} \quad (2.23)$$

Проверка предохранителя на селективность с контактором или электромагнитным пускателем проводится только в том случае, если эти аппараты подключены к цепи, защищаемой предохранителем. Этот случай встречается во внутренних сетях предприятий, если предохранители используются в НКУ.

Селективность предохранителя обеспечивается, если время срабатывания предохранителя меньше, чем время отпускания контактора или пускателя ($t_{отп}$) из-за снижения напряжения в сети при КЗ. В противоположном случае контактор или пускатель будет отключать токи КЗ. Их контакты, не рассчитанные на отключение токов КЗ, будут повреждены.

При проверке используется ток однофазного КЗ. С учетом 50 % погрешности на время срабатывания предохранителя $t_{ср.пр}$ необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$1,5 t_{ср.пр} \leq t_{отп} \text{ или } t_{ср.пр} \leq 0,67 t_{отп} \quad (2.24)$$

Обычно время отпускания контакторов и электромагнитных пускателей не превышает 0,1–0,15 с. Из (2.24) следует, что при этих условиях $t_{ср.пр} \leq 0,1$ с. Такое малое время срабатывания обеспечивают предохранители при $I_{K3}^{(1)} > 10 I_{ном.пл.вст}$. В этом случае:

$$I_{ном.пл.вст} < I_{K3}^{(1)} / 10 \quad (2.25)$$

По этому условию выбрать предохранитель сложнее, чем по чувствительности к однофазному току КЗ. Это условие может быть определяющим для выбора предохранителя во внутренних сетях предприятий. Из-за невозможности выполнить данное условие во внутренних сетях предприятий приходится заменять в НКУ

предохранители на автоматические выключатели с токовой отсечкой.

2.5. Выбор быстродействующих плавких предохранителей для защиты полупроводниковых приборов

Быстродействующие предохранители выбираются по тем же параметрам, что и предохранители общего назначения, с дополнительной проверкой по интегралу Джоуля. При этом учитывается, для одного полупроводникового прибора выбирается предохранитель, или для нескольких параллельно включенных полупроводниковых приборов. Быстродействующие предохранители не проверяются на селективность с контактором или электромагнитным пускателем.

Основным параметром быстродействующего предохранителя является интеграл Джоуля $\int i^2 dt$, имеющий размерность $A^2 \cdot c$. Различают полный интеграл Джоуля $W_{\text{полн пред.}}$, который состоит из суммы преддугового интеграла $W_{\text{преддуг}}$ и интеграла дуги $W_{\text{дуги}}$:

$$W_{\text{полн пред}} = \int_0^t i^2 dt = W_{\text{преддуг}} + W_{\text{дуги}};$$

$$W_{\text{преддуг}} = \int_0^{t_{\text{преддуг}}} i^2 dt;$$

$$W_{\text{дуги}} = \int_{t_{\text{преддуг}}}^{t_{\text{преддуг}}+t_{\text{дуги}}} i^2 dt,$$
(2.26)

где i – мгновенное значение тока, протекающего через предохранитель, А;

$t_{\text{преддуг}}$ – время преддуговое, с;

$t_{\text{дуги}}$ – время дуги, с;

$t_{\text{ср}}$ – полное время срабатывания (отключения) предохранителя, равное преддуговому времени плюс время дуги, с.

Полупроводниковые силовые диоды, тиристоры, семисторы, транзисторы характеризуются также $W_{\text{приб}}$ (допустимым интегралом Джоуля), который иногда называют защитным показателем прибора:

$$W_{\text{приб}} = \int i^2 dt. \quad (2.27)$$

Наиболее важным условием надежной защиты полупроводникового прибора является требование, чтобы в течение интервала времени от начала аварийного режима до отключения аварийного тока температура полупроводникового прибора, включенного последовательно с предохранителем, не превышала допустимых значений. В противном случае произойдет тепловой пробой полупроводникового прибора. Чтобы это условие выполнялось, предохранитель должен обладать высоким быстродействием, а его полный интеграл Джоуля должен быть меньше интеграла Джоуля полупроводникового прибора. С учетом коэффициента запаса $K_{\text{зап}}$ условие защиты прибора принимает вид:

$$K_{\text{зап}} W_{\text{пол пред}} \leq W_{\text{приб}}. \quad (2.28)$$

По рекомендациям [35] $K_{\text{зап}} = 1,2-1,5$.

В табл. 2.10 приведены интегралы Джоуля некоторых полупроводниковых приборов и предохранителей.

Таблица 2.10

Интегралы Джоуля некоторых предохранителей и полупроводниковых силовых приборов

Тип полупроводникового прибора	Номинальный ток, А	Интеграл Джоуля прибора, $A^2 \cdot c$	Тип предохранителя	Номинальный ток, А	Интеграл Джоуля предохранителя, $A^2 \cdot c$
Диод Д161 – 250	250	$2,5 \cdot 10^5$	ПП57	250	$2,5 \cdot 10^3$
Тиристор Т171 – 320	320	$2,5 \cdot 10^5$	ПП59	250	$1,5 \cdot 10^3$
Диод ВЛ 320	320	$2,18 \cdot 10^5$	ПН2-400	400	$30 \cdot 10^5$

Из табл. 2.16 следует, что быстродействующий предохранитель ПП57 не способен защитить диод Д161-250, поскольку его интеграл Джоуля с учетом (2.28) больше, чем предохранителя.

В этом случае следует:

1) уменьшить рабочий ток диода до 160 А. Тогда плавкую вставку предохранителя можно взять тоже на 160 А. Ее интеграл Джоуля при токе 2 кА составит $10^5 A^2 \cdot c$, что меньше интеграла

Джоуля прибора. Лучшим решением будет применение предохранителя ПП159 на ток 250 А без уменьшения рабочего тока диода;

2) увеличить число параллельно включенных полупроводниковых приборов.

Из табл. 2.10 следует, что предохранитель общего применения ПН2-400 не может защитить полупроводниковые приборы, поскольку его интеграл Джоуля на порядок превышает интеграл Джоуля полупроводниковых приборов.

Осуществить выбор при параллельном включении нескольких полупроводниковых приборов сложнее. Например, на рис. 2.6 приведена схема выпрямительной установки на большой ток.

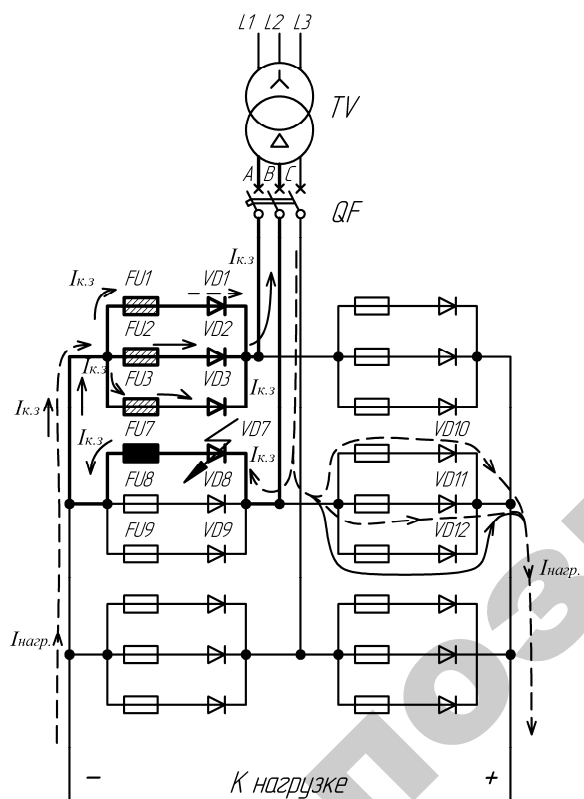


Рис. 2.6. Принципиальная электрическая схема силовой части выпрямительного агрегата

В каждом плече выпрямителя включены три диода. Последовательно с каждым диодом включен быстродействующий предохранитель.

Предположим, что в мгновение, когда ток нагрузки $I_{нагр}$ протекал через диоды VD10–VD12 и VD1–VD3, произошел пробой диода VD7 (зачернен). Возникает внутреннее КЗ в цепи, ток КЗ протекает от фазы В через VD7, предохранитель FU7 и замыкается на фазу А через параллельно включенные цепи предохранителей FU1–FU3 и диодов VD1–VD3.

Авария будет ликвидирована и выпрямитель продолжит работу, если плавкие элементы FU1–FU3 не успеют сработать, а диоды VD1–VD3 выйти из строя за время срабатывания предохранителя FU7.

Обратите внимание, что ток КЗ через параллельную ветвь $I'_{КЗ}^{(2)}$ в плече преобразователя будет протекать в три раза меньший, чем ток КЗ $I_{КЗ}^{(2)}$ через предохранитель FU7:

$$I'_{КЗ}^{(2)} = I_{КЗ}^{(2)} / n, \quad (2.29)$$

где n – число параллельных ветвей в плече преобразователя.

Очевидно, что при этом в n^2 раз уменьшается тепло, выделенное в каждом предохранителе и диоде в параллельных плечах, поскольку оно пропорционально квадрату тока. Это обстоятельство облегчает защиту параллельно включенных полупроводниковых приборов. В этом случае условие защиты полупроводникового прибора в параллельной ветви плеча преобразователя с помощью быстродействующего предохранителя в соседнем плече имеет вид:

$$\frac{K_{зап} W_{пол пред}}{n^2} \leq W_{приб} \quad (2.30)$$

Например, для диода VD1 в условиях (рис. 2.16) можно записать:

$$\frac{K_{зап} W_{пол FU7}}{3^2} \leq W_{VD1}$$

Из формулы (2.30) видно, что увеличение числа параллельных ветвей n облегчает выполнение условий защиты.

Кроме выполнения условия (2.30), должно быть выполнено условие селективности предохранителей в соседних плечах преобра-

зователя. Например, если на рис. 2.6 в цепи КЗ оказались предохранители FU7 и параллельные ветви с предохранителями FU1–FU3, то для обеспечения селективности требуется, чтобы сработал предохранитель FU7 и отключил ветвь VD7–FU7 и не сработал ни один предохранитель FU1–FU3. В отличие от обычных электроустановок селективное срабатывание быстродействующего предохранителя обеспечивает непрерывность работы преобразователя, в котором произошло КЗ. Для повышения надежности работы преобразователя требуется, чтобы предохранители FU1–FU3 не успели начать плавиться при КЗ в ветви FU7. В этом случае рассматривается не полный интеграл Джоуля, а преддуговой интеграл Джоуля предохранителей FU1–FU3.

Для селективного отключения только предохранителя поврежденного полупроводникового прибора с учетом разброса интегралов плавления и отключения необходимо обеспечить соотношение:

$$K_{\text{зап}} W_{\text{полн max}} / n^2 \leq W_{\text{пл min}}, \quad (2.31)$$

где $W_{\text{полн max}}$ – наибольшее значение полного интеграла отключения предохранителя, через который проходит весь ток КЗ, $A^2 \cdot c$;

$W_{\text{пл min}}$ – наименьшее значение интеграла плавления предохранителей, установленных в параллельных ветвях, $A^2 \cdot c$.

Из уравнения (2.31) определяют минимальное число параллельно включенных приборов [35].

Уравнение (2.31) справедливо при условии, что токи равномерно разделяются по n -параллельно включенным полупроводниковым приборам. Иначе в формулу вводится коэффициент неравномерности деления тока по ветвям в плече выпрямителя. Селективность по (2.31) обеспечивается при наличии, как правило, не менее трех параллельных ветвей.

Интегралы Джоуля предохранителя и полупроводникового прибора приводятся в каталогах.

Если величина интеграла Джоуля для полупроводникового прибора не указана в каталогах, то она может быть определена по выражению:

$$(I^2 t)_{\text{приб}} = (I_m^2 T) / 4, \quad (2.32)$$

где I_m – допустимое значение ударного неповторяющегося тока в прямом направлении, А. Например, для тиристора типа Т320 $I_m = 35$ кА;

T – период переменного тока, с; при 50 Гц $T = 20 \cdot 10^{-3}$ с.

Величина I_m существенно зависит от частоты тока. При необходимости следует уточнять конкретные условия применения полупроводникового прибора и предохранителя. В процессе отключения аварийного тока величина I_m также не должна быть превышена. Это условие записывается в виде:

$$I_m \geq I_{\text{пр max}} / n, \quad (2.33)$$

где $I_{\text{пр max}}$ – наибольшее значение пропускаемого предохранителем тока при аварийном отключении. Значение этого тока приводится заводом-изготовителем в информационных материалах. Это значение может быть определено по зависимости пропускаемого тока от ожидаемого тока КЗ.

2.6. Технические данные плавких предохранителей на ток до 100 А

Номинальные токи и напряжения плавких предохранителей российских производителей на ток до 100 А, их номинальные токи плавких вставок и отключающая способность приведены в табл. 2.11.

Таблица 2.11

Технические данные плавких предохранителей на ток до 100 А

Тип	Номинальный ток, А		Номинальное напряжение, В	Предельный отключаемый ток, кА
	предохранителя	плавкой вставки		
1	2	3	4	5
ППН-33*2	160	<i>Силовые, общего назначения</i> 2; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100;	380/500 *1	50/50 *1
ППНИ-31, габарит 00	100	2; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	500; 660/500	50 кА при 660 В; 120 кА при 500 В
ППЗ2-31*3	100	20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	380/220	100/100
ППЗ1-29	63	4; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	660/440	100/100
ПН2-100*6	100	31.5; 40; 50; 63; 80; 100	380/220	100/100

Окончание таблицы 2.11

1	2	3	4	5
НПН2-60 ^{*3}	63	6,3; 10; 16; 20; 25; 31,5; 40; 63	380(500) /220	10/10
ПРС-10 ^{*10}	10	1; 2; 4; 6,3; 10	500/440	10
ПРС-25	25	4; 6,3; 10; 16; 20; 25		
ПРС-3-63	63	20; 25; 40; 63		
ПРС-4-100	100	40; 63; 80; 100		
ПП-24	25	2; 4; 6,3; 10; 16; 20; 25	380/220	100
ППТ-10	10	<i>Для цепей управления</i>		1,5
		6,3 – (ВТФ-6); 10 – (ВТФ-10)		
ПТ 23	16	6-(ВТФМ-6); 10-(ВТФМ-10); 16-(ВТФМ-16)	220/220	2,5/-
ПТ 26	31,5	20-(ВТФМ-20); 25-(ВТФМ-25); 31,5-(ВТФМ-31,5)	220/220	2,5/-
ПТ1-1	31,5	0,5; 1; 2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 16; 25; 31,5	220/220	2,5/-
ПТ1-2	80	40; 50; 63; 75; 80		
^{*4} Е-27 (Ц-27)	10	<i>Бытовые</i>		0,6/-
		2,5; 4; 6; 10		
Е-40 ^{*4} (Ц-40)	20 60	6; 10; 15; 20		380(220) /-
		10; 15; 20; 30; 40; 60		
		<i>Быстродействующие</i>		
ПП157-3127 ^{*5}	100	25; 40; 63; 100	220/220	100
ПНБ7-380/100 ^{*3}	100	25; 32; 40; 50; 63; 80; 100	380/-	100
ПП-40-25...31 ^{*7}	25...100	25; 40; 63; 100	660/440	200
ПП-50-23 ^{*8}	16	16	-/220	10
ПП-50-25	25	25	-/110	
ПП-50-27	40	40	-/110	

^{*1} В числителе – для переменного, а в знаменателе – для постоянного токов.

^{*2} Выпускаются на ток до 1250 А при напряжении 500 В [36].

^{*3} Подробные данные выпускаемых предохранителей приведены в [37].

^{*4} В обозначении Е 27 и Е 40 цифры означают диаметр резьбы патронов в миллиметрах.

^{*5} Приведенная здесь таблица типов выпускаемых предохранителей ПП157 сокращена.

Имеются предохранители на 1250 и 2000 В, см. [37].

^{*6} Подробные данные выпускаемых предохранителей приведены в [36].

^{*7} Предохранители для преобразователей на тиристорах и диодах для электроприводов, см. каталог ЛК 07.05.05-91 Информэлектро.

^{*8} Предохранители для защиты преобразователей роботов «Бета», см. каталог 07.04.03-91 Информэлектро.

^{*9} Перспективная серия быстродействующих плавких предохранителей.

^{*10} По данным промышленного каталога 07.04.24-02 Информэлектро.

Плавкие предохранители НПН2-60 предназначены для защиты электрооборудования трехфазного переменного тока с номинальным напряжением до 380 В частоты 50 и 60 Гц и в цепях постоянного тока напряжением до 220 В при значительных перегрузках и коротких замыканиях.

Рекомендуются для применения в распределительных шкафах и низковольтных комплектных устройствах. Имеют отключающую способность 10 кА (см. табл. 2.11).

Предохранители соответствуют требованиям ГОСТ 17242. Степень защиты – IP00. Номинальные токи плавких вставок 6,3, 10, 16, 20, 25, 31,5, 40, 63 А [37].

Общий вид плавкого предохранителя НПН2-60 изображен на рис. 2.7.



Рис. 2.7. Плавкий предохранитель НПН2-60

Предохранитель состоит из плавкой вставки и контактов основания. Плавкая вставка является сменяемым элементом при перегорании предохранителя, представляет собой стеклянный корпус с крышками на торцах и медными выводами, которые вставляются в контакты изоляционного основания.

Внутри заполненного кварцевым песком корпуса находится плавкий элемент, соединенный с выводами плавкой вставки.

Плавкий элемент определяет номинальный ток плавкой вставки. При прохождении тока выше номинального выделяется тепло, достаточное для расплавления плавкого элемента, а нанесенные на плавкие элементы бугорки олова ускоряют этот процесс, благодаря чему обеспечиваются необходимые защитные характеристики и

уменьшаются потери мощности. После расплавления плавких элементов возникшая электрическая дуга гасится кварцевым наполнителем, аварийная цепь размыкается.

Условия эксплуатации: диапазон рабочих температур от -10 до +55 °С; высота над уровнем моря – до 2000 м; режим работы продолжительный; климатическое исполнение – УЗ, ТЗ и УХЛ4.

Предохранители НПН2-60 монтируются на изоляционное основание или плиту комплектного устройства.

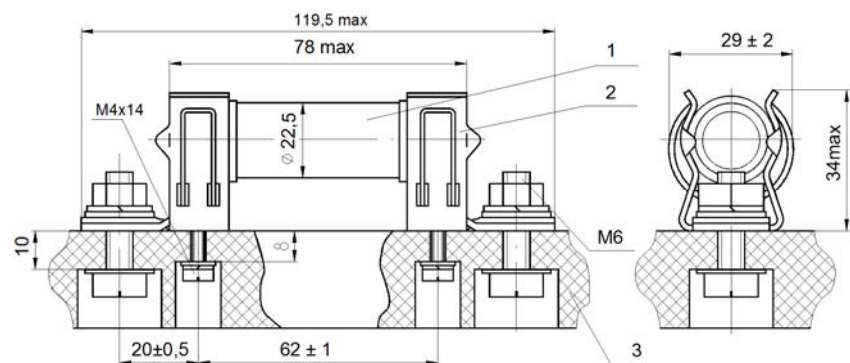


Рис. 2.8. Габаритные, установочные и присоединительные размеры плавких предохранителей НПН2-60: 1 – вставка плавкая; 2 – контакт основания; 3 – изоляционное основание или плита комплектного устройства

Предусмотрены клещи для смены плавких вставок предохранителя НПН2-60 (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Клещи для смены плавких вставок предохранителя НПН2-60

В заказе на предохранитель должны быть указаны:

- 1) тип предохранителя (НПН2-60);
- 2) климатическое исполнение и категория размещения;
- 3) для экспорта – вид поставки;
- 4) номинальный ток плавкой вставки, А.

Пример записи обозначения предохранителя с плавкой вставкой на номинальный ток 40 А:

на внутренний рынок в районы с умеренным климатом – «Предохранитель НПН2-60-УЗ, 40А. ТУ 16-521.010-75»;

на внутренний рынок в районы с холодным климатом – «Предохранитель НПН2-60-УХЛ4, 40А. ТУ 16-521.010-75».

Пример записи обозначения клещей для замены плавких вставок: «Клещи предохранителей типа НПН2-60, ТУ 16-521.010-75».

В системах управления и в электроаппаратуре применяются предохранители типов ППТ, ПТ, ПК-30, ПР-1М (см. табл. 2.11)

Широко используются в цепях управления **плавкие предохранители типа ПР-1М** с плавкими вставками на 2, 4, 6, 8 и 10 А (рис. 2.10). Они имеют малогабаритную пластмассовую рукоятку для снятия и установки плавкой вставки под напряжением. Рукоятка остается в предохранителе, она несъемная. Предохранители ПР-1М наиболее приемлемы для установки в шкафах управления.



Рис. 2.10. Плавкие вставки предохранителя ПР-1М

Плавкие предохранители типа ППТ выпускаются на номинальное напряжение до 220 В и ток до 10 А. Предназначены для защиты при перегрузках и коротких замыканиях оперативных и сигнализационных цепей энергетических установок переменного и постоянного напряжения 220 В. В комплекте с ними применяются плавкие вставки типа ВТФ-6 на ток 6 А и ВТФ-10 на ток 10 А.

Структура условного обозначения следующая:

ППТ-10 X₁X₂:

ППТ – предохранитель плавкий трубчатый;

10 – номинальный ток 10 А;

X₁X₂ – климатическое исполнение: УЗ; УХЛЗ; ТЗ.

Общий вид плавких предохранителей ППТ-10 и его плавких вставок ВТФ изображен на рис. 2.11, а габаритные размеры предохранителей в сборе – на рис. 2.12.



Рис. 2.11. Плавкий предохранитель ППТ-10 и его плавкие вставки типа ВТФ

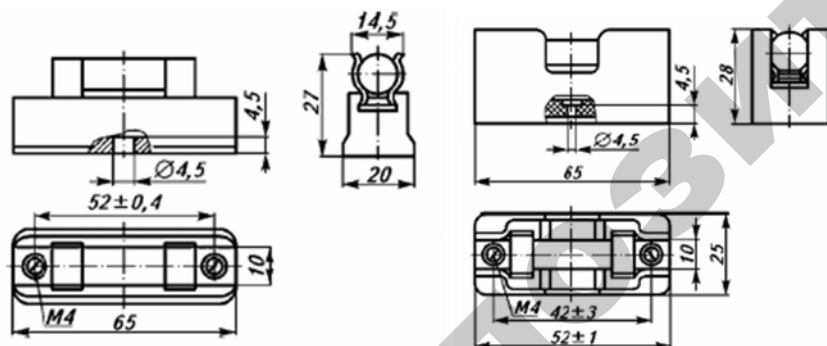


Рис. 2.12. Габаритные размеры предохранителей плавких ППТ-10

Структура условного обозначения вставки следующая:

ВТФ-X₁X₂X₃:

ВТФ – вставка трубчатая фарфоровая;

X₁ – номинальный ток; 6,3 А; 10 А;

X₂X₃ – климатическое исполнение: УЗ; УХЛЗ; ТЗ.

Плавкие предохранители типа ПТ имеют номинальное напряжение до 250 В и ток 10 А. Номинальный ток плавких вставок: 0,5; 1; 2; 4; 6; 10 А.

Плавкие предохранители типа ПК-30 могут применяться в цепях напряжением до 250 В. Номинальный ток плавких вставок 0,15; 0,25; 0,5; 1; 2 А.

Плавкие предохранители ПРС – резьбовые, с пластмассовым корпусом. Предохранители серии ПРС могут устанавливаться на изоляционных и металлических основаниях. Изготавливаются на токи плавких вставок 1–100 А при напряжении 380 В переменного тока и 240 В постоянного тока (см. табл. 2.11). Предохранители ПРС удобны в эксплуатации. На рис. 2.13 изображена конструкция резьбового предохранителя ПРС.

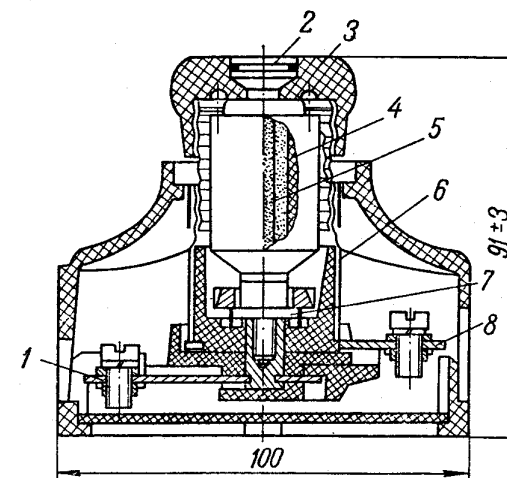


Рис. 2.13. Предохранитель ПРС:

1, 8 – зажимы для присоединения проводников; 2 – застекленное отверстие головки; 3 – съемная контактная фарфоровая головка; 4 – корпус плавкой вставки; 5 – плавкий элемент; 6 – контактная гильза; 7 – винт

Предохранитель ПРС (рис. 2.13) имеет зажимы 1 и 8 для присоединения проводников. Зажимы расположены внутри пластмассового (стеатитового) корпуса. Зажим 1 имеет вывод к неподвижному контакту (винту 7), а зажим 8 – к резьбовому цилиндру (гильзе 6). Плавкая вставка имеет фарфоровый корпус 4, внутри которого находятся наполнитель (кварцевый песок), плавкий элемент и указатель срабатывания. Одним торцом плавкая вставка прижимается к контакту 7, а вторым – к гильзе, закрепленной в съемной (выворачиваемой) фарфоровой головке 3. Головка имеет застекленное отверстие 2, через которое виден указатель срабатывания плавкой вставки. Указатель представляет собой шайбу с окрашенным торцом, припаянную к одному выводу вспомогательного плавкого элемента, второй вывод которого припаян к противоположному выводу плавкой вставки. Шайба подпружинена. При перегорании основного плавкого элемента перегорает и плавкая вставка указателя срабатывания. Шайба в этом случае не держится у торца плавкой вставки и отходит от него. Через застекленное отверстие 2 видно, что предохранитель сработал.

Плавкий предохранитель ПРС имеет 4 габарита. Технические данные его приведены в табл. 2.11, а внешний вид – на рис. 2.14.



Рис. 2.14. Вид сверху на предохранители ПРС и плавкие вставки ПВД

Структура условного обозначения предохранителя ПРС следующая:

ПРС – X₁X₂ X₃ – X₄:

ПРС – предохранитель резьбовой на собственном изоляционном основании;

X₁ – номинальный ток основания: 6,3; 25; 63; 100 А;
 X₂X₃ – климатическое исполнение УЗ, ТЗ, ХЛЗ;
 X₄ – вид присоединения проводов к выводам: П – переднее;
 З – заднее.

Предохранители комплектуются плавкими вставками ПВД.

Структура условного обозначения плавких вставок ПВД следующая:

ПВД X₁ – X₂:

ПВД – плавкая вставка диэцед;

X₁ – габарит;

X₂ – величина номинального тока плавкой вставки (от 1 до 100 А, см. табл. 2.11).

Резьбовые плавкие предохранители ПП 24 (ПП 25), бытовые предохранители Е-27 имеют технические характеристики, изложенные в таблице 2.11. Внешний вид предохранителей изображен на рис. 2.15.



Рис. 2.15. Предохранители ПП 24 (25) и Е-27

Перегорая, плавкие предохранители обеспечивают только однократную защиту. После этого требуется замена плавкой вставки. Это не всегда удобно, а во многих случаях требует вмешательства квалифицированного специалиста. Вместо них можно использовать автоматические выключатели, иногда – самовосстанавливающиеся предохранители.

2.7. Приборные предохранители

Приборные предохранители предназначены для защиты приборов, электронных аппаратов и радиоэлектронных элементов, цепей управления электрооборудованием, электронных аппаратов в телефонии и других устройств слаботочной техники.

Они бывают следующих типов:

- 1) плавкие предохранители;
- 2) самовосстанавливающиеся предохранители;
- 3) термopредохранители;
- 4) электронные предохранители.

Плавкие предохранители на малые токи могут не иметь основания и держателей. Их плавкая вставка может содержать по торцам лепестки, предназначенные для пайки в плату. В других конструкциях держатели плавкой вставки припаиваются к плате и в них вставляются цилиндрические плавкие вставки. В третьих конструкциях имеется основание с держателями плавкой вставки. Конструктивное выполнение держателей приборных плавких предохранителей разнообразное. Параметры отечественных цилиндрических держателей плавких предохранителей для крепления на панели приведены в табл. 2.12, а внешний вид – на рис. 2.16.

Таблица 2.12

Держатели отечественных цилиндрических предохранителей, крепящихся на панели

Тип	Размеры (диаметр×длина)	Максимальное напряжение, В	Сопротивление контактов, Ом	Сопротивление изоляции, ГОм
ДВП8	8×50	600	0,01	1
ДВП4-1	4×15	250	0,01	1
ДВП4-2	5×20	250	0,01	1
ДВП4-2В	5×20	250	0,01	1
ДВП4-3	7×30	250	0,01	1
ДВП4-4В	6×32	250	0,01	1
ДВП7	6×32	250	0,01	1
ДП-1М	5×20	250	0,01	1



Рис. 2.16. Держатели ДВП плавких предохранителей

Основные типы приборных плавких предохранителей приведены в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Отечественные приборные плавкие предохранители [38]

Тип	Номинальный ток плавких вставок, А	Тип	Номинальный ток плавких вставок, А	Тип	Номинальный ток плавких вставок, А
ВП1-2 ВП(1-1)	0,25...5	ВПБ6-1	0,16	ВПТ6-1	0,16
		ВПБ6-2	0,25	ВПТ6-2	0,25
ВП2Б-1В	0,25...8	ВПБ6-5	0,5	ВПТ6-3	0,315
ВПЗБ-1В	1...8	ВПБ6-7	1	ВПТ6-4	0,4
ВПЗТ-2Ш	3,15...10	ВПБ6-10	2	ВПТ6-5	0,5
ВП4-1	0,5	ВПБ6-11	3,15	ВПТ6-6	0,63
ВП4-2	0,75	ВПБ6-12	4	ВПТ6-7	1
ВП4-3	1,0	ВПБ6-13	5	ВПТ6-8	1,25
ВП4-4	2,0	ВПБ6-23	2	ВПТ6-9	1,6
ВП4-5	3,15	ВПБ6-24	3,15	ВПТ6-10	2

Окончание таблицы 2.13

Тип	Номинальный ток плавких вставок, А	Тип	Номинальный ток плавких вставок, А	Тип	Номинальный ток плавких вставок, А
ВП4-6	3,5	ВПБ6-25	4	ВПТ6-11	3,5
ВП4-7	4	ВПБ6-26	5	ВПТ6-13	5
ВП4-8	0,1	ВПБ6-36	2	ВПТ6-15	0,25
ВП4-9	0,16	ВПБ6-37	3,15	ВПТ6-18	0,5
ВП4-10	0,2	ВПБ6-38	4	ВПТ6-19	2
ВП4-11	0,25	ВПБ6-39	5	ВПТ6-20	1
ВП4-12	0,315	ВПБ6-40	6,3	ВПТ6-26	5
ВП4-13	0,4	ВПБ6-41	8	ВПТ6-28	0,25
ВП4-15	1,6	ВПБ6-42	10	ВПТ6-31	0,5
ВП4-16	5	ВПМ2-М1	0,1...0,5	ВПТ6-33	1
ВП4-17	0,63	ПЦ-30	1...5	ПК-30	0,15...2
ВП4-18	2,5			ПК-45	0,15...5

Плавкие вставки таких предохранителей имеют стеклянные, пластмассовые или фарфоровые корпуса в форме цилиндра (рис. 2.17).

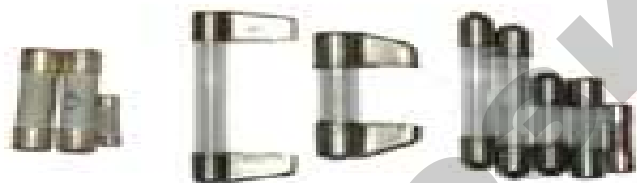


Рис. 2.17. Плавкие вставки приборных плавких предохранителей

Внутри корпуса находятся плавкие элементы в виде проволоки или ленты фольги. Корпус плавкой вставки может быть заполнен кварцевым песком, или без него. Плавкие вставки приборных предохранителей обычно неразборные. Обширный спектр приборных плавких предохранителей выпускают иностранные фирмы. Ниже приведены технические данные приборных плавких предохранителей фирмы Sitron (табл. 2.14–2.17).

Особенности конструкции: стеклянный корпус; никелированные контакты.



Рис. 2.18. Вставка плавкая миниатюрная типа SI, 5×20 мм, 250 В фирмы Sitron

Таблица 2.14

Граничные значения времени срабатывания медленных плавких вставок типа SI

Номинальный ток I_n , мА	Граничные значения времени срабатывания при токе							
	$1,5I_n-2,1I_n$		$2,75I_n$		$4I_n$		$10I_n$	
	min	max	min	max	min	max	min	max
32–100 мА	2 мин	1 час	200 мс	10 с	40 мс	3 с	10 мс	300 мс
125 мА–10 А	2 мин	1 час	600 мс	10 с	150 мс	3 с	20 мс	300 мс

Таблица 2.15

Граничные значения времени срабатывания быстрых плавких вставок типа SI

Номинальный ток I_n , мА	Граничные значения времени срабатывания при токе							
	$1,5I_n-2,1I_n$		$2,75I_n$		$4I_n$		$10I_n$	
	min	max	min	max	min	max	min	max
32–100 мА	30 мин	1 час	10 мс	500 мс	3 мс	100 мс	-	100 мс
125 мА–8 А	30 мин	1 час	50 мс	2 с	10 мс	300 мс	-	300 мс
8 А–10 А	30 мин	1 час	50 мс	2 с	10 мс	400 мс	-	300 мс

Таблица 2.16

Технические данные медленных плавких вставок типа SI

Тип	Артикул	Номинальный ток	Падение напряжения, мВ	Потеря мощности, Вт	Интеграл Джоуля, А ² ·с	Упаковка, шт.
1	2	3	4	5	6	7
SI 0,032 A	2912	32 mA	3000	0,2	0,010	10
SI 0,040 A	2913	40 mA	2000	0,2	0,020	10
SI 0,050 A	2914	50 mA	1500	0,2	0,035	10
SI 0,063 A	2915	63 mA	1000	0,2	0,05	10
SI 0,080 A	2916	80 mA	800	0,2	0,12	10
SI 0,100 A	2917	100 mA	700	0,3	0,16	10
SI 0,125 A	2918	125 mA	600	0,3	0,24	10
SI 0,160 A	2919	160 mA	600	0,3	0,4	10
SI 0,200 A	2920	200 mA	500	0,3	0,7	10
SI 0,250 A	2921	250 mA	400	0,2	1,4	10
SI 0,315 A	2922	315 mA	140	0,2	0,35	10
SI 0,400 A	2923	400 mA	130	0,2	0,49	10
SI 0,500 A	2924	500 mA	120	0,2	0,9	10
SI 0,630 A	2925	630 mA	110	0,2	1,4	10
SI 0,800 A	2926	800 mA	100	0,3	3,2	10
SI 1,000 A	2927	1 A	90	0,3	6,5	10
SI 1,250 A	2928	1,25 A	80	0,3	5,0	10
SI 1,600 A	2929	1,6 A	80	0,4	10	10
SI 2,000 A	2930	2 A	80	0,5	20	10
SI 2,500 A	2931	2,5 A	80	0,6	26	10
SI 3,150 A	2932	3,15 A	80	0,6	44	10
SI 4,000 A	2933	4 A	80	0,8	72	10
SI 5,000 A	2934	5 A	80	1,2	130	10
SI 6,300 A	2935	6,3 A	70	1,3	230	10
SI 8,000 A	2936	8 A	70	1,8	240	10
SI 10,00 A	2937	10 A	70	2,4	380	10

В области производства плавких предохранителей актуальными являются следующие задачи: снижение номинальных токов; повышение долговечности и миниатюризации. Использование в качестве плавких вставок *литого микропровода в стеклянной изоляции* позволило создать предохранители на токи от единиц милли-

ампер, повысить их долговечность – до десяти тысяч часов работы и значительно снизить габаритные размеры.

Таблица 2.17

Технические данные быстрых плавких вставок типа SI

Тип	Артикул	Номинальный ток	Падение напряжения, мВ	Потеря мощности, Вт	Интеграл Джоуля, А ² ·с	Упаковка, шт.
1	2	3	4	5	6	7
SI 0,032 A	2891	32 mA	10000	0,8	0,0001	10
SI 0,040 A	2892	40 mA	8000	0,8	0,0002	10
SI 0,050 A	2893	50 mA	3500	0,4	0,0004	10
SI 0,063 A	2894	63 mA	3500	0,5	0,0007	10
SI 0,080 A	2895	80 mA	2500	0,5	0,0017	10
SI 0,100 A	2896	100 mA	2200	0,6	0,0022	10
SI 0,125 A	2897	125 mA	350	0,2	0,01	10
SI 0,160 A	2898	160 mA	310	0,2	0,02	10
SI 0,200 A	2899	200 mA	290	0,2	0,037	10
SI 0,250 A	2900	250 mA	280	0,3	1,073	10
SI 0,315 A	2901	315 mA	230	0,3	0,16	10
SI 0,400 A	2902	400 mA	200	0,3	0,31	10
SI 0,500 A	2903	500 mA	160	0,3	0,16	10
SI 0,630 A	2904	630 mA	140	0,3	0,39	10
SI 0,800 A	2905	800 mA	130	0,4	0,8	10
SI 1,000 A	2406	1 A	130	0,5	1,5	10
SI 1,250 A	2906	1,25 A	120	0,6	2,0	10
SI 1,600 A	2907	1,6 A	120	0,7	4,1	10
SI 2,000 A	2407	2 A	120	0,8	6,2	10
SI 2,500 A	2908	2,5 A	120	1,0	11	10
SI 3,150 A	2909	3,15 A	120	1,2	20	10
SI 4,000 A	2408	4 A	100	1,4	25	10
SI 5,000 A	2938	5 A	100	1,7	42	10
SI 6,300 A	2409	6,3 A	100	2,0	79	10
SI 8,000 A	2910	8 A	100	2,2	125	10
SI 10,00 A	2911	10 A	100	2,4	220	10

Например, плавкие предохранители типов ВПМ-2 и ВПМ-2Т имеют следующие габаритные размеры: диаметр – 7,6 мм, длина – 2,4 мм. Вес – не более 5 г. Рабочее их напряжение – 125 и 250 В. Номинальные токи плавких предохранителей следующие: 0,02; 0,025; 0,032; 0,04; 0,05; 0,063; 0,08; 0,1; 0,125; 0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0 А.

Активное сопротивление плавких предохранителей ВПМ-2 и ВПМ-2Т составляет не более 25 Ом (при токе 20 мА) и 0,7 Ом – при токе 200 мА. Если ток 2 А, то активное сопротивление предохранителей составляет 0,08 Ом. Время плавления плавких предохранителей составляет не более 0,1 с (при пятикратном номинальном токе для плавких вставок до 200 мА) и не более 0,1 с при десятикратном номинальном токе для плавких вставок 0,25–2,0 А. Диапазон рабочих температур составляет от –60 °С до +100 °С.

На смену предохранителям, реагирующим только на текущий через них ток, пришли самовосстанавливающиеся предохранители и термopредохранители, реагирующие на текущий через них ток и температуру среды, в которой они размещены или которую они контролируют.

Преимущество **самовосстанавливающихся предохранителей (СП)** перед плавкими предохранителями заключается в том, что они рассчитаны на многократные срабатывания.

Сегодня СП нашли широкое применение в различных областях электроники и электротехники. Как и обычные плавкие предохранители, СП включаются в цепь питания последовательно с нагрузкой.

Самовосстанавливающиеся предохранители бывают двух типов:

- 1) на основе проводящего пластика;
- 2) на основе позисторов.

СП из проводящего пластика формируется в тонкий лист с напылением электродов на боковые поверхности. Проводящий пластик – это особое вещество, состоящее из непроводящего кристаллического полимера и распределенных в нем мельчайших частиц технического углерода, проводящих электрический ток. Электроды гарантируют равномерное распределение энергии по всей площади поверхности. К ним прикрепляют проволочные или лепестковые выводы.

Особенность, которая позволяет использовать этот материал в СП, состоит в том, что проводящий пластик проявляет высокий нелинейный положительный температурный коэффициент сопротивления (ТКС).

ТКС с положительным знаком обладают многие материалы. Отличительная способность материала СП – большая крутизна зависимости сопротивления от температуры самого СП или окружающей среды и практически скачкообразное изменение сопротивления из проводящего в непроводящее состояние (рис. 2.19).

До определенной, так называемой «переходной» температуры, сопротивление СП практически постоянно. При достижении же «переходной» температуры сопротивление резко увеличивается.

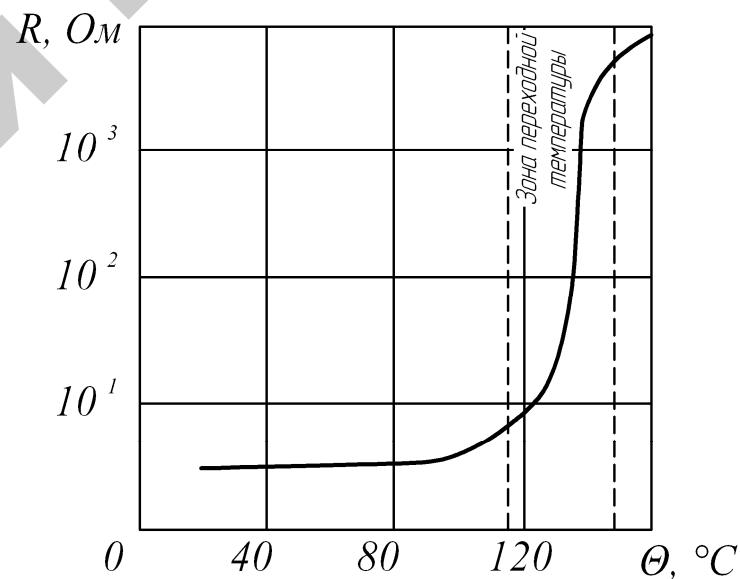


Рис. 2.19. Изменение сопротивления самовосстанавливающегося предохранителя от его температуры

При комнатной температуре материал СП имеет кристаллическую структуру. Проводящие частицы технического углерода расположены в нем по границам кристаллов весьма плотно, близко друг к другу, образуя цепочки, по которым может проходить электрический ток (рис. 2.20, а).

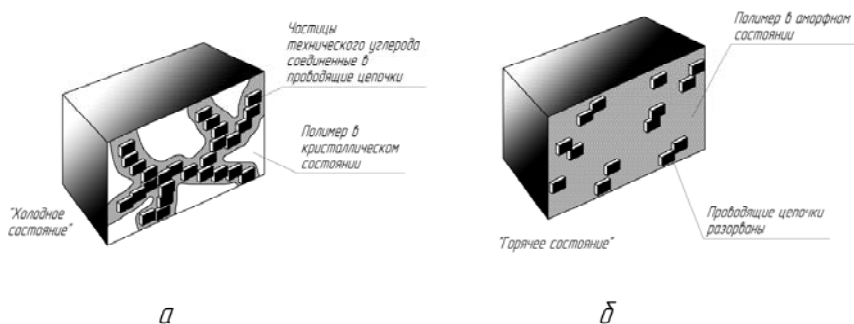


Рис. 2.20. Состояние кристаллической структуры материала самовосстанавливающегося предохранителя в «холодном» состоянии (а) и в «горячем» состоянии (б)

Когда возникает аварийная ситуация (например, при замыкании нагрузки в цепи, где установлен СП), через СП начинает протекать ток, превышающий номинальный. Температура его материала начинает увеличиваться, пока не достигнет так называемой температуры «фазовой трансформации», при которой происходит изменение фазового состояния полимера кристаллического в аморфное состояние, сопровождаемое небольшим расширением. Теперь проводящие частицы технического углерода не сжаты кристаллами полимера в плотные цепочки, движутся относительно друг друга и слабо проводят электрический ток. В результате сопротивление материала СП резко возрастает (в 1000 раз), он почти не проводит ток, выключается (рис. 2.20, б).

СП остается в «горячем» состоянии, обеспечивая постоянную защиту до тех пор, пока не будут устранены причины его срабатывания. После устранения причины срабатывания СП охлаждается, полимер снова кристаллизуется, проводящие цепочки восстанавливаются, его сопротивление быстро возвращается к первоначальному значению. СП снова готов к работе.

Наибольшее внимание заслуживают СП фирм Bourns и Raychem (рис. 2.21).

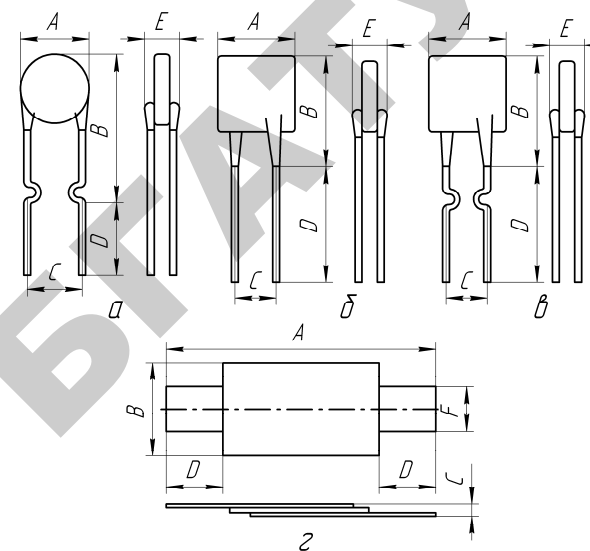


Рис. 2.21. Основные корпуса самовосстанавливающих предохранителей Multifuse фирмы Bourns: а – дисковые, с радиальными проволочными выводами; б, в – прямоугольного общего применения для печатного монтажа; г – в плоских прямоугольных корпусах с ленточными выводами серии MF-S, MF-LS для защиты аккумуляторных батарей от замыкания и перегрева в процессе зарядки

СП Multifuse фирмы Bourns выпускаются в корпусах нескольких видов [39].

Дисковые СП с радиальными проволочными выводами выпускаются серий MF-R, MF-RX (MF-R010–MF-R090, MF-R110–MF-R185 (рис. 2.21, а); MF-R090-0-9, MF-R250MF-R300–MF-R900 (рис. 2.21, б); MF-R250-0-10 (рис. 2.21, в)). Эти СП – общего применения, для печатного монтажа в отверстия или навесного монтажа.

Серии MF-SM, MF-MSM – общего применения, для поверхностного монтажа. В плоских прямоугольных корпусах, с ленточными выводами, серий MF-S, MF-LS (рис. 2.21, г) – для защиты аккумуляторных батарей от замыкания и перегрева в процессе зарядки.

На рис. 2.21 размер А колеблется от 7,4 мм (MF-R-010) до 24,2 мм (MF-R900); размер В – от 12,7 мм (MF-R-010) до 32,9 мм (MF-R900); размер С – от 5,1 мм до 10,2 мм; размер Е – 3–3,1 мм.

Минимальный ток срабатывания – минимальный ток через СП, приводящий к переходу из проводящего состояния в непроводящее, т. е. к срабатыванию.

Основные электрические параметры самовосстанавливающихся предохранителей серии MF приведены в табл. 2.18.

Таблица 2.18

Основные электрические параметры самовосстанавливающихся предохранителей [39]

Тип	Макс. рабочее напряжение, В	Номинальный рабочий ток, А	Мин. ток срабатывания, А	Начальное сопротивление мин./макс., Ом	Макс. сопротивление через 1 час после срабатывания и снятия напряжения, Ом	Макс. время срабатывания, с. (при токе А)	Мощность рассеяния в непроводящем состоянии, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8
MF-R010	60	0,1	0,2	2,5/4,5	7,5	4 (0,5)	0,38
MF-R017	60	0,17	0,34	2/3,2	8	3 (0,85)	0,48
MF-R020	60	0,2	0,4	1,5/2,84	4,4	2,2 (1)	0,4
MF-R025	60	0,25	0,5	1,1/1,95	3	2,5 (1,25)	0,45
MF-R030	60	0,3	0,6	0,76/1,36	2,1	3 (1,5)	0,5
MF-R040	60	0,4	0,8	0,52/0,86	1,29	3,8 (2)	0,55
MF-R050	60	0,5	1	0,41/0,77	1,17	4 (2,5)	0,75
MF-R065	60	0,65	1,3	0,27/0,48	0,72	5,3 (3,25)	0,9
MF-R075	60	0,75	1,5	0,18/0,4	0,6	6,3 (3,75)	0,9
MF-R090	60	0,9	1,8	0,14/0,31	0,47	7,2 (4,5)	1
MF-R090-0-9	30	0,9	1,8	0,07/0,12	0,22	5,9 (4,5)	0,6
MF-R110	30	1,1	2,2	0,1/0,18	0,27	6,6 (5,5)	0,7
MF-R135	30	1,35	2,7	0,065/0,115	0,17	7,3 (6,75)	0,8
MF-R160	30	1,6	3,2	0,055/0,105	0,15	8 (8)	0,9
MF-R185	30	1,85	3,7	0,04/0,07	0,11	8,7 (9,25)	1
MF-R250	30	2,5	5	0,025/0,048	0,07	10,3 (12,5)	1,2
MF-R250-0-10	30	2,5	5	0,025/0,048	0,07	10,3 (12,5)	1,2

Окончание табл. 2.18

1	2	3	4	5	6	7	8
MF-R300	30	3	6	0,02/0,05	0,08	10,8 (15)	2
MF-R400	30	4	8	0,01/0,03	0,05	12,7 (20)	2,5
MF-R500	30	5	10	0,01/0,03	0,05	14,5 (25)	3
MF-R600	30	6	12	0,005/0,02	0,04	16 (30)	3,5
MF-R700	30	7	14	0,005/0,02	0,03	17,5 (35)	3,8
MF-R800	30	8	16	0,005/0,02	0,03	18,8 (40)	4
MF-R900	30	9	18	0,005/0,01	0,02	20 (40)	4,2
MF-S120	15	1,2	2,7	0,085/0,16	0,22	5 (6)	1,2
MF-S150	15	1,5	3	0,05/0,09	0,11	5 (8)	1,3
MF-S175	15	1,75	3,8	0,05/0,09	0,12	4 (9)	1,5
MF-S200	30	2	4,4	0,03/0,06	0,08	4 (10)	1,9
MF-S350	30	3,5	6,3	0,017/0,031	0,04	3 (20)	2,5
MF-S420	30	4,2	7,6	0,012/0,024	0,04	6 (20)	2,9

Начальное сопротивление – сопротивление СП до первого срабатывания (при получении от изготовителя).

Кроме указанных в табл. 2.18 параметров, СП характеризуются еще одним – *максимально допустимым током* – максимальным током, который может выдержать СП без разрушения. Для СП серии MF-R он составляет 40 А, а для серии MF-S – 100 А.

Самовосстанавливающиеся предохранители – это приборы с ярко выраженным положительным ТКС. Их характеристики зависят от температуры окружающей среды.

В табл. 2.19 приведены зависимости номинального рабочего тока и (через дробь) минимального тока срабатывания от температуры окружающей среды для нескольких самовосстанавливающихся предохранителей Multifuse.

Таблица 2.19

Зависимости номинального рабочего тока и (через дробь) минимального тока срабатывания некоторых СП типа Multifuse от температуры окружающей среды

Тип	Температура окружающей среды, °С								
	-40	-20	0	23	40	50	60	70	85
MF-R010	0,16/ 0,32	0,14/ 0,28	0,12/ 0,24	0,1/ 0,2	0,08/ 0,16	0,07/ 0,14	0,06/ 0,12	0,05/ 0,1	0,04/ 0,08
MF-R017	0,26/ 0,52	0,23/ 0,46	0,2/ 0,4	0,17/ 0,34	0,14/ 0,28	0,12/ 0,24	0,11/ 0,22	0,09/ 0,18	0,07/ 0,14
MF-R020	0,31/ 0,62	0,27/ 0,54	0,24/ 0,48	0,2/ 0,4	0,16/ 0,32	0,14/ 0,28	0,13/ 0,26	0,11/ 0,22	0,08/ 0,16

Зависимости времени срабатывания самовосстанавливающихся предохранителей Multifuse от протекающего тока изображены на рис. 2.22.

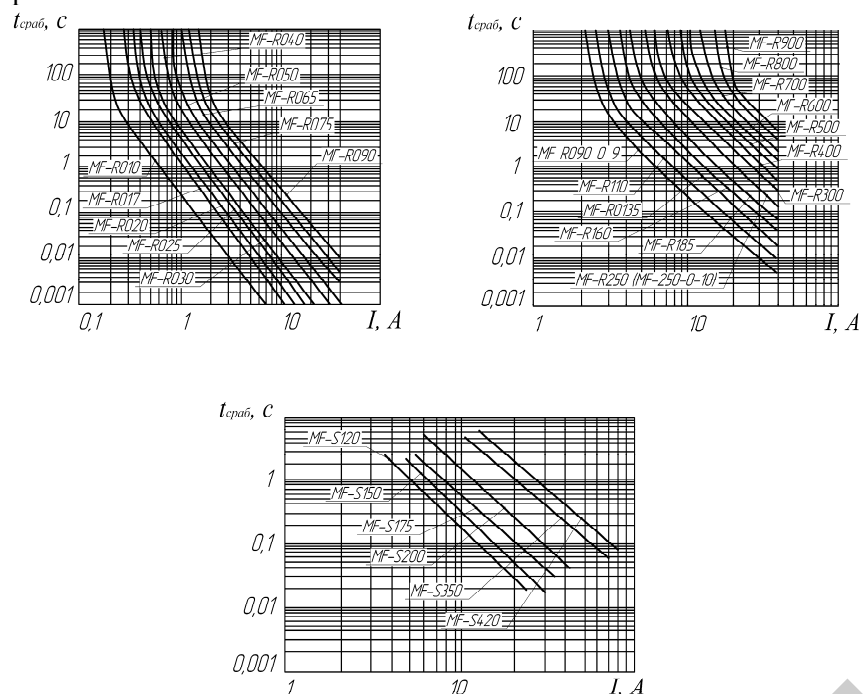


Рис. 2.22. Зависимости времени срабатывания самовосстанавливающихся предохранителей Multifuse от протекающего тока [39]

Из табл. 2.19 видно, что при температуре окружающей среды 85 °С номинальный ток СП (по сравнению с температурой 23 °С) уменьшается в 2–4 раза. Следовательно, влияние окружающей среды на работу СП значительное и должно учитываться при их выборе.

СП фирмы Bourns маркируют логотипом производителя, идентификатором серии, кодовым обозначением номинального рабочего тока и кодовым обозначением даты производства (рис. 2.23). Например, буква R означает тип MF-R, цифры и буквы 8180T – код даты производства.

Самовосстанавливающиеся предохранители Multifuse фирмы Bourns находят широкое применение в выходных цепях стабилиза-

торов питания, аудио-, видео-, бытовой техники, автомобильной аудиоаппаратуре, охранных датчиках и системах, в телефонии и радиосвязи. Ресурс их работы практически неограничен.

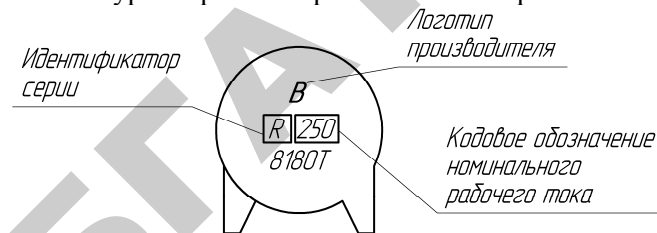


Рис. 2.23. Маркировка самовосстанавливающего предохранителя фирмы Bourns

СП фирмы Raychem имеют максимальное напряжение 60, 100 или 250 В, что позволяет применять их в цепях питания первичной обмотки трансформаторов малой мощности, телефонии и аппаратуре связи. Рассеиваемая мощность при температуре +20 °С составляет 1 Вт. Диапазон рабочей температуры –40...+85 °С. Они имеют корпуса типов Т2 и Т3, внешне напоминающие дисковый неполярный конденсатор, с размерами 7,4×3,1×12,7 мм (соответственно, длина, ширина и высота). Технические данные СП PolySwitch фирмы Raychem приведены в табл. 2.20.

Таблица 2.20

Самовосстанавливающиеся предохранители PolySwitch фирмы Raychem серии TR

Тип	Номинальный рабочий ток, А	Минимальный ток срабатывания, А	Максимальный ток, А	Время срабатывания, с (при токе, А)	Сопротивление R _{min} /R _{max} , Ом	Максимальное напряжение, В
1	2	3	4	5	6	7
TR250-080T	0,08	0,16	3	3(0,75)	15/22	60
TR250-080U	0,08	0,16	3	3(0,35)	14/20	60
TR250-110U	0,11	0,22	3	0,75(1)	5/9	60
TR250-120	0,12	0,24	3	1,5(1)	4/8	60
TR250-120T	0,12	0,24	3	0,7(1)	7/12	60
TR250-120T-RA	0,12	0,24	3	0,9(1)	7/9	60

Окончание табл. 2.20

1	2	3	4	5	6	7
TR250-120T-RC	0,13	0,26	3	0,85(1)	5,4/7,5	60
TR250-120T-RF	0,12	0,24	3	0,7(1)	6/10,5	60
TR250-120U	0,12	0,24	3	1,0(1)	6/10	60
TR250-120UT	0,12	0,24	3	0,9(1)	7/12	60
TR250-145	0,145	0,29	3	2,5(1)	3/6	60
TR250-145-RA	0,145	0,29	3	2,5(1)	3/5,5	60
TR250-145-RB	0,145	0,29	3	2(1)	4,5/6	60
TR250-145T	0,145	0,29	3	0,85(1)	5,4/7,5	60
TR250-145U	0,145	0,29	3	2(1)	3,5/6,5	60
TRF250-180	0,18	0,15	10	15(3)	0,8/2	100
TR600-160	0,16	0,32	3	7,5(1)	4/10	250
TR600-160-RA	0,16	0,32	3	9,5(1)	4/7	250
TR600-160-R1	0,16	0,32	3	9(1)	4/8	250
TR600-150	0,15	0,30	3	1,4(1)	6/10	60

Широко применяются самовосстанавливающиеся предохранители в телефонии. На рис. 1.37 (глава 1) приведена принципиальная электрическая схема защиты абонентского оборудования от сверхтоков и импульсных перенапряжений. В этой схеме используются самовосстанавливающиеся предохранители PolySwitch.

Самовосстанавливающиеся предохранители на базе позисторов защищают электрические цепи от перегрузки путем увеличения своего сопротивления при возрастании тока. Они представляют собой терморезистор с положительным коэффициентом сопротивления, имеющим резкое увеличение сопротивления при определенных температурах. Сопротивление возрастает до 10^6 – 10^7 Ом при начальном сопротивлении в десятки – сотни Ом (при 20 °С). После остывания их сопротивление уменьшается до первоначального значения.

В табл. 2.21 приведены параметры и характеристики терморезистора РТС-3, выпускаемого ПО «Монолит», г. Витебск и применяемого в качестве самовосстанавливающегося предохранителя на токи 30–50 мА.

Изменение сопротивления термопредохранителя РТС-3 в зависимости от температуры приведено на рис.2.24.

Из рис. 2.24 видно, что в области до 55 °С сопротивление терморезисторов остается неизменным или изменяется незначительно. Эта область называется рабочей. При увеличении тока температу-

ра терморезисторов быстро увеличивается (от 55 °С до 150 °С увеличение сопротивления происходит в 1000 раз).

Таблица 2.21

Параметры термопредохранителя РТС-3 [14]

Номинальное сопротивление при 25 °С, Ом	Допускаемое отклонение сопротивления от номинального, %	Температура переключения, °С	Отношение $R_{150°C}/R_{25°C}$, не менее	Рабочее напряжение, В	Максимально допустимое эффективное напряжение, В	Ток несрабатывания, эффективный при 25 °С, не менее, мА	Время срабатывания при 25 °С, не более, с
*27; 39; 47	±30	65±10	1000	220	265	50	3
62	±20; ±30	65±10	1000	220	265	30	2

* – диаметр 10 мм, толщина 5,5 мм.

** – диаметр 7,5 мм, толщина 5,5 мм.

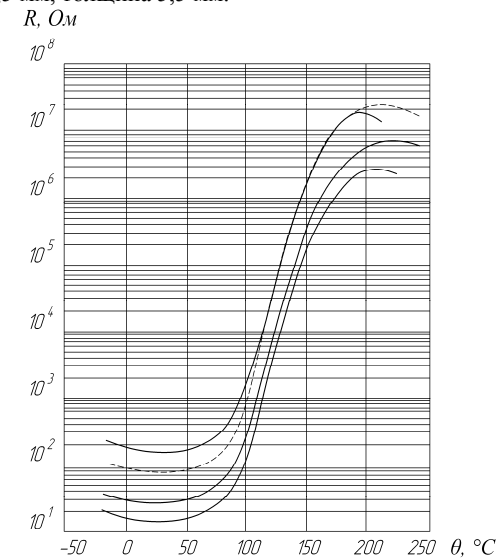


Рис. 2.24. Изменение сопротивления термопредохранителя РТС-3 в зависимости от температуры

Главное достоинство самовосстанавливающихся предохранителей – многоразовое использование. По габаритам они более компактны, чем плавкие вставки, рассчитанные на тот же ток.

Недостатком самовосстанавливающихся предохранителей является наличие у них определенного сопротивления (от долей Ома до нескольких единиц и даже десятков Ом) в нормальном режиме работы. Это накладывает ограничение на их использование в силовых цепях радиоэлектроники. Однако в установках и узлах малой мощности самовосстанавливающиеся предохранители практически не имеют конкурентов.

Термопредохранители предназначены для однократной защиты электронных компонентов аппаратов и оборудования малой мощности от повреждения при нагреве их выше допустимой температуры.

Термопредохранители – компактные и надежные элементы, созданные специально для защиты от воспламенения бытовой техники и промышленного электрического оборудования: блоков питания, трансформаторов, зарядных устройств, адаптеров, факсов, модемов, телевизоров, видеокамер, видеомагнитофонов, CD-плееров, копировальных устройств, принтеров, компьютеров, периферийных устройств.

Они используются в стиральных машинах, вентиляторах, сушилках, увлажнителях, кондиционерах, холодильниках, кофеварках, утюгах, фенах, нагревателях, преобразователях и другом электротехническом оборудовании.

Принцип их действия состоит в следующем. В нормальном состоянии термопредохранитель имеет почти нулевое сопротивление, цепь замкнута. При нагреве термопредохранителя (от защищаемого элемента оборудования) до температуры срабатывания разрушается внутренняя термочувствительная перемычка, размыкая цепь, в которую включен термопредохранитель.

Термопредохранитель, как и плавкий предохранитель, после срабатывания необходимо заменить, предварительно устранив причину его чрезмерного нагрева.

Термопредохранители рассчитаны на применение в электрических цепях с переменным напряжением до 250 В, с температурой срабатывания от 52 °С до 310 °С, с температурой окружающей среды до 300 °С. Эта характеристика предоставляет многоплановые возможности для их применения вместо плавких предохранителей.

Термопредохранители выпускают многие иностранные производители. На рис. 2.25 изображена конструкция радиального и аксиального термопредохранителей типов TZK, TZV, TZS (Китай).

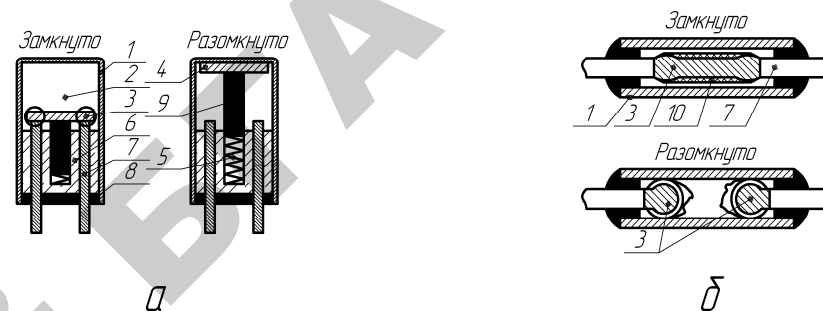


Рис. 2.25. Конструкции радиального (а) и аксиального (б) термопредохранителей:

- 1 – корпус; 2 – изолятор; 3 – термоэлемент; 4 – проводящая перемычка; 5 – пружина; 6 – основание (держатель); 7 – выводы; 8 – эпоксидный компаунд; 9 – толкатель; 10 – специальный поглощающий компаунд

В табл. 2.22 приведены технические данные термопредохранителей типов TZK, TZV, TZS (Китай), имеющих рабочее напряжение 250 В и допускающих максимальную температуру окружающей среды 180 °С.

На рис. 2.26 приведены обозначения габаритных размеров термопредохранителей, приведенных в табл. 2.22.



Рис. 2.26. Габаритные размеры термопредохранителей типов TZK, TZV (а) и типа TZS (б)

Таблица 2.22

Технические данные термopедохранителей типов TZK, TZV, TZS

Тип	Температура срабатывания, °C	Максимальная температура, не приводящая к срабатыванию, °C	Максимальный допустимый рабочий ток, А	Длина L, мм	Ширина (диаметр) W(D), мм	Диаметр выводов d, мм	Рис. 2.26
TZK-10	102	70	0,5	7,5	1,8	0,53	a
TZK-11	115	95	0,5	7,5	1,8	0,53	a
TZK-12	130	100	0,5	7,5	1,8	0,53	a
TZK-13	133	100	0,5	7,5	1,8	0,53	a
TZK-14	150	120	0,5	7,5	1,8	0,53	a
TZK-16	169	130	0,5	7,5	1,8	0,53	a
TZK-18	187	160	0,5	7,5	1,8	0,53	a
TZV-076	76	50	2	12	3	0,58	a
TZV-086	86	60	2	12	3	0,58	a
TZV-100	103	70	2	12	3	0,58	a
TZV-110	117	95	2	12	3	0,58	a
TZV-125	131	95	2	12	3	0,58	a
TZV-130	135	100	2	12	3	0,58	a
TZV-145	150	115	2	12	3	0,58	a
TZV-169	169	130	2	12	3	0,58	a
TZV-187	187	160	2	12	3	0,58	a
TZS-95	100	70	5	9,5	6,2	0,7	б
TZS-105	110	80	5	9,5	6,2	0,7	б
TZS-125	130	100	5	9,5	6,2	0,7	б
TZS-138	143	110	5	9,5	6,2	0,7	б
TZS-145	150	120	5	9,5	6,2	0,7	б

На рис. 2.27 изображены конструкции термopедохранителей AUPO и NEC/SCHOTI. Эти термopедохранители выпускаются серии А на температуру 84–150 °C при токах 1, 2, 3, 5 А радиальной конструкции.

Серия BF рассчитана на температуру 73–240 °C при токах 15 и 16 А аксиальной конструкции, серия P – на температуру 84–150 °C при токах 1, 2, 3, 5 А аксиальной конструкции, серия SF/E – на температуру 73–250 °C при токе 10 А радиальной конструкции. Широко известны термopедохранители фирмы Raychem на температуру срабатывания от 52±2 °C до 310+5/-10 °C и ток 15 А при напряжении 250 В типа RY01. В обозначении типа этих тер-

мopедохранителей после знака дефиса указывается гарантированное значение температуры срабатывания. Например, термopедохранитель RY01-123 имеет температуру срабатывания 120+2/-3 °C.

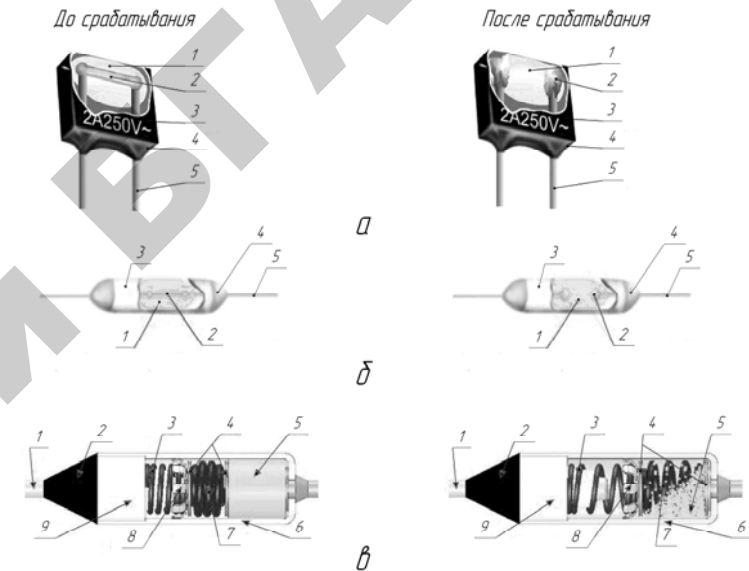


Рис. 2.27. Конструкция термopедохранителей AUPO (a) и (б):

1 – компаунд из смолы; 2 – термосплав; 3 – корпус; 4 – эпоксидная заделка; 5 – вывод;
термopедохранителей NEC/SCHOTI (б): 1 – вывод; 2 – эпоксидная заделка; 3 – пружина А; 4 – диски; 5 – термотаблетка; 6 – металлический корпус; 7 – пружина Б; 8 – контакт-звездочка; 9 – керамическая втулка

ОАО «ЗАВОД МЕЗОН», Санкт-Петербург, выпускает термopедохранители серии ТП на номинальный ток 2 и 5 А, номинальную температуру срабатывания 105, 125, 130 и 150 °C, номинальное напряжение 250 В. Они имеют активное сопротивление 0,15 Ом, массу 1,5–1,8 г, размеры 7,5×3,0×8,4 мм. Обозначение при заказе термopедохранителя с номинальной температурой срабатывания 130 °C, на ток 2 А, напряжение 250 В: термopедохранитель ТП 130 °C-2А-250В ТУ 3464-001-07626895-2001.

Термопредохранители (рис. 2.27, в) на основе термотаблетки работают следующим образом. При превышении окружающей температуры термотаблетка 5 плавится, переставая сдерживать пружину сжатия 7. Витки пружины 7 перемещаются влево, вызывая расширение пружины 3 влево. Это приводит к размыканию контакта-звездочки 8 и разрыву цепи.

Недостатком термопредохранителей является то, что они еще более инертны, чем плавкие предохранители. Однако некоторые типы термопредохранителей могут конкурировать по эффективности с плавкими предохранителями (особенно при больших токах).

Преимущество термопредохранителей, по сравнению с плавкими предохранителями, состоит в малых габаритах (месту, занимаемому в корпусе аппарата) и в расширенных функциональных возможностях за счет контроля температуры защищаемого аппарата.

Термопредохранители рассчитаны на применение в электрических цепях постоянного и переменного напряжения до 250 В и при значительных рабочих токах (до 15 А), протекающих через них, являются приборами контроля температуры защищаемого оборудования и одновременно приборами автоматического отключения электрической цепи.

Электронный предохранитель представляет собой некоторую электронную схему, включаемую между выходом блока питания и нагрузкой, способную отключать нагрузку от блока питания при токах перегрузки. Благодаря применению современных электронных компонентов его габариты малые.

Рассмотрим устройство и работу электронного предохранителя, описанного в [40]. Схема электронного предохранителя представлена на рис. 2.28.

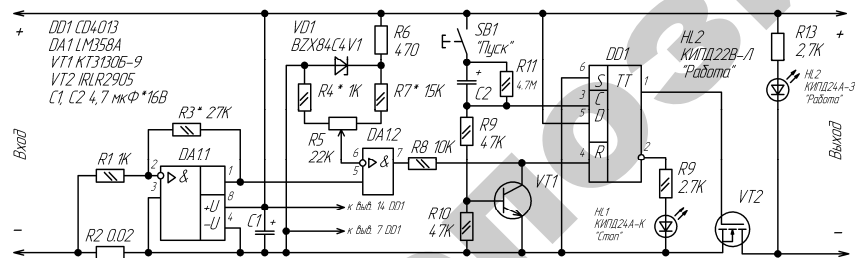


Рис. 2.28. Принципиальная электрическая схема электронного предохранителя

Резистор R2 выполняет функцию датчика тока. На операционном усилителе DA1.1 собран усилитель с коэффициентом усиления, определяемым сопротивлением резисторов R1 и R3, а на операционном усилителе (ОУ) DA1.2 – компаратор. Стабилитрон VD и резисторы R4–R7 образуют источник образцового напряжения для компаратора. Триггер DD1.1 и полевой транзистор VT2 выполняют функцию электронного выключателя. Для индикации режима работы использованы светодиоды HL2 «Работа» и HL1 «Стоп».

Работает электронный предохранитель следующим образом. Если в начальный момент на прямом выходе триггера низкий уровень сигнала, транзистор VT2 закрыт и нагрузка обесточена, горит светодиод HL1 «Стоп». Для включения электронного предохранителя нажимаем кнопку SB1 «Пуск». Высокий уровень сигнала поступит на вход триггера DD1.1, и на его прямом выходе появится единичный сигнал. Полевой транзистор VT2 откроется, загорится светодиод HL2 «Работа». В то же время откроется транзистор VT1 и на выходе R триггера DD1.1 появится низкий уровень сигнала, независимо от уровня выходного сигнала компаратора.

Таким образом, сигнал компаратора заблокирован до тех пор, пока заряжается конденсатор C2. Это сделано для того, чтобы завершились переходные процессы в коммутируемой цепи. Затем устройство переходит в режим контроля тока.

Ток, протекающий через нагрузку, создает падение напряжения на резисторе R2. Это напряжение, усиленное ОУ DA1.1, поступает на неинвертирующий вход компаратора, на инвертирующий вход которого поступает часть образцового напряжения с движка переменного резистора R5.

Когда ток нагрузки превысит заданное значение, то увеличится падение напряжения на резисторе R2 и на входе усилителя DA1.1, тем самым увеличится напряжение на неинвертирующем входе DA1.2. Когда это напряжение превысит напряжение на инвертирующем входе компаратора, то компаратор DA1.2 переключится и на его выходе появится высокий уровень сигнала. Триггер DD1.1 переключится в нулевое состояние. Полевой транзистор VT2 закроется, нагрузка обесточится. Светодиод HL2 «Работа» потухнет, а HL1 «Стоп» – загорится.

Для повторного запуска нажимают кнопку SB1 «Пуск».

Рассмотренный электронный предохранитель способен отключать токи нагрузки от десятков миллиампер до десятков ампер,

определяемых допустимыми токами для полевого транзистора VT2 или датчика тока R2.

Ток срабатывания электронного предохранителя вычисляется по формуле:

$$I_{\text{сраб}} = U_{\text{инв}} \cdot \frac{R_1}{R_2 \cdot R_3}, \quad (2.34)$$

где $U_{\text{инв}}$ – напряжение на инвертирующем входе ОУ DA1.2 (устанавливается резистором R5).

Электронные предохранители строятся так же на базе герконов. Как известно, геркон (герметичный контакт) представляет собой баллон из стекла, в который впаяны контакты из сплава с большой магнитной проницаемостью. Если геркон поместить в достаточное по величине магнитное поле, то контакты геркона переключатся. Если катушку, намотанную на корпусе геркона, подсоединить в разрыв цепи, ток через которую необходимо контролировать, то геркон можно использовать в качестве элемента электронного предохранителя.

Рассмотрим электронный предохранитель на базе геркона КЭМ-3, имеющего следующие параметры: время срабатывания – 1,5 мс; время отпускания – 2 мс; максимальный коммутируемый ток – 1 А; Максимальное сопротивление контактов – 0,15 Ом, наработка на отказ – 10^6 циклов.

Из этих данных видно, что быстродействие геркона выше, чем предохранителя. Например, у плавкой вставки ВП1-1 время срабатывания составляет 100 мс при четырехкратной перегрузке, а у геркона – 1,5 мс.

На рис. 2.29, а изображена конструкция герконового реле [41].

Стекланный корпус геркона 1 служит каркасом для катушки 2 реле, щеки (шайбы) 3 катушки вырезаны из текстолита и приклеены по краям геркона эпоксидным клеем. Обмотка катушки содержит 60 витков провода ПЭВ диаметром 0,3 мм (для тока срабатывания $I_{\text{ср}} = 1$ А). Для меньшего тока срабатывания требуется увеличить число витков до значения, определяемого по формуле $W = 60 / I_{\text{ср}}$.

Принципиальная схема электронного предохранителя с применением геркона показана на рис. 2.29, б.

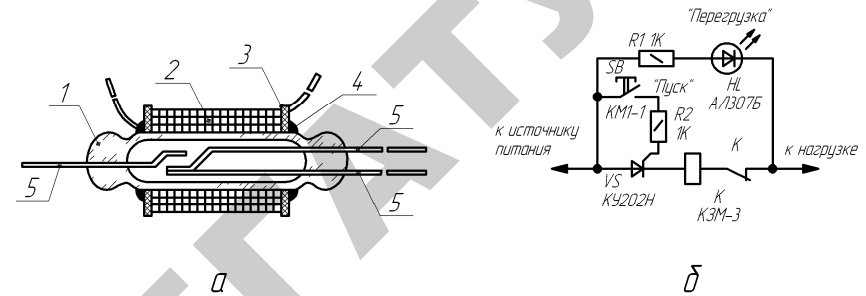


Рис. 2.29. Реле на базе геркона (а) и его принципиальная электрическая схема (б): 1 – стеклянный баллон; 2 – обмотка; 3 – шайба; 4 – эпоксидный клей; 5 – выводы переключающего геркона

В состав электронного предохранителя входит геркон КЭМ-3, тиристор VS, кнопка SB «Пуск», светодиод HL и два резистора. Устройство включается в разрыв проводника питания. Оно включается в работу кратковременным нажатием кнопки SB. При этом открывается тиристор VS и через тиристор VS, обмотку реле, контакт К протекает ток.

При возникновении перегрузки по току геркон срабатывает и его контакт К разрывает цепь нагрузки. Тиристор VS отключается. Ток через катушку реле прекращается даже при замыкании контакта К. Все напряжение будет приложено к цепи светодиода, отчего светодиод загорится.

В этой схеме тиристор VS служит для исключения режима непрерывной коммутации геркона.

Электронные предохранители могут применяться в цепях переменного тока и постоянного тока (чаще всего). Их преимущества состоят в быстродействии, больших диапазонах настройки токов срабатывания, удобстве в эксплуатации.

Недостаток их в том, что они сложнее предохранителей других видов и более дорогие.

2.8. Выбор автоматических выключателей

Автоматические выключатели выбираются с учетом многих показателей, зашифрованных в их условных обозначениях.

Для любых серий автоматических выключателей основными показателями являются:

- 1) номинальное напряжение автоматического выключателя;

- 2) номинальный ток автоматического выключателя;
- 3) тип основных расцепителей;
- 4) номинальный ток расцепителей или напряжение их катушек;
- 5) число полюсов.

Дополнительными параметрами являются наличие дополнительных расцепителей, контактов, элементов сигнализации, число включений в час, условие монтажа, степень защиты автоматического выключателя и т. д.

Выбранный тип автоматического выключателя должен удовлетворять требованиям по основным и дополнительным показателям, а также проверке по условиям надежного отключения тока КЗ и условиям селективности с другими аппаратами защиты.

1. Номинальное напряжение автоматического выключателя должно быть не ниже напряжения сети:

$$U_{\text{ном авт}} \geq U_{\text{сети}} \quad (2.35)$$

2. Номинальный ток автоматического выключателя должен быть больше или равен номинальному $I_{\text{ном уст}}$ или рабочему (расчетному) $I_{\text{раб уст}}$ току электроустановки:

$$I_{\text{ном авт}} \geq I_{\text{ном уст}} \text{ или } I_{\text{ном авт}} \geq I_{\text{раб уст}} \quad (2.36)$$

3. При выборе расцепителей руководствуются их функциональным назначением.

Автоматические выключатели с электромагнитными расцепителями максимального тока имеют основное функциональное назначение – защита от токов КЗ в электрической цепи.

Автоматические выключатели с тепловыми расцепителями имеют основное функциональное назначение – защита электрических цепей от перегрузки.

Комбинированный расцепитель состоит из электромагнитного и теплового расцепителей и предназначен для защиты цепей от КЗ и перегрузок. По этой причине он наиболее часто используется в электрических установках. Стоимость его примерно такая же, как у автоматических выключателей с электромагнитным расцепителем, а функции защиты две (защита от токов КЗ и от токов перегрузки).

Кроме функционального назначения, некоторые серии автоматических выключателей разработаны для специального назначения. Например, автоматические выключатели серии ВА16 предназначены для защиты электрических осветительных сетей. Серия ВА14

– для защиты электрических сетей общего и бытового назначения. Серия ВА21-29Т – для городского электротранспорта. Серия ВА51Г, ВА61F29 – для защиты цепей асинхронных электродвигателей и т. д. Поэтому при выборе серии выключателя обязательно уточняют его назначение и отдают предпочтение выключателям, специально созданным для конкретного применения.

4. Номинальный ток расцепителя выбирается с учетом вида расцепителя. Если автоматический выключатель содержит только тепловой нерегулируемый расцепитель, то

$$I_{\text{ном расц}} \geq I_{\text{раб уст}} \quad (2.37)$$

где $I_{\text{раб уст}}$ – рабочий ток электроустановки в продолжительном режиме работы, А; если он не известен, то берут номинальный ток установки.

Знак «>» в формуле (2.37) означает, что выбирается ближайший ток расцепителя. При этом следует помнить, что завышение тока расцепителя ухудшает защитные свойства выключателя для данной установки. Наилучший случай, когда $I_{\text{ном расц}} = I_{\text{раб уст}}$.

В модульных автоматических выключателях тепловой расцепитель не регулируется и входит в состав комбинированного расцепителя. Для модульных автоматических выключателей номинальный ток расцепителей задается при температуре тепловых расцепителей +30 °С для одного полюса. При выборе номинального тока теплового расцепителя в составе комбинированного расцепителя учитывается число полюсов (модулей, размещенных рядом) и ожидаемая температура в месте установки автоматических выключателей (не выше +50 °С).

Номинальный ток теплового расцепителя модульного автоматического выключателя выбирается по условию:

$$I_{\text{ном расц } 30 \text{ °С}} \geq \frac{I_{\text{раб}}}{K_N K_t} \quad (2.38)$$

где $I_{\text{ном расц } 30 \text{ °С}}$ – номинальный ток теплового расцепителя (указанный на маркировке) при температуре настройки +30 °С, А;

$I_{\text{раб}}$ – рабочий (расчетный эквивалентный или номинальный) ток цепи, А;

K_N – коэффициент, зависящий от числа полюсов. Например, для ВА47-29 $K_N = 1$ при 1 полюсе; $K_N = 0,875$ при 2 полюсах; $K_N = 0,83$ при 3 полюсах; $K_N = 0,81$ при 4 полюсах (рис. 2.30);

K_t – коэффициент, зависящий от температуры окружающей среды. Например, для ВА47-29 при $+50\text{ }^\circ\text{C}$ $K_t = 0,97$; при $+40\text{ }^\circ\text{C}$ $K_t = 0,99$; при $+10\text{ }^\circ\text{C}$ $K_t = 1,04$; при $-10\text{ }^\circ\text{C}$ $K_t = 1,1$ (рис. 2.30).

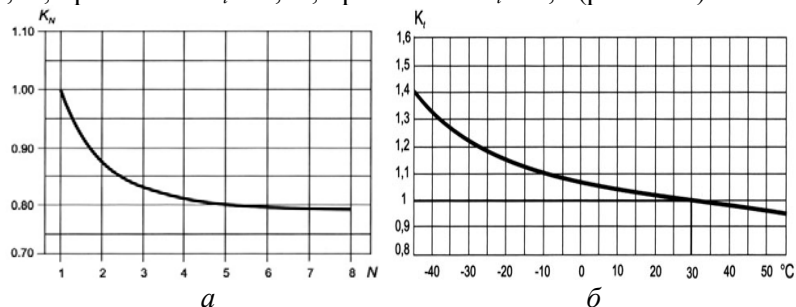


Рис. 2.30. Коэффициент нагрузочной способности, учитывающий число параллельно размещенных автоматических выключателей ВА47-29М (а) и коэффициент нагрузочной способности, учитывающий температуру окружающей среды для ВА47-29М (б)

По (2.38) выбирается ближайший больший ток теплового расцепителя из стандартного ряда номинальных токов выбранной серии автоматических выключателей, или его типоразмер.

Если тепловой расцепитель регулируем, то имеется возможность подрегулировать его уставку в пределах некоторого диапазона. Например, для автоматического выключателя АЕ2000 регулировка тока теплового расцепителя осуществляется в диапазоне $(0,9-1,15) I_{\text{ном расц}}$, а для автоматических выключателей ВА51... – в диапазоне $(0,8-1) I_{\text{ном расц}}$. Следовательно, для автоматических выключателей АЕ2000 должно выполняться условие:

$$I_{\text{ном расц}} \geq I_{\text{раб уст}} / (0,9-1,15), \quad (2.39)$$

а для ВА51 и других выключателей серии ВА5:

$$I_{\text{ном расц}} \geq I_{\text{раб уст}} / (0,8-1). \quad (2.40)$$

Обычно тепловые расцепители автоматических выключателей используются не для защиты электрооборудования установки, например, электрических двигателей, а для защиты кабеля от перегрузки по току. В этом случае пользуются условием (2.37).

Электромагнитные расцепители максимального тока являются нерегулируемыми. Для них надо определить кратность тока срабатывания $K_{\text{эм}}$ электромагнитного расцепителя или выбрать класс электромагнитного расцепителя в зависимости от величины ожидаемых пусковых токов в цепи. Рекомендуемая область применения различных классов электромагнитных расцепителей приведена в табл. 2.23.

Таблица 2.23

Рекомендации по выбору типа характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя максимального тока

Тип	Кратность тока срабатывания, $K_{\text{эм}}$	Рекомендации по использованию
A	от 2 до 3	Применяются в электроустановках с большой протяженностью электропроводок, а также для защиты полупроводниковых устройств
B	от 3 до 5	Применяются для защиты электроприемников в жилых зданиях
C	от 5 до 10	Применяются для защиты электроприемников с небольшими пусковыми токами, например, с лампами ДРЛ, ДнАТ
D	от 10 до 20	Применяются для защиты электроприемников с большими пусковыми токами, например, асинхронных электродвигателей с КЗ ротором, трансформаторов

Требуемую кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя максимального тока определяют расчетом, с учетом максимальных или пусковых токов в сети. Например, для одиночного асинхронного электродвигателя с КЗ ротором кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя должна составлять:

$$K_{\text{эм расч}} \geq K_{\text{н}} \cdot K_i, \quad (2.41)$$

где K_i – кратность пускового тока электродвигателя (по данным каталога);

$K_{\text{н}}$ – коэффициент надежности отстройки от пускового тока.

Вблизи трансформаторной подстанции $K_{\text{н}} \geq 1,5-1,8$, потому что учитывается наличие апериодической составляющей в пусковом токе и повышенный уровень напряжения в сети. Во внутренних сетях зданий и сооружений апериодическая составляющая пускового тока отсутствует, в сети наблюдается снижение напряжения при пуске и уменьшение пускового тока, поэтому $K_{\text{н}} \geq 1,25$.

Поскольку тип характеристики современных расцепителей максимального тока задается в виде области с минимальным и максимальным значениями кратности тока срабатывания (см. рис. 2.31), то необходимо, чтобы выбранный по уравнению (2.41) коэффициент был меньше минимального значения $K_{\text{эм min}}$ у выбранного типа характеристики расцепителя:

$$K_{\text{эм min}} \geq K_{\text{эм расч}}. \quad (2.42)$$

Для асинхронного электродвигателя с КЗ ротором по условию (2.42) подходит тип защитной характеристики «К» или «D» электромагнитного расцепителя.

Для асинхронного электродвигателя с фазным ротором, всегда включаемого в сеть при добавочных сопротивлениях в цепи ротора, пусковой ток не превышает значения $(2,5-3) I_{\text{н}}$, поэтому подходит тип защитной характеристики «С» электромагнитного расцепителя.

Для электрической цепи с лампами ДРЛ или подобным электрооборудованием, имеющим небольшую кратность пусковых или максимальных бросков тока (K_i до 2,5), также подходит тип защитной характеристики «С».

При выборе типа электромагнитного расцепителя руководствуются табл. 2.23.

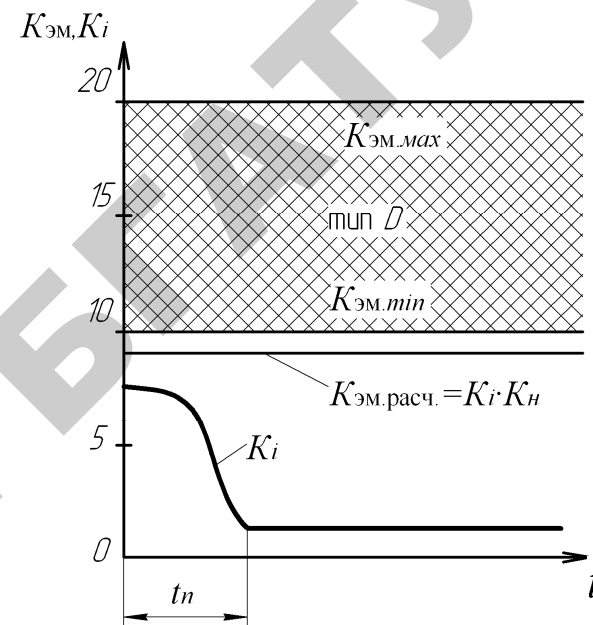


Рис. 2.31. Соотношение кратности пускового тока k_i , расчетного значения кратности тока электромагнитного расцепителя $K_{\text{эм расч}}$ и области кратностей тока электромагнитного расцепителя характеристики D

5. Число полюсов автоматического выключателя выбирается с учетом следующих соображений.

Для однофазной сети переменного тока выбирается однополюсный выключатель, если провода N и PE объединены, и 1+N-полюсный выключатель, если нулевой провод N отделен от PE-проводника (рис. 2.32).

Для двухфазной сети переменного тока или сети постоянного тока выбираются двухфазные автоматические выключатели (см. рис. 2.32).

Для трехфазной сети переменного тока при отсутствии однофазных потребителей применяются трехполюсные автоматические выключатели и 3+N-полюсные выключатели, если в трехфазной сети есть однофазные потребители и проводники N и PE разделены (см. рис. 2.32).

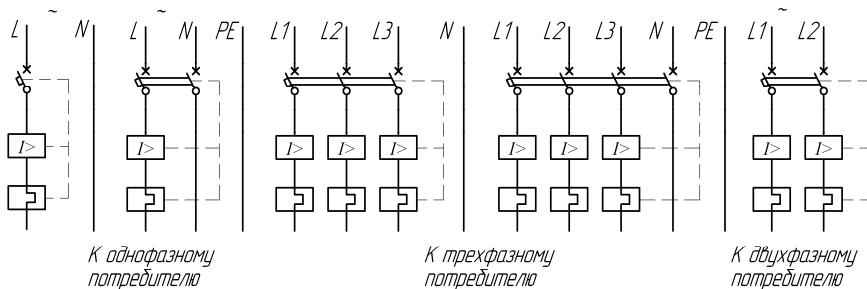


Рис. 2.32. Принципиальные электрические схемы включения автоматических выключателей с комбинированным расцепителем в сеть переменного тока

При выборе числа полюсов руководствуйтесь следующими соображениями.

Во внутренних сетях предприятий используются ранее разделенные PE и N-проводники, поэтому трехфазные НКУ получают питание пятижильным кабелем (система заземлений TN-S).

В этой системе заземлений однофазные потребители получают питание трехжильным кабелем, а защищаются двухполюсными автоматическими выключателями.

Трехфазные несимметричные потребители в системе TN-S получают питание пятижильным кабелем, а защищаются четырехполюсными автоматическими выключателями.

Трехфазные симметричные потребители (например, асинхронные электродвигатели) могут получать питание четырехжильным кабелем и защищаться трехполюсными автоматическими выключателями, однако в этом случае для цепей управления на 220 В требуется отдельный двухполюсный автоматический выключатель.

6. Степень защиты автоматического выключателя от воздействия окружающей среды и от соприкосновения людей с токоведущими частями выбирается, исходя из условий его работы. При монтаже его вне шкафа управления степень защиты оболочки должна быть IP54; при монтаже внутри шкафа управления – IP00 зажимов и IP30 оболочки или IP20 зажимов и IP30 оболочки выключателя.

7. Климатическое исполнение и категория размещения также выбираются в зависимости от условий работы выключателя в соответствии с требованиями ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70.

Если основные и дополнительные параметры автоматического выключателя определены и выбран его тип, то производится несколько проверок соответствия его условиям работы в сети.

Проверка выбранного автоматического выключателя производится по следующим параметрам:

1) по несрабатыванию от пусковых токов (например, от пусковых токов электродвигателя) по формуле (2.41) или по формуле:

$$I_{\text{ном расц.30 } ^\circ\text{C}} K_{\text{эм min}} \geq K_{\text{отс}} I_{\text{ном дв}} k_i, \quad (2.43)$$

где $K_{\text{эм min}}$ – минимальная кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя выбранного класса. Например, при выборе расцепителя класса D имеем $K_{\text{эм min}} = 10$;

$K_{\text{отс}}$ – коэффициент надежности отстройки от пускового тока, зависящий от уровня напряжения в точке подключения относительно номинального напряжения, от наличия апериодической составляющей в пусковом токе, от возможного разброса тока срабатывания расцепителей автоматического выключателя. Рекомендуется применять для модульных выключателей $K_{\text{отс}} = 1,25-1,45$, где 1,25 относится к внутренним сетям предприятий, а 1,45 – к подключению автоматических выключателей на вводе в здание;

$I_{\text{ном дв}}$ – номинальный ток двигателя, А;

k_i – кратность пускового тока.

Условию (2.43) соответствует рис. 2.31;

2) по условию надежного отключения наибольшего тока КЗ:

$$I_{\text{пр.откл}} > I_{\text{КЗ}}^{(3)}, \quad (2.44)$$

где $I_{\text{пр.откл}}$ – предельный допустимый ток КЗ, отключаемый автоматическим выключателем без повреждения, кА, указывается в технических данных;

$I_{\text{КЗ}}^{(3)}$ – ожидаемый ток трехфазного КЗ, кА;

3) по чувствительности к однофазному току КЗ:

$$\frac{I_{\text{КЗ}}^{(1)}}{I_{\text{ном расц.30 } ^\circ\text{C}} K_{\text{эм max}}} \geq 1,45, \quad (2.45)$$

где $I_{КЗ}^{(3)}$ – ожидаемый ток однофазного КЗ, кА;

$K_{Эм\ max}$ – максимальная кратность тока срабатывания электромагнитного расцепителя выбранного класса. Например, для класса D $K_{Эм\ max}$ равен 14 или 20 (см. конкретные характеристики автоматических выключателей);

4) по условию срабатывания номинального тока комбинированного расцепителя с допустимым током проводников защищаемой электрической цепи:

$$I_{ном\ расц,30\ ^\circ C} \leq I_{доп\ дл}, \quad (2.46)$$

где $I_{доп\ дл}$ – допустимый длительный ток проводника, А;

5) по условию селективности:

$$\left. \begin{aligned} t_{ср\ QF2} > t_{ср\ QF1} \\ I_{ном\ расц\ QF2} K_{Эм\ max2} > I_{ном\ расц\ QF1} K_{Эм\ max1} \end{aligned} \right\}, \quad (2.47)$$

где $t_{ср\ QF2}$ и $t_{ср\ QF1}$ – время срабатывания автоматического выключателя, дальше и ближе расположенного к точке КЗ, с;

$I_{ном\ расц\ QF2}$ и $I_{ном\ расц\ QF1}$ – номинальные токи расцепителей автоматических выключателей, расположенных дальше и ближе к точке КЗ, А;

$K_{Эм\ max2}$ и $K_{Эм\ max1}$ – максимальные кратности тока срабатывания автоматических выключателей, расположенных дальше и ближе к точке КЗ, о. е.

Рассмотрим условие (2.47) более подробно. На рис. 2.33 условно показана электрическая сеть от вводного распределительного устройства (ВРУ) до электродвигателя (М). На участке L_1 (см. рис. 2.33) ток КЗ уменьшается от $I_{КЗ(2)}^{(1)}$ $I_{КЗ(3)}^{(1)}$ до $I_{КЗ(1)}^{(1)}$, этот участок должен защищать автоматический выключатель QF1. На участке L_2 ток изменяется от $I_{КЗ(3)}^{(1)}$ до $I_{КЗ(2)}^{(1)}$, этот участок должен защищать автоматический выключатель QF2. На участке L_3 ток изменяется от $I_{КЗ(4)}^{(1)}$ до $I_{КЗ(3)}^{(1)}$, этот участок должен защищать автоматический выключатель QF3.

Если предположить, что на каждом участке защита от токов КЗ осуществляется автоматическими выключателями с расцепителя-

ми максимального тока (с токовой отсечкой без выдержки времени), то условие селективности по току сводится к условию вида

$$\left. \begin{aligned} I_{ср\ QF3} > I_{ср\ QF2} > I_{ср\ QF1} \text{ или} \\ I_{Эм\ max3} > I_{Эм\ max2} > I_{Эм\ max1} \end{aligned} \right\}, \quad (2.48)$$

где $I_{Эм\ max} = I_{ном\ расц} \cdot K_{Эм\ max}$.

Выбор автоматических выключателей должен быть выполнен по условию (2.45) надежного отключения однофазного тока КЗ в начале участка. По формуле (2.45):

$$\left. \begin{aligned} I_{Эм\ max1} &\geq \frac{I_{КЗ(2)}^{(1)}}{1,45}, \\ I_{Эм.\max.2} &\geq \frac{I_{КЗ(3)}^{(1)}}{1,45}, \\ I_{Эм\ max3} &\geq \frac{I_{КЗ(4)}^{(1)}}{1,45} \end{aligned} \right\}, \quad (2.49)$$

где $I_{Эм\ max} = I_{ном\ расц} \cdot K_{Эм\ max}$.

Селективность по току предполагает, что соотношение между токами срабатывания электромагнитных расцепителей составляет не менее 1.5.

На рис. 2.33 изображены условно токи срабатывания электромагнитных расцепителей, определенные по формуле (2.49).

Из рис. 2.33 видно, что ток $I_{Эм\ max2}$ может быть меньше токов КЗ на участке L_1 , а ток $I_{Эм\ max3}$ может быть меньше токов КЗ на участке L_2 . Это значит, что автомат QF2 может сработать от токов КЗ на участке L_1 , а автомат QF3 – от токов КЗ на участке L_2 .

Селективность работы автоматических выключателей QF1–QF3 в этом случае может быть нарушена. Следовательно, выполнение условия $I_{ср\ QF3} > I_{ср\ QF2} > I_{ср\ QF1}$ недостаточно для селективной работы автоматических выключателей QF1–QF3. В результате обеспечивается только частичная селективность.

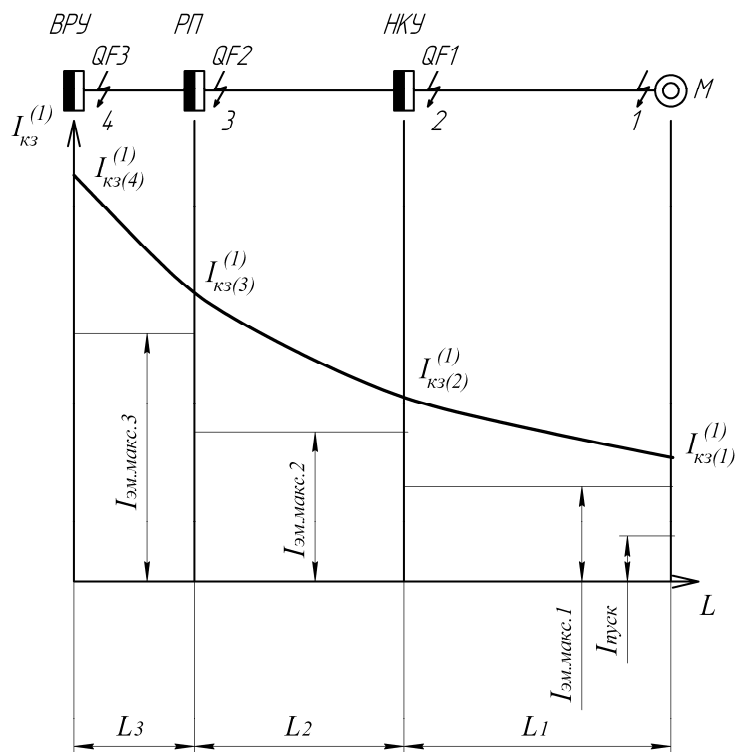


Рис. 2.33. Изменение однофазных токов КЗ и уставок срабатывания электромагнитных расцепителей максимального тока

Дополнительное условие селективности по времени имеет вид:

$$t_{\text{ср QF3}} > t_{\text{ср QF2}} > t_{\text{ср QF1}}, \quad (2.50)$$

где $t_{\text{ср}}$ – время срабатывания автоматического выключателя, с.

Обеспечить условие (2.50) автоматическими выключателями, имеющими только максимальные расцепители тока (с токовой отсечкой без выдержки времени), невозможно. Надо использовать во ВРУ и РП селективные автоматические выключатели типа АЗ700 или ВА55. Например, ВА55 имеют ступень селективности 0,1; 0,2; 0,3 с. Не селективные автоматические выключатели АЕ2000 или ВА51 имеют время срабатывания от 40 до 20 мс (с увеличением тока КЗ время срабатывания уменьшается) и не обеспечивают селективность.

Проверка на селективность может быть выполнена с использованием карты селективности, т. е. графического представления времятоковых характеристик рассматриваемых автоматических выключателей на одном рисунке. Применительно к рис. 2.33, при использовании QF1 с токовой отсечкой, а QF2 и QF3 селективных со ступенью селективности $\Delta t = 0,1$ с карта селективности имеет вид (рис. 2.34). На этом рисунке заштрихована область возможного разброса характеристик автоматических выключателей.

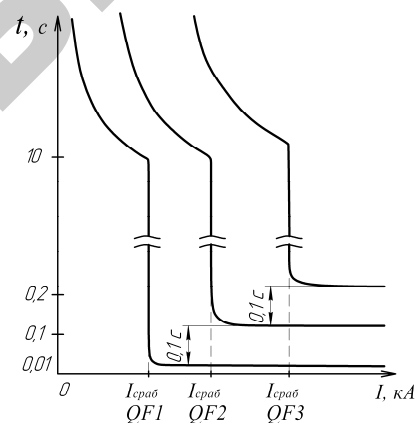


Рис. 2.34. Карта селективности к данному рисунку 3.38 при использовании селективных автоматических выключателей QF2 и QF3 со ступенью селективности $\Delta t = 0,1$ с

Соотношение между временными задержками на срабатывание селективных автоматических выключателей должно быть более 1,5, а величина временной задержки – не менее 0,1 с.

Для обеспечения селективности защиты от токов КЗ известно другое решение – использование в РП и во ВРУ предохранителей. Они имеют зависимую от тока характеристику срабатывания. После выбора и проверки основных параметров автоматических выключателей записывают их условное обозначение в виде цифр и букв. Причем номинальные токи (и другие параметры) зашифрованы таким образом, чтобы соответствовать шифровке этих параметров других электрических аппаратов (разъединителей, предохранителей и т. д.).

2.9. Технические данные автоматических выключателей на номинальный ток до 63 А

Автоматические выключатели серии ВА13 предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при перегрузках и коротких замыканиях (обозначение 3) или только при коротких замыканиях (обозначение 2), а также для оперативных включений и отключений электрических цепей [37].

Основное назначение выключателей ВА13 – защита кабелей и проводов, а также электродвигателей.

Выключатели выпускаются в двух- и трехполюсном исполнении и могут работать в цепях постоянного или переменного токов. Соответствуют требованиям ГОСТ В 9098–78. Общий вид автоматических выключателей ВА13 изображен на рис. 2.35.



Рис. 2.35. Общий вид автоматических выключателей ВА13

Конструкция выключателя ВА13 в значительной мере подобна конструкции выключателей АК50Б и ВА21, однако, благодаря ряду конструктивных изменений удалось повысить номинальное напряжение до 1140 В, сделать его более безопасным в эксплуатации с точки зрения возможностей прямых прикосновений к токоведущим частям. Выключатель смонтирован в корпусе, состоящем из основания и крышки, которые изготовлены из ударопрочной и трудногорючей пластмассы, допускающей возможность работы в условиях умеренного и тропического климатов, а также в условиях шахт, металлургического и химического производства, морских

буровых установок. Увеличение электрических зазоров и расстояний утечки (в частности, за счет расположения выводных зажимов в нишах корпуса) позволило повысить стойкость к запыленности среды и увеличить номинальное напряжение выключателя до 1140 В. Основные технические характеристики автоматических выключателей ВА13 приведены в табл. 2.24.

Таблица 2.24

Основные технические характеристики

Типоисполнения выключателей	ВА13-29-22	ВА13-29-23	ВА13-29-32	ВА13-29-33	ВА13-25-32	
	двухполюсные		трехполюсные			
Номинальное напряжение, В	переменного тока 50 Гц	660		660		1140
	постоянного тока	440		-		-
Шкала номинальных токов I_n , А расцепителей выключателей	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63				3,15; 5; 10; 16; 25	
Уставка по току в зоне КЗ, I/I_n	на переменном токе	3; 12	12	3; 12	12	3; 7
	на постоянном токе	6	6	-	-	-
Номинальное напряжение НР, В	переменного тока 50 Гц	36; 127; 220; 230; 380; 400; 415; 440			36	
	постоянного тока	48; 110; 220		-		
Предельная коммутационная способность (P-2), кА	на переменном токе 50 Гц	380 В	12			-
		660 В	6			-
		1140 В	-			1,5
	на постоянном токе 440 В	10		-		
Износостойкость, циклов ВО	общая	30 000			30 000	
	коммутационная	20 000			20 000*; 10 000**	
Масса не более, кг	1,4		1,85		1,7	

* – при номинальном токе 3,15 и 5,0 А.

** – при номинальном токе 10–25 А.

Выводные зажимы главных цепей выключателя допускают присоединение медных или алюминиевых проводников сечением от 1,5 мм² до 25 мм² включительно.

В крышке корпуса могут быть установлены дополнительные устройства – свободные контакты и независимый расцепитель. Присоединение внешних цепей к независимому расцепителю и свободным контактам через выводы, расположенные на крышке, производится пайкой. Выводы допускают присоединение медных проводников сечением $1,5 \text{ мм}^2$.

Выключатели, осуществляющие автоматическое отключение тока при перегрузках и коротких замыканиях, оснащены максимальным электромагнитным расцепителем с гидравлическим замедлителем. Выключатели, осуществляющие автоматическое отключение тока только при коротких замыканиях, оснащены максимальным электромагнитным расцепителем без гидравлического замедлителя.

Со стороны верхних выводов по центру левого полюса имеется отверстие, через которое с помощью штифта (стержня) диаметром 2 мм можно (путем воздействия на рейку через независимый расцепитель или пластмассовый шток) имитировать автоматическое отключение для тестирования механизма свободного расцепления.

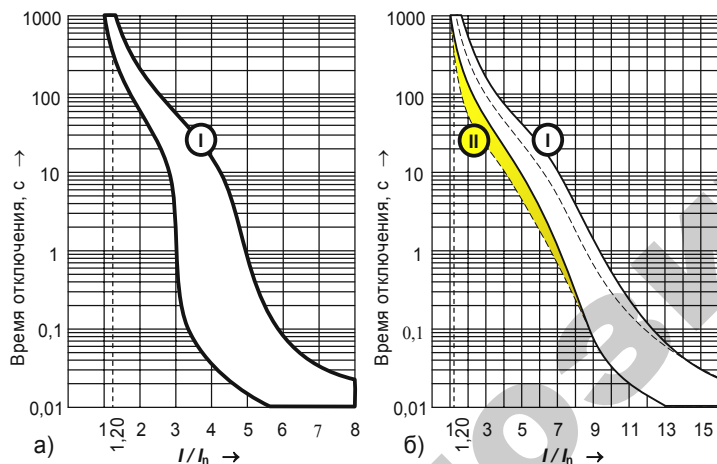


Рис. 2.36. Характеристики выключателей ВА 13 с гидравлическими замедлителями с уставкой $6I_n$ – постоянный ток (а) и $12I_n$ – переменный ток (б) при температуре окружающей среды 20°C , в холодном состоянии (I) и при температуре окружающей среды 40°C , в нагретом состоянии (II)

Износостойкость выключателя при его отключении независимым расцепителем составляет $6\ 300$ циклов, а при отключении максимальными расцепителями – 200 циклов.

Выключатели с защитой только в зоне КЗ не отключаются, когда ток меньше или равен $0,8$ тока уставки, и надежно отключаются, когда ток равен или больше $1,2$ тока уставки.

Выключатели с защитой в зоне перегрузок и КЗ (электромагнитный расцепитель с гидравлическим замедлителем) при одновременной нагрузке всех полюсов и температуре окружающей среды $20\pm 5^\circ\text{C}$:

- в холодном состоянии не отключаются при токе $1,05I_n$ в течение 1 ч ;
- отключаются при токе $1,20I_n$ за время не более 1 ч ;
- в холодном состоянии отключаются при токе $7I_n$ за время от 1 с до 15 с ;
- отключаются без выдержки времени (время срабатывания – не более $0,04 \text{ с}$) при токе $1,2$ тока уставки.

Принципиальная электрическая схема трехполюсного выключателя ВА13 с независимым расцепителем и свободными контактами приведена на рис. 2.37.

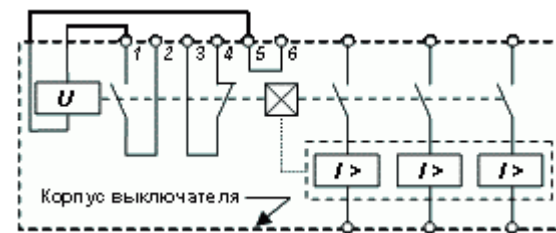


Рис. 2.37. Принципиальная электрическая схема трехполюсного выключателя ВА13 с независимым расцепителем и свободными контактами

Номинальный режим эксплуатации – продолжительный. Диапазон рабочих температур – от -40°C до $+50^\circ\text{C}$. Рабочее положение выключателей в пространстве – вертикальное, знаком «I» (включено) – вверх. Допускаются повороты в плоскости установки до 5° в любую сторону для выключателей с комбинированными расцепителями и до 15° – для выключателей с электромагнитными расцепителями.

Структура условного обозначения автоматического выключателя ВА13 следующая:

$BA13-X_1-X_2X_3X_4X_5X_6X_7 \times X_8X_9X_{10} X_{10}$.

X_1 – условное обозначение номинального тока автоматического выключателя: если 25, то номинальный ток 25 А; если 29, то ток 63 А;

X_2 – число полюсов – 2 или 3;

X_3 – вид максимального расцепителя: 2 – электромагнитный; 3 – электромагнитный с гидравлическим замедлителем;

X_4 – наличие свободных контактов замыкающих (З) или размыкающих (Р) и независимого расцепителя (НР): 00 – отсутствуют; 11 – 13+1Р; 12 – НР; 18 – НР+1Р;

X_5 – климатическое исполнение и категория размещения: У3 или Т3 для ВА13-29; О5 – для ВА13-25;

X_6 – род тока главной цепи выключателя;

X_7 – номинальный ток расцепителя (см. табл. 2.24);

X_8 – кратность тока уставки электромагнитного расцепителя;

X_9 – род тока и номинальное напряжение независимого расцепителя, например, НР–220 или НР~36;

X_{10} – обозначение технических условий:

ТУ16-88 ИИКЖШ.641152.021ТУ.

Пример записи обозначения трехполюсного выключателя на номинальный ток 40 А, напряжение переменного тока 660 В, уставка тока срабатывания $3 I_N$, для защиты от токов короткого замыкания, с независимым расцепителем постоянного тока напряжением 220 В, одним размыкающим свободным контактом, климатическое исполнение и категория размещения У3:

«ВА13-29-3218У3, переменного тока 660 В, 40×3, НР–220
ТУ16-88 ИКЖШ.641152.021ТУ».

Автоматические выключатели ВА21 предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при пере-

грузках и коротких замыканиях (обозначение МГ), или только при коротких замыканиях (обозначение М), а также для оперативных включений и отключений электрических цепей [37].

Основное назначение выключателей ВА21 – защита кабелей и проводов, а также электродвигателей.

Общий вид автоматических выключателей ВА21 изображен на рис. 2.38.



Рис. 2.38. Общий вид автоматических выключателей ВА21

Выключатели выпускаются трех типов: ВА21-29 (со средней отключающей способностью), ВА21-29В (с повышенной отключающей способностью) и ВА21-29Т (для городского электро-транспорта – однополюсные в трехполюсном габарите). Соответствуют требованиям ГОСТ В 9098–78.

Конструкция автоматического выключателя ВА21 изображена на рис. 2.39.

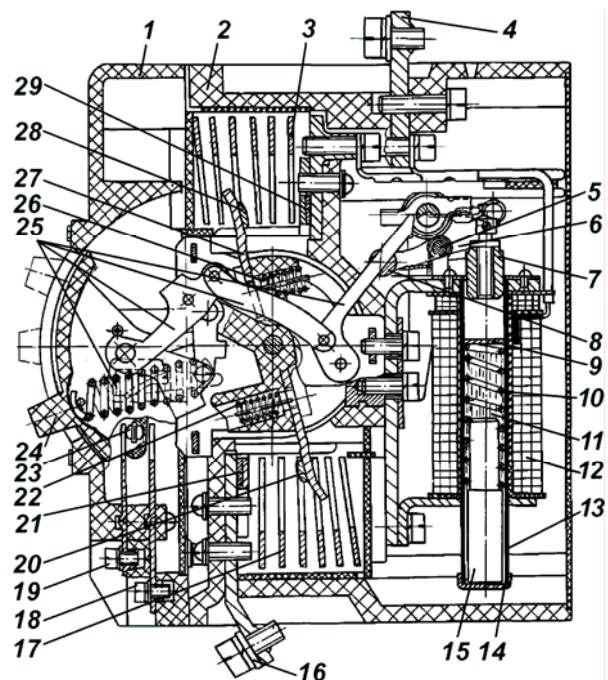


Рис. 2.39. Конструкция автоматического выключателя ВА21 с гидравлическим замедлителем:

1 – крышка; 2 – основание; 3, 17 – дугогасительная решетка; 4, 16 – зажим;
 5, 10, 22, 26 – пружина; 6 – рычаг; 7 – якорь; 8 – противовес; 9 – ферромагнитная перегородка; 11 – полость стакана; 12 – катушка электромагнитного расцепителя;
 13 – немагнитный стакан; 14 – немагнитная крышка; 15 – стальной плунжер;
 18, 19 – зажим свободных контактов; 20, 21, 28, 29 – контактные накладки;
 23 – свободные контакты; 24 – рукоятка; 25 – механизм свободного расцепления;
 27 – контактный мостик

ВА21 смонтирован в корпусе из ударо- и дугостойкой пластмассы, допускающей возможность работы в условиях морского климата. Корпус состоит из основания 2 и крышки 1.

Внешние цепи подключаются к зажимам 4 и 16. Управление выключателем производится рукояткой 24. Внутри корпуса располагается контактная система, состоящая из подвижного контактного мостика 27 с контактными накладками 20 и 28 и двух неподвижных контактов с контактными накладками 21 и 29. Контактные нажатия создают пружины 22 и 26.

Контактные накладки изготовлены из специально подобранной серебросодержащей металлокерамической композиции, которая обеспечивает высокую дугостойкость и износостойкость контактов.

Благодаря мостиковой конструкции контактов, при их размыкании возникает двойной разрыв электрической цепи, благодаря чему повышается эффективность дугогашения и обеспечивается высокая отключающая способность выключателя. Гашение дуги, возникающей при размыкании контактов, осуществляется в дугогасительных камерах, состоящих из стальных пластин 3 и 17, образующих две дугогасительные решетки.

Исключение возможности механического удержания контактов в замкнутом состоянии при возникновении аварийного режима обеспечивает механизм свободного расцепления 25, состоящий из системы «ломающихся» рычагов и пружин.

На короткие замыкания реагирует электромагнитный расцепитель, состоящий из обмотки 12 и якоря 7, закрепленного на рычаге 6, который вращается на оси и прижимается к упору пружиной 5. При аварийных токах, превосходящих ток уставки, электромагнитная сила втягивает якорь в отверстие обмотки. Якорь проворачивает рычаг, воздействующий на механизм свободного расцепления, и выключатель срабатывает, размыкая электрическую цепь.

При коммутациях выключателя вместе с главными контактами изменяют свое коммутационное состояние и свободные контакты 23, которые присоединяются к внешним цепям при помощи зажимов 18 и 19.

Защиту от токов перегрузки обеспечивает тот же расцепитель, но в сочетании с гидравлическим замедлителем, состоящим из цилиндрического немагнитного стакана 13 с ферромагнитной перегородкой 9 и немагнитной крышкой 14, стального плунжера 15, прижимаемого к крышке пружиной 10. Полость 11 стакана 13 заполнена специальной кремнийорганической жидкостью, замедляющей втягивание плунжера в отверстие обмотки. При относительно небольших токах перегрузки якорь втягивается в отверстие обмотки только тогда, когда плунжер приблизится к перегородке 9, в результате чего обеспечивается обратно зависимая от тока перегрузки характеристика времени срабатывания расцепителя.

Благодаря уравновешенной конструкции мостиковой контактной системы и подвижной системы электромагнитного расцепителя

Таблица 2.25

Технические данные автоматических выключателей ВА21

Типоисполнения выключателей		ВА21-29	ВА21-29Т	ВА21-29		ВА21-29В		ВА21-29	
		1 полюс	1 полюс	2 полюса	3 полюса	2 полюса	3 полюса	3 полюса	
Номинальное напряжение, В:	переменного тока 50, 60 Гц	380	-	380		660		380	
	постоянного тока	240	600	440	-	440	-	-	
Шкала номинальных токов I_n , А, расцепителей выключателей		общего применения		0,6; 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63				80, 100	
		для метрополитена*		0,8; 1,6; 2,5; 4; 5; 10; 16; 25; 40; 63				-	
Износостойкость, циклов ВО		общая		30 000				10 000	
		коммутационная		16 000				6 000	
Уставка по току в зоне КЗ, I / I_n	без гидравлич. замедлителя	перемен. ток	1,5; 3; 12	-	1,5; 3; 12			12	
		пост. ток	1,5; 6	1,5; 6	3; 6	-	3; 6	-	
	с гидравлич. замедлителем	перемен. ток	6; 12	-	6; 12	4; 6; 12	6; 12	4; 6; 12	
		пост. ток	6	6	6	-	6	-	
Предельная коммутационная способность (P-2), кА	в цепи переменного тока		380 В	6	-	10		20	6
			660 В	-	-	-		6	-
	в цепи постоянного тока		240 В	8	-	8	-	28	-
			440 В	-	-	4	-	10	-
		600 В	-	6	-		-	-	
Масса выключателя не более, кг	без защитной оболочки		0,65	1,5	1,1	1,5	1,1	1,5	
	с защитной оболочкой		-	3,5	3,2	3,5	3,2	3,5	
Срок службы, лет		10		18	10				

* – выключатели для метрополитена имеют повышенную стойкость к самоотвинчиванию резьбовых соединений.

Выключатели, предназначенные для атомных электрических станций (АЭС), имеющие электромагнитные расцепители с гидравлическим замедлителем, с холодного состояния при температу-

ля, в которой противовес 8 уравнивает якорь 7, а также благодаря инерционности гидравлического замедлителя, выключатель приобретает высокую вибро- и ударостойкость.

На крышке корпуса выключателя могут быть установлены дополнительные устройства – независимый расцепитель (НР) и свободные контакты (СК).

Независимый расцепитель устанавливается в верхней части крышки над левым полюсом и представляет собой электромагнит, якорь которого перемещает поводок, воздействующий на рейку механизма свободного расцепления выключателя. Независимый расцепитель обеспечивает отключение включенного выключателя при подаче на выводы катушки расцепителя напряжения постоянного или переменного токов. Номинальные напряжения катушки расцепителя: 24; 36; 48; 110; 127; 220; 380; 400; 415; 440 В постоянного и переменного токов частоты 50–60 Гц.

Свободные контакты – одна или две контактные системы, которые устанавливаются в нижней части крышки над левым правым полюсами. Каждая контактная система состоит из двух пар неподвижных контактов с общим перекидным подвижным контактным мостиком, перемещаемым поводком, на который воздействует обойма главных контактов выключателя. Свободные контакты предназначены для коммутации цепей управления постоянного или переменного токов.

Коммутационная способность свободных контактов в режиме редких коммутаций (до 200 циклов ВО) соответствует категориям применения ДС-11, АС-11 по ГОСТ 12434–83. Минимальный коммутируемый ток – 10 мА при напряжении 24 В.

Технические данные автоматических выключателей ВА21 приведены в табл. 2.25.

Выключатели с электромагнитными расцепителями с гидравлическим замедлением срабатывания с холодного состояния при одновременной нагрузке всех полюсов и температуре окружающего воздуха (25 ± 10) °С имеют следующие характеристики:

- 1) не отключаются при токе $1,05 I_n$ за время менее 1 ч;
- 2) отключаются за время не более 30 мин при токе $1,2 I_n$ – для выключателей с уставкой 12 I_n , 4 I_n и при токе $1,35 I_n$ – для выключателей с уставкой 6 I_n .

ре окружающего воздуха (25 ± 10) °С и нагрузке каждого полюса током $2 I_n$ должны отключаться за время не более 5 мин (для выключателей с уставкой $6 I_n$ и $12 I_n$).

Автоматические выключатели ВА21, имеющие электромагнитные расцепители с гидравлическим замедлителем, за исключением выключателей для АЭС, с холодного состояния при температуре окружающего воздуха (25 ± 10) °С должны отключаться при нагрузке каждого полюса в отдельности током:

$6 I_n$ за время от 3 с до 20 с – для выключателей с уставкой $12 I_n$;

$3 I_n$ с выдержкой времени более 3 с – для выключателей с уставкой $6 I_n$;

$2 I_n$ за время от 40 с до 200 с – для выключателей с уставкой $4 I_n$.

Характеристики выключателей ВА21 с уставкой $6 I_n$, $12 I_n$, $4 I_n$ при температуре окружающей среды 25 ± 10 °С в холодном состоянии изображены на рис. 2.40.

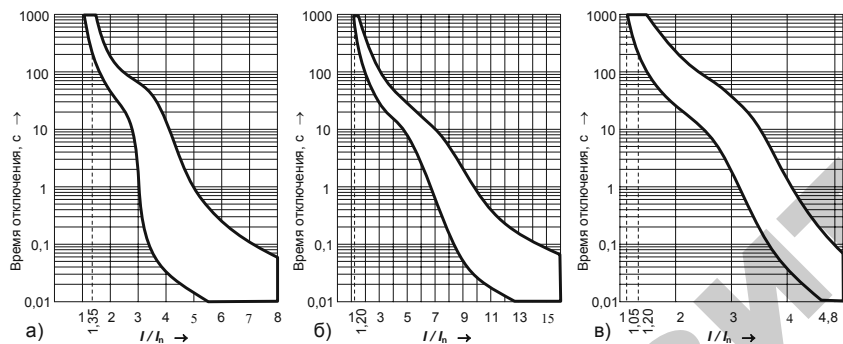


Рис. 2.40. Характеристики выключателей ВА21 с уставкой $6 I_n$ (а), $12 I_n$ (б) и $4 I_n$ (в) при температуре окружающей среды 25 ± 10 °С, в холодном состоянии

Принципиальные электрические схемы автоматических выключателей ВА21 с дополнительными устройствами изображены на рис. 2.41.

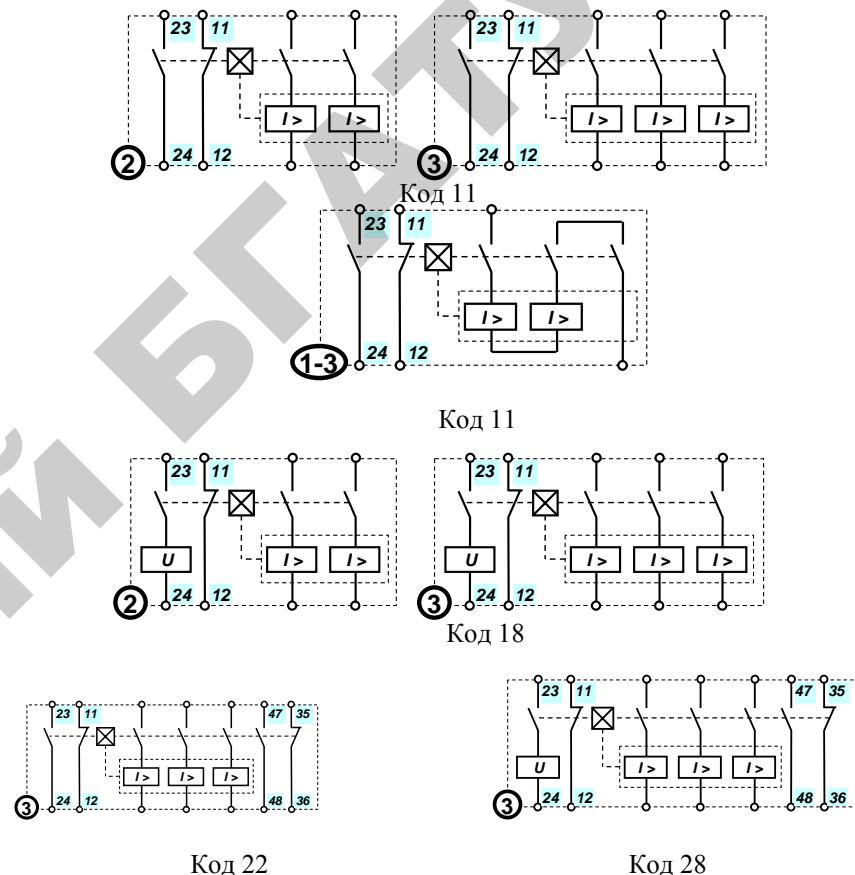


Рис. 2.41. Принципиальные электрические схемы автоматических выключателей ВА21 с дополнительными устройствами:
2 (в кружке) – двухполюсный выключатель; 3 – трехполюсный выключатель;
I-3 – однополюсный выключатель в трехполюсном габарите

Структура условного обозначения автоматического выключателя ВА21 следующая:

$$BA21-29X_1X_2X_3X_4X_5-X_6, X_7X_8, X_9, X_{10} \times X_{11}, X_{12}X_{13}.$$

X_1 – знак «←» для автоматических выключателей со средней отключающей способностью или «В» для автоматических выключателей с повышенной отключающей способностью или «Т» для

автоматических выключателей, предназначенных для городского транспорта;

X_2 – число полюсов – 1, 2 или 3;

X_3 – вид расцепителя: 0 – отсутствует; 2 – электромагнитный; 4 – электромагнитный с гидравлическим замедлителем;

X_4 – наличие свободных контактов замыкающих (З) или размыкающих (Р) и независимого расцепителя (НР): 00 – отсутствуют; 11 – 13+1Р; 12 – НР; 18 – НР+1Р; 22 – 2З; 28 – НР+13, 2Р;

X_5 – обозначение стационарного исполнения – 1;

X_6 – запирающее устройство: 0 – отсутствует; 6 – блокировка в положении «Отключено»;

X_7 – степень защиты: 00 – IP00; 20 – IP20 (с клеммными крышками); 54 – IP54 (в защитной оболочке для двух- и трехполюсных исполнений);

X_8 – климатическое исполнение и категория размещения: УЗ или ТЗ (без защитной оболочки); У2 или Т3 (с защитной оболочкой);

X_9 – род тока главной цепи выключателя;

X_{10} – номинальный ток расцепителя (см. табл. 2.25);

X_{11} – кратность тока уставки электромагнитного расцепителя;

X_{12} – особенности исполнения (для метро, для АЭС, на экспорт, крепление на панели, крепление за панелью);

X_{13} – обозначение технических условий:

ТУ16-90 ИИКЖШ.641211.002ТУ.

Примеры формулирования заказа: трехполюсный выключатель, ток максимальных расцепителей 50 А, уставка по току срабатывания $12 I_n$, с высокой отключающей способностью, для защиты от токов короткого замыкания, со свободными контактами, исполнение с креплением за панелью, для поставок в районы с тропическим климатом категории размещения 2:

«BA21-29B321110-54T2, 50×12, крепление за панелью, ТУ16-90 ИКЖШ.641211.002ТУ».

Двухполюсный выключатель, ток максимальных расцепителей 25 А, уставка по току срабатывания $6 I_n$, для защиты от токов короткого замыкания и токов перегрузки со свободными контактами, для крепления на панели, с изолирующими крышками, для поставок на внутренний рынок в районы с тропическим климатом категории размещения 3:

«BA21-29-241110-20T3, 25×6, крепление на панели, с изолирующими крышками, ТУ16-90 ИКЖШ.641211.002ТУ».

Однополюсный выключатель постоянного тока (в габаритах трехполюсного – для городского электротранспорта), для защиты от токов короткого замыкания, ток максимального расцепителя 10 А, уставка по току срабатывания $1,5 I_n$, с изолирующими крышками, для поставок на внутренний рынок в районы с умеренным климатом категории размещения 3:

«BA21-29T120010-20У3, 10×1,5, крепление на панели, с изолирующими крышками, ТУ16-90 ИКЖШ.641211.002ТУ».

Автоматические выключатели серии АК50Б предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при перегрузках и коротких замыканиях (обозначение МГ) или только при коротких замыканиях (обозначение М), а также для оперативных включений и отключений электрических цепей [37].

Общий вид автоматических выключателей АК50Б изображен на рис. 2.42.

Основное назначение выключателей АК50 – защита кабелей и проводов, а также электродвигателей.

Выключатели выпускаются в двухполюсном (коммутация цепей постоянного и переменного тока) и трехполюсном (коммутация цепей переменного тока) исполнениях. Соответствуют требованиям ГОСТ В 22320–84.

Выключатель смонтирован в корпусе из ударо- и дугостойкой пластмассы, допускающей возможность работы в условиях морского климата.

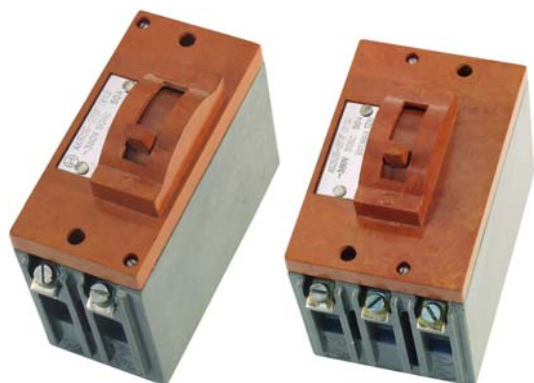


Рис. 2.42. Общий вид автоматических выключателей АК50Б

Корпус состоит из основания 2 и крышки 1 (рис.2.43). Внешние цепи подключаются к зажимам 4 и 16. Управление выключателем производится рукояткой 21. Внутри корпуса располагается контактная система, состоящая из подвижного контактного мостика 24 с контактными накладками 18 и 25 и двух неподвижных контактов с контактными накладками 19 и 26. Контактные нажатия создают пружины 20 и 23.

Контактные накладки изготовлены из специально подобранной серебросодержащей металлокерамической композиции, которая обеспечивает высокую дугостойкость и износостойкость контактов.

Благодаря мостиковой конструкции контактов, при их размыкании возникает двойной разрыв электрической цепи, поэтому повышается эффективность дугогашения и обеспечивается высокая отключающая способность выключателя. Гашение дуги, возникающей при размыкании контактов, осуществляется в дугогасительной камере, состоящей из параллельно расположенных стальных пластин 3 и 17.

Исключение возможности механического удержания контактов в замкнутом состоянии при возникновении аварийного режима обеспечивает механизм свободного расцепления 22, состоящий из системы «ломающихся» рычагов и пружин.

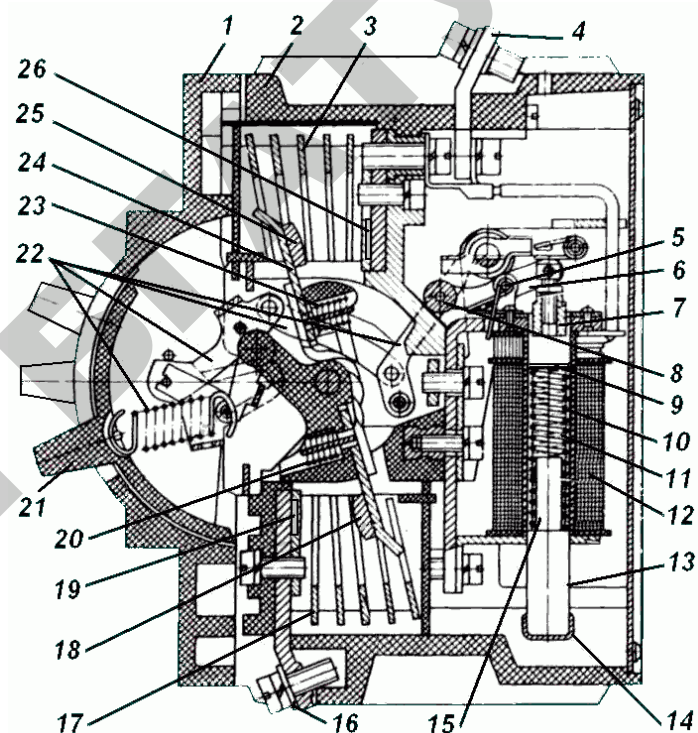


Рис. 2.43. Конструкция автоматического выключателя АК50Б с гидравлическим замедлителем:

- 1 – крышка; 2 – основание; 3, 17 – дугогасительная решетка; 4, 16 – зажим; 5, 10, 20, 23 – пружина; 6 – рычаг; 7 – якорь; 8 – противовес; 9 – ферромагнитная перегородка; 11 – полость стакана; 12 – катушка электромагнитного расцепителя; 13 – немагнитный стакан; 14 – немагнитная крышка; 15 – стальной плунжер; 18, 19, 25, 26 – контактные накладки; 21 – рукоятка; 22 – механизм свободного расцепления; 24 – контактный мостик

На короткие замыкания реагирует электромагнитный расцепитель, состоящий из обмотки 12 и якоря 7, закрепленного на рычаге 6, который вращается на оси и прижимается к упору пружиной 5. При аварийных токах, превосходящих ток уставки, электромагнитная сила втягивает якорь в отверстие обмотки. Якорь проворачивает рычаг 6, который воздействует на механизм свободного расцепления, и выключатель срабатывает, размыкая электрическую цепь.

Защиту от токов перегрузки обеспечивает тот же расцепитель, но в сочетании с гидравлическим замедлителем, состоящим из цилиндрического немагнитного стакана 13 с ферромагнитной перегородкой 9 и немагнитной крышкой 14, стального плунжера 15, прижимаемого к крышке пружиной 10. Полость 11 стакана 13 заполнена специальной кремнийорганической жидкостью, замедляющей втягивание плунжера в отверстие обмотки. При относительно небольших токах перегрузки якорь втягивается в отверстие обмотки только тогда, когда плунжер приблизится к перегородке 9. Замедленное втягивание плунжера в отверстие обмотки обеспечивает обратную зависимость от тока перегрузки характеристику времени срабатывания расцепителя.

Благодаря уравновешенной конструкции мостиковой контактной системы и подвижной системы электромагнитного расцепителя, в которой противовес δ уравновешивает якорь 7, а также инерционности гидравлического замедлителя, выключатель приобретает высокую вибро- и ударостойкость.

Характеристики автоматических выключателей АК50Б с уставкой $6I_n$ и $12I_n$ при температуре окружающей среды $20 \pm 5^\circ\text{C}$ с холодного состояния приведены на рис. 2.44.

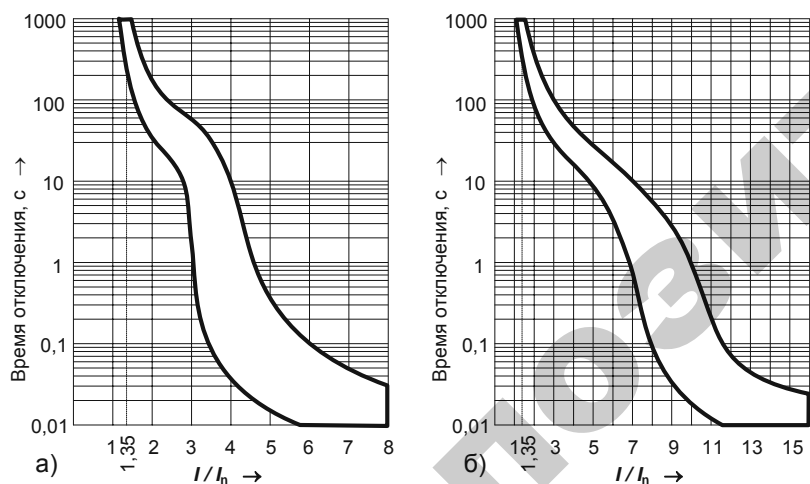


Рис. 2.44. Характеристики выключателей АК50Б с уставкой $6I_n$ (а) и $12I_n$ (б) при температуре окружающей среды $20 \pm 5^\circ\text{C}$ с холодного состояния

Характеристика выключателей с выдержкой времени, обратно зависимой от тока при температуре окружающей среды $25 \pm 5^\circ\text{C}$, в холодном состоянии следующая:

не отключаются при токе $1,1 I_n$ в нормальном режиме и при токе $1,05 I_n$ при наклонах и качке в течение 1 ч;

отключаются при токе $1,35 I_n$ за время не более 30 мин;

отключаются при токе $3 I_n$ (выключатели с уставкой $6 I_n$) за время не менее 3 с;

отключаются при токе $6 I_n$ (выключатели с уставкой $12 I_n$) за время от 3 до 20 с;

надежно отключаются при токе 1,2 уставки без выдержки времени.

Выключатели с обозначением М (электромагнитный расцепитель) при нагрузке всех полюсов и температуре окружающей среды от -40 до $+45^\circ\text{C}$ имеют следующие характеристики:

не отключаются при токе 0,8 тока уставки;

надежно отключаются при 1,2 тока уставки.

Технические данные автоматических выключателей АК50Б

- Номинальное напряжение:
 - постоянного тока – 320 В;
 - переменного тока – 380 В.
- Частота переменного тока – 50, 400 Гц.
- Шкала номинальных токов I_n – (1,0; 2,0; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50) А.
- Кратность I / I_n тока уставки мгновенного (<0,04 с) срабатывания:
 - на постоянном токе – 6;
 - на переменном токе – 6; 12.
- Выключатели с обозначением М и кратностью 12 тока мгновенного срабатывания выпускаются только на токи 31,5; 40 и 50 А.
- Предельная коммутационная способность

	при 50 Гц,	400 Гц,	на постоянном токе:
с расцепителями 1,0; 2,0 А	– 55 кА	22 кА	30 кА
с расцепителями 4,0–6,3 А	– 17 кА	14 кА	20 кА
с расцепителями 8,0–25 А	– 11 кА	11 кА	10 кА
с расцепителями 31,5–50 А	– 6 кА	6,5 кА	5 кА

7. Износостойкость:

общая (циклов ВО) –	16 000;
коммутационная (циклов ВО) –	10 000.
8. Сечение подключаемых проводников – от 1,5 до 16 мм²
9. Срок службы выключателей – 20 лет.
10. Климатическое исполнение по ГОСТ 15150–69: ОМЗ (без оболочки); ОМ2 (с защитной оболочкой).
11. Диапазон рабочих температур – от -40 °С до +45 °С.
12. Рабочее положение выключателей в пространстве – вертикальное, знаком "I" (включено) – вверх. Выключатели допускают работу в условиях качки и наклонов.
13. Масса выключателя, не более:

двухполюсного	трехполюсного
без защитной оболочки	– 1,1 кг; 1,4 кг;
с защитной оболочкой	– 3,7 кг; 4,0 кг.

Структура условного обозначения автоматического выключателя АК50Б следующая:

АК50Б-Х₁-Х₂Х₃Х₄Х₅Х₆Х₇Х₈.

Х₁ – частота тока: 400 – для выключателей, рассчитанных для работы в сети 400 Гц;

Х₂ – число полюсов – 2 или 3;

Х₃ – вид максимального расцепителя: М – электромагнитный;

МГ – электромагнитный с гидравлическим замедлителем;

Х₄ – климатическое исполнение и категория размещения – ОМ2 или ОМ3;

Х₅ – род тока главной цепи выключателя: переменный 50 Гц; постоянный ток;

Х₆ – номинальный ток расцепителя;

Х₇ – кратность тока уставки электромагнитного расцепителя;

Х₈ – обозначение технических условий: ТУ16-522.136-78.

Пример записи обозначения трехполюсного выключателя с электромагнитным расцепителем и гидравлическим замедлителем, на номинальный ток 25 А, с уставкой электромагнитного расцепителя 12 I_н, без дополнительной защитной оболочки:

«АК50Б-3МГОМЗ, 25 А, 12 I_н, ТУ16-522.136-78».

Пример записи обозначения двухполюсного выключателя постоянного тока с электромагнитным расцепителем, без гидравлического замедлителя, на номинальный ток 40 А, с уставкой электромагнитного расцепителя 6 I_н, с дополнительной защитной оболочкой:

«АК50Б-2МОМ2, постоянный, 40 А, 6 I_н, ТУ16-522.136-78».

Автоматические выключатели серии АП50Б предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при перегрузках и коротких замыканиях (обозначение МТ) или только при коротких замыканиях (обозначение М), а также для оперативных включений и отключений электрических цепей [37].

Общий вид автоматических выключателей АП50Б изображен на рис. 2.45.



Рис. 2.45. Общий вид автоматических выключателей АП50Б

Основное назначение выключателей АП50Б – защита кабелей и проводов, а также электродвигателей. При правильно выполненной системе заземления выключатели предотвращают поражение человека электрическим током при косвенных прикосновениях.

Выключатели выпускаются в двухполюсном (коммутация цепей постоянного и переменного тока) и трехполюсном (коммутация цепей переменного тока) исполнениях. Соответствуют требованиям ГОСТ 9098–78.

Выключатель смонтирован в корпусе из ударо- и дугостойкой пластмассы, допускающей возможность работы в условиях умеренного, холодного и тропического климата. Корпус состоит из основания 1 и крышки 2 (рис.2.46).

Внешние цепи подключаются к зажимам 3 и 18. Управление выключателем производится двумя кнопками – включения (светлого цвета) 15 и отключения (красного цвета) 17. Внутри корпуса располагается контактная система, состоящая из подвижного 11 и неподвижного 5 контактов с контактными накладками 6 и 9. Контактное нажатие создает пружина 12.

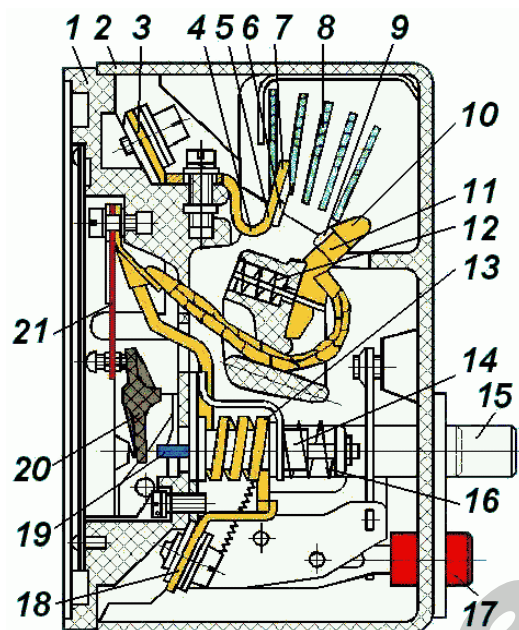


Рис. 2.46. Конструкция автоматического выключателя АП50Б:

1 – основание; 2 – крышка; 3, 18 – зажимы для проводников;
4 – электродинамическая петля; 5, 11 – основание контактов; 6, 9 – контактные накладки; 7, 10 – дугогасительные рога контактов; 8 – дугогасительная решетка; 12, 16 – пружины; 13 – обмотка электромагнитного расцепителя; 14 – якорь электромагнитного расцепителя; 15, 17 – кнопки включения и отключения автоматического выключателя; 19 – шток электромагнитного расцепителя; 20 – рейка механизма свободного расцепления; 21 – биметаллический тепловой расцепитель

Контактные накладки изготовлены из специально подобранной серебросодержащей металлокерамической композиции, которая обеспечивает высокую дугостойкость и износостойкость контактов.

Исключение возможности механического удержания контактов в замкнутом состоянии при возникновении аварийного режима обеспечивает механизм свободного расцепления, состоящий из системы «ломающихся» рычагов и пружин.

На короткие замыкания реагирует электромагнитный расцепитель, состоящий из обмотки 13 и якоря 14, на котором закреплен шток 19. При аварийных токах, превосходящих ток уставки, электромагнитная сила, втягивающая якорь в отверстие обмотки, становится больше усилия сжатия пружины 16, якорь втягивается в отверстие обмотки, и шток, воздействуя на рейку 20 механизма свободного расцепления, проворачивает ее, в результате чего выключатель срабатывает, вызывая размыкание главных и свободных контактов выключателя.

Благодаря электродинамической петле 4, опорные точки дуги, возникающей между контактами, быстро перемещаются по дугогасительным рогам 7 и 10, в результате дуга, попадая в камеру, состоящую из ряда стальных пластин 8, гаснет.

Защиту от токов перегрузки обеспечивает биметаллический расцепитель 21, с регулятором, рычаг которого установлен на механизме выключателя. Регулятор позволяет уменьшать уставку во всех полюсах до 70 % от ее номинального значения. Высокая стабильность защитных характеристик обеспечивается применением в тепловом расцепителе материалов для термобиметалла и нагревательного элемента производства фирмы KANTHAL (Швеция).

Технические данные автоматических выключателей АП50Б

Номинальное напряжение – до 220 В постоянного и до 500 В переменного токов.

Частота переменного тока – 50, 60 Гц.

Шкала номинальных токов I_n – (1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 50; 63) А; для выключателей с максимальным расцепителем в нулевом проводе – (16; 25; 40; 50; 63) А.

Кратность I/I_n тока уставки мгновенного срабатывания – 3,5 и 10.

Расцепители защиты от сверхтоков, применяемые в выключателях АП50Б, следующие:

тепловой (биметаллический) максимального тока (обозначение Т); электромагнитный максимальный расцепитель (обозначение М); комбинированный (обозначение МТ).

Дополнительные расцепители, применяемые в выключателях АП50Б, следующие:

минимальный расцепитель напряжения (обозначение Н) на следующие номинальные напряжения: 110; 127; 220; 380; 400; 415 В переменного тока частоты 50 Гц;

электромагнитный независимый расцепитель (обозначение D); шкала номинальных напряжений: 110; 127; 220; 230; 240; 380; 400; 415; 440 В переменного тока частоты 50 Гц; 220 В постоянного тока;

электромагнитный максимальный расцепитель тока в нулевом проводе (обозначение О);

электромагнитный максимальный расцепитель цепи управления (обозначение С) – отключение цепи при токе 6 А.

Предельная коммутационная способность и износостойкость приведены в табл. 2.26.

Таблица 2.26

Предельная коммутационная способность (ПКС) и износостойкость

Номинальный ток расцепителя, А		1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40	50	63
ПКС, кА	380 В, 50 – 60 Гц	0,3	0,4	0,6	0,8	2,0	3,0	3,0	5,0	5,0	6,0
	500 В, 50 – 60 Гц	0,3	0,4	0,6	0,8	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	3,5
	220 В постоянного тока	0,5	0,7	1,0	1,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4,0
Износостойкость, циклов ВО	общая	50 000									
	коммутационная*	50 000					25 000		20 000		

* – при номинальном токе и напряжении 380 В переменного тока или 220 В постоянного тока.

Времятоковые характеристики выключателей АП50 при температуре окружающей среды 20 ± 5 °С в холодном состоянии изображены на рис. 2.47.

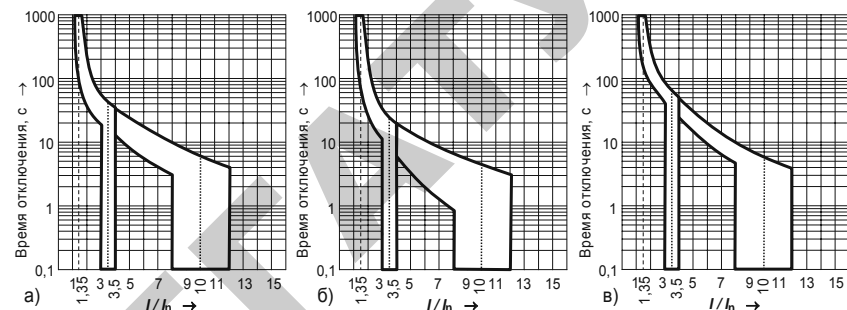


Рис. 2.47. Времятоковые характеристики выключателей с номинальными токами расцепителей 1,6–4,0 А (а), 6,3–50 А (б) и 63 А (в) при температуре окружающей среды 20 ± 5 °С, в холодном состоянии

Принципиальные электрические схемы автоматического выключателя АП50Б изображены на рис 2.48.

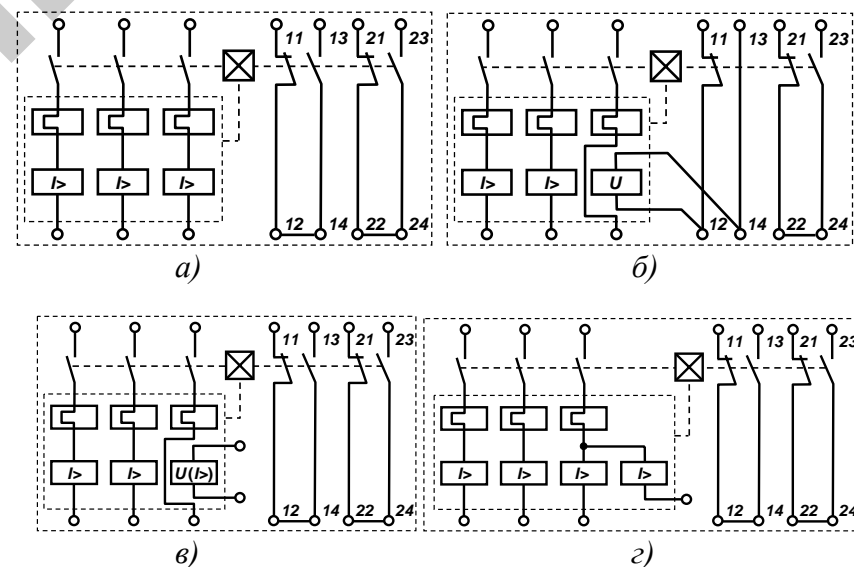


Рис. 2.48. Принципиальные электрические схемы выключателя АП50Б: с двумя переключающими контактами (а); с независимым расцепителем и переключающим контактом (б); с минимальным расцепителем напряжения или максимальным расцепителем в нулевом проводе (в); с максимальным расцепителем цепи управления (г)

Свободные контакты (два переключающих контакта) предназначены для коммутации цепей управления переменного и постоянного токов.

Характеристика тепловых максимальных расцепителей:

не срабатывают при токе $1,05 I_n$ в течение 1 ч;

срабатывают за время не более 30 мин при токе $1,35 I_n$.

Характеристика электромагнитных максимальных расцепителей:

не срабатывают при токе 0,8 тока уставки;

гарантированно срабатывают при токе 1,2 тока уставки.

Структура условного обозначения автоматического выключателя серии АП50Б следующая:

АП50БХ₁Х₂Х₃Х₄×Х₅Х₆Х₇Х₈Х₉.

Х₁ – количество и обозначение максимальных расцепителей электромагнитных (М), тепловых (Т);

Х₂ – обозначение дополнительных расцепителей;

Х₃ – климатическое исполнение и категория размещения – У3, Т3, ХЛ5 (для выключателей без оболочки); У2, Т2, ХЛ5 (для выключателей с оболочкой);

Х₄ – степень защиты: IP54 (в защитной оболочке);

Х₅ – номинальный ток расцепителя;

Х₆ – кратность тока уставки электромагнитного расцепителя;

Х₇ – количество дополнительных переключающих контактов (1П или 2П);

Х₈ – исполнение оболочки, дизайн;

Х₉ – обозначение технических условий: ТУ16-522.139-78;

ТУ16-522.139-92Д – для исполнения с расцепителем в цепи управления).

Пример записи обозначения двухполюсного выключателя с электромагнитными и тепловыми расцепителями защиты от сверхтоков, на номинальный ток 25 А, с уставкой электромагнитного расцепителя $10 I_n$, с двумя переключающими контактами, для умеренного климата и без дополнительной защитной оболочки:

«АП50Б2МТУ3, 25×10, 2П, ТУ16-522.139-78».

Пример записи обозначения трехполюсного выключателя с электромагнитными и тепловыми расцепителями и расцепителем в цепи управления; номинальный ток 40 А, с уставкой электромагнитного расцепителя $3,5 I_n$, с одним переключающим контактом, для тропического климата и защитной оболочкой:

«АП50Б3МТСТ2, IP54, 40×3,5, 1П, ТУ16-522.139-92Д».

Автоматические выключатели серии А63 предназначены для проведения тока (постоянного и переменного) в нормальном режиме и отключения тока при перегрузках и коротких замыканиях, с замедлением в зоне перегрузок (обозначение МГ) или без замедления (обозначение М), а также для оперативных включений и отключений электрических цепей [37].

Общий вид и конструкция автоматического выключателя А63 изображена на рис. 2.49.

Основное назначение выключателей А63 – защита кабелей и проводов, а также электродвигателей.

Выключатели выпускаются в исполнениях для постоянного или переменного токов, соответствуют требованиям ГОСТ 9098–78.

Выключатель смонтирован в корпусе из ударостойкой и трудногорючей пластмассы. Корпус состоит из основания 3 и крышки 1.

Внешние цепи подключаются к зажимам 2 и 16. Управление выключателем производится рукояткой 18. Внутри корпуса располагается контактная система, состоящая из подвижного 20 и неподвижного 5 контактов с контактными накладками 21 и 4. Контактное нажатие создает пружина 6.

Контактные накладки изготовлены из специально подобранной серебросодержащей металлокерамической композиции, которая обеспечивает высокую дугостойкость и износостойкость контактов.

Гашение дуги, возникающей при размыкании контактов, осуществляется в дугогасительной камере, состоящей из ряда стальных пластин 22.

Исключение возможности механического удержания контактов в замкнутом состоянии при возникновении аварийного режима обеспечивает механизм свободного расцепления 19, состоящий из системы «ломающихся» рычагов и пружин.

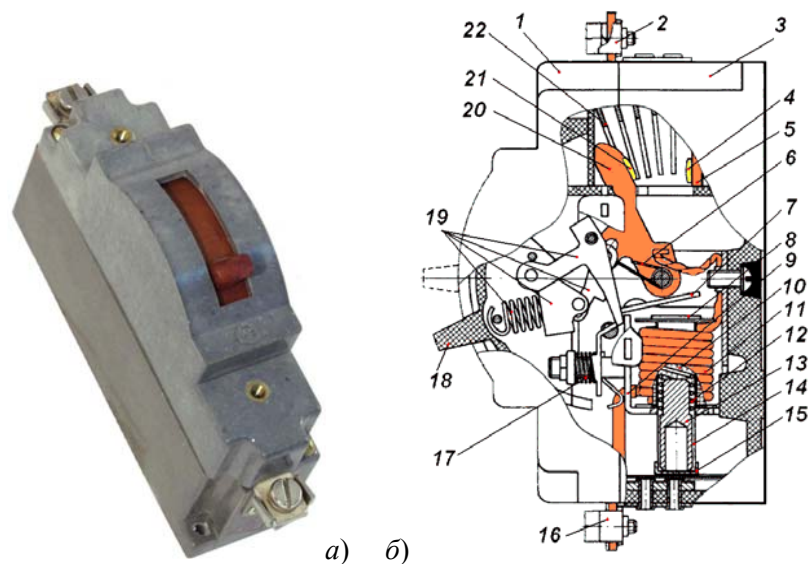


Рис. 2.49. Общий вид (а) и конструкция автоматического выключателя А63 (б):
 1 – крышка; 2, 16 – зажим; 3 – основание; 4, 21 – контактная накладка;
 5, 20 – неподвижный и подвижный контакт; 6, 12, 17 – пружина; 7 – якорь
 электромагнита; 8 – полюсный наконечник; 9 – скоба; 10 – полость стакана;
 11 – катушка электромагнитного расцепителя; 13 – стальной плунжер;
 14 – немагнитный стакан; 15 – немагнитная крышка; 18 – рукоятка; 19 – механизм
 свободного расцепления; 22 – дугогасительная решетка

На короткие замыкания реагирует электромагнитный расцепитель, состоящий из обмотки 11, скобы 9, полюсного наконечника 8 и якоря 7, который вращается на оси, совпадающей с ребром скобы, и прижимается к упору пружиной 17.

При аварийных токах, превосходящих ток уставки, якорь притягивается к полюсному наконечнику и воздействует на механизм свободного расцепления, благодаря чему выключатель срабатывает, размыкая соответствующую электрическую цепь.

Защиту от токов перегрузки обеспечивает тот же расцепитель, но в сочетании с гидравлическим замедлителем, который состоит из цилиндрического немагнитного стакана 14, немагнитной крышкой 15 и стального плунжера 13, прижимаемого к крышке пружи-

ной 12. Полость 10 стакана заполнена специальной кремнийорганической жидкостью, замедляющей втягивание плунжера в отверстие обмотки. При относительно небольших токах перегрузки якорь притягивается к полюсному наконечнику только тогда, когда плунжер приблизится к нему, в результате чего обеспечивается обратная зависимость от тока перегрузки характеристика времени срабатывания расцепителя.

Наряду с исполнениями, в которых в электромагнитном расцепителе имеется гидравлический замедлитель (обозначение расцепителя – МГ), имеются исполнения без гидравлического замедлителя (обозначение расцепителя – М).

Благодаря инерционности гидравлического замедлителя и уравновешенной конструкции якоря выключателя А63 имеет высокую вибро- и ударостойкость и являются сейсмостойкими при интенсивности землетрясения 9 баллов по MSK-64. Высокая виброустойчивость выключателей А63 обуславливает эффективное их применение в транспортных установках.

Наряду с исполнениями, которые предназначены для общего применения (обозначение А63), имеются исполнения с низкими уровнями коммутационных перенапряжений (обозначение А63С). В этих аппаратах коммутационный импульс перенапряжения в цепях постоянного тока не должен превышать $1,4U_p$ при значениях LI_{K3}^2 не более 7,5 Дж (при $U_p = 24$ В) и не более 15 Дж при $U_p = 60$ В.

Выключатели с обозначением А63С рекомендуется применять в электрических цепях постоянного тока, чувствительных к коммутационным перенапряжениям, например, в аппаратуре связи.

Времятоковая характеристика автоматического выключателя А63, имеющего электромагнитный расцепитель и гидравлический замедлитель, изображена на рис. 2.50.

Технические данные автоматических выключателей А63 приведены в табл. 2.27.

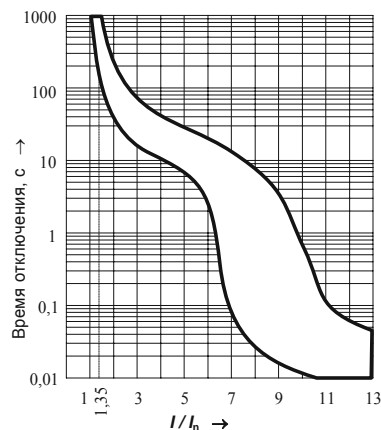


Рис. 2.50. Времятоковая характеристика автоматического выключателя А63 с электромагнитным расцепителем и гидравлическим замедлителем при температуре окружающей среды 25 ± 5 °С, в холодном состоянии

Таблица 2.27

Технические данные автоматических выключателей А63

Типоисполнения	А63-МГУЗ, А63-МГТЗ, А63-МГХЛ5 А63С-МГУЗ, А63С- МГТЗ, А63С-МГХЛ5	А63-МУЗ, А63-МТЗ, А63-МХЛЗ А63С-МУЗ, А63С-МГЗ, А63С-МХЛЗ			
Номинальное напряжение	380 В, 50 и 60 Гц переменного тока или 110 В постоянного тока				
Шкала номинальных токов I_n , А	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0		40		
Кратность I / I_n тока уставки мгновенного срабатывания	10	1,3; 2; 5; 10	1,3		
Износостойкость: общая, циклов ВО	30000		16000		
	16000		8000		
Предельная коммутационная способность, кА					
				в цепи переменного тока	
				220 В	
				380 В	
в цепи постоянного тока					
110 В		2,5			

Уникальными являются исполнения с быстрым отключением (менее 0,1 с) при низких уровнях кратностей тока по отношению к номинальному значению – 1,3 и 2. Эти исполнения могут быть с успехом использованы для защиты полупроводниковых устройств с низкой перегрузочной способностью.

Выключатель А63 имеет исполнения, позволяющие ему надежно работать не только в условиях умеренного климата (У), но и в условиях холодного (ХЛ) и тропического (Т) климата при категориях размещения 3 и 5.

Характеристика выключателей с выдержкой времени, обратно зависимой от тока, при температуре окружающей среды 20 ± 5 °С, в холодном состоянии следующая:

не отключаются при токе $1,05 I_n$ в течение 1 ч;

отключаются при токе $1,35 I_n$ за время не более 30 мин.

Структура условного обозначения автоматического выключателя А63 или А63С следующая:

А63 или А63С- $X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 \times X_6 X_7$.

X_1 – вид максимального расцепителя: М – электромагнитный;

МГ – электромагнитный с гидравлическим замедлителем;

X_2 – климатическое исполнение – У, ХЛ, Т;

X_3 – категория размещения – 3 или 5;

X_4 – род тока главной цепи выключателя: переменный 50 Гц; постоянный ток;

X_5 – номинальный ток расцепителя;

X_6 – кратность тока уставки электромагнитного расцепителя;

X_7 – обозначение технических условий:

ТУ16-91 ИКЖШ,641112.001ТУ.

Автоматические выключатели серии ВМ40 (выключатель модульный) предназначены для защиты электрических цепей и потребителей электрической энергии от токов короткого замыкания и токов перегрузки [37].

Общий вид модульных автоматических выключателей серии ВМ40 изображен на рис. 2.51.

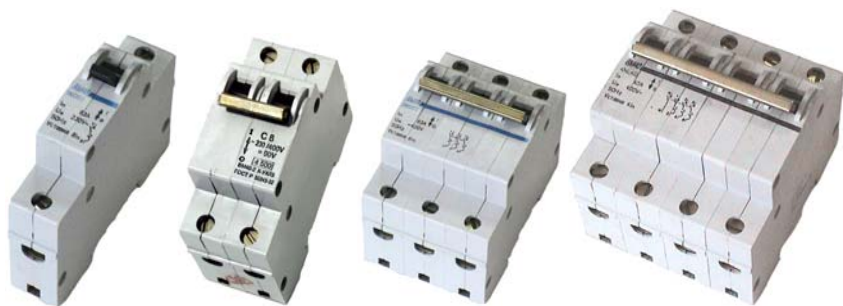


Рис. 2.51. Общий вид модульных автоматических выключателей серии BM40

Полюс выключателя смонтирован в корпусе 1 (рис.2.52) из не поддерживающей горение пластмассы (стеклонаполненный полиамид – армамид).

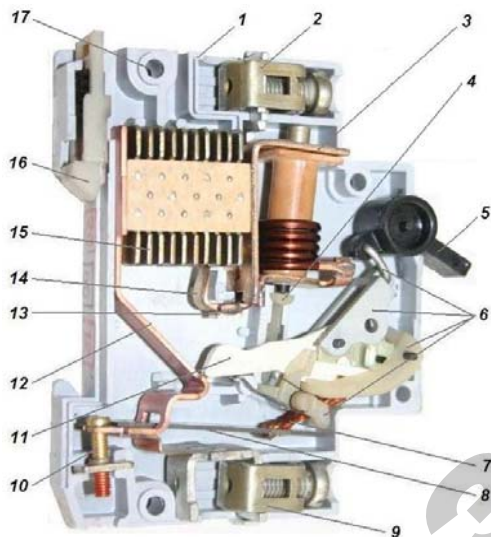


Рис. 2.52. Конструкция модуля автоматического выключателя серии BM40: 1 – корпус; 2, 9 – зажим; 3 – электромагнитный расцепитель; 4 – наконечник якоря электромагнитного расцепителя; 5 – рукоятка; 6 – механизм свободного расцепления; 7 – гибкое контактное соединение; 8 – тепловой биметаллический расцепитель; 10 – винт заводской регулировки теплового расцепителя; 11, 13 – подвижный и неподвижный контакт, 12, 14 – дугогасительный рог; 15 – дугогасительная решетка; 16 – защелка; 17 – заклепка

Внешние цепи подключаются к зажимам 2 и 9 хомутового типа. Управление выключателем производится рукояткой 5. Внутри корпуса располагается контактная система, состоящая из подвижного 11 и неподвижного 13 контактов с дугогасительными рогами 12 и 14.

На неподвижном контакте установлена накладка из специально подобранной серебросодержащей металлокерамической композиции. Подвижной контакт изготовлен из сплава БрХ и покрыт слоем серебра, что обеспечивает надежность контактирования и эффективность дугогашения. В выключателях на номинальные токи 50 и 63 А серебросодержащие контактные накладки устанавливаются и на подвижном контакте.

Гашение дуги, возникающей при размыкании электрической цепи контактами, осуществляется в дугогасительной решетке 15, состоящей из параллельно расположенных стальных пластин.

На аварийные режимы реагируют расцепители – расцепитель токов короткого замыкания (электромагнитный) 3 и расцепитель токов перегрузки (тепловой) 8, который соединяется с подвижным контактом при помощи гибкого контактного соединения 7.

Расцепители воздействуют на механизм свободного расцепления 6, который обеспечивает высокую скорость размыкания цепи и исключает возможность механического удержания контактов в замкнутом состоянии при возникновении аварийного режима.

Биметаллические пластины и нагреватели тепловых расцепителей изготовлены из материалов, поставляемых фирмой KANTHAL (Швеция). Эти материалы гарантируют высокую стабильность защитных характеристик тепловых расцепителей.

Регулировка (в заводских условиях) защитных характеристик осуществляется при помощи винта 10.

При больших токах КЗ шток якоря электромагнитного расцепителя с наконечником 4 ударяет по подвижному контакту 11, обеспечивая размыкание контактов до окончания срабатывания механизма свободного расцепления, что способствует повышению отключающей способности выключателя.

Повышению отключающей способности способствует конструкция токопровода, в которой ток через биметалл, имеющий относительно низкую термостойкость, перестает течь, как только дуга из межконтактного промежутка перебросится на рога. Данное

решение особо эффективно при малых номинальных токах расцепителя.

Защелка 16 обеспечивает надежную фиксацию выключателя на DIN-рейке. Боковины корпуса и модули соединяются четырьмя заклепками, пропускаемыми через отверстия 17.

Защитные характеристики автоматических выключателей серии BM40 соответствуют рис. 2.53.

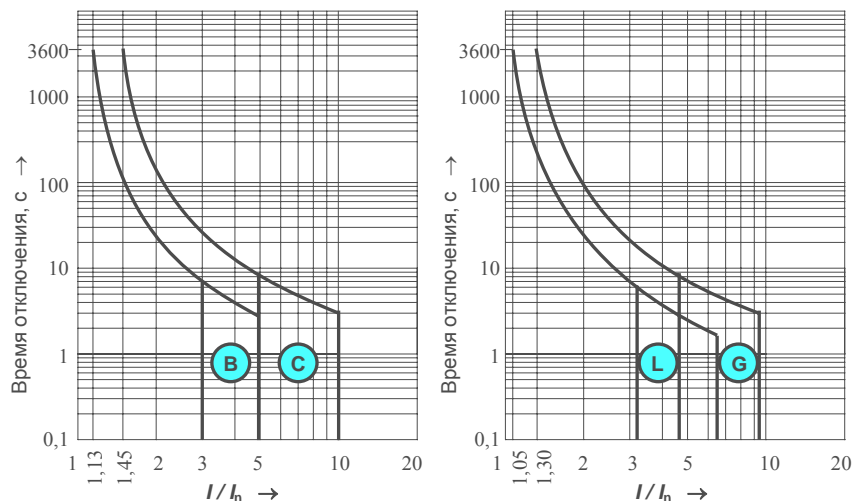


Рис. 2.53. Защитные характеристики автоматических выключателей серии BM40

Выключатели с защитной характеристикой B имеют следующую характеристику:

электромагнитный расцепитель срабатывает в диапазоне от $3 I_n$ до $5 I_n$;

тепловой расцепитель не срабатывает в течение 1 часа при токе $1,13 I_n$ и срабатывает в течение 1 часа при токе $1,45 I_n$.

Выключатели с защитной характеристикой C имеют следующую характеристику:

электромагнитный расцепитель срабатывает в диапазоне от $5 I_n$ до $10 I_n$;

тепловой расцепитель не срабатывает в течение 1 часа при токе $1,13 I_n$ и срабатывает в течение 1 часа при токе $1,45 I_n$.

Выключатели с защитной характеристикой L имеют следующую характеристику:

электромагнитный расцепитель срабатывает в диапазоне от $3,2 I_n$ до $4,8 I_n$;

тепловой расцепитель не срабатывает в течение 1 часа при токе $1,05 I_n$ и срабатывает в течение 1 часа при токе $1,3 I_n$.

Выключатели с защитной характеристикой G имеют следующую характеристику:

электромагнитный расцепитель срабатывает в диапазоне от $6,4 I_n$ до $9,6 I_n$;

тепловой расцепитель не срабатывает в течение 1 часа при токе $1,05 I_n$ и срабатывает в течение 1 часа при токе $1,3 I_n$.

Технические данные автоматических выключателей BM40

1. Диапазон рабочих напряжений переменного тока (U_n):

для однополюсных и двухполюсных выключателей – до 230 В;
для трехполюсных и четырехполюсных выключателей – до 400 В.

Допускается применять двухполюсные выключатели в цепи постоянного тока до 110 В. При этом, номинальная наибольшая отключающая способность снижается до 1500 А.

2. Токи срабатывания расцепителей токов короткого замыкания в цепи постоянного тока в 1,4 раза больше соответствующих значений при переменном токе.

3. Шкала номинальных токов (I_n) расцепителей выключателей – (2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63) А.

4. Номинальная предельная наибольшая отключающая способность (I_{cu}):

для выключателей с $I_n \leq 32$ А – 6000 А;

для выключателей с $I_n > 32$ А – 4000 А.

5. Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность – 75 % I_{cu} .

6. Износостойкость:

общая (механических циклов) – не менее 10 000;

коммутационная (электрических циклов) – не менее 4 000.

7. Сечение подключаемых проводников – 1,5...25 мм².

8. Срок службы выключателей – 10 лет.

9. Климатическое исполнение по ГОСТ 15150–69 – УХЛ3.

10. Диапазон рабочих температур – от –60 °С до +40 °С.

11. Выключатели допускают работу на высоте над уровнем моря

– до 2000 м.

12. Рабочее положение выключателей в пространстве – вертикальное знаком "I" (включено) – вверх.

13. Выключатели допускают повороты в плоскости установки – до 90° в любую сторону.

14. Остальные требования – по ГОСТ Р 50030.1–99.

Выключатели выпускаются в модульном исполнении. Один модуль имеет ширину 18 мм. Они монтируются на DIN-рейке 35 мм в распределительных шкафах (щитках) с шириной отверстия 45 мм.

Основное назначение выключателей ВМ40 – защита кабелей и проводов (электропроводки) в зданиях и сооружениях.

Выключатели с защитными характеристиками *G* могут применяться для защиты электродвигателей с небольшими (до пятикратных) пусковыми токами.

Выключатели для бытового и аналогичного применения с защитными характеристиками *B* и *C* соответствуют ГОСТ Р 50345–99 (МЭК 60898-95). Выключатели для общепромышленного применения с защитными характеристиками *G* и *L* соответствуют ГОСТ Р 50030.2-99 (МЭК 60947-2-98). Степень защиты – IP20.

Структура условного обозначения автоматического выключателя ВМ40 следующая:

ВМ40–Х₁Х₂Х₃Х₄ Х₅ – Х₆Х₇ – УХЛЗ Х₈.

Х₁ – число полюсов – 1, 2, 3, 4;

Х₂ – наличие расцепителей в полюсах: Х – во всех полюсах; N – при наличии полюса без расцепителей;

Х₃ – тип времятоковой характеристики: В или С – для исполнений 1, 2 или 5; L или G – для исполнения 3;

Х₄ Х₅ – номинальный ток расцепителя;

Х₆Х₇ – конструктивное исполнение: Н1, Н2, Н3 или Н5;

УХЛЗ – климатическое исполнение УХЛ и категория размещения 3;

Х₈ – обозначение технических условий:

ТУ3421-003-05758109-96 (исполнения Н1, Н2 или Н5);

ТУ3421-023-05758109-2003 (исполнение Н3).

Пример записи обозначения двухполюсного выключателя с характеристикой В, с защитой в одном полюсе, на номинальный ток 16 А:

«Выключатель ВМ40-2NB16-УХЛЗ ТУ3421-003-05758109-96».

Пример записи обозначения трехполюсного выключателя с характеристикой L, с защитой во всех полюсах, на номинальный ток 63 А:

«Выключатель ВМ40-3XL63-УХЛЗ ТУ3421-023-05758109-2003».

Модуль вспомогательных контактов автоматического выключателя ВМ40 служит для указания состояния главных контактов автоматического выключателя – «замкнуты» или «разомкнуты» и предназначен для коммутации вспомогательных цепей управления и сигнализации при изменении коммутационного состояния главных контактов автоматического выключателя.

Очертания профиля модуля вспомогательных контактов повторяют очертания профиля модульного автоматического выключателя ВМ40. Ширина модуля вспомогательных контактов – ≈ 9 мм.

Модуль вспомогательных контактов соответствует требованиям ГОСТ Р50030.5.1–99. Степень защиты – IP20.

Общий вид автоматических выключателей ВМ40 с модулем вспомогательных контактов изображен на рис. 2.54.



Рис. 2.54. Автоматические выключатели ВМ40 с модулем вспомогательных контактов

Модуль вспомогательных контактов смонтирован в корпусе из не поддерживающей горение пластмассы (стеклонаполненный полиамид – армамид). Управление модулем производится рукояткой, механически сочлененной с рукояткой автоматического выключателя.

Внутри корпуса (рис. 2.55) располагается контактная система, состоящая из двух переключающих контактов пластинчатого типа. Внешние цепи подключаются к зажимам 11, 12 и 14 (в верхней части модуля), а также 21, 22 и 24 (в нижней части модуля).

Механизм модуля устроен таким образом, что коммутационное состояние контактов модуля соответствует коммутационному состоянию контактов автоматического выключателя вне зависимости от положения рукоятки управления.

На подвижном (переключающем) контакте установлена двусторонняя накладка из специально подобранной серебросодержащей металлокерамической композиции. Неподвижные контакты изготовлены из меди и покрыты слоем серебра, что обеспечивает надежность контактирования.

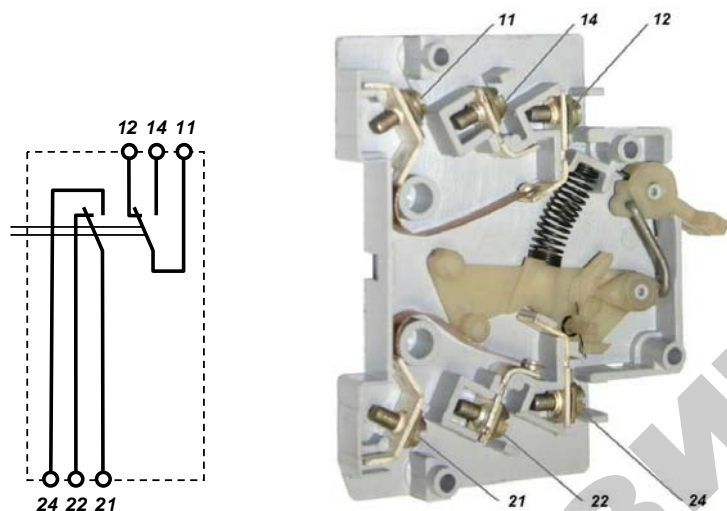


Рис. 2.55. Принципиальная электрическая схема и конструкция модуля вспомогательных контактов

Створки корпуса модуля соединяются с автоматическим выключателем при помощи четырех заклепок.

Модуль вспомогательных контактов поставляется в комплекте (в собранном виде) с выключателями ВМ40 для общепромышлен-

ного применения с защитными характеристиками G и L , соответствующими ГОСТ Р 50030.2-99 (МЭК 60947-2-98).

Принципиальные электрические схемы автоматических выключателей ВМ40 с модулем вспомогательных контактов изображены на рис.2.56.

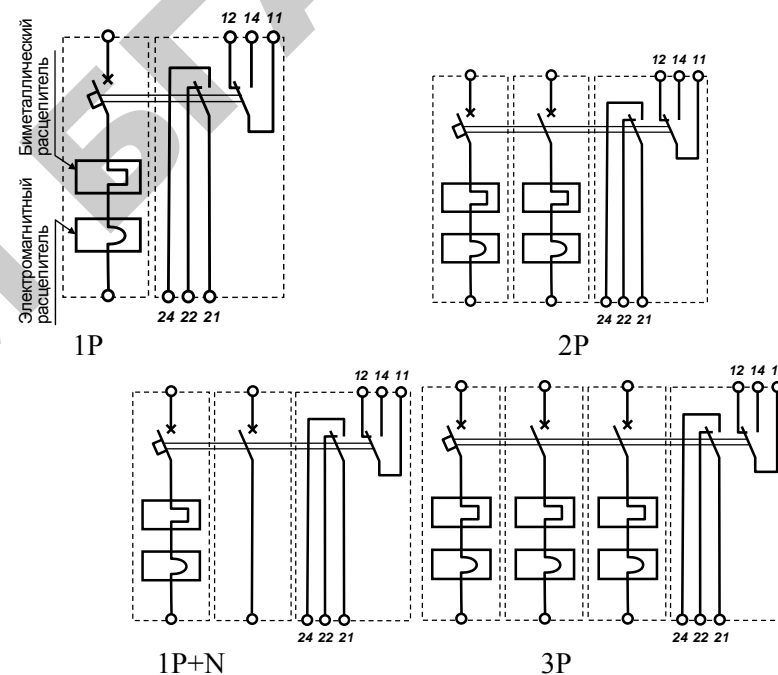


Рис. 2.56. Принципиальные электрические схемы автоматических выключателей ВМ40 с модулем вспомогательных контактов

Структура условного обозначения автоматического выключателя ВМ40 с модулем вспомогательных контактов следующая:

ВМ40 – X₁X₂X₃X₄ X₅ + X₆,X₇ – УХЛЗ Х₈.

X₁ – число полюсов – 1, 2 или 3;

X₂ – наличие расцепителей в полюсах: X – во всех полюсах; N – при наличии полюса без расцепителей;

X₃ – тип времятоковой характеристики: L или G;

X₄ X₅ – номинальный ток расцепителя;

X₆, X₇ – количество переключающих контактов (2П);
УХЛЗ – климатическое исполнение УХЛ и категория размещения 3;
X₈ – обозначение технических условий:
ТУ3421-023-05758109-2003.

Пример записи обозначения двухполюсного выключателя с характеристикой G с защитой в одном полюсе на номинальный ток 16 А с модулем вспомогательных контактов (два переключающих контакта):

«Выключатель ВМ40-2NG16+2П-УХЛЗ ТУ3421-023-05758109-2003».

Пример записи обозначения трехполюсного выключателя с характеристикой L с защитой во всех полюсах на номинальный ток 40 А с модулем вспомогательных контактов:

«Выключатель ВМ40-3XL40+2П-УХЛЗ ТУ3421-023-05758109-2003».

Автоматический выключатель ВА61-29 универсальный модульный, с числом полюсов от одного до четырех, предназначен для защиты двух-, трех-, четырехпроводных сетей переменного тока промышленной частоты и сетей постоянного тока [42].

Выключатель может быть использован в качестве фидерного выключателя в распределительных щитках, а также как защитный для промышленных и бытовых электроустановок.

Общий вид модульных автоматических выключателей серии ВА61-29 представлен на рис. 2.57.



Рис. 2.57. Общий вид модульных автоматических выключателей серии ВА61-29

Модульные автоматические выключатели серии ВА 61-29 рассчитаны для эксплуатации в сетях переменного тока напряжением 220/380 В, частотой 50 Гц, и постоянного тока напряжением 60/110 В.

Основные технические данные автоматических выключателей серии ВА 61-29 следующие.

1. Номинальное напряжение:
переменного тока – 220/380 В;
постоянного тока – 60 В (однополюсный автомат), 110 В (двухполюсный автомат).
2. Номинальный ток (главных контактов) – 63 А.
3. Номинальный ток расцепителей – (0,5; 0,8; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,2; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63) А.
4. Наибольшая предельная отключающая способность:
1,5 кА – в диапазоне токов от 0,5 до 8 А;
3,0 кА – в диапазоне токов 10–63 А.
5. Диапазон номинальных токов с характеристикой:
Z ($4 I_{н\text{расц}}$) – от 0,5 до 63 А;
L ($8 I_{н\text{расц}}$) – от 0,5 до 63 А;
K ($12 I_{н\text{расц}}$) – от 0,5 до 40 А.
6. Контрольная температура тепловых расцепителей – 40 °С.
7. Износостойкость коммутационная, циклов «Вкл. – Откл.» – 4000;
общая, циклов «Вкл. – Откл.» – 12000.
8. Климатические условия и категория размещения – УХЛЗ, Т 2.1.
9. Температура среды при эксплуатации – от +40 °С до –60 °С.
10. Потребляемая мощность одного полюса – не более 4 Вт.
11. Дополнительные сборочные единицы:
расцепитель независимый на напряжение 24, 110, 220 В постоянного тока; 24, 127, 220, 380 В переменного тока 50 Гц.
12. Оболочка со степенью защиты IP54 на ток до 40 А; IP30 на ток до 40 А.
13. Автоматические выключатели соответствуют стандарту ГОСТ Р50030.2.
14. Габариты 1 модуля (1 полюса) Ш-Г-В – 7,5×72×91 мм;
2 модуля (2P) – 35×72×91 мм;
3 модуля (3P) – 2,2×72×91 мм;
4 модуля (3P+N или 4P) – 70×72×91 мм.

15. Масса 1 модуля – 0,15 кг.

Пожарная безопасность выключателей, характеризуемая показателем вероятности возникновения пожара (по ГОСТ 12.1.004), составляет не более 10^{-6} в год.

Выключатели ВА61-29 имеют экспортное исполнение. Выключатели ВА61-29 промышленного назначения имеют исполнение для поставки на АЭС.

Контрольная температура автоматических выключателей ВА61 следующая: + 30 °С – для выключателей, выпускаемых по ГОСТ Р 50345 для бытового применения; + 40 °С – для выключателей, выпускаемых по ГОСТ Р 50030.2 для промышленного применения.

Зависимость рабочих токов максимальных расцепителей от температуры окружающего воздуха изображена на рис. 2.58.

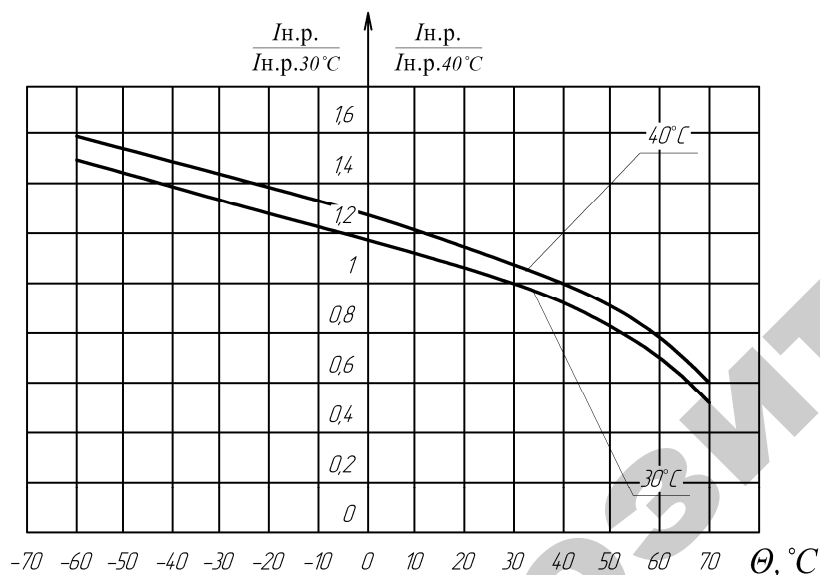


Рис. 2.58. Зависимость рабочих токов максимальных расцепителей, выраженная в кратностях к номинальному току, от температуры окружающего воздуха

Характеристика интеграла Джоуля $\int i^2 dt$ автоматического выключателя ВА61-29 изображена на рис. 2.59.

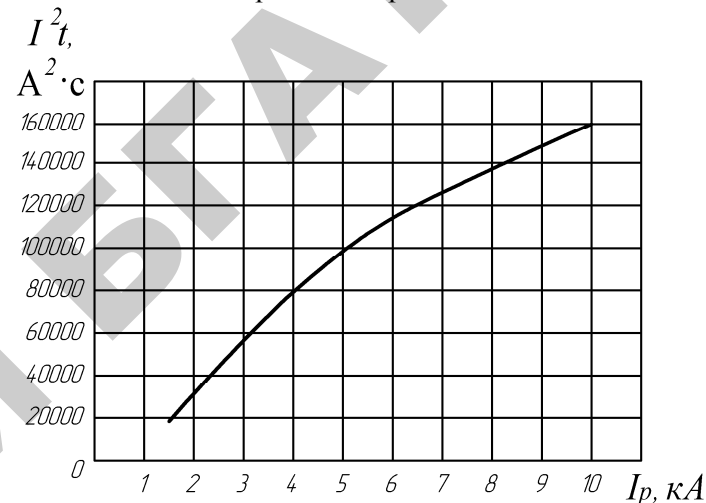


Рис. 2.59. Зависимость интеграла Джоуля от ожидаемого пикового тока короткого замыкания автоматического выключателя серии ВА61-29

Типы электромагнитных расцепителей автоматических выключателей серии ВА61-29 и область их применения следующие.

Тип В применяется для защиты электрических сетей административных и жилых зданий.

Тип С применяется для защиты электрических сетей административных и жилых зданий в качестве вводного выключателя и для потребителей с большими пусковыми токами.

Тип D – аналогично С, но с еще большими пусковыми импульсами тока, например, трансформаторы или электродвигатели.

Тип Z – для защиты измерительных цепей, цепей управления и других сетей с высоким сопротивлением.

Тип L – для защиты промышленных электрических сетей.

Тип К – для защиты промышленных электрических сетей, электродвигателей, ламп.

Времятоковые характеристики автоматических выключателей ВА61-29 изображены на рис. 2.60.

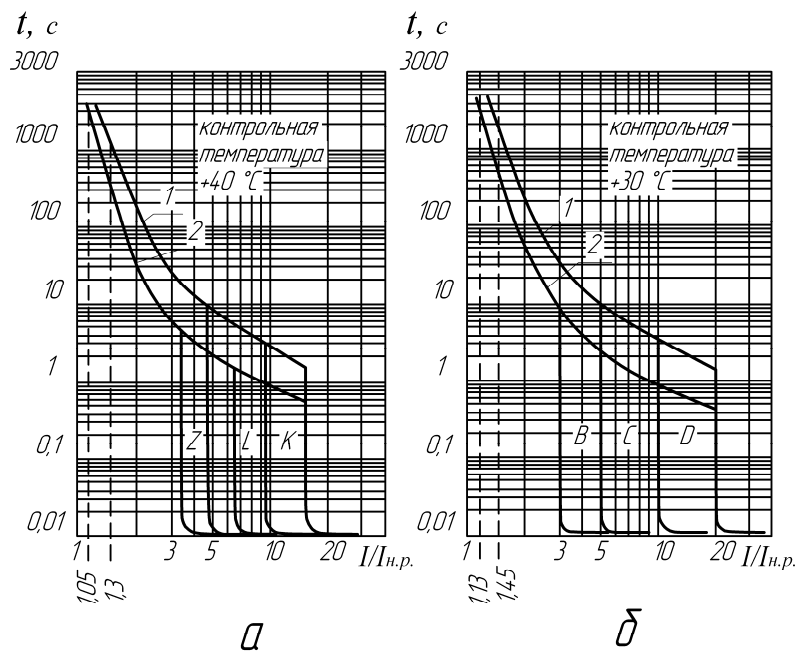


Рис. 2.60. Времятоковые характеристики автоматических выключателей ВА61-29, имеющих электромагнитные расцепители с характеристиками типа Z, L, K (а) и B, C, D (б)

Оболочка IP30 для выключателя ВА61-29 предусматривает подвод проводов снизу, сверху и со стороны поверхности крепления (для скрытой проводки). Все отверстия в состоянии поставки заглушены. Заглушки должны быть удалены при монтаже.

Оболочка IP54 для выключателя ВА61-29 отличается от исполнения IP30 наличием прозрачной крышки и пробок, герметизирующих отверстия для крепления корпуса оболочки к стене.

Клеммная колодка для монтажа проводников присоединение 5 проводников сечением 10 мм² и одного 16 мм². Используется для установки в оболочке IP30(54) выключателя ВА61-29.

Автоматические выключатели ВА61-29 используются также в цепях постоянного тока. При этом, однако, максимально допустимое напряжение постоянного тока изменяется в зависимости от

числа полюсов. На рис. 2.61 приведены рекомендуемые схемы использования ВА61-29 в различных сетях постоянного тока.

Величина тока срабатывания электромагнитного расцепителя в этом случае увеличивается на 10 %.

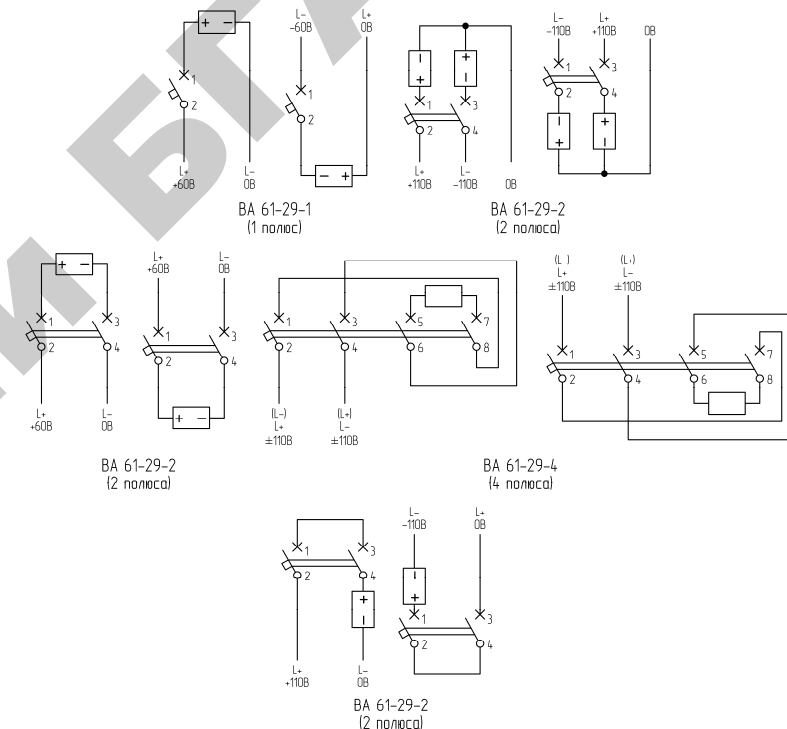


Рис. 2.61. Схемы включения автоматических выключателей ВА 61-29 в цепях постоянного тока

Принципиальные электрические схемы автоматического выключателя ВА61-29 изображены на рис. 2.62.

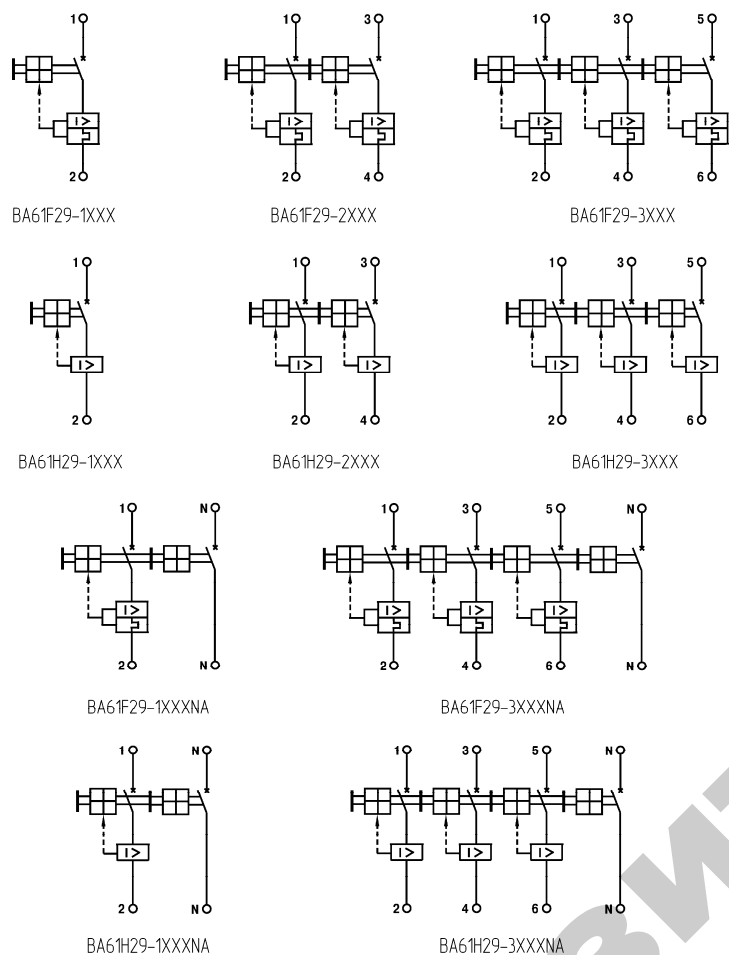


Рис. 2.62. Принципиальные электрические схемы автоматического выключателя ВА61-29

Структура условного обозначения автоматического выключателя ВА61 следующая:

$$BA61X_129 - X_2X_3X_4X_5X_6 + X_7X_8X_9X_{10}.$$

ВА 61 – условное обозначение серии автоматических выключателей;

X_1 – условное обозначение наличия расцепителей:

F – тепловой и электромагнитный расцепители для бытового и промышленного применения;

H – электромагнитный расцепитель для промышленного применения;

29 – условное обозначение номинального тока серии выключателей (63 А);

X_2 – количество полюсов с расцепителями: 1; 2; 3; 4;

X_3 – условное обозначение характеристики расцепителей:

бытового назначения – В; С; D;

промышленного назначения – Z; L; K;

X_4X_5 – номинальный ток выключателя промышленного назначения, А: 0,5; 0,8; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63;

номинальный ток выключателя бытового назначения, А: 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63;

X_6 – наличие нейтрального полюса: NA;

“+” – “-” знак, обозначающий наличие дополнительной сборочной единицы;

X_7 – условное обозначение независимого расцепителя: РН;

X_8 – условное обозначение рода тока независимого расцепителя:

~ – переменный ток;

- - постоянный ток;

X_9X_{10} – номинальное напряжение независимого расцепителя, В: 24; 110; 127; 220; 380.

Пример записи обозначения выключателей при их заказе и в документации другого изделия.

Выключатель однополюсный бытового назначения, номинальный ток 16 А, с тепловым и электромагнитным расцепителями, характеристика расцепления В, с обозначением паспорта:

«Выключатель ВА61F29-1В16, паспорт ИУКЖ.641.232.015ТУ».

Автоматические выключатели ВА47 предназначены для защиты распределительных и групповых цепей, имеющих различную нагрузку [8]:

электрические нагревательные приборы, установки электрического освещения (для них используются выключатели с характеристикой В);

электродвигатели с небольшими пусковыми токами (малой мощности компрессоры, небольшие вентиляторы)–для них используются выключатели с характеристикой С;

электродвигатели с большими пусковыми токами (подъемные механизмы, насосы, трансформаторы) – для них используются выключатели с характеристикой D.

Автоматические выключатели ВА47-29 рекомендуется применять во вводно-распределительных устройствах для жилых и общественных зданий.

Общий вид автоматического выключателя ВА47-29 и продольный разрез одного полюса выключателя изображен на рис.2.63, а технические данные – в табл. 2.28.

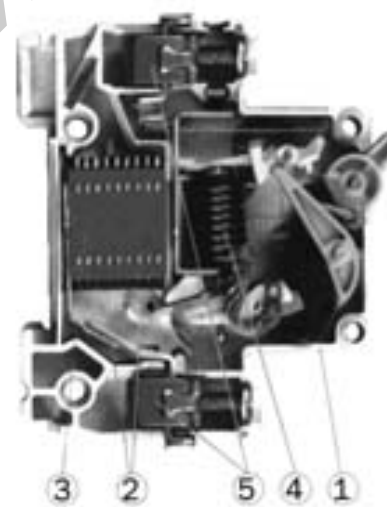
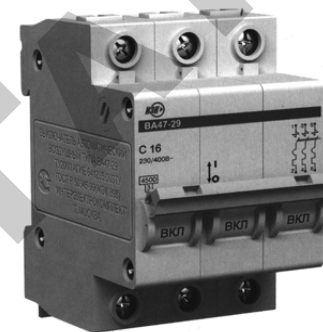
Нагрузочная способность автоматического выключателя ВА47-29 при изменении температуры окружающей среды и для параллельно размещенных автоматических выключателей изображена на рис.2.64.

Корпус автоматических выключателей ВА47-29 изготовлен из самозатухающего пластика, который при отсутствии источника огня не поддерживает горение.

Контакты (подвижные и неподвижные) автоматических выключателей ВА47-29 выполнены из серебросодержащего материала. Это увеличивает износоустойчивость контактов, увеличивает срок службы, снижает их переходное сопротивление и потери мощности в контактах.

Дугогасительная решетка автоматических выключателей ВА47-29 выполнена из никелированной стали, строго определенных размеров, что обеспечивает стабильное гашение дуги.

Насечки на контактных зажимах предотвращают перегрев и оплавление проводов за счет более плотного и большего по площади контакта. При этом снижается переходное сопротивление контакта и, как следствие, потери мощности в контактах. Кроме того, увеличивается механическая устойчивость соединения.



- 1 – Корпус
- 2 – Контакты
- 3 – Дугогасительная камера
- 4 – Обмотка
- 5 – Контактные зажимы

Рис. 2.63. Автоматический выключатель ВА47-29 и продольный разрез одного полюса выключателя

Таблица 2.28

Технические данные автоматических выключателей серии ВА47

Наименование параметра	Значение параметров для				
	ВА47-29			ВА47-100	
Номинальное напряжение переменного тока постоянного тока (на один полюс)	~230/400			~230/400	
Номинальный ток комбинированных расцепителей, А	1;2;3;4;5;6;8;10;16;20;25;32;40;50;63			16;25;32;40;50;63;80;100	
Номинальный ток главных контактов, А	63			100	
Наибольшая отключающая способность, кА	4,5			10 (при $\cos\varphi=0,45-0,5$) 20 (при $\cos\varphi=0,2-0,25$)	
Число полюсов	1, 2, 3, 4			1, 2, 3, 4	
Тип характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя; диапазон номинальных токов расцепителя, в долях к $I_{н\text{ расц}}$	В 3-5	С 5-10	Д 10-14	С 5-10	Д 10-14
Характеристика теплового расцепителя по ГОСТ Р50345-99 и температуре настройки 30 °С (расцепитель нерегулируемый)	При $1,13 I_{н\text{ расц}}$ $t_{\text{ср}} > 1$ ч, при $1,45 I_{н\text{ расц}}$ $t_{\text{ср}} < 1$ ч			При $1,13 I_{н\text{ расц}}$ $t_{\text{ср}} > 1$ ч для токов до 63 А и $t_{\text{ср}} \geq 2$ ч для токов > 63 А. При $1,45 I_{н\text{ расц}}$ $t_{\text{ср}} < 1$ ч для токов до 63 А и $t_{\text{ср}} < 2$ ч для токов > 63 А	
Износостойкость (циклов "Вкл-Откл"): механическая электрическая	20000 6000			20000 6000	
Максимальное сечение провода, присоединенное к зажимам автоматического выключателя, мм ²	25			35	
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+50			-40...+50	
Степень защиты по ГОСТ14254-96	IP20			IP20	

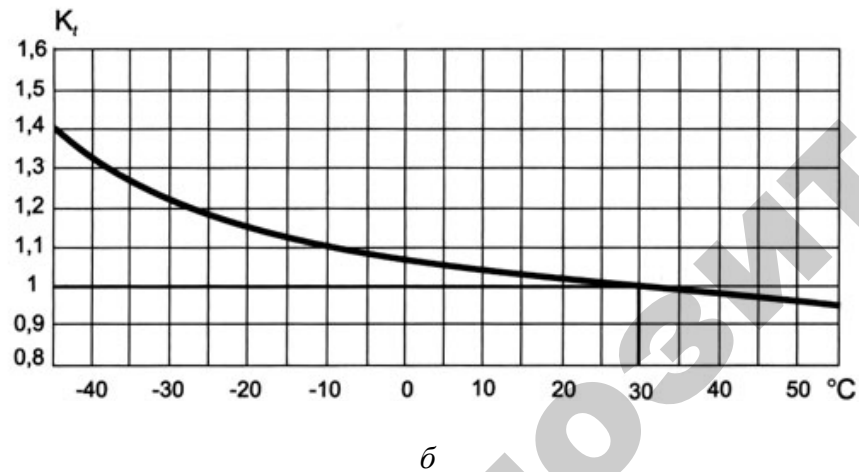
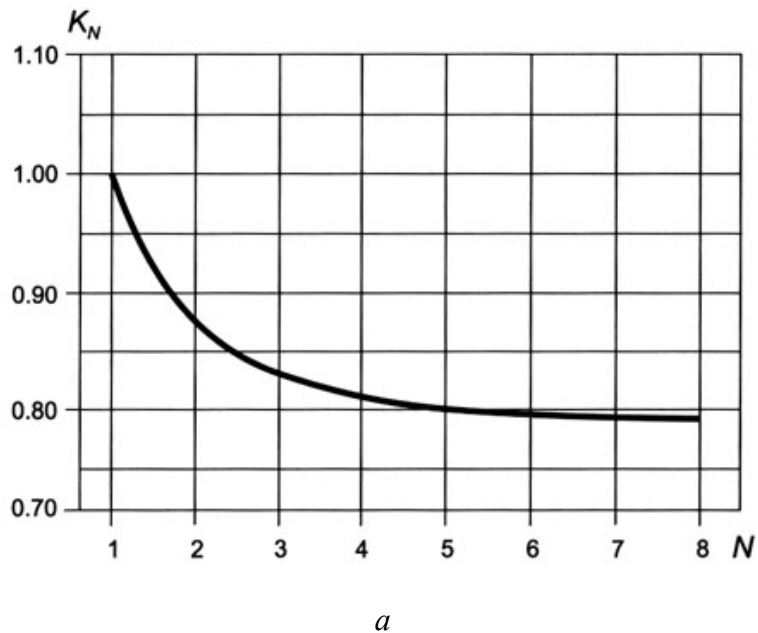


Рис. 2.64. Коэффициент нагрузочной способности, учитывающий число параллельно размещенных автоматических выключателей ВА47-29 (а) и коэффициент нагрузочной способности, учитывающий температуру окружающей среды для ВА47-29 (б)

Времятоковые характеристики автоматического выключателя изображены на рис. 2.65. Пунктирная линия на этом рисунке показывает верхнюю границу времятоковой характеристики для автоматических выключателей с номинальным током расцепителя 32 А и ниже.

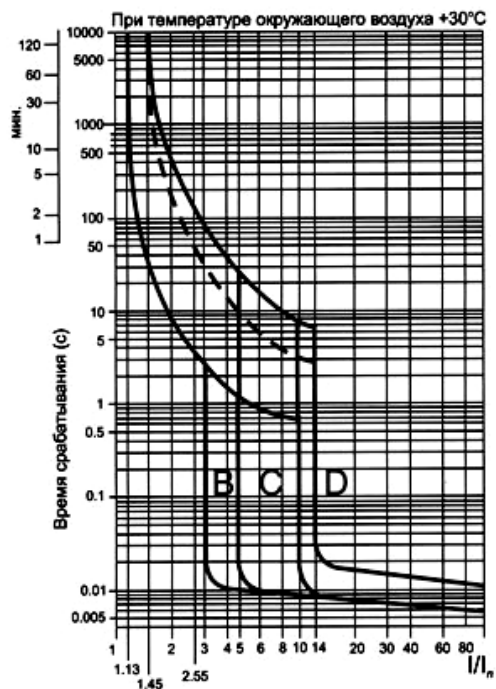
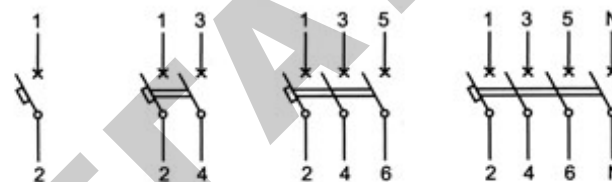


Рис. 2.65. Времятоковые характеристики автоматического выключателя ВА47-29

Из рис. 2.65 следует, что автоматические выключатели ВА47-29 начинают реагировать на перегрузку при кратности тока перегрузки 1,13 с горячего состояния. С холодного состояния они реагируют на перегрузку при кратности тока 1,45 и более. Для защиты электродвигателя от перегрузки они не рекомендуются.

Электрические схемы и габаритные размеры автоматических выключателей ВА 47-2 изображены на рис. 2.66.

Электрические схемы



Габаритные размеры

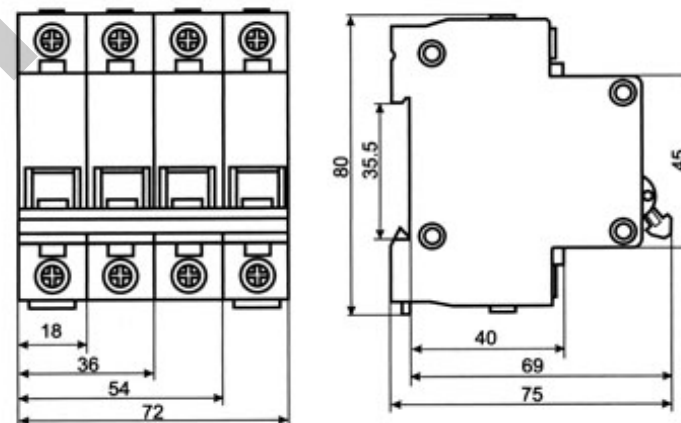


Рис. 2.66. Электрические схемы и габаритные размеры автоматических выключателей ВА 47-2

Структура условного обозначения автоматических выключателей серии ВА47 следующая:

$$BA47 - X_1 X_2 - X_3 X_4 X_5 X_6 - X_7 X_8 - X_9 X_{10} .$$

ВА47 – условное обозначение серии автоматического выключателя;

X_1X_2 – условное число, обозначающее номинальный ток автоматического выключателя: если 29, то номинальный ток 63 А;

X_3 – количество полюсов – 1, 2, 3 или 4;

X_4 – условное обозначение типа (характеристики) электромагнитного расцепителя: В; С; D;

X_5X_6 – номинальный ток расцепителя, см. табл. 2.28;

X_7X_8 – климатическое исполнение и категория размещения:

УХЛ3;

X_9X_{10} – обозначение технических условий:

ТУ 2000 АГИЕ.641235.003.

Например, четырехполюсный автоматический выключатель серии ВА47-29 с характеристикой расцепителя типа D, на ток 10 А, исполнения УХЛ3:

«ВА-47-29-4D10-УХЛ3- ТУ 2000 АГИЕ.641235.003».

Автоматические выключатели ВА47-29М предназначены для защиты от сверхтока распределительных и групповых цепей, имеющих различную нагрузку. Общий вид автоматического выключателя ВА47-29М изображен на рис. 2.67.



Рис. 2.67. Автоматический выключатель ВА 47-29М

Технические характеристики автоматического выключателя ВА47-29М изложены в табл.2.29.

Таблица 2.29

Технические характеристики автоматического выключателя ВА47-29М

Технические характеристики	Значения
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 50345-99, ТУ 2000 АГИЕ.641.235.003
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230/400
Номинальный ток I_n , А	6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
Номинальная отключающая способность, А	4 500
Напряжение постоянного тока, В/полюс	48
Характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя	С
Число полюсов	1, 2, 3
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP 20
Электрическая износостойкость, циклов В-О, не менее	6 000
Механическая износостойкость, циклов В-О, не менее	20 000
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм ²	25
Наличие драгоценных металлов (серебро), г/полюс	0,5
Масса одного полюса, кг	0,11
Диапазон рабочих температур, °С	От -40 до +50

Времятоковые характеристики отключения автоматического выключателя ВА47-29М представлены на рис. 2.68. Пунктирная линия на этом рисунке показывает верхнюю границу времятоковой характеристики для автоматических выключателей с номинальным током расцепителя 32 А и ниже.

Автоматические выключатели ВА47-29М имеют индикатор положения контактов, который позволяет получить точную информацию о положении контактов (замкнуто/разомкнуто). Защелка на DIN-рейку с фиксацией облегчает монтаж автоматического выключателя ВА47-29М.

Автоматические выключатели ВА47-29М рекомендуется применять во вводно-распределительных устройствах жилых и общественных зданий.

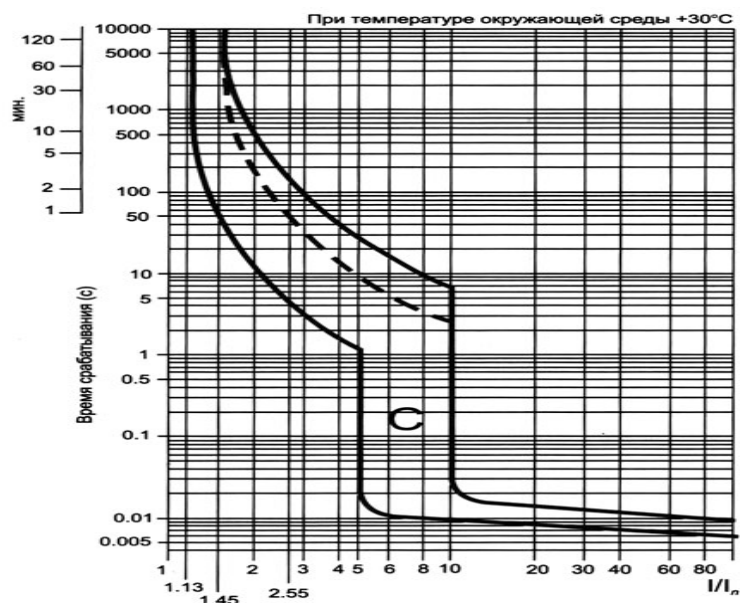


Рис. 2.68. Времятоковые характеристики отключения автоматического выключателя ВА47-29М

Корпус автоматического выключателя ВА47-29М выполнен из самозатухающего пластика, при отсутствии источника огня не поддерживающего горение.

Контакты, подвижные и неподвижные, автоматического выключателя ВА47-29М выполнены из серебросодержащего материала. Это увеличивает износостойкость контактов, увеличивает срок службы, снижает переходное сопротивление и снижает потери мощности в контактах.

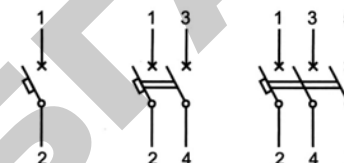
Дугогасительная решетка автоматического выключателя ВА47-29М выполнена из никелированной стали, строго определенных размеров, что обеспечивает стабильное гашение дуги.

Насечки на контактных зажимах предотвращают перегрев и оплавление проводов за счет более плотного и большего по площади контакта. При этом снижается переходное сопротивление контакта

и, как следствие, потери мощности и нагрев контактов.

Электрические схемы и габаритные размеры автоматических выключателей ВА47-29М изображены на рис. 2.69.

Электрические схемы



Габаритные размеры

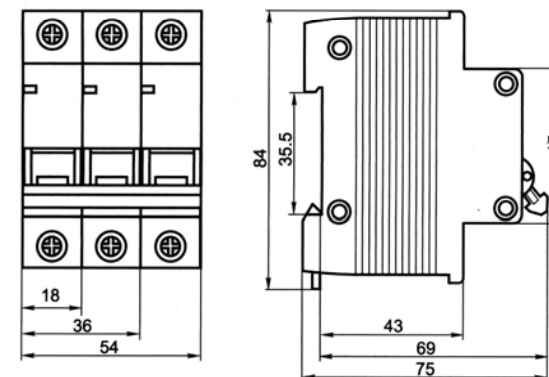


Рис. 2.69. Электрические схемы и габаритные размеры автоматических выключателей ВА47-29М

Структура условного обозначения автоматических выключателей серии ВА47М аналогична структуре условного обозначения автоматических выключателей серии ВА47.

Автоматические выключатели ВА 47-29 и ВА47-29М модульные. Они имеют дополнительные модульные устройства, которые пристраиваются к их корпусу. Эти дополнительные устройства следующие: контакты состояния КС47 и КС47В; расцепитель минимального напряжения РМ47; независимый расцепитель РН47. Описание этих устройств изложено в [43].

2.10. Контрольные вопросы и задачи

1. Причины возникновения КЗ в трехфазных сетях?
2. Какая разница между удаленными и близкими КЗ?
3. Какие особенности имеет расчет тока КЗ во внутренних сетях зданий и сооружений?
4. Запишите формулу для расчета начального действующего значения периодической составляющей трехфазного тока КЗ.
5. Запишите формулу для расчета начального действующего значения периодической составляющей однофазного тока КЗ.
6. Расшифруйте обозначение видов характеристик: gG; aG; R.
7. Запишите условие выбора плавкой вставки для электроприемника, не имеющего пускового тока.
8. То же, для электроприемника, имеющего пусковой ток.
9. Запишите условие проверки выбранного предохранителя на отключающую способность.
10. То же, на чувствительность к однофазному току КЗ.
11. Запишите условие селективности плавких предохранителей.
12. Объясните условия селективности плавкого предохранителя и контактора.
13. Что такое «защитный показатель прибора»?
14. Запишите условие выбора быстродействующего предохранителя для защиты полупроводникового прибора.
15. Нарисуйте кривую изменения сопротивления самовосстанавливающегося предохранителя от температуры.
16. Какой ток называется током минимального срабатывания самовосстанавливающегося предохранителя?
17. Объясните назначение термopредохранителей.
18. Объясните принцип действия термopредохранителей.
19. Объясните принцип действия электронного предохранителя.
20. Запишите условия выбора номинального тока модульного автоматического выключателя.
21. Запишите условия проверки выбранного автоматического выключателя по условию надежного отключения наибольшего тока КЗ.
22. То же, по чувствительности к однофазному току КЗ.
23. Запишите условие селективности автоматических выключателей.

24. Какой ток называется сверхтоком?

25. Какой ток называется током КЗ?

26. Выберите плавкий предохранитель серии ППНИ для защиты от токов КЗ цепей электродвигателя, имеющего номинальный ток 5,7 А и пусковой ток 40 А. Время пуска электродвигателя составляет 2 с. Расчетный ток трехфазного КЗ – 3 кА.

27. Выберите плавкий предохранитель серии ППНИ для защиты от токов КЗ цепей трех одинаковых электродвигателей. Номинальный ток каждого электродвигателя составляет 6,7 А и пусковой ток 41 А. Время пуска электродвигателя – до 1 с. Расчетный ток трехфазного КЗ – 6 кА.

28. Выберите автоматический выключатель для защиты от токов КЗ цепей электродвигателя, имеющего номинальный ток 12,7 А и пусковой ток 76,2 А. Расчетный ток трехфазного КЗ – 5 кА.

29. Выберите автоматический выключатель для защиты от токов КЗ цепей электронагревателя, имеющего номинальный ток 6,7 А. Расчетный ток трехфазного КЗ – 4 кА.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения : Межгосударственный стандарт / Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Введен 1.01.1999.– Москва : Госстандарт России, 1999. – 52 с.
2. Зоричев, А. А. Защита электроустановок от импульсных грозовых и коммутационных перенапряжений [Электронный ресурс]: / «Сооgle»: Формат файла: PDF/Adobe Acrobat. – В виде HTML. Режим доступа: www.imc.org.ua/downloads/letra06.pdf. Дата доступа 15.08.2009.
3. Чунихин, А. А. Электрические аппараты : учебник для вузов / А. А. Чунихин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоиздат, 1988. – 720 с.
4. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО 153-34.21 122–2003 [Электронный ресурс]: / «Сооgle»: Формат файла : Microsoft Word. – В виде HTML. Режим доступа: ww.elec.ru/library/rd/so_153-34_21_122_2003.doc. Дата доступа 15.08.2009.
5. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87 : нормативный документ / – Москва : Союзтехэнерго, 1989. – 39 с.
6. ГОСТ Р 51992–2002. Устройства для защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах : Государственный стандарт Российской Федерации. – Введен 01.01.2004. – Москва : ИПК «Издательство стандартов», 2004. – 48 с.
7. Системы молниезащиты и защиты от импульсных перенапряжений : справочные материалы по проектированию : полный технический каталог / ОВО «BATTERMANN», 2006. – 225 с.
8. Аппараты защиты электрических цепей : технический каталог: Интерэлектрокомплект, 2005. – 48 с.
9. Энергетическая электроника : справочное пособие / перевод с нем. ; под ред. В. А. Лабунцова. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 464 с.
10. Глух, Е. М. Защита полупроводниковых преобразователей / Е. М. Глух, В. Е. Зеленев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 153 с.
11. Каталог продукции ЗАО «Протон-электротекс» на 2003–2004 гг.– Орел. – 31 с.
12. Применение твердотельных оптоэлектронных реле средней мощности / С. Архипов // Радио. – № 1. – 2003. – С. 42–45.
13. EPCOS. Компоненты для силовой электроники : каталог продукции. – Минск, 2002. – 112 с.
14. Пассивные электронные компоненты ПО «Монолит» : каталог. – Витебск, 2002. – 72 с.
15. Недорогой счетчик электроэнергии на микросхеме АД7755 / Энтони Коллинз; пер. А. Власенко // Электроника. – 2003. – № 11–12. – С. 24–25.
16. Устранение недопустимых воздействий на электронную аппаратуру из сетей электропитания / В. Колесов, В. Мухтарулин // СТА, 2001. – № 2. – С. 80–89.
17. Защита РЭА от высоковольтных импульсов в сети / В. Колосов, А. Маратов // Радио. – 1998. – № 7. – С. 52–53.
18. Полупроводниковые ограничители напряжения : справочный листок / Т. Лосева, В. Минаев, Б. Попов // Радио. – 2002. – № 8. – С. 52–53.
19. Защитные микросборки ЗА-0 и ЗА-1 : справочный листок / Р. Толкачева // Радио. – 1999. – № 8. – С. 60.
20. Weidmuller : система защиты от импульсных перенапряжений : справочный листок / Н. Митрофанова // Компоненты и технологии. – 2004. – № 1. – С. 51–57.
21. Защита приборов и средств автоматизации от высоковольтных импульсов напряжения / В. Жданкин // СТА. – 2002. – № 4. – С. 66–71.
22. Карякин, Н. И. Краткий справочник по физике : справочник / Н. И. Карякин, К. Н. Быстров, П. С. Киреев. – Москва : Высшая школа, 1963. – 559 с.
23. Электронные компоненты. Симметрон : каталог. – Санкт-Петербург, 2003. – 256 с.
24. Разрядники / А. Балышков // Электронные компоненты. – Украина. – 2005. – № 7–8. – С. 52–55.

25. Пьеса о защите с оптимистическим финалом / К. Курышев // Компоненты и технологии. – 2005. – № 4. – С. 114–117.
26. Правила устройств электроустановок. – 7-е изд. – Москва : издательство НИЦ ЭНАС, 2002. – 170 с.
27. ГОСТ 30331.1–95. Электроустановки зданий. Основные положения : Межгосударственный стандарт / Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Введен 1.06.1999. – Минск : БелГИСС, 1999. – 10 с.
28. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. РД 153-34.0.-20.527-98 : руководящие указания / исполнители : Б. Н. Неклепаев [и др.]. – Москва : МЭИ (ТУ). – 131 с.
29. Ульянов, С. А. Электромагнитные переходные процессы : монография / С. А. Ульянов. – Москва : Энергия, 1970. – 519 с.
30. ГОСТ 28249–93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ : Межгосударственный стандарт / Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Введен 01.01.95. – Минск : Издательство стандартов, 1994. – 63 с.
31. Беляев, А. В. Выбор аппаратуры и кабелей в сетях 0,4 кВ : биб.-ка электромонтера / А. В. Беляев. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1988. – 176 с.
32. Гурин, В. В. Автоматическая защита электрооборудования. В 2-х ч. Ч. 1. Защита электрических цепей : учебное пособие / В. В. Гурин. – Минск : БГАТУ, 2010. – 360 с.
33. Правила устройств электроустановок. – 6-е изд. – Москва : Госэнергонадзор, 2000. – 606 с.
34. ГОСТ 30331.5–95. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтоков : Межгосударственный стандарт / Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Введен 1.06.1999. – Минск : БелГИСС, 1999. – 5 с.
35. Хмельницкий, Р. С. Быстродействующие плавкие предохранители : обзорная информация. Серия 7 «Аппараты низкого напряжения», вып. 1 / Р. С. Хмельницкий, Н. А. Шеховцов. – Москва : Информэлектро, 1983. – 44 с.
36. Номенклатурный каталог Корневского завода низковольтной аппаратуры : технический каталог. – Корневский ЗНА, 2001. – 40 с.
37. Номенклатурный каталог Курского ОАО «Электроаппарат» : технический каталог. – Курский ОАО «Электроаппарат», 2007. – 124 с.
38. Современные предохранители и термостаты для радиоаппаратуры и бытовой техники : А. Кашкаров // Радиолобитель. – 2006. – № 8. – С. 32–35.
39. Самовосстанавливающиеся предохранители MULTIFUSE фирмы BOURNS // Радио. – 2000. – № 11. – С. 49–51.
40. Автомат защиты сетевой аппаратуры от «скачков» напряжения / И. Нечаев // Радио. – № 3. – 2006. – С. 37.
41. Электронные предохранители с применением герконов / О. Сидорович // Радио. – 2005. – № 12. – С. 50–51.
42. Номенклатурный каталог 1-2004. Автоматические выключатели : технический каталог. – ОАО «Дивногорский завод низковольтной аппаратуры», 2004. – 100 с.
43. Гурин, В. В. Защита электрических цепей : учебное пособие / В. В. Гурин, Е. В. Бабаева, С. А. Дробышев. – Минск : БГАТУ, 2008. – 242 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ВВЕДЕНИЕ.....	3	3
---------------	---	---

Глава 1

ЗАЩИТА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

1.1. Общие сведения о перенапряжениях.....	4
1.2. Защита от прямых ударов молнии.....	7
1.3. Зонная концепция защиты от импульсных перенапряжений.....	15
1.4. Защита электрооборудования зданий и сооружений от импульсных перенапряжений.....	23
1.5. Защита от импульсных перенапряжений полупроводниковых преобразователей и коммутаторов.....	40
1.6. Выбор варисторов.....	47
1.7. Защита электронной аппаратуры от импульсных перенапряжений.....	57
1.8. Защита средств автоматизации, линий связи и телекоммуникаций от импульсных перенапряжений.....	66
1.9. Защита от заноса высокого потенциала в здание.....	78
1.10. Комплексная защита от импульсных перенапряжений офисного оборудования здания.....	81
1.11. Контрольные вопросы и задачи.....	84

Глава 2

ЗАЩИТА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ОТ СВЕРХТОКОВ

2.1. Общие сведения о сверхтоках.....	89
2.2. Токи короткого замыкания и основы их расчета.....	90
2.3. Общие вопросы выбора и защиты электрических проводников от сверхтоков.....	97
2.4. Выбор плавких предохранителей.....	108
2.5. Выбор быстродействующих плавких предохранителей для защиты полупроводниковых приборов.....	121
2.6. Технические данные плавких предохранителей.....	126
2.7. Приборные предохранители.....	136
2.8. Выбор автоматических выключателей.....	159
2.9. Технические данные автоматических выключателей на номинальный ток до 63 А.....	172
2.10. Контрольные вопросы и задачи.....	228
ЛИТЕРАТУРА.....	229

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Гурин Владимир Владимирович

**ЗАЩИТА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ
И ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ОТ ИМПУЛЬСНЫХ
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И СВЕРХТОКОВ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск В. А. Дайнеко

Редактор Н. А. Антипович

Компьютерная верстка А. И. Стебуля

Подписано в печать 15.12.2010 г. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 13,72. Уч.-изд. л. 10,72. Тираж 100 экз. Заказ 1187.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный
технический университет».

ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.

ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.

Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.