

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА



А.И. Гардин

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

■ ■ ■

Часть 2.

Аппараты защиты от сверхтоков

НИЖНИЙ НОВГОРОД  
2017



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

А.И. Гардин

# **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ**



## **КОМПЛЕКС УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

### **Часть 2.**

### **Аппараты защиты от сверхтоков**

Нижний Новгород  
НГТУ 2017

УДК 621.31.031

**Гардин А. И. Электрические аппараты. Часть 2. Аппараты защиты от сверхтоков:** комплекс учебно-методических материалов / А.И. Гардин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2017. – 87с.

Данное пособие служит продолжением первой части комплекса учебно-методических материалов «Электрические аппараты», содержит вторую часть опорного конспекта лекций по теме «Электрические аппараты низкого напряжения в схемах электроснабжения», где рассмотрены вопросы применения электрических аппаратов защиты от сверхтоков в электроустановках промышленных предприятий; жилых, общественных, административных и бытовых зданий: принцип действия, конструкция, технические характеристики и выбор электрических аппаратов для защиты электроприемников и электрических сетей низкого напряжения (до 1000 В) от ненормальных режимов работы, а также защиты человека. Приведены индивидуальные задания. Рабочая учебная программа, задания и варианты контрольных работ, методические указания по их выполнению, вопросы для проверки знаний приведены в первой части комплекса.

Комплекс учебно-методических материалов предназначен для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» и 140205 «Электроэнергетические системы и сети» заочной и дистанционной форм обучения.

Рецензент доктор технических наук, профессор Г.Я. Вагин  
Редактор Э.Б. Абросимова  
Компьютерная верстка Зубцова О.А.

Подписано в печать 11.10.2010. Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,3 .Уч. – изд. л. 5,0. Тираж 300 экз. Заказ

---

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.  
Типография НГТУ. 603950, г. Нижний Новгород, ул. К.Минина, 24.

© Нижегородский государственный  
технический университет им. Р.Е.  
Алексеева, 2010  
© Гардин А. И., 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ.....	7
<b>1. Предохранители.....</b>	<b>7</b>
1.1. Общие положения.....	7
1.2. Конструкция и принцип действия предохранителей с гашением дуги в закрытом объёме.....	9
1.3. Конструкция и принцип действия предохранителей с мелкозернистым наполнителем.....	15
1.4. Выбор предохранителей.....	18
1.5. Особенности защиты предохранителями.....	19
<b>2. Автоматические воздушные выключатели.....</b>	<b>24</b>
2.1. Общие положения.....	24
2.2. Конструкция автоматических выключателей.....	243
2.3. Токоограничивающие автоматические выключатели.....	33
2.4. Основные характеристики автоматических выключателей.....	35
2.5. Выключатели автоматические серии ВА.....	37
2.6. Выбор автоматических выключателей.....	45
2.7. Особенности выполнения защиты автоматическими выключателями..	48
<b>3. Дифференциальные выключатели и дифференциальные     автоматические выключатели.....</b>	<b>54</b>
3.1. Общие сведения.....	54
3.2. Защитные характеристики.....	55
3.3. Классификация.....	60
3.4. Структура условного обозначения.....	59
3.5. Нормируемые технические параметры.....	64
3.6. Технические требования.....	66
3.7. Маркировка и специальные обозначения.....	67
3.8. Принципиальные электрические схемы подключения электроприемников.....	67
<b>4. Контроль знаний.....</b>	<b>70</b>
4.1. Задание на контрольную работу.....	70
4.2. Методические указания к выполнению контрольной работы.....	68
ГЛОССАРИЙ.....	70
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	79
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	81

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Ранее была издана первая часть комплекса учебно-методических материалов по дисциплине «Электрические аппараты» [19]. В нее вошли пояснительная записка, рабочая учебная программа дисциплины и первая часть опорного конспекта лекций. Изложены материалы по следующим темам программы: общие сведения об электрических аппаратах, правила выполнения и анализа электрических схем, режимы работы электроприемников и электрической сети, основы теории электрических аппаратов. По основным темам приведены задания и варианты контрольных работ, методические указания по их выполнению, вопросы для проверки знаний. Приведено описание восьми лабораторных работ, в глоссарии дано описание более 50 основных терминов и понятий по дисциплине. В библиографический список включена основная учебная литература. Приложение содержит описания и технические характеристики основных электрических аппаратов, которые необходимы для выполнения контрольной работы.

Настоящая вторая часть опорного конспекта лекций раскрывает основные разделы темы «Электрические аппараты низкого напряжения в схемах электроснабжения», в части изучения аппаратов защиты от сверхтоков. Рассмотрены вопросы применения электрических аппаратов защиты от сверхтоков в электроустановках промышленных предприятий; жилых, общественных, административных и бытовых зданий: принцип действия, конструкция, технические характеристики и выбор электрических аппаратов для защиты электроприемников и электрических сетей напряжением до 1000 В от ненормальных режимов работы, а также защиты человека. Приведены контрольные задания.

Электрические аппараты защиты от сверхтоков относятся к классу электрических аппаратов, которые предназначены для защиты электроприемников и электрических сетей от ненормальных режимов работы при производстве (выработке), преобразовании, передаче, распределении и потреблении электрической энергии.

Сверхток – электрический ток, превышающий установленное (номинальное) значение, необходимое для нормальной работы электрооборудования и жизнедеятельности человека (ток перегрузки, ток короткого замыкания, ток утечки).

В настоящей части рассматриваются сверхтоки, возникающие вследствие изменений в электрической схеме электроустановки и режимов работы электроприемников, однако специфический класс устройств защиты от ненормальных режимов работы таких электроприемников как электродвигатели, в том числе и от сверхтоков, будет рассмотрен в последующих частях комплекса.

# ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1. Предохранители

### 1.1. Общие положения

*Плавкий предохранитель* – аппарат, который вследствие расплавления одного или нескольких специально спроектированных и рассчитанных элементов размыкает цепь, в которую он включен, отключая ток, превышающий заданное значение в течение достаточно продолжительного времени. В состав плавкого предохранителя входят все части, образующие аппарат в комплекте. Продолжительность отключения зависит от величины тока и составляет от нескольких часов до сотых долей секунды.

Основные элементы плавкого предохранителя:

1) плавкая вставка, включаемая в защищаемую цепь последовательно (состоит из плавкого элемента, токоподводов к нему и удерживающих конструкций внутри дугогасящего устройства и собственно дугогасящего устройства, которое гасит дугу после разрушения плавкого элемента);

2) держатель плавкой вставки (необходим, в том числе, и для быстрой замены плавкой вставки после разрушения ее плавкого элемента вследствие перегрузки или короткого замыкания в электрической сети).

Предохранители в схемах электроснабжения применяются, как правило, в комплекте с рубильником или выключателем нагрузки, т.е. таким аппаратом, который может обеспечить разъединение («видимый разрыв») электрической цепи (см. рис.1.1). Предохранители предназначены для защиты от чрезмерных тепловых и электродинамических воздействий сверхтока на элементы электрической сети (провода, кабели, коммутационные аппараты, измерительное и защитное оборудование), и к ним предъявляются следующие требования.

1. Времятоковая (защитная) характеристика предохранителя должна проходить ниже, но возможно ближе к времятоковой характеристике защищаемого объекта.

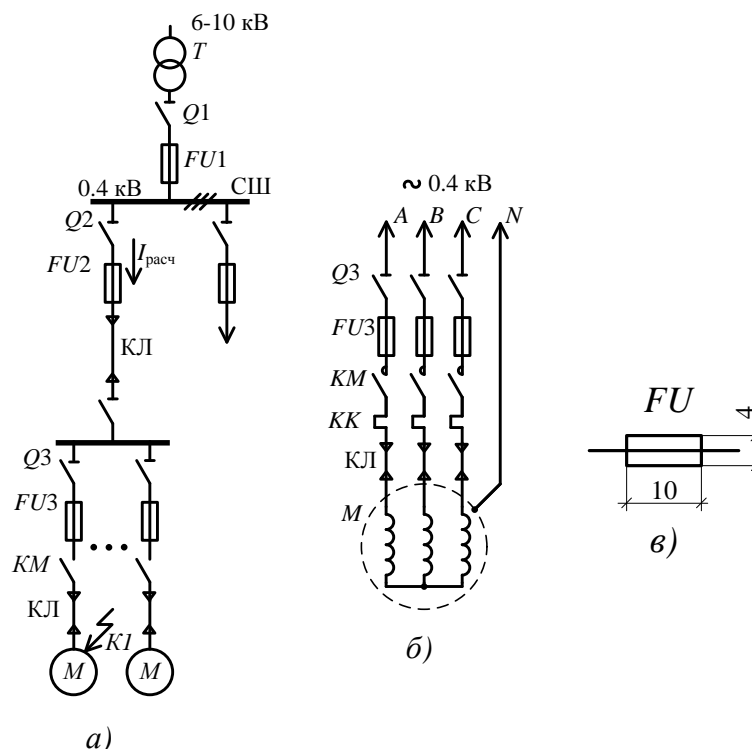
2. Время срабатывания при коротком замыкании (КЗ) должно быть минимально возможным, особенно при защите полупроводниковых приборов и для обеспечения требований по электробезопасности. Предохранители должны работать с токоограничением.

3. При КЗ в защищаемой цепи предохранители должны обеспечивать селективность защиты.

4. Характеристики предохранителей должны быть стабильными, а технологический разброс их параметров не должен нарушать надежность защиты.

5. В связи с возросшей мощностью электроустановок предохранители должны иметь высокую отключающую способность.

6. Конструкция предохранителя должна обеспечивать возможность быстрой и удобной замены плавкой вставки при ее перегорании.



**Рис.1.1. Предохранители в схеме электроснабжения:**

а) принципиальная однолинейная схема; б) принципиальная многолинейная схема;  
в) условное графическое обозначение.

$Q$  – рубильник,  $FU$  – предохранитель,  $KM$  – контактор,  $KK$  – тепловое реле, СШ – сборные шины, КЛ – кабельная линия,  $M$  – электродвигатель

### **Классификация предохранителей [9]**

1) по виду плавких вставок в зависимости от диапазона токов отключения:

- с отключающей способностью в полном диапазоне токов отключения тип  $g$ ;
- с отключающей способностью в части диапазона токов отключения тип  $a$ ;

2) по виду плавких вставок в зависимости от быстродействия:

- небыстродействующие (типы  $a$  и  $g$ );
- быстродействующие (типы  $aR$  и  $gR$ );

3) по наличию и конструкции основания:

- с калиброванным основанием;
- с некалиброванным основанием;
- без основания;

4) по способу монтажа:

- на собственном основании;
- на основаниях комплектных устройств;
- на проводниках комплектных устройств;

5) по способу присоединения внешних проводников к выводам предохранителя:

- с задним присоединением;

- с передним присоединением;
- с передним и задним (универсальным) присоединением;
- б) по конструкции плавкой вставки:
  - с разборной плавкой вставкой (со сменными плавкими элементами);
  - с неразборной плавкой вставкой (с несменными плавкими элементами);
- 7) по наличию указателя срабатывания и бойка:
  - с указателем срабатывания и бойком;
  - с указателем срабатывания;
  - с бойком;
  - без указателя срабатывания и бойка;
- 8) по наличию свободных контактов:
  - со свободными контактами;
  - без свободных контактов;
- 9) по количеству полюсов:
  - однополюсные;
  - двухполюсные;
  - трехполюсные.

## ***1.2. Конструкция и принцип действия предохранителей с гашением дуги в закрытом объёме***

Рассмотрим конструкцию и принцип действия предохранителей с гашением дуги в закрытом объёме на примере разборного предохранителя типа ПР (предохранитель разборный).

При протекании тока перегрузки или тока короткого замыкания плавкая вставка нагревается (согласно закону Джоуля-Ленца), при этом расплавляются\* и сгорают участки плавкого элемента с меньшим сечением. В этих местах возникают электрические дуги. Под действием высокой температуры горящих дуг стенки герметичного фибрового патрона выделяют газ, в результате чего давление в патроне за доли полупериода ( $T/2 = 0,01$ с для частоты переменного тока 50 Гц) увеличивается до 4-8 МПа. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) дуги поднимается вверх (см. [23, раздел 4.4]), что способствует быстрому гашению дуги.

Предохранитель работает бесшумно, без выбросов пламени и газов, поэтому предохранители могут монтироваться в непосредственной близости друг от друга. Дуга гасится за доли секунд.

В нормальном режиме нагрев плавкой вставки имеет характер установившегося процесса, при котором вся выделяемая в плавкой вставке энергия отдаётся в окружающую среду. При этом все детали предохранителя нагреваются до температуры, которая не должна превышать допустимых значений.

---

\* Часто в технических текстах указывается, что «плавкая вставка расплавляется». Следует понимать, что при этом говорится о разрушении плавкого элемента.



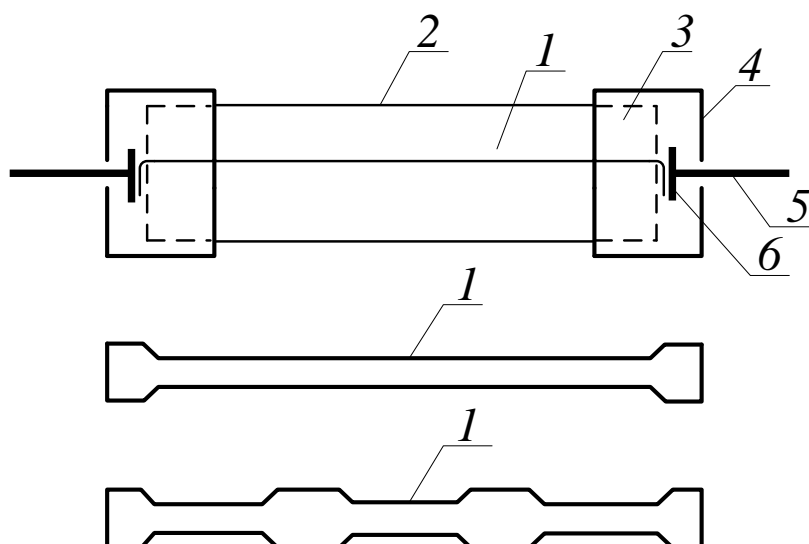
## Технические характеристики предохранителей\*\*

1. *Номинальный ток плавкой вставки*  $I_B$  ( $I_n$ ) – ток, на который рассчитана плавкая вставка для длительной работы. Длительное протекание этого тока не вызывает разрушения плавкого элемента.

2. *Номинальный ток предохранителя*  $I_n$  – ток наибольшей плавкой вставки, предназначенной для данной конструкции (типоразмера) предохранителя. Длительное протекание этого тока не вызывает нагрева элементов предохранителя до сверхдопустимых температур.

3. *Предельный ток отключения* (предельная коммутационная способность ПКС) – наибольший ток, который предохранитель может отключить без каких-либо повреждений, препятствующих его дальнейшей работе после смены плавкой вставки.

4. *Номинальное напряжение предохранителя*  $U_n$  – наибольшее возможное напряжение электрической сети, на которое может использоваться данный предохранитель.



**Рис.1.2. Конструкция плавкой вставки предохранителя типа ПР-2:**

1 – плавкий элемент выполнен из легкоплавкого металла (как правило, цинк). Пары цинка имеют высокий потенциал ионизации. Удельное электрическое сопротивление:

$\rho = 0,06 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Температура плавления:  $\theta_{\text{пл}} = 419^\circ\text{C}$ ;

2 – трубчатый фибровый патрон (фиброэлектротехнический материал, который при нагревании выделяет газ); 3 – латунная или алюминиевая обойма с резьбой;

4 – латунный или алюминиевый колпачок; 5 – контактный нож; 6 – диск, жёстко закреплённый с контактным ножом

---

\*\* Здесь приведены упрощенные формулировки технических характеристик. Более строгие определения по текстам документов Международной электротехнической комиссии (МЭК) и стандартов России см. в Приложении и Глоссарии. (МЭК, англ. *IEC - International Electrotechnical Commission* — международная некоммерческая организация по стандартизации в области электрических, электронных и смежных технологий).

Технические характеристики предохранителей ПР-2

Наименование характеристики		Значение характеристики при номинальном токе $I_N$ , А			
		15	60	100	200
$I_B$ , А		6,10,15	15,20,25,35,45,60	60,80,100	100,125,160,200
ПКС, кА	220 В	0.8	1.8	11	11
	380 В	8	4.5	11	11
	500 В	7	3.5	10	10

5. *Времятоковая характеристика* (защитная характеристика) – это зависимость времени перегорания плавкой вставки от тока.

Характеристика является обратнозависимой от тока, приводится в техническом паспорте для каждого номинального тока предохранителя или плавкой вставки.

Обратнозависимый от тока характер изменения времени срабатывания (см. рис.1.3.) следует из закона Джоуля-Ленца.

$$W_{\text{ПЛАВ}} = I^2 R_B t_{\text{ПЛ}}, \quad (1.1)$$

где  $W_{\text{ПЛАВ}}$  – энергия необходимая для расплавления плавкого элемента, Дж;

$I$  – ток протекающий по плавкому элементу, А;

$R_B$  – сопротивление плавкого элемента, Ом;

$t_{\text{ПЛ}}$  – время плавления, с.

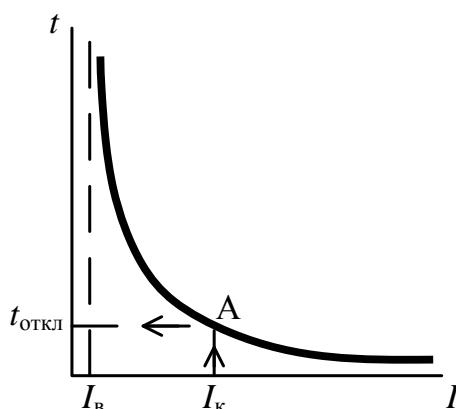


Рис.1.3. Общий вид защитной характеристики предохранителя

Для времени менее одной секунды, когда можно не учитывать потери в окружающую среду, время плавления можно рассчитать:

$$t_{\text{ПЛ}} = \frac{W_{\text{ПЛАВ}}}{I^2 R_B} = \frac{c G_B (\vartheta_{\text{ПЛА}} - \vartheta_H)}{I^2 R_B}, \quad (1.2)$$

где  $c$  – удельная теплоёмкость материала плавкого элемента, Дж/кг·град;

$G_B$  – масса плавкого элемента, кг;

$\vartheta_H$ ,  $\vartheta_{\text{ПЛ}}$  – соответственно, начальная температура и температура плавления плавкого элемента, град;

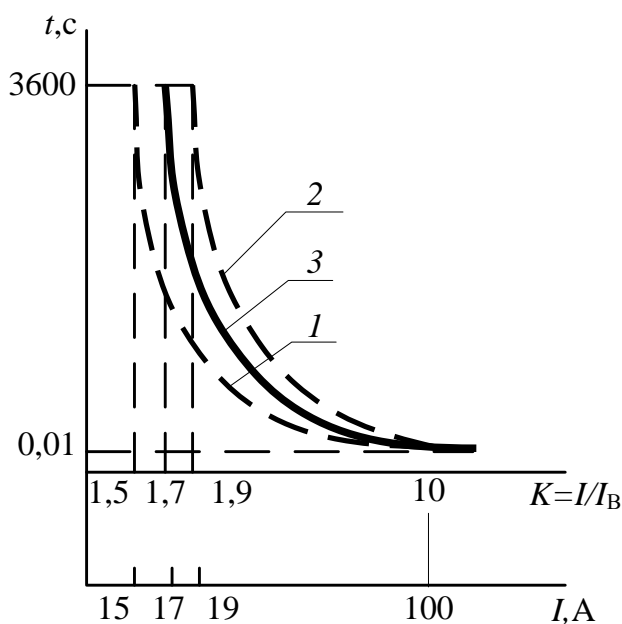
Если по электрической сети, защищаемой плавкой вставкой протекает сверхток (ток короткого замыкания  $I_K$  или ток перегрузки), то точка А на характеристике показывает, за какое время при данном токе плавкая вставка расплавится («перегорит») и предохранитель отключит защищаемую цепь от источника.

В техническом паспорте на предохранитель часто приводится обобщенная защитная характеристика для нескольких плавких вставок с различными величинами номинальных токов плавкой вставки –  $I_B$ . Поэтому ось абсцисс градуируется в кратностях тока –  $K$ , где  $K = I / I_B$ . При построении характеристики для конкретной плавкой вставки величины тока на оси абсцисс переводят в именованные единицы, используя следующую формулу (см. рис.1.4):

$$I = K I_B . \quad (1.3)$$

Построенная характеристика не является функционально однозначной. Различают *максимальный ток неплавания* как наибольший ток, при котором плавкая вставка не перегорает в течение одного часа. Обычно он составляет  $(1,25 \div 1,5)I_B$  (1,25 для  $I_B = 1000A$ , 1,5 для  $I_B = 10A$ ):

$$\frac{I_{\text{МАХ НЕПЛАВ}}}{I_B} = 1,25 \div 1,5 . \quad (1.4)$$



**Рис.1.4. Пример построения защитной характеристики предохранителя с номинальным током плавкой вставки  $I_B=10A$**

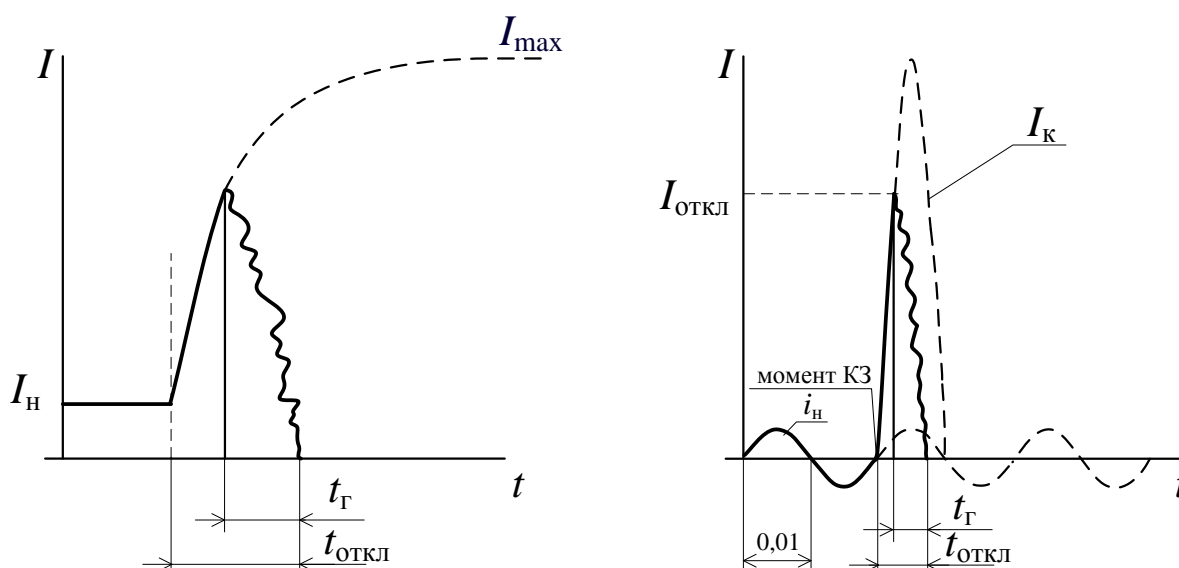
Построение по данной опорной точке дает зависимость 1.

*Минимальный ток* плавления, т.е. наименьший ток, при котором плавкая вставка должна расплавиться за время 1 час. Обычно он составляет  $(1,6 \div 1,9)I_B$  (1,6 для  $I_B = 1000A$ , 1,9 для  $I_B = 10A$ ):

$$\frac{I_{\text{MIN ПЛАВ}}}{I_B} = 1,6 \div 1,9. \quad (1.5)$$

Построение по данной опорной точке дает зависимость 2. С достаточной точностью можно принять пограничный ток (ток, при котором фактически происходит перегорание), равным среднеарифметическому значению указанных токов. Получаем графическую зависимость 3, которая обычно приводится в технических характеристиках предохранителя.

6. *Эффект токоограничения предохранителя* – явление перегорания плавкой вставки раньше, чем ток короткого замыкания в электрической сети достигнет своего установившегося значения.

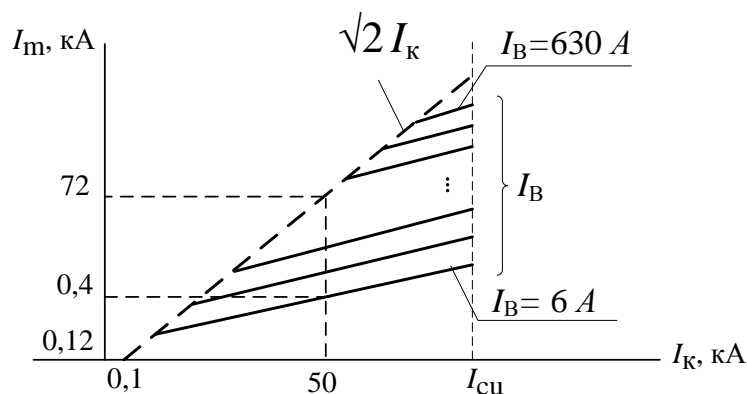


**Рис.1.5. Отключение постоянного и переменного тока предохранителем с токоограничением**

Если предохранитель отключает короткое замыкание за время меньшее чем 0,01с, то он обладает эффектом токоограничения.

Время полного отключения предохранителем защищаемой цепи ( $t_{\text{ОТКЛ}}$ ) состоит из двух составляющих: а) *преддуговое время* – время между появлением тока, достаточного для расплавления плавкого элемента (ов), и моментом возникновения дуги; б) *время гашения дуги* ( $t_{\text{Г}}$ ) – время между моментами возникновения и окончательного погасания дуги.

Характеристика пропускаемого тока показывает, до какой величины происходит ограничение мгновенного тока в цепи в зависимости от ожидаемого расчетного действующего значения тока короткого замыкания (см. рис. 1.6).



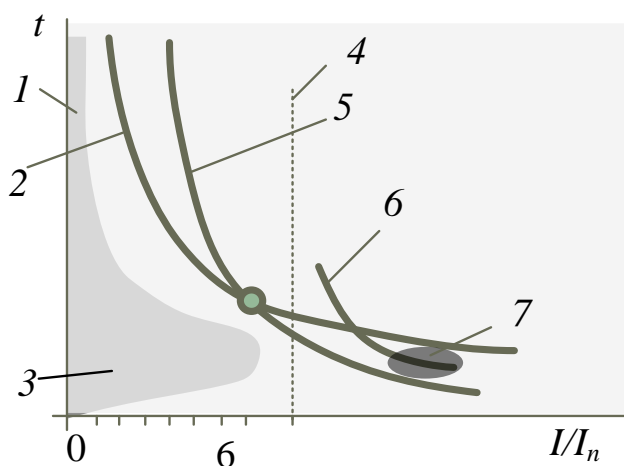
**Рис.1.6. Пример кривой токоограничения аппарата защиты от токов короткого замыкания на основе характеристики пропускаемого тока:**

$I_m$  – неограниченный пиковый ток (максимальное амплитудное значение для сети переменного тока), кА;  $I_{cu}$  – отключающая способность аппарата, кА;  $I_k$  – действующее значение ожидаемого тока короткого замыкания, кА

Плавкие вставки обладают высокой защитной способностью не только для проводников электрической сети, но и для контактов контакторов и реле перегрузки (*КМ* и *КК* на рис 1.1.), так как мощность тока КЗ существенно ограничивается. По положению о координации\* типа 2 все оборудование должно находиться в рабочем состоянии после КЗ. Защита с помощью предохранителей гарантирует выполнение этого требования.

\* *Примечание:*

В соответствии с требованиями стандарта МЭК 60947-4-1 элементы пускателей электродвигателей подлежат защите в соответствии с определенной категорией координации (рис. 1.7).



**Рис.1.7. Защитная функция предохранителя с координацией второго типа:**

1 – номинальный ток электродвигателя; 2 – защитная характеристика теплового реле от перегрузки электродвигателя; 3 – пусковой ток электродвигателя; 4 – отключающая способность контактора; 5 – защитная характеристика предохранителя; 6 – участок повреждения теплового реле; 7 – участок спайки контактов в контакторе

*Координация первого типа:* в условиях возникновения короткого замыкания контактор или пускатель не представляет угрозы обслуживающему персоналу или установкам, но их дальнейшая работа не гарантируется (возможно, будет необходимо устранить неполадки или заменить поврежденные детали).

*Координация второго типа:* гарантирует полную работоспособность пускателя после устранения короткого замыкания.

Предохранители типа ПР-2 обладают эффектом токоограничения. Так, в цепи с током КЗ 50кА плавкая вставка на номинальный ток 6А отключит цепь при токе 0,4 кА. Однако чем больше номинальный ток плавкой вставки, тем меньше проявляется эффект токоограничения. При  $I_B = 630\text{А}$  токоограничение отсутствует, так как полное время отключения составляет весь полупериод переменного тока частоты 50 Гц (0,01с) и даже более.

7.  $I^2t$  (интеграл Джоуля) – интеграл квадрата тока за определенный период времени.

$$I^2t = \int_{t_0}^{t_1} i^2 dt ,$$

где  $I^2, i^2$  – соответственно, квадрат действующего и мгновенного значения тока.

Величина интеграла представляет энергию в Джоулях, выделяемую в резисторе 1 Ом в цепи, защищаемой плавким предохранителем за указанный период времени, выраженную в амперах в квадрате в секунду ( $\text{А}^2 \cdot \text{с}$ ).

**Интеграл Джоуля, пропускаемый отключающим аппаратом за время КЗ, должен быть меньше допустимого интеграла Джоуля защищаемого оборудования. (Пример:  $I^2t$ -предохранителя меньше  $I^2t$ -тиристора).**

Различают также *преддуговой интеграл Джоуля* – значение интеграла за время от начала плавления до момента возникновения дуги, *интеграл Джоуля отключения* – значение интеграла за время гашения дуги, возникшей после расплавления плавкого элемента. Это обстоятельства следует учитывать при рассмотрении вопросов селективности (координации защит двух последовательно включенных ЭА). При полном времени отключения менее 0,1с значения *интеграла Джоуля* не разделяют по составляющим.

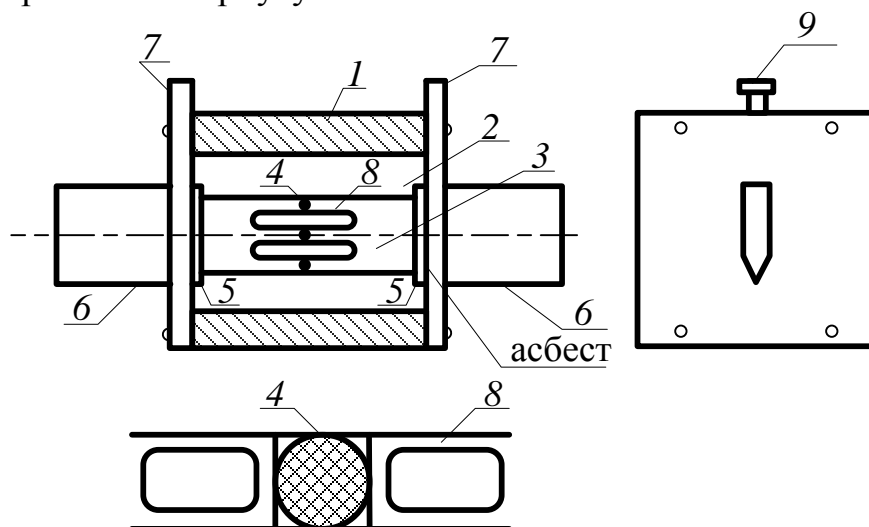
### ***1.3. Конструкция и принцип действия предохранителей с мелкозернистым наполнителем***

Предохранители с мелкозернистым наполнителем более совершенны, чем разборные предохранители, рассмотренные выше технические характеристики применимы к предохранителям этого типа.

Рассмотрим конструкцию и принцип действия предохранителей с мелкозернистым наполнителем на примере предохранителя ПН-2 (рис.1.8).

Корпус 1 квадратного сечения изготавливают из прочного фарфора или стеатита. Внутри корпуса плавкие вставки расположены плавкие элементы 3 и

наполнитель – кварцевый песок 2. Плавкие элементы привариваются к дискам 5, которые крепятся к пластинам 7, связанными с ножевыми контактами 6. Пластины 7 крепятся к корпусу винтами.



**Рис.1.8. Конструкция предохранителя с наполнителем типа ПН-2**

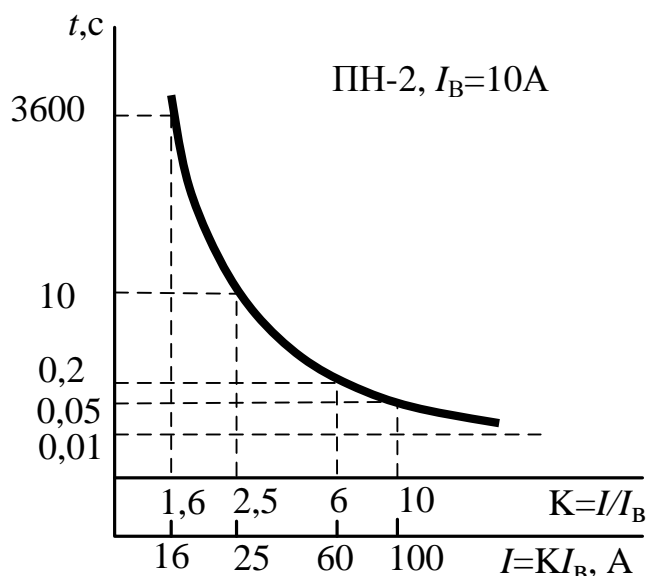
Плавкие элементы 3 выполняются из медной ленты толщиной  $0,1 \div 0,2$  мм (температура плавления меди  $1083^{\circ}\text{C}$ ). Для получения эффекта токоограничения элементы ленты имеют участки с уменьшенным сечением (сужения) 8. Применение тонкой ленты, обеспечение эффективного теплоотвода от суженных участков позволяют выбрать небольшое минимальное сечение плавкого элемента для данного номинального тока, что обеспечивает высокую токоограничивающую способность. Соединение нескольких суженных участков последовательно способствует замедлению роста тока после плавления вставки, так как возрастает напряжение на образовавшихся последовательно включенных дугах внутри дугогасящего устройства предохранителя. Для снижения температуры плавления на сужения плавкой вставки наносят оловянные шарики 4 (температура плавления олова  $232^{\circ}\text{C}$ ). При этом используется такое явление как «металлургический эффект» – это способность легкоплавких металлов в расплавленном состоянии расплавлять некоторые тугоплавкие металлы (медь, серебро). В результате этого мы получаем плавкую вставку небольших габаритов ( $\rho_{\text{Cu}} = 0,0159 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ), но перегорающую при более низких температурах.

#### *Принцип действия*

При токах перегрузки или короткого замыкания части плавкого элемента сгорают в местах сужения, образуются дуги, которые горят в канале, образованном песчинками. Песчинки имеют хорошо развитую охлаждающую поверхность и образуют щель. Градиент напряжения на дуге поднимается до  $20 \div 60 \text{ кВ/м}$ , и дуга гасится за несколько миллисекунд. После срабатывания плавкую вставку вместе с дисками 5 заменяют. Патрон опять засыпается песком, для герметизации патрона под пластинами 7 кладётся асбестовая прокладка.

Защитная характеристика предохранителя типа ПН-2 имеет вид обратной зависимости времени срабатывания от тока (см. рис. 1.9).

Если номинальный ток предохранителя  $I_n$  НПН-2 составляет 63А, то плавкие вставки, которые могут быть использованы в этом габарите, можно выбрать с номинальным током 6; 10; 16; 20; 25; 37,5; 40; 63 А и для каждой из них построить подобную характеристику.



**Рис.1.9. Пример построения защитной характеристики предохранителя типа ПН-2 с номинальным током плавкой вставки  $I_B=10А$**

Ниже приводятся краткие характеристики основных типов предохранителей с мелкозернистым наполнителем.

- ПН-2 – предохранитель с наполнителем, выпускается на номинальный ток до 630 А,  $U_n = 500В$  (заменяется более современными ППН, ППНИ, ПП17, ПП32);
- НПН-2 – неразборный предохранитель с наполнителем, выпускается на номинальный ток до 63 А,  $U_n = 380 В$ , ПКС = 10 кА;
- ППН – предохранитель плавкий с наполнителем и индикацией срабатывания на ток от 16 до 1250А,  $U_n = 500-660В$ , ПКС = 120-50кА.
- ПП32 – предохранитель плавкий, выпускается на номинальный ток 20÷400А, номинальное напряжение при переменном токе –  $U_n = 380 В$ , а при постоянном –  $U_n = 220 В$ , ПКС = 100 кА;
- ПП17 – предохранитель плавкий, выпускается на номинальный ток 500÷1000 А, номинальное напряжение при переменном токе –  $U_n = 380 В$ , а при постоянном –  $U_n = 220 В$ .

Особые требования по быстродействию возникают при защите полупроводниковых приборов. Применяются предохранители типа ПНБ (предохранитель с наполнителем быстродействующий). У ПНБ плавкая вставка выполнена из серебра и не подвержена тепловому старению ( $\rho_{Ag} = 0,0147$  мкОм·м,  $\vartheta_{пл} = 961^\circС$ , наполнитель - кварцевый песок высокой степени очистки или карборунд ( $Al_2O_3$ )).



#### **1.4. Выбор предохранителей**

##### *Выбор предохранителей по условиям эксплуатации и пуска электродвигателей*

1. Температура предохранителя по условиям эксплуатации не должна превосходить предельно допустимого для него значения в нормальном режиме. Если ток плавкой вставки будет составлять не менее номинального значения тока электроустановки  $I_{н(эу)}$ , то защитная характеристика предохранителя будет более стабильной и соответствовать паспортным данным:

$$I_B \geq I_{н(эу)}.$$

Лучшая защита сетей, не подверженных перегрузке (например, сети освещения), будет выполняться при равенстве токов:

$$I_B = I_{н(эу)}.$$

2. Номинальный ток плавкой вставки должен быть таким, чтобы предохранитель не отключал электроустановку при перегрузках, которые являются эксплуатационными.

В период пуска не должно происходить «старение» плавкой вставки. «Старение» – это уменьшение площади сечения плавкой вставки вследствие окисления ее поверхности. Поэтому плавкую вставку предохранителя стараются выбрать наименьшего сечения для обеспечения лучшей чувствительности защиты, но в то же время таким образом, чтобы не происходило «ложных» срабатываний.

Номинальный ток плавкой вставки  $I_B$  и ток  $I_{10}$  для предохранителя типа  $gG$ , при котором происходит расплавление вставки через 10 с, связаны соотношением:

$$I_B = \frac{I_{10}}{2,5}. \quad (1.6)$$

При защите короткозамкнутых АД следует учитывать, что пусковой ток двигателя в 5-7 раз больше номинального значения, а время пуска может достигать десяти секунд. Поэтому номинальный ток плавкой вставки должен быть не менее следующих величин:

$$I_{B1} \geq \frac{k_{п} I_{нд}}{\alpha}, \quad I_{B2} \geq 0,4(I_{расч} + I_{п1}). \quad (1.7)$$

где  $I_{B1}$ ,  $I_{B2}$  – соответственно номинальный ток плавкой вставки для защиты одиночного электродвигателя и для защиты групповой сети с электродвигателем;

$k_{п}$  – кратность пускового тока электродвигателя по отношению к номинальному;

$I_{нд}$  – номинальный ток электродвигателя;

$\alpha$  – коэффициент, зависящий от условий пуска электродвигателя,  $\alpha = 2,5$  для двигателей с нормальными условиями пуска (редкие пуски с временем разгона 5-10 с),  $\alpha = 1,6 - 2,0$  для двигателей с тяжелыми условиями пуска (частые пуски и большая длительность разгона, более 10 с);

$I_{\text{расч}}$  – расчётный ток сети;

$I_{\text{п1}}$  – пусковой ток наиболее мощного двигателя.

3. Предельный ток отключения предохранителя должен быть выше максимального расчетного тока КЗ. В трехфазных сетях переменного тока в качестве расчетного тока берется ток трехфазного короткого замыкания в месте включения предохранителя в сети.

*Замечания:*

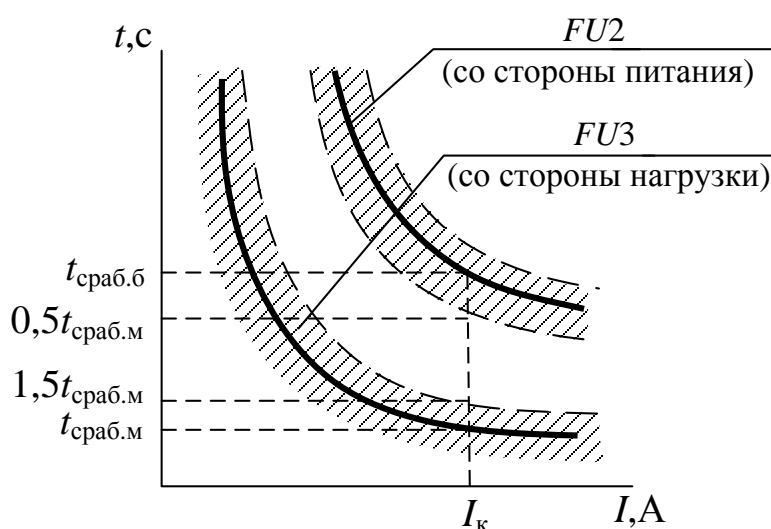
1. Предохранители, выбранные таким образом, работают с большим запасом и даже в процессе пуска не нагреваются до значительных температур. Поэтому при возможных перегрузках предохранитель не защитит объекты электрической сети и следует предусматривать другую защиту (например, тепловое реле *КК* или специальные устройства защиты двигателя).

2. Предохранитель будет отключать токи однофазного КЗ с недопустимо большим временем. При этом создаётся опасность поражения людей, которые прикасаются к корпусам электроприёмников. Поэтому в жилых, общественных, административных и бытовых зданиях предусматривают специальную защиту – устройство защитного отключения (УЗО), выполненную на основе выключателей дифференциального тока (см. раздел 3).

*Выбор предохранителей по условиям селективности отключения*

*Селективность* (избирательность) – это свойство аппаратов защиты отключать именно повреждённые участки электрической сети.

Например, при коротком замыкании в точке К1 (см. рис.1.1, 1.10) должен перегореть предохранитель *FU3*, а предохранитель *FU2* не должен иметь даже старения, то есть должен сработать защитный аппарат, расположенный наиболее близко к месту повреждения.



**Рис.1.10. Характеристики двух последовательно включенных предохранителей (например, *FU2* и *FU3* на рис. 1.1)**

Исходное условие селективности (время срабатывания предохранителя со стороны питания должно быть больше времени срабатывания предохранителя со стороны нагрузки):

$$t_{\text{СРАБ.Б}} > t_{\text{СРАБ.М}} \quad (1.8)$$

Так как реальное время срабатывания предохранителя вследствие производственных допусков отклоняется от номинального значения на 50 % в ту или иную сторону, то данное условие принимает следующий вид:

$$0,5 \cdot t_{\text{СРАБ.Б}} > 1,5 \cdot t_{\text{СРАБ.М}}; \quad t_{\text{СРАБ.Б}} > 3 \cdot t_{\text{СРАБ.М}} \quad (1.9)$$

Это самый тяжелый случай. Для предохранителей с меньшим разбросом защитной характеристики, (например, когда время срабатывания предохранителя вследствие производственных допусков отклоняется от номинального значения на 25 % в ту или иную сторону), данное условие будет иметь следующий вид:

$$0,75 \cdot t_{\text{СРАБ.Б}} > 1,25 \cdot t_{\text{СРАБ.М}}, \quad t_{\text{СРАБ.Б}} > 1,7 \cdot t_{\text{СРАБ.М}} \quad (1.10)$$

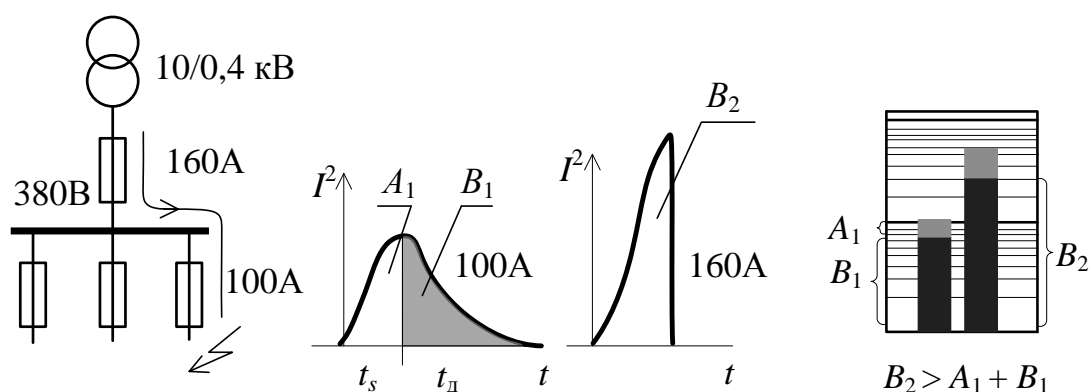
*Последовательность проверки селективности:*

1. Выбирают предохранители по условиям эксплуатации.
2. Строят их защитные характеристики.
3. Проверяют выполнение соотношения (1.10) или (1.11) при максимальном токе КЗ.

В условиях проектирования составлены таблицы соблюдения условий селективности для различных типов предохранителей. Большинство производителей предохранителей дают соотношение между номинальными токами плавкой вставки двух последовательно включенных предохранителей, при соблюдении которых соблюдается полная селективность – 1,6:1. В табличной форме это соотношение выглядит следующим образом: верхняя строка соответствует номинальному току плавкой вставки в амперах вышестоящего (в схеме электроснабжения) предохранителя, а нижняя строка – нижестоящего предохранителя.

50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630		
32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630

Для обеспечения селективности величина интеграла Джоуля за время до образования дуги у предохранителя со стороны питания –  $B_2$  (на рис.1.11 – предохранитель на 160 А) должна быть выше, чем величина полного интеграла Джоуля у предохранителя со стороны нагрузки –  $A_1+B_1$  (на рис.1.11 – предохранитель на 100 А).



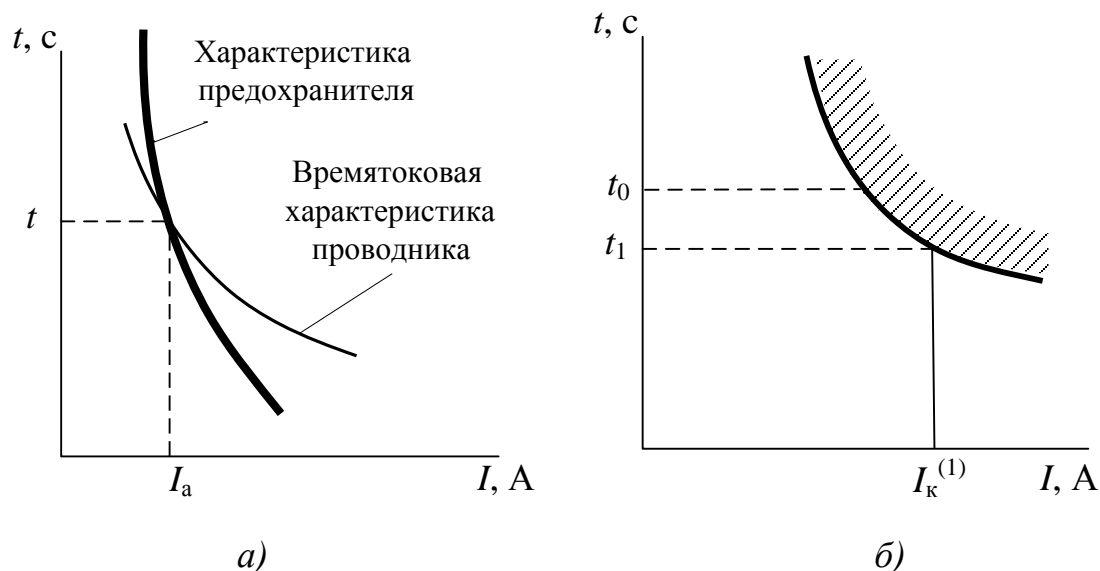
**Рис.1.11. Селективность между двумя последовательно включенными предохранителями (например,  $FU2$  и  $FU1$  на рис. 1.2):**

$t_s$  – время перегорания плавкого элемента,  $t_d$  – время гашения дуги

Таким образом, при отключении тока КЗ нижестоящим предохранителем, энергии, которая пройдет через вышестоящий предохранитель за полное время отключения будет недостаточно для его расплавления и даже старения.

### 1.5. Особенности защиты предохранителями

Предохранители следует проверять по надежности срабатывания при минимальных токах короткого замыкания, чтобы не допустить предельных тепловых воздействий на проводник (рис. 1.12,а) и поражения человека при косвенном прикосновении (рис. 1.12,б).



**Рис.1.12. Пример проверки надежности срабатывания защиты предохранителями:**

а) при защите изоляции проводника от теплового воздействия тока; б) при защите человека, прикоснувшегося к заземленным корпусам электроприемников, оказавшимся под напряжением вследствие нарушения изоляции.

$I_a$  – ток, гарантирующий срабатывание устройства защиты в течение требуемого времени (например, 1 ч) должен быть меньше длительно допустимого тока проводника;  $t_0$  – нормированное время отключения по ПУЭ [1, п. 1.7.79]: для сетей с заземленной нейтралью (система TN) на напряжении 220 В составляет 0,4 с; для напряжения 380 В – 0,2 с; выше 380В – 0,1 с;  $t_1$  – время плавления (полного отключения электрической цепи) предохранителем. Если  $t_1 < t_0$ , то защита выполняется надлежащим образом

### *Недостатки предохранителей:*

1. При однофазном коротком замыкании предохранитель срабатывает только в одной фазе, поэтому возможен неполнофазный режим работы защищаемой сети.
2. У большинства предохранителей отсутствует индикация срабатывания.
3. Существует нестабильность защитных характеристик и их возможная зависимость от температуры окружающей среды.
4. Со временем происходит старение плавкого элемента и даже правильно выбранная вставка может перегореть при тяжёлом пусковом режиме.
5. Плавкая вставка является устройством одноразового действия и после срабатывания (перегорания) ее необходимо заменить.
6. В условиях эксплуатации часто вместо калиброванных плавких вставок применяют другие или проволоку, что нарушает защиту сети.
7. Предохранитель плохо осуществляет защиту от перегрузок.

### *Достоинства предохранителей:*

1. Простота конструкции.
2. Невысокая стоимость.
3. Надёжность действия.
4. Требуется менее квалифицированный обслуживающий персонал, чем для обслуживания автоматических выключателей.

### *Современные предохранители и перспективы развития данного направления защиты электрических сетей*

Большинство производителей выпускают предохранители на номинальные токи плавких вставок от 2 до 1250А до шести типоразмеров двух видов: *gG* (для защиты от токов перегрузки и КЗ в схемах электроснабжения) и *aM* (для установки в цепях электродвигателя, они отстроены от пусковых токов). Сравнительные защитные характеристики приведены на рис.1.13. Выпускаются предохранители с индикатором перегорания плавкой вставки. В приложении приведены основные технические характеристики предохранителей. Все предохранители по заказу выполняются с указателем срабатывания и свободным контактом для сигнализации.

### *Самовосстанавливающиеся предохранители*

Для устранения недостатков предохранителей разрабатываются самовосстанавливающиеся предохранители (СП). У СП роль плавкой вставки выполняют жидкие или легкоплавкие металлы (натрий, калий). При сверхтоках металл в рабочем канале испаряется, возникает дуга, которая ограничивает ток, пока совместно работающее с СП коммутационное устройство не разомкнет цепь. Дуга гаснет, механические силы демпфирующего устройства возвращают металл в рабочий канал, контакт восстанавливается и СП готов к дальнейшей работе.

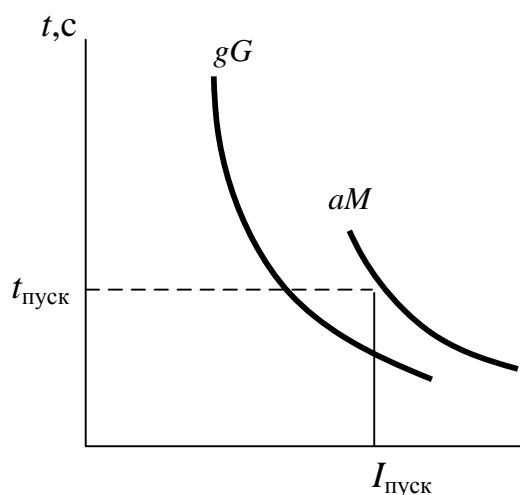


Рис.1.13. Сравнительные характеристики предохранителей типа *gG* и *aM*

Таблица 1.2

**Технические характеристики предохранителей**

Тип, $I_H$ , А	Номинальный ток плавкой вставки, $I_B$ , А	$U_H$ , В	ПКС, кА	Климатическое исполнение и категория размещения
Силовые плавкие предохранители промышленного назначения				
НПН-2, 63А	6,3;10;16;20;25;31,5;40;63	$\sim 380(500)$ =220	10	У3, Т3, УХЛ4
ПП-32, 100А 250А 400А	20;25;32;40;50;63;80;100 80;100;125;160;200;250 250;315;400	$\sim 380$ =220	100	Т3, УХЛ3
ПП 17, 1000А	500;630;800;1000	$\sim 380(500)$ =220(440)	$\sim 100$ = 80	Т3, У3
Быстродействующие плавкие предохранители для защиты полупроводниковых устройств промышленного назначения				
ПНБ 5, 250;400;630А	40÷630	$\sim 380$ $\sim 1250$ =4400	110 80 =100	УХЛ4 и 04
1	2	3	4	5
ННБ 7	$I_H$ , А (100;250;400;630;1000) $I_B$ , А (25÷1000)	$\sim 380$ $\sim 660$	100	УХЛ3
ПП 60С 400А	$I_B$ , А (400÷710)	$\sim 660$	100	УХЛ3, Т3
ПП 57	$I_B$ , А (25÷800)	$\sim 220 \div 2000$ =100÷1000	100÷50 100	У3

## 2. Автоматические воздушные выключатели

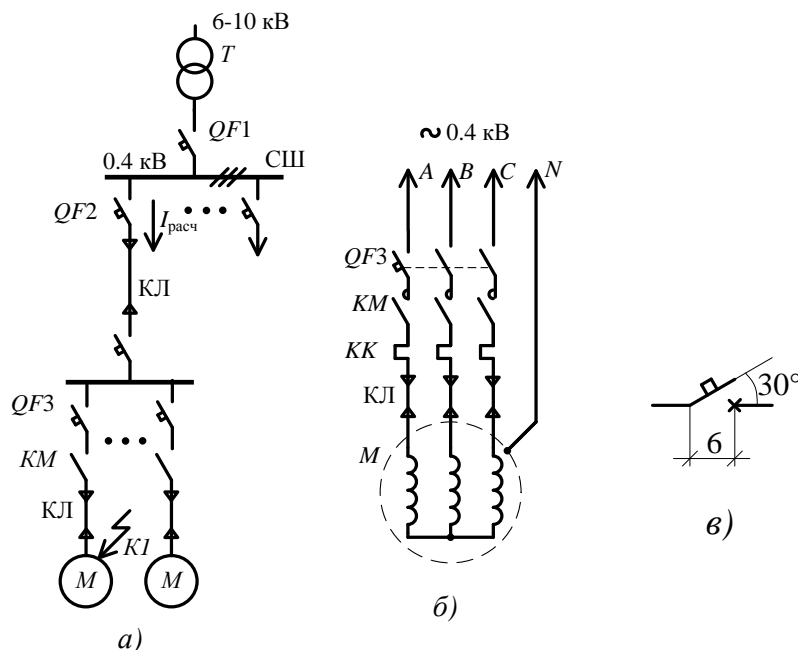
### 2.1. Общие положения

Автоматические воздушные выключатели (автоматические выключатели, «автоматы») (АВ) – это электрические аппараты, предназначенные для проведения тока в нормальном режиме работы электрической сети и отключения электрической цепи при перегрузках, коротких замыканиях (у некоторых АВ при недопустимых снижениях напряжения питания), а также для редких (от 3 до 30 в час) оперативных включений и отключений (ВО) номинальных токов нагрузки.

АВ в схемах электроснабжения (см. рис. 2.1), также как и предохранители предназначены для защиты от чрезмерных тепловых и электродинамических воздействий сверхтока на элементы электрической сети (провода, кабели, коммутационные аппараты, измерительное и защитное оборудование), и к ним предъявляются аналогичные требования (см. раздел 1.1)

*Достоинства автоматических выключателей:*

1. Защитные (времятоковые) характеристики обладают большей стабильностью по сравнению с предохранителями, и в некоторых случаях предусмотрена возможность их регулирования.
2. Отключение всех трёх фаз происходит одновременно.



**Рис. 2.1. Автоматические выключатели в схеме электроснабжения:**

а) принципиальная однолинейная схема; б) принципиальная многолинейная схема;  
в) условное графическое обозначение.

QF – автоматический выключатель, КМ – контактор, КК – тепловое реле, СИШ – сборные шины, КЛ – кабельная линия, М – электродвигатель.

× – функция выключатель, □ – функция автоматическое срабатывание согласно ГОСТ 2.755-87

3. Многократность действия при эксплуатационных включениях–отключениях электрических цепей, многократное отключение предельных токов КЗ и способность после отключения этих токов длительно пропускать номинальный ток.

*Недостатки автоматических выключателей:*

1. Более дорогой электрический аппарат, чем предохранитель.
2. Требуется высокая квалификация обслуживающего персонала.

**2.2. Конструкция автоматических выключателей**

Автоматический выключатель состоит из следующих основных элементов:

- 1) главная контактная система (главные контакты);
- 2) дугогасительная система в виде дугогасительных камер и пламягасительных решеток;
- 3) механизм свободного расцепления;
- 4) расцепители;
- 5) устройство управления (привод) и вспомогательные контакты.

***Главные контакты***

Назначение:

- 1) обеспечивать, не перегреваясь и не окисляясь, продолжительный режим работы при номинальном токе;
- 2) не повреждаясь, включать и отключать токи короткого замыкания.

В простейшем случае состоят из одной пары рабочих контактов: условно неподвижного, жестко связанного с несущими конструкциями АВ, и подвижного – его перемещение приводит к размыканию электрической цепи [23, раздел 4.3]. У мощных АВ на токи более 630А с высокой отключающей способностью применяются многоступенчатые (двух- и трёхступенчатые) контактные системы, состоящие из рабочих и дугогасительных контактов. При включении сначала включаются дугогасительные, а потом рабочие контакты. При отключении сначала отключаются рабочие, а потом дугогасительные контакты. Это исключает образование электрической дуги между рабочими контактами. Использование металлокерамики позволяет в современных электрических аппаратах на большие токи применять преимущественно двухступенчатые контактные системы, а на малые и средние токи (до 630А) – одноступенчатые контактные системы. Разделение точек рабочего контактирования и точек дугогашения обеспечивается за счет перекатывания и проскальзывания контактов в процессе включения-отключения.

У нормальных (небыстродействующих) АВ контактные системы на средние и большие токи выполняются с компенсацией отбрасывающих усилий. Наиболее эффективным считается принцип электродинамической компенсации. Компенсирующее усилие (как и электродинамические силы, отбрасывающие контакты), растет пропорционально квадрату тока, и систему можно выполнить так, что компенсирующая сила всегда будет превосходить отбрасывающую силу. Электромагнитная компенсация с использованием ферромагнитных



материалов становится неэффективной при больших токах, так как при насыщении (при токах 10-25кА) компенсирующее усилие мало возрастает с увеличением тока, в то время как отбрасывающая сила продолжает возрастать пропорционально квадрату тока. У быстродействующих АВ отбрасывающие электродинамические усилия в контактах используются для получения токоограничивающего эффекта. В этом случае еще до срабатывания расцепителя отбрасывается неподвижный контакт. Между контактами возникает электрическая дуга, обладающая определенным электрическим сопротивлением, которое ограничивает величину тока, и только затем, после того как расцепитель освободит отключающую пружину, приходит в движение подвижный контакт и главные контакты размыкаются (см. рис. 2.1).

### *Дугогасительная система*

Назначение: обеспечивает совместно с контактной системой отключение рабочих токов и токов короткого замыкания **с гашением возникающих дуг в ограниченном объёме.**

Непосредственный разрыв цепи при КЗ производится в дугогасительной камере, назначение которой состоит в перераспределении пространственного положения электрической дуги, возникающей при размыкании контактов, для снижения энергии дуги. Энергия дуги значительна, до 100 кДж при температуре 20 000°С, и может вызвать эрозию контактов из-за испарения их металла. Поэтому дугу следует гасить как можно быстрее.

Задача дугогасительного устройства заключается в том, чтобы ограничить размеры дуги и обеспечить ее гашение в малом объеме. С этой целью широкое применение получили камеры с дугогасительными решетками (на переменном токе) и камеры с узкими щелями (на постоянном токе) и пламягасительные решетки [23, раздел 4.4]. Для того чтобы камера не разрушилась под воздействием высокой температуры, дуга быстро перемещается с большой скоростью под действием электромагнитных сил [23, раздел 4.1]. Дуга, являясь проводником, обладает магнитным полем, что и используется для втягивания ее в дугогасительную камеру и растягивания ее там до полного гашения.

### *Механизм свободного расцепления*

Механизм свободного расцепления (МСР) представляет собой систему шарнирно-связанных рычагов, соединяющих привод включения подвижных контактов с отключающими и контактными пружинами.

Назначение:

- 1) включение автоматических выключателей посредством привода;
- 2) отключение автоматических выключателей пружинами после срабатывания расцепляющего устройства;
- 3) исключение возможности удержания контактов во включённом положении при наличии аварийного режима работы защищаемой цепи;
- 4) обеспечение моментного включения и отключения, т.е. не зависящего от усилий оператора, рода и массы привода, скорости расхождения контактов.

Отключающие и контактные пружины в автоматических выключателях развивают силы в десятки и сотни Ньютона. Конструкция системы рычагов расцепляющего устройства выполняется таким образом, что для расцепления (освобождения расцепляющих пружин) требуются незначительные усилия. Это позволяет иметь легкие и высокочувствительные расцепители.

### ***Устройство управления (привод), цепи управления и вспомогательные контакты***

Механизм автоматического выключателя должен обеспечить:

- очень быстрое размыкание контактов (уменьшение их эрозии);
- большое контактное давление (противодействие электродинамическому отбрасыванию контактов).
- обеспечение усилий на контактах, необходимых для оперативного включения и отключения АВ в нормальном режиме сети.

Устройство управления (привод) может быть ручным и (или) электромеханическим.

Цепи управления и вспомогательные контакты предназначены для включения и отключения АВ электромеханическим приводом.

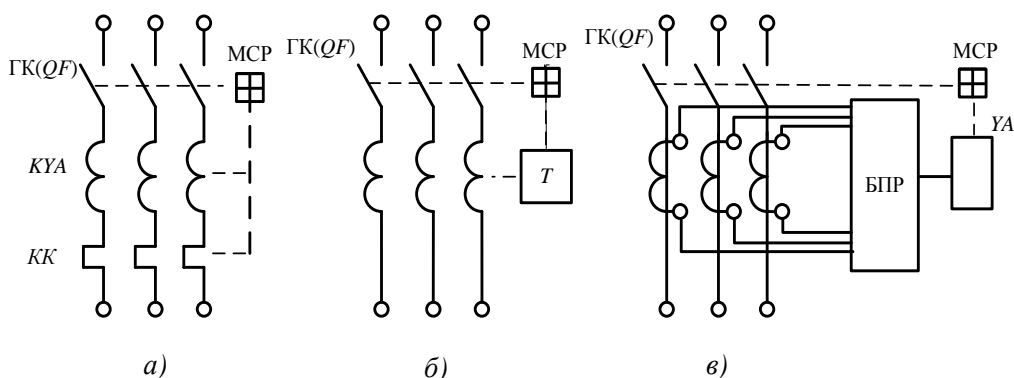
### ***Расцепители***

Расцепитель – это элемент защиты, который контролирует заданный параметр защищаемой цепи (ток, напряжение) и при отклонении параметра от установленного значения, воздействуя на механизм свободного расцепления, запускает механизм отключения выключателя.

#### ***Расцепители тока***

Расцепитель, который контролирует на **ток** в электрической цепи, получил название - максимальный расцепитель тока (МРТ). Расцепители тока входят в состав *главной цепи* АВ (см. рис. 2.2). Сверхтоки обнаруживаются тремя способами:

- тепловым при перегрузках,
  - электромагнитным при коротких замыканиях (КЗ),
  - электронным при перегрузках и КЗ.
- МРТ формируют времятоковую (защитную) характеристику автоматического выключателя. Для защиты оборудования (кабельных линий, электродвигателей, трансформаторов и т.д.) от сверхтоков необходимо, чтобы времятоковая характеристика расцепителя находилась ниже времятоковой характеристики защищаемого объекта. Наиболее просто это получается с помощью тепловых расцепителей.



**Рис. 2.2. Принципиальные схемы главной цепи выключателя:**

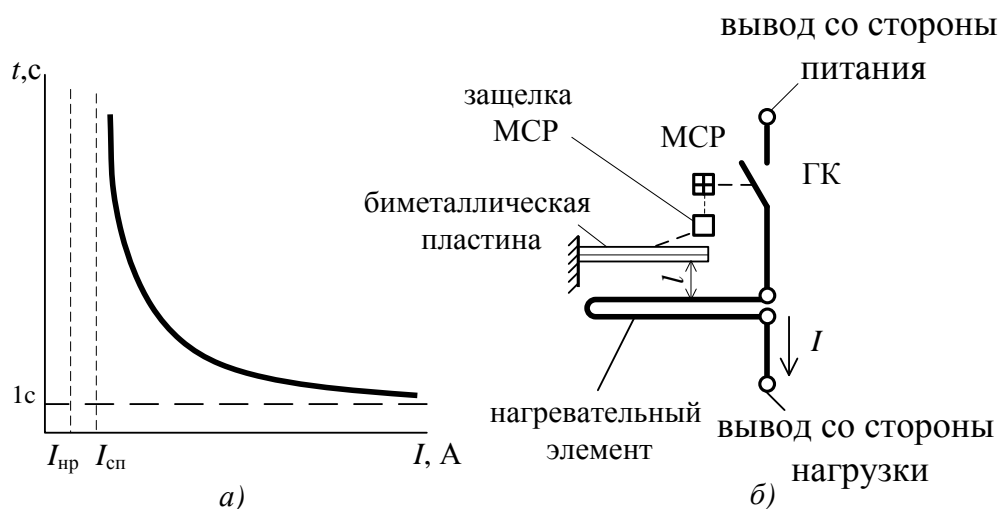
- а) с комбинированным расцепителем тока; б) с электромагнитным расцепителем тока и с замедляющим устройством  $T$  (гидравлическим у АВ типа АК, с анкерным часовым механизмом у АВ типа АВМ; в) с электронным расцепителем тока;  
ГК – главный контакт, КК – тепловой расцепитель, КYA – электромагнитный расцепитель, БПР – блок полупроводниковых реле, YA – исполнительный электромагнит

*Тепловой (термический) расцепитель* состоит из биметаллической пластины, которая располагается вблизи токоведущих частей и при нагреве (при протекании сверхтока) выше определенной температуры изгибается, воздействует на защелку механизма свободного расцепления, освобождая расцепляющее устройство (МСП), которое отключает выключатель. Быстродействие биметаллической пластины прямо пропорционально значению тока. Тепловой расцепитель характеризуется тепловой инерцией и этим обеспечивается зависимость от тока характеристика, так как для изгиба пластины и перемещения ее окончания на определенное расстояние до защелки МСП требуется некоторая постоянная энергия  $W$ . Источником этой энергии является тепловая энергия  $W_Q$ , получаемая при прохождении тока по нагревательному элементу согласно закону Джоуля-Ленца:

$$W_Q = I^2 R_{HЭ} t, \text{ отсюда } t = \frac{W_Q}{I^2 R_{HЭ}} \equiv \frac{1}{I^2}. \quad (2.1)$$

Если принять, что  $W_Q = W$  и  $R_{HЭ}$  (сопротивление нагревательного элемента) – постоянные величины, то получим, что время срабатывания теплового расцепителя обратно пропорционально квадрату тока, проходящего через выключатель (см. рис. 2.3). Нагревательный элемент может быть сменной частью расцепителя, и, заменяя его на другой тип, с иным сопротивлением, можно создавать расцепители на различные номинальные токи в одном типоразмере выключателя. Изменением расстояния между нагревательным элементом и биметаллической пластиной ( $l$ ) можно обеспечить регулирование номинального тока расцепителя в пределах  $(0,7-1,0)I_{нр}$ .

Тепловые расцепители обладают слабой термической стойкостью и низким быстродействием при отключении больших токов. Поэтому автоматические выключатели только с одним тепловым расцепителем применяются редко, обычно применяется комбинация из электромагнитного и теплового расцепителя. Электромагнитный расцепитель работает при КЗ, тепловой – при перегрузках.

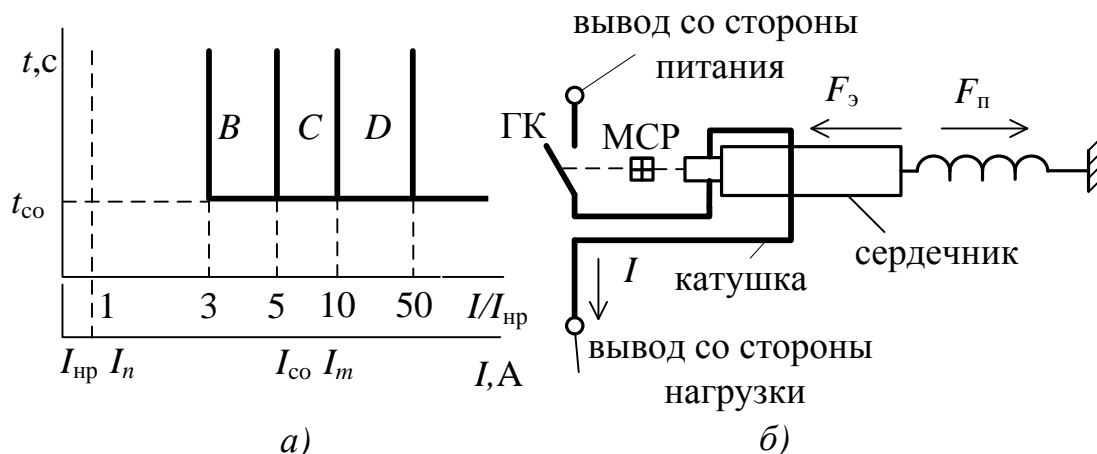


**Рис. 2.3. Тепловой расцепитель:**

а) времятоковая (защитная) характеристика, б) принцип действия;

$I_{нр}$  – номинальный ток расцепителя,  $I_{сп}$  – ток срабатывания при перегрузке,  $I_{сп.} = (1,05-1,4)I_{нр}$ , МСР – механизм свободного расцепления, ГК – главные контакты

Электромагнитный расцепитель представляет собой электромагнит, который при возникновении сверхтока также воздействует на расцепляющее устройство, удерживающее главные подвижные контакты, что приводит к их размыканию. Расцепитель характеризуется мгновенным срабатыванием (сотые доли секунды) и обеспечивает независимую от тока характеристику.



**Рис. 2.4. Электромагнитный расцепитель:**

а) времятоковые (защитные) характеристики, б) принцип действия.

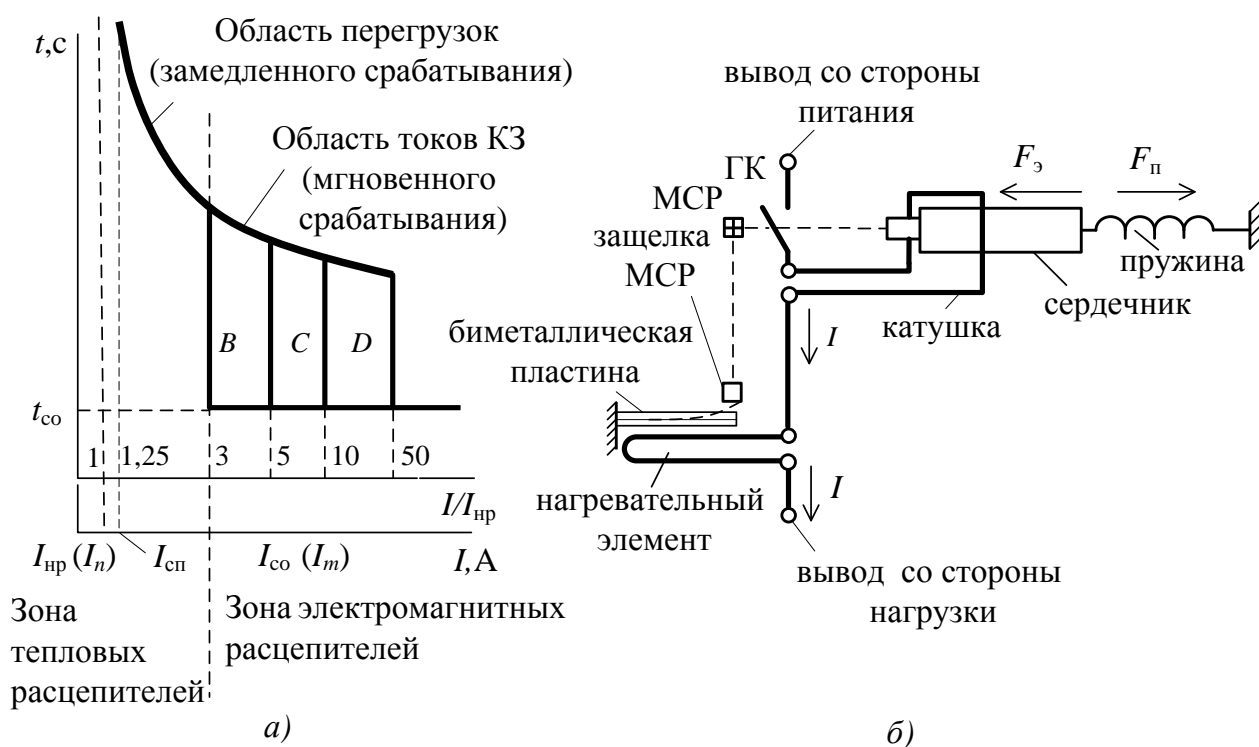
$I_{нр}$  ( $I_n$ ) – номинальный ток расцепителя,  $I_{со}$  ( $I_m$ ) – ток срабатывания отсечки для характеристик:  $B - I_{со} = (3-5)I_{нр}$ ,  $C - I_{со} = (5-10)I_{нр}$ ,  $D - I_{со} = (10-50)I_{нр}$   
 $t_{со}$  ( $t_m$ ) – время срабатывания отсечки, МСР – механизм свободного расцепления, ГК – главные контакты.

Время срабатывания отсечки  $t_{со}$  не регулируется, так как независимо от величины тока (после тока уставки расцепителя) отключение произойдет за одинаковое время (0,01-0,04)с. Катушка может быть заменяемой частью расцепителя, и, заменяя ее на другую с иным количеством витков, можно создавать электромагнитные расцепители на различные номинальные токи в

одном типоразмере выключателя. Изменением силы натяжения пружины можно обеспечить регулирования тока уставки расцепителя. В автоматических выключателях некоторых производителей имеется возможность регулировать ток срабатывания в широком диапазоне (до 10 ступеней), что позволяет настроить автоматический выключатель под конкретные требования защиты. Кроме того, такую регулировку можно использовать для обеспечения селективности по току.

*Комбинированный (термомагнитный) расцепитель* реализует тепловой и электромагнитный способы защиты и изготавливается по проверенной временем недорогой технологии. Термомагнитные расцепители обеспечивают ограниченно зависимую времятоковую характеристику (см. рис. 2.5).

Характеристика такого вида получается за счет комбинации двух расцепителей (теплового и электромагнитного). Область действия теплового расцепителя ограничивается областью перегрузок, так как после значения тока  $I_{co}$  действует электромагнитный расцепитель, который срабатывает раньше, чем тепловой расцепитель.



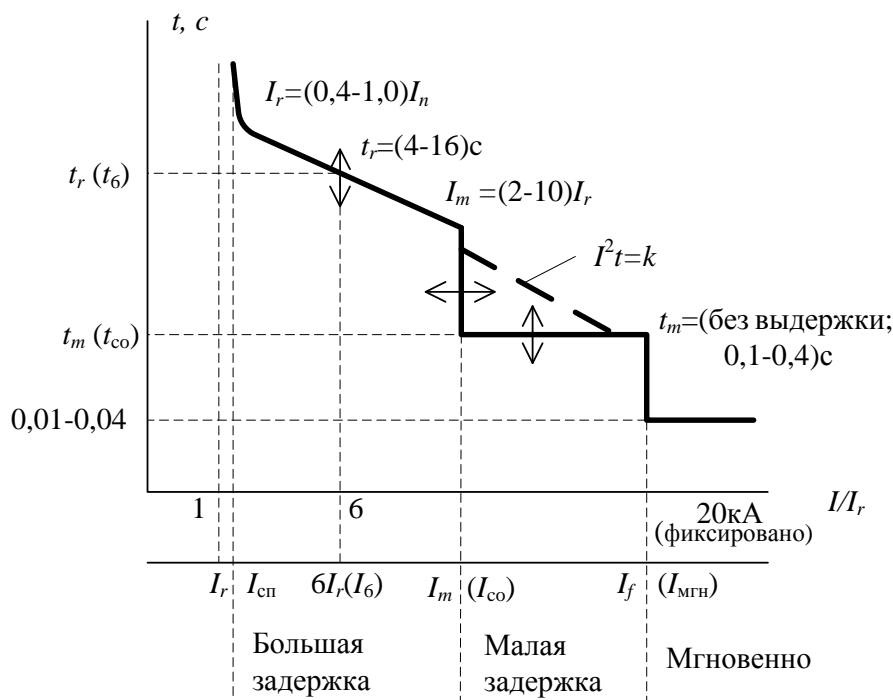
**Рис. 2.5. Комбинированный (тепловой и электромагнитный) расцепитель:**  
 а) времятоковые (защитные) характеристики, б) принцип действия.  
 $I_{нр}(I_n)$  – номинальный ток расцепителя,  $I_{co}(I_m)$  – ток срабатывания отсечки для характеристик: **B** –  $I_{co} = (3-5) I_{нр}$ , **C** –  $I_{co} = (5-10) I_{нр}$ , **D** –  $I_{co} = (10-50) I_{нр}$   
 $t_{co}(t_m)$  – время срабатывания отсечки, МСП – механизм свободного расцепления, ГК – главные контакты.

Такая характеристика получила название «двухступенчатая характеристика» и, кроме комбинированного расцепителя, может быть обеспечена полупроводниковым расцепителем, а также электромагнитным расцепителем в комбинации с часовым анкерным механизмом или гидравлическим замедлителем.

### *Электронный (полупроводниковый) расцепитель*

В каждом полюсе автоматического выключателя размещен измерительный трансформатор тока, измеряющий протекающий через него ток. Измеренное и заданное значение токов сравниваются в электронном модуле, который, в случае превышения заданного значения, также воздействует на расцепляющее устройство, удерживающее главные подвижные контакты, что приводит к их размыканию. Времятоковая характеристика имеет три зоны срабатывания, параметры которых (ток и время) можно настраивать:

- зона срабатывания «Большая задержка» подобна зоне тепловых расцепителей и защищает цепи от перегрузки.
- зона срабатывания «Малая задержка» защищает от удаленных коротких замыканий (обычно в конце защищаемой линии). Порог срабатывания по току  $I_m$  ( $I_{co}$ ) можно настроить, можно регулировать и время задержки  $t_m$  ( $t_{co}$ ) до 1 секунды (обычно 0,1-0,4с), что используется для обеспечения надежной селективности срабатывания расположенных ниже аппаратов защиты.
- зона срабатывания «Мгновенно» защищает от «мощных» коротких замыканий. Порог срабатывания по току  $I_f$  ( $I_{мгн}$ ) устанавливается при изготовлении и зависит от модели автоматического выключателя.

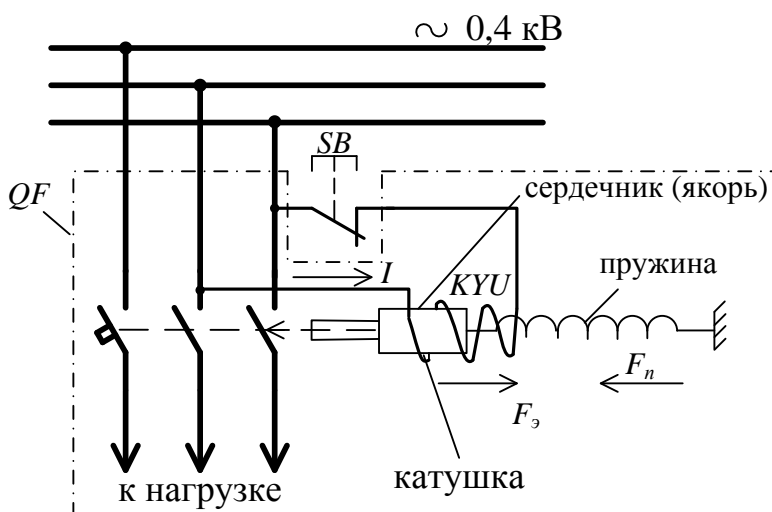


**Рис. 2.6. Электронный расцепитель, вид времятоковой характеристики, возможности регулирования уставок тока и времени**

Электронный расцепитель формирует трёхступенчатую защитную характеристику, которая аналогична двухступенчатой характеристике с выдержкой времени, но в зоне близких коротких замыканий при токе более  $I_f (I_{\text{МГН}})$  автоматический выключатель отключается без выдержки времени.

### *Расцепители напряжения*

*Расцепитель минимального напряжения* (минимальный расцепитель) – расцепитель, который контролирует снижение напряжения в электрической цепи и предназначен для отключения выключателя при снижении напряжения ниже определенного значения (см. рис. 2.7).



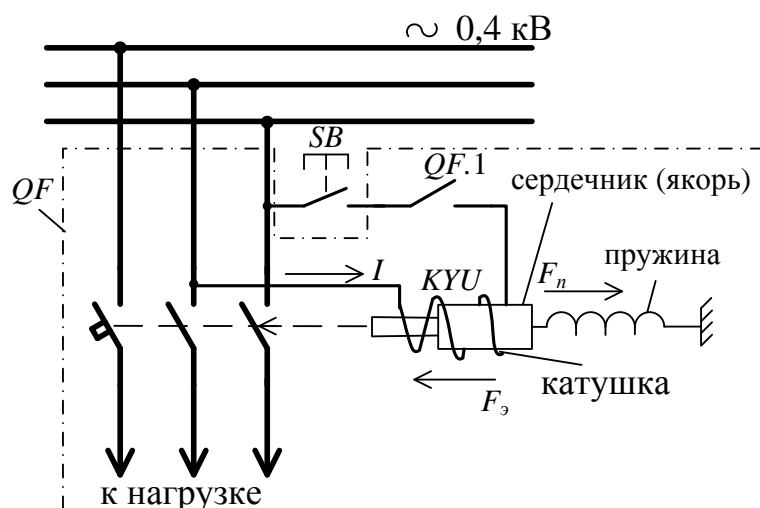
**Рис. 2.7. Принципиальная схема расцепителя минимального напряжения**

При наличии напряжения на шинах по электромагниту  $KYU$  протекает ток, который по закону полного тока создает магнитный поток. Якорь намагничивается и втягивается в катушку, сжимая при этом пружину. Механизм свободного расцепления (МСР) позволяет производить все операции с выключателем. При исчезновении напряжения на шинах или снижении его ниже какого-то уровня электромагнитная сила будет недостаточной, чтобы противодействовать силе пружины  $F_n$ , якорь выталкивается, воздействует на защёлку МСР, и автоматический выключатель отключается. Кнопкой  $SB$  можно разорвать цепь тока электромагнита, что позволяет дистанционно отключить выключатель.

### *Независимый расцепитель*

Независимый расцепитель (рис.2.8) предназначен только для дистанционного отключения автоматических выключателей.

При замыкании кнопки  $SB$  по катушке начинает протекать ток, создающий магнитный поток. Якорь намагничивается, втягивается в катушку и своим окончанием воздействует на защёлку МСР, отключая автоматический выключатель.



**Рис. 2.8. Принципиальная электрическая схема независимого расцепителя:**  
 $QF$  – главный контакт АВ,  $QF.1$  – вспомогательный контакт АВ

Таким образом, независимый расцепитель кинематически связан с механизмом управления и обеспечивает отключение выключателя при подаче на его катушку напряжения. Питание подается через замыкающий контакт вспомогательной цепи, что предохраняет катушку независимого расцепителя от длительного нахождения под током.

#### *Нулевой (специальный) расцепитель*

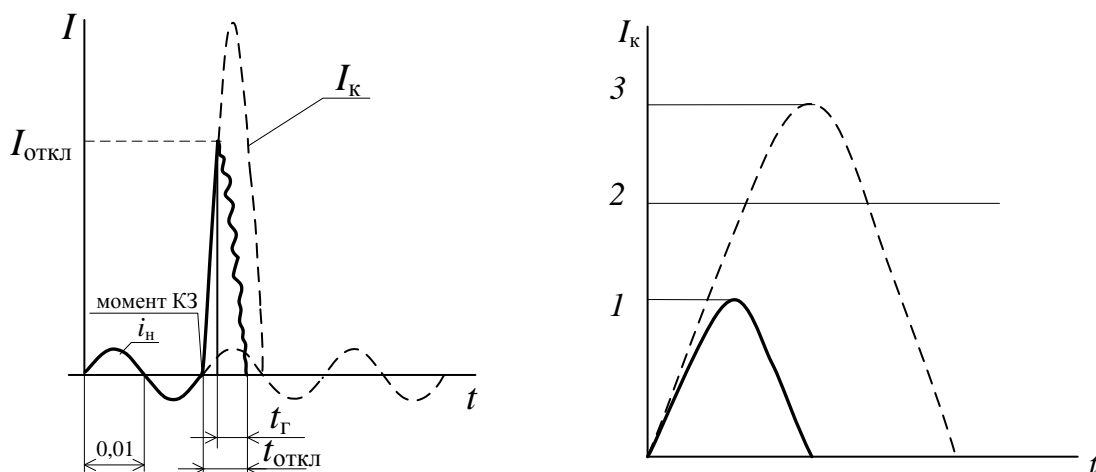
*Нулевой (специальный) расцепитель* (имеет схему подобную схеме расцепителя минимального напряжения, но подключается после главных контактов со стороны нагрузки) – это расцепитель, который не позволяет (запрещает) включить выключатель на возможное короткое замыкание в цепи нагрузки.

### **2.3. Токоограничивающие автоматические выключатели**

Токоограничивающим (согласно МЭС 44-1-14-21) является автоматический выключатель с чрезвычайно малым временем отключения, в течение которого ток короткого замыкания не успевает достичь своего максимального значения (см. рисунок 2.9).

В токоограничивающих выключателях при больших ожидаемых токах короткого замыкания контакты, имеющие специальную конструкцию, сразу же отбрасываются электродинамическими силами, вводя в цепь сопротивление дуги, и затем уже не соприкасаются, так как своевременно срабатывает электромагнитный расцепитель. При малых токах короткого замыкания отключение производится электромагнитным расцепителем без электродинамического отброса.



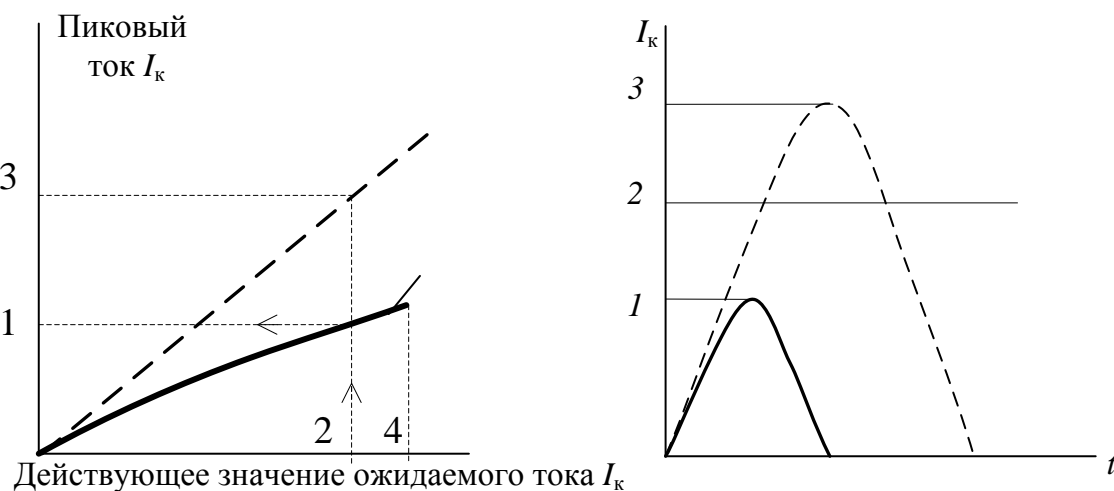


**Рис. 2.9. Ограничение ожидаемого тока короткого замыкания:**

1 – ограниченный пиковый ток КЗ, 2 – действующее значение ожидаемого тока КЗ, 3 – ожидаемый пиковый ток КЗ,  $I_{\text{к}}$  – значения тока КЗ

### *Характеристики токоограничения*

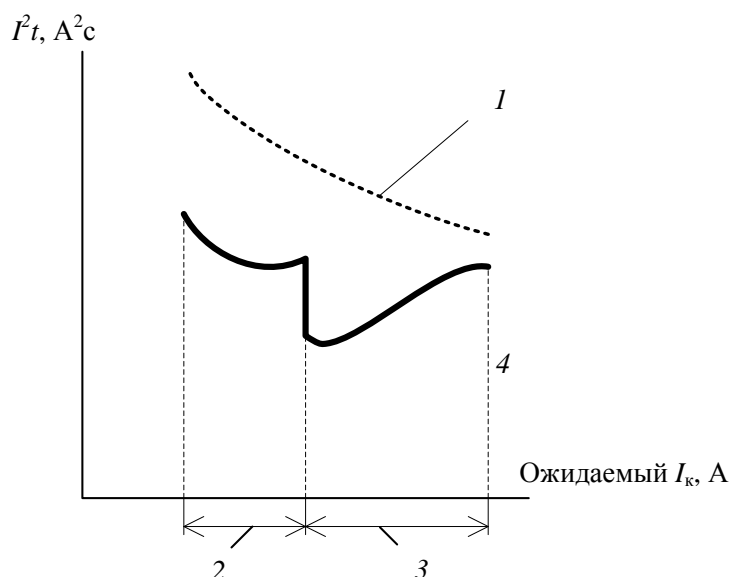
Данные характеристики показывают, как аппараты ограничивают значение тока короткого замыкания по сравнению с его ожидаемым значением. Они используются при выборе сечения шин и проводников, а также при проверке правильности выбора аппаратов защиты.



**Рис. 2.10. Пример характеристики токоограничения для одного из значений номинального тока расцепителя:**

1 – ограниченный пиковый ток КЗ, 2 – действующее значение ожидаемого тока КЗ на зажимах аппарата, 3 – неограниченный пиковый ток КЗ, 4 – отключающая способность аппарата, кА

Если для токоограничивающего автоматического выключателя не указан класс ограничения тока КЗ, то предоставляется интегральная характеристика  $I^2t$  (интеграл Джоуля).



**Рис. 2.11. Интегральная характеристика  $I^2t$ :**

- 1 – ограничение по нагреву кабелей, 2 – зона срабатывания теплового расцепителя,  
3 – зона срабатывания электромагнитного расцепителя,  
4 – отключающая способность аппарата,  $I_k$ , – действующее значение тока КЗ

### *Классы токоограничения*

Стандарт IEC 60878 определяет классы токоограничения для аппаратов на номинальный ток не более 32 А. Эти классы устанавливают предельные значения пропускаемой энергии в  $A^2s$ . Размерность  $A^2s$  соответствует Дж/Ом. Пример для автоматического выключателя типа С с отключающей способностью 6 кА и с номинальным током от 20 до 32 А:

- класс 1: не нормируется;
- класс 2: нагрев, ограниченный удельной энергией 130 000 Дж/Ом;
- класс 3: нагрев, ограниченный удельной энергией 45 000 Дж/Ом;

### **2.4. Основные характеристики автоматических выключателей**

1. *Номинальное рабочее напряжение  $U_e$  (В)* – значение напряжения, на которое рассчитан выключатель, и которому соответствуют другие параметры выключателя. Обычно выражается как напряжение между фазами. Указанное напряжение означает максимальное допустимое значение в течение длительного времени. При меньших напряжениях отдельные характеристики могут изменяться и даже улучшаться, например отключающая способность.

#### *2. Номинальное напряжение изоляции $U_I$ (кВ)*

Характеризует изоляционные свойства аппарата, определяется в ходе его испытаний высоким напряжением (импульсным и промышленной частоты).

#### *3. Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение $U_{Imp}$ (кВ)*

Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение – пиковое значение импульсного напряжения заданной формы и полярности, которое может выдержать аппарат без повреждений.

4. *Номинальный длительный ток выключателя  $I_U$  (А)* (номинальный ток выключателя) – значение тока, которое выключатель может проводить

неограниченное время (недели, месяцы или даже годы). Это наибольший ток, который автоматический выключатель может проводить в продолжительном режиме при температуре окружающего воздуха 40°C по стандарту ГОСТ Р 50030.2-99 и 30°C по стандарту ГОСТ Р 50345-99. При более высоких температурах значение номинального тока уменьшается. Обычно номинальный ток выключателя равен наибольшему значению номинального тока защитного расцепителя, предусмотренного для данной конструкции выключателя. Данный параметр используется для определения типоразмера автоматического выключателя.

5. *Номинальный ток  $I_n$  (А) – значение тока, характеризующее защитный расцепитель, установленный на автоматический выключатель. Ток, длительное протекание которого не вызывает срабатывание расцепителя и отключение выключателя.* Именно этот ток соотносится с номинальным (расчетным) током нагрузки, защищаемой автоматическим выключателем.

6. *Номинальная одноразовая предельная коммутационная способность выключателя (ОПКС)  $I_{cu}$  (кА) при коротком замыкании (предельная отключающая способность) – действующее значение периодической составляющей тока КЗ, которое АВ может отключить*

Это наибольший ток короткого замыкания, который автоматический выключатель способен отключить при заданном напряжении и коэффициенте мощности. Испытания на  $I_{cu}$  проводятся по схеме О –  $t$  – ВО, где О – отключение,  $t$  – выдержка времени, ВО – включение с последующим автоматическим отключением.

В ходе испытания контролируются изоляционные свойства автоматического выключателя, которые не должны снижаться ниже допустимого предела. Ток, при котором автоматический выключатель сохраняет свои изоляционные свойства и способность к отключению в соответствии с требованиями стандарта, обозначается  $I_{cn}$ .

7. *Номинальная рабочая предельная коммутационная способность (ПКС)  $I_{cs}$ , % (рабочая отключающая способность) – действующее значение периодической составляющей тока КЗ, которое АВ может отключить в определенном тестовом цикле.*

Это величина выражается в % от  $I_{cu}$  : 25% (только для категории А), 50%, 75% или 100%. Автоматический выключатель должен нормально работать после неоднократного отключения тока  $I_{cs}$  при испытании в последовательности О–ВО–ВО.

На автоматические выключатели часто наносят два значения отключающей способности. Это объясняется тем, что в разных стандартах используются разные условия испытаний:

- 10000 – стандарт ГОСТ Р 50345-99 (IEC 60898) для аппаратов бытового и аналогичного назначения, где при неквалифицированном обращении возможно неоднократное включение неисправной цепи.

Наибольшая отключающая способность (в А) указывается в прямоугольнике без указания единицы измерения.

- 10 кА – стандарт ГОСТ Р 50030.2-99 (IEC 60947-2) для всех применений, где требуется определенная квалификация обслуживающего персонала. В этом случае наибольшая отключающая способность указывается с единицей измерения (кА).

Значение отключающей способности должно соотноситься с величиной тока КЗ в месте установки самого АВ и должны выполняться следующие условия  $I_{cu} > I_K$ ,  $I_{cs} > I_K$ .

8. Номинальная наибольшая включающая способность  $I_{cm}$  (кА, пиковое значение) – максимальное ожидаемое значение тока, при котором автоматический выключатель обязан включиться. При переменном токе это значение должно быть не ниже, чем его номинальная предельная отключающая способность, умноженная на коэффициент « $n$ ». В соответствующей таблице (табл. 2 ГОСТ Р 50030.2) представлены значения коэффициента « $n$ ».

Отключающая способность $I_{cu}$ , кА	Коэффициент мощности	$n$
$4,5 < I_{cu} \leq 6$	0,7	1,5
$6 < I_{cu} \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I_{cu} \leq 20$	0,3	2,0
$20 < I_{cu} \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I_{cu}$	0,2	2,2

Аппараты, не имеющие функции защиты (например, выключатели нагрузки), должны выдерживать (т.е. пропускать «через себя») ток короткого замыкания, значение и длительность которого определяются параметрами срабатывания присоединенного аппарата защиты.

9. Номинальный кратковременно выдерживающий сквозной ток  $I_{cw}$  (кА) – действующее значение переменного тока, который АВ способен выдержать без ухудшения характеристик за определенное время, предпочтительными значениями которого являются 1 и 3 сек.

Это ток короткого замыкания, который автоматический выключатель категории В способен выдерживать в течение установленного времени без изменения своих характеристик. Этот параметр используется для обеспечения селективности срабатывания аппаратов. Для переменного тока – это действующее значение периодической составляющей ожидаемого тока короткого замыкания, который рассматривают как неизменный на протяжении определенного короткого времени. Длительность прохождения  $I_{cw}$  должна составлять, по крайней мере, не менее 0,05 с. Значение  $I_{cw}$  указывается для тока, действующего в течение 1с. Для других длительностей надо вводить соответствующие обозначения, например  $I_{cw0,2}$ . При этом необходимо

убедиться в том, что величина  $I^2 t_{\text{факт}}$  до момента срабатывания расположенного ниже аппарата защиты действительно меньше, чем  $I_{\text{св}}^2 t_{\text{факт}}$ . Соответствующий выключатель может оставаться замкнутым до тех пор, пока значение  $I^2 t$  не превысит значения  $I_{\text{св}}^2$  умноженного на одну секунду.

Номинальный кратковременно выдерживаемый ток должен быть не ниже  $12 I_n$  или 5 кА (использовать большее значение) для АВ с номинальным током до 2500А и не ниже 30кА - для АВ с номинальным током выше 2500А.

*Примечание. Категории применения автоматических выключателей*

*Категория А.* Выключатели, не предназначенные специально для обеспечения селективности в условиях короткого замыкания относительно других устройств защиты от коротких замыканий, последовательно присоединенных со стороны нагрузки, то есть без заданной кратковременной выдержки времени, предусматриваемой для обеспечения селективности в условиях короткого замыкания, а поэтому без номинального кратковременного выдерживаемого тока.

*Категория В.* Выключатели, специально предназначенные для обеспечения селективности в условиях короткого замыкания относительно других устройств защиты от коротких замыканий, последовательно присоединенных со стороны нагрузки, то есть с заданной кратковременной выдержкой времени (которая может быть регулируемой). Такие выключатели обязаны иметь в качестве характеристики номинальный кратковременно выдерживаемый сквозной ток  $I_{\text{св}}$ .

*Стандарты, регламентирующие технические характеристики*

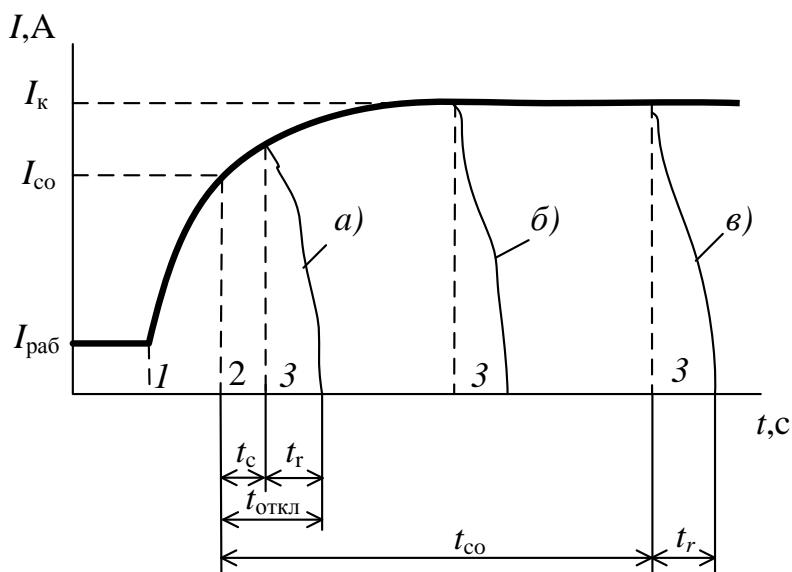
Основные технические характеристики регламентируются следующими стандартами на автоматические выключатели:

1. Стандарт ГОСТ Р 50345-99 (IEC 60898) определяет требования к аппаратам бытового и аналогичного назначения, а также ко всем случаям, когда потребители устройств не обладают достаточной квалификацией. Стандарт применяется к аппаратам, имеющим максимальные значения: номинального тока 125 А, ОПКС не более 25 000 А и номинального рабочего напряжения 440 В. Уставка теплового расцепителя составляет от 1,05 до 1,3  $I_n$ . Стандарт определяет диапазоны токов для мгновенных расцепителей типов В (от 3  $I_n$  до 5  $I_n$ ), С (от 5  $I_n$  до 10  $I_n$ ) и D (от 10  $I_n$  до 50  $I_n$ ). Аппараты, соответствующие стандарту IEC 60898 в диапазоне соответствующих характеристик, могут также использоваться в промышленных установках.

2. Стандарт ГОСТ Р 50030.2-99 (IEC 60947-2) определяет требования к аппаратам промышленного применения, обслуживаемых квалифицированным персоналом. У этого класса аппаратов возможно регулирование всех характеристик ( $I_r$ ,  $I_m$  и т.д.). Для  $I_r = I_n$  срабатывание от перегрузки должно происходить при токе от 1,13 до 1,45  $I_n$ .

*Время отключения автоматических выключателей*

Полное время отключения автоматического выключателя включает в себя собственное время отключения и время гашения дуги. Продолжительность гашения дуги зависит от эффективности работы дугогасительного устройства.



**Рис. 2.12. Классификация автоматических выключателей по полному времени отключения:**

*а)* – быстродействующий, *б)* – нормальный, *в)* – селективный; 1 – момент короткого замыкания, 2 – начало воздействия на расцепляющее устройство, 3 – начало расхождения контактов;  $t_c$  – собственное время отключения выключателя,  $t_r$  – время гашения дуги,  $t_{co}$  – время срабатывания отсечки – уставка времени для обеспечения селективности,  $I_{раб}$  – рабочий ток сети,  $I_{co}$  – ток срабатывания отсечки (уставка),  $I_k$  – установившееся значение тока короткого замыкания

По полному времени автоматические выключатели условно классифицируют следующим образом:

*а) токоограничивающие выключатели* – отключают токи короткого замыкания в первый полупериод после возникновения тока короткого замыкания, то есть со временем меньше 0,01с.

*б) нормальные быстродействующие выключатели* – отключают токи короткого замыкания в течение 0,02 – 0,1с;

*в) селективные выключатели* – это такие АВ, где создаётся специальная выдержка времени после получения импульса на срабатывание. Предназначены для обеспечения селективности защиты.

## 2.5. Выключатели автоматические серии ВА

Задача, которую ставили разработчики серии ВА-50: уменьшение габаритов, снижение материалоемкости, трудоемкости изготовления, снижение стоимости.

Техническая задача – защита мощных электрических сетей с большими токами КЗ, сокращение габаритов комплектных трансформаторных подстанций (КТП) и низковольтных комплектных устройств (НКУ).

В зависимости от потребности, области применения и обеспечения необходимого уровня ПКС выключатели ВА подразделяются на серии:

1) ВА-51. Выключатель средней коммутационной способности, ПКС =  $2 \div 35$  кА. Это выключатели с тепловым и электромагнитным расцепителями. Рассчитаны на 3-20 циклов ВО в час.

2) ВА-52. Выключатель с повышенной коммутационной способностью с комбинированным расцепителем. Конструктивно состоит из выключателя ВА-51 и последовательно соединённого с ним токоограничивающего блока. ПКС =  $12 \div 40$  кА.

3) ВА-53. Автоматический выключатель повышенной коммутационной способности с полупроводниковым расцепителем. ПКС =  $47,5 \div 150$  кА, 1250-4000 циклов ВО под нагрузкой.

4) ВА-54. Выключатель высокой коммутационной способности с полупроводниковым расцепителем. ПКС =  $87 \div 150$  кА, 2000-4000 циклов ВО под нагрузкой.

5) ВА-55. Селективные выключатели с полупроводниковым расцепителем, ПКС =  $87 \div 150$  кА.

6) ВА-56. Автоматический выключатель без максимальных расцепителей тока. Используется как рубильник с моментным ВО. ПКС =  $32,5 \div 80$  кА.

#### *Защитные характеристики выключателей типа ВА с комбинированным расцепителем*

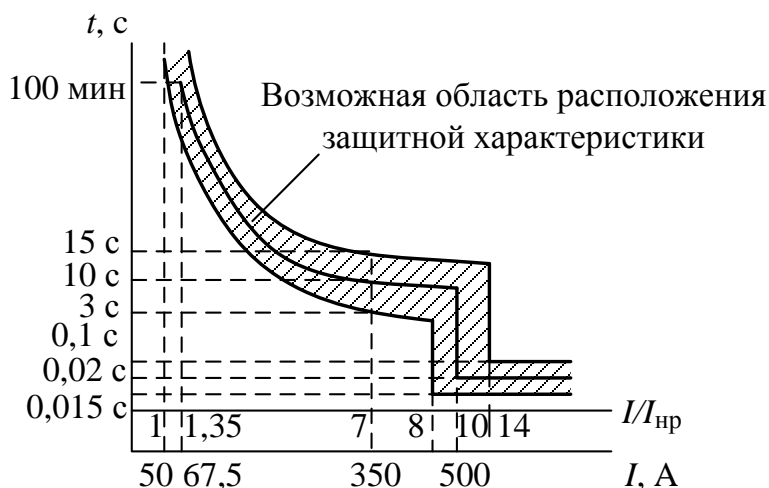
Рассмотрим принцип построения защитных характеристик на примере выключателя ВА 51-31 (см. таблица 2.3. и рис. 2.13) со следующими параметрами:

$$I_{нр} = 50 \text{ А}; \quad I_{со}/I_{нр} = 10; \quad I_{сп}/I_{нр} = 1,35.$$

Таблица 2.3

#### **Технические характеристики выключателей переменного тока с комбинированным расцепителем**

Тип	$I_n$ , А	$I_{нр}$ , А	$I_{со} / I_{нр}$	$I_{сп} / I_{нр}$	ПКС, кА		ОПКС, кА	
					ВА51	ВА52	ВА51	ВА52
ВА 51 - 31 ВА 52 - 32	100	16	3;7; <b>10</b>	<b>1,35</b>	4,5	13	6	30
		20;25			5	13		
		31,5;40			6	16		
		<b>50</b> ;63			6	20		
		80;100		1,25	6	28		
ВА51 - 33	160	80;100	10	1,25	12,5	30	15	38
ВА52 - 33		125;160				38		



**Рис. 2.13. Принцип построения защитной характеристики автоматического выключателя с комбинированным расцепителем**

1. Строим координатные оси: времени  $t$ , кратности токов  $I/I_{нр}$  и ось тока в именованных единицах  $I$ , А.

2. Отмечаем заданные кратности токов 1-1,35-10 и рассчитываем уставку тока срабатывания при перегрузке  $I_{сп}$  и уставку тока срабатывания отсечки (при коротком замыкании)  $I_{со}$  :

$$I_{сп} = 50 \cdot 1,35 = 67,5 \text{ А}, \quad I_{со} = 50 \cdot 10 = 500 \text{ А}.$$

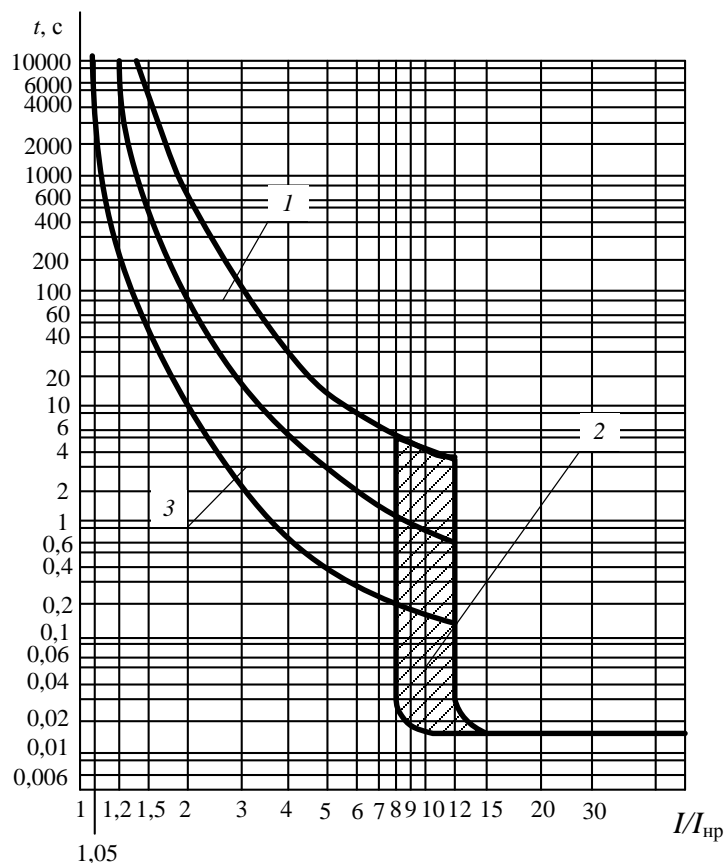
3. Отмечаем время:

- время срабатывания при перегрузке около 100 мин;
- при семикратном токе  $t = 3 \div 15$  с;
- время срабатывания электромагнитного расцепителя при токах КЗ составляет по техническим характеристикам 0,02 с.

4. Обозначаем зону неустойчивости срабатывания электромагнитного расцепителя: неустойчивость тока срабатывания отсечки по техническим характеристикам ( $I/I_{нр} = 8$ ,  $I/I_{нр} = 14$ ), неустойчивость времени срабатывания – 0,015÷0,1 с.

Заштрихованная область - это область возможного расположения защитной характеристики автоматического выключателя. Данная характеристика получается в том случае, если каждую экспериментальную точку мы получаем с холодного состояния биметаллической пластины. Фактически при протекании тока нагрузки она находится в нагретом состоянии, поэтому реальная характеристика будет проходить несколько ниже. На рис. 2.14 изображена паспортная защитная характеристика выключателей типа ВА51-39, ВА52-39.





**Рис. 2.14. Паспортная защитная характеристика автоматических выключателей типа BA51-39, BA52-39:**

1– времятоковая характеристика с холодного состояния, 2– времятоковая характеристика с нагретого состояния, 3– зона работы электромагнитного расцепителя тока при переменном токе

#### *Техническое описание работы расцепителей тока и напряжения*

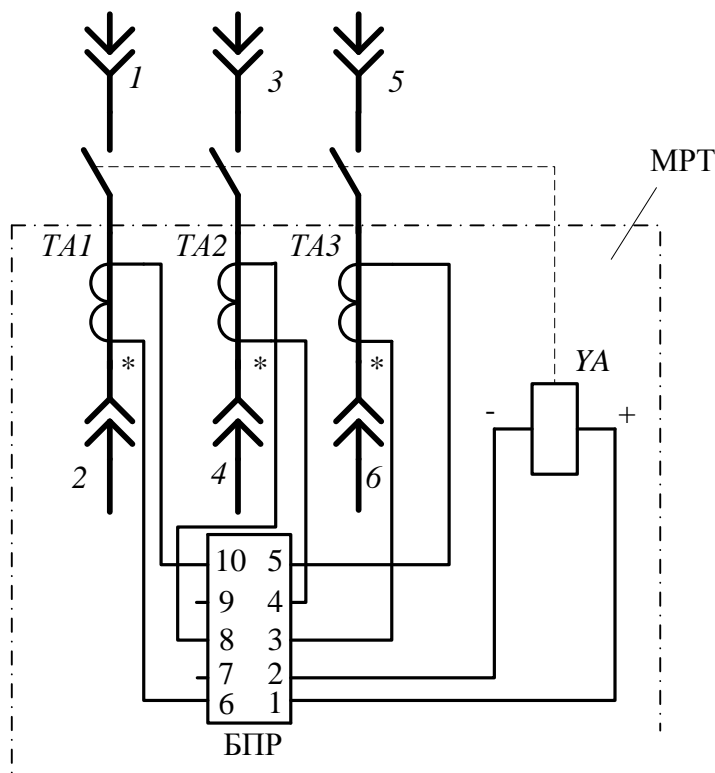
Включенный автоматический выключатель в нормальном режиме длительно проводит ток в защищаемой цепи. Если в защищаемой цепи хотя бы одного полюса ток достигает величины, равной или превышающей значение уставки по току срабатывания максимальных расцепителей тока в зоне токов перегрузки или короткого замыкания, то срабатывает соответствующий максимальный расцепитель и выключатель отключает защищаемую цепь независимо от того, удерживается ли рукоятка выключателя во включенном положении или нет.

У выключателей токоограничивающего исполнения BA53-41 максимальными расцепителями тока являются полупроводниковые (электронные) и электромагнитные расцепители, а у выключателя типа BA55-41 – только полупроводниковые.

Электромагнитный расцепитель (ЭМР) устанавливается в каждом полюсе выключателя. Расцепитель представляет собой серийный электромагнит (ЭММ последовательного включения), состоящий из сердечника, якоря и удерживающей пружины. Расцепитель настраивается предприятием-изготовителем на фиксированную уставку по току срабатывания и в условиях эксплуатации не регулируется.

Полупроводниковый расцепитель состоит из блока полупроводниковых реле (БПР), измерительных элементов, встраиваемых в каждый полюс выключателя, стабилизатора тока (для выключателей постоянного тока) и исполнительного электромагнита.

В качестве измерительных элементов у выключателей переменного тока применены трансформаторы тока, а у выключателей постоянного тока – магнитные усилители. Принципиальная схема АВ изображена на рис. 2.15.



**Рис. 2.15. Принципиальная схема выключателя переменного тока с полупроводниковым (электронным) расцепителем:**

МРТ – максимальный расцепитель тока; БПР – блок полупроводниковых расцепителей;

УА – исполнительный электромагнит

БПР представляет собой самостоятельный несменный блок, имеющий пластмассовый кожух, в котором размещены все его элементы, БПР крепится к корпусу двумя винтами. На лицевой стороне БПР расположена прозрачная съемная крышка. Под крышкой расположены гнезда «Тест» для проверки работоспособности полупроводникового расцепителя. Под крышкой также расположены переключатели для регулирования параметров (уставок тока и времени) полупроводникового расцепителя в условиях эксплуатации.

Питание БПР у выключателей переменного тока осуществляется от трансформаторов тока.

При возникновении в защищаемой цепи тока, равного или превышающего уставку по току срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне токов перегрузки, полупроводниковый расцепитель с обратной зависимой от тока выдержкой времени выдает сигнал на срабатывание исполнительного электромагнита УА.

При возникновении в защищаемой цепи тока, равного или превышающего уставку по току срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне токов короткого замыкания  $I_m(I_{co})$ , полупроводниковый расцепитель выдает команду на срабатывание исполнительного электромагнита УА с выдержкой времени в диапазоне до 20 кА действующего значения переменного тока и 30 кА постоянного тока выключателей типа ВА55-41 и до величины уставки ЭМР выключателей ВА53-41. Уставки по току и времени срабатывания устанавливаются переключателями.

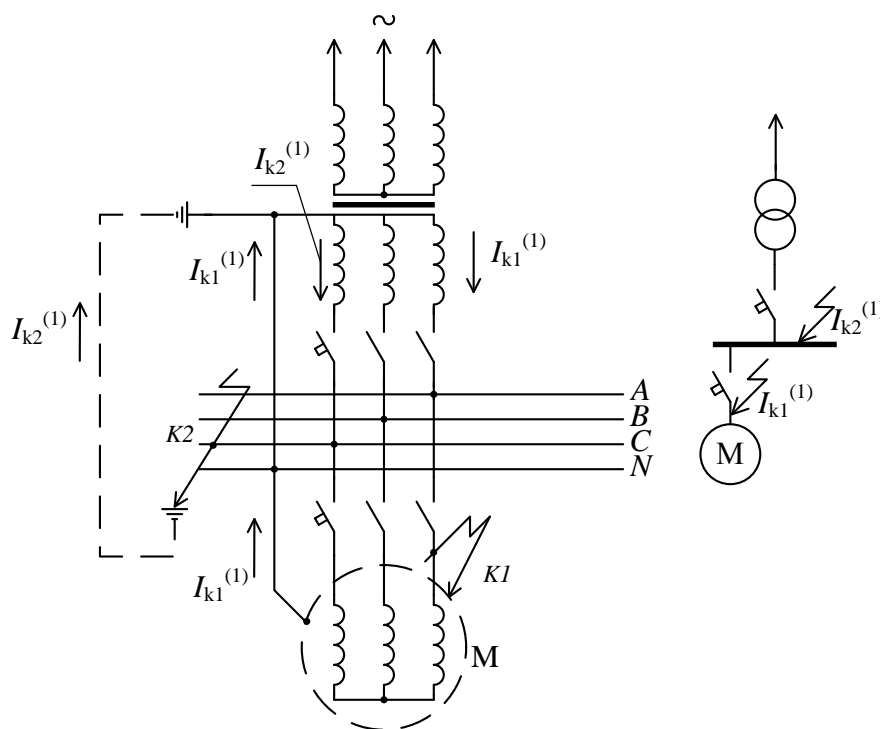
Уставка по времени срабатывания при токе перегрузки переменного тока  $t_r$  ( $t_6$ ) устанавливается переключателем, а постоянного – регулировочной ручкой.

При возникновении однофазного короткого замыкания на землю в цепи выключателя переменного тока с расцепителем с МРТ1, когда ток, протекающий по одному полюсу выключателя, превысит уставку тока срабатывания защиты от однофазных замыканий, кратную номинальному току расцепителя  $I_r$  ( $I_{нр}$ ), блок полупроводникового расцепителя выдает команду на срабатывание исполнительного электромагнита УА.

*Независимый расцепитель (РН)* представляет собой электромагнит с шунтовой катушкой (ЭММ параллельного включения). Независимый расцепитель кинематически связан с механизмом управления и обеспечивает отключение выключателя при подаче на его катушку напряжения. Питание от постороннего источника напряжения подается на катушку независимого расцепителя через замыкающий контакт вспомогательной цепи, что предохраняет катушку независимого расцепителя от длительного нахождения под током.

В выключателях типа ВА53-41 и ВА55-41 в качестве РН служит исполнительный электромагнит УА, связанный с цепью питания через блок БПР.

*Расцепитель (минимального) нулевого напряжения* представляет собой электромагнит, катушка которого подключена на напряжение контролируемой цепи. При наличии напряжения в контролируемой цепи якорь электромагнита притянут к сердечнику. В случае недопустимого снижения напряжения в контролируемой цепи якорь электромагнита под действием пружины отрывается от сердечника и своей массой воздействует на механизм свободного расцепления, вызывая срабатывание выключателя.



**Рис. 2.16. Контур протекания тока однофазного короткого замыкания**

При недопустимом снижении или отсутствии напряжения в контролируемой цепи (в случае неустраненного КЗ) якорь находится в отпущенном положении под действием отталкивающей пружины, чем препятствует включению выключателя.

## **2.6. Выбор автоматических выключателей**

### *Выбор по условиям эксплуатации*

1. Номинальное напряжение автоматического выключателя должно быть не менее напряжения электрической сети, где предполагается установка данного автоматического выключателя.

$$U_{\text{нв(е)}} \geq U_{\text{нс}}. \quad (2.2)$$

2. Номинальный ток расцепителя должен быть не менее расчётного тока сети (максимальный ток, который может длительно проходить по защищаемому участку).

$$I_{\text{нр(н)}} \geq I_{\text{расч}}. \quad (2.3)$$

Ток уставки расцепителя от перегрузки должен быть также не менее расчётного тока, чтобы не допустить ложного срабатывания автоматического выключателя. Для этого в расчетную формулу вводят коэффициенты  $K_p$  и  $K_n$ .

$$I_{\text{сп}} \geq K_p K_n I_{\text{расч}}, \quad (2.4)$$

где  $K_p$  – коэффициент расчета, учитывает погрешность в определении расчетного тока,  $K_p = 1,1$ ;

$K_n$  – коэффициент надёжности, учитывает возможность отклонения защитной характеристики выключателя,  $K_n = 1,1 \div 1,3$ ;

$I_{расч}$  – расчётный ток.

Так как у всех современных выключателей  $I_{сп} = (1,25 \div 1,35)I_{нр}$ , то выполнение условия (2.3) ведёт к автоматическому выполнению условия (2.4), и наиболее чувствительная защита будет обеспечена при условии:

$$I_{нр} = I_{расч}. \quad (2.5)$$

3. Предельно допустимый ток АВ (ПКС) должен быть больше максимального значения тока короткого замыкания, проходящего по защищаемому участку.

$$I_{пред.доп}(ПКС) > I_{к.мах}. \quad (2.6)$$

4. Ток срабатывания отсечки должен быть отстроен от пусковых (пиковых) токов и обеспечивать достаточную чувствительность защиты при минимальных токах короткого замыкания.

$$K_n I_{пуск} < I_{со} < \frac{I_{к min}}{K_ч}, \quad (2.7)$$

где  $K_n$  – коэффициент надёжности;  $K_n = 1,8 \div 2$  при защите электрических двигателей, учитывает неточность определения пускового тока,  $K_n = 1,5$  – для всех других цепей учитывает неточность определения пикового тока.

$K_ч = \frac{I_{к min}}{I_{со}}$  – коэффициент чувствительности;  $K_ч \geq 1,43 \div 1,5$  и учитывает неточность определения минимальных токов короткого замыкания и возможный разброс токов срабатывания отсечки.

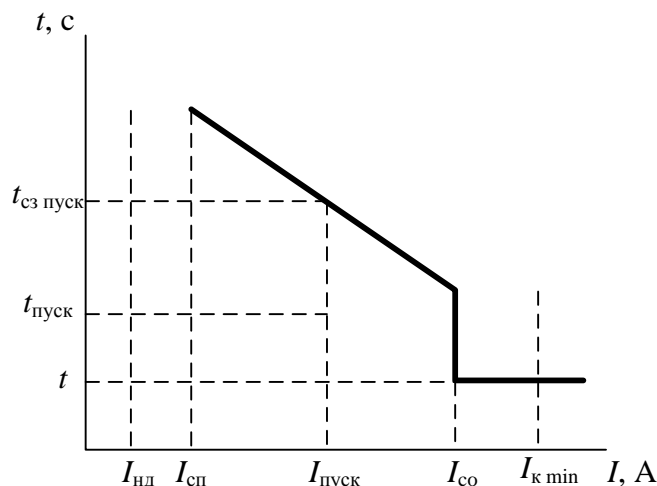


Рис. 2.17. Проверка чувствительности защиты

5. Для автоматических выключателей с защитой в области перегрузок.

Время срабатывания защиты при пусковом токе должно быть больше времени пуска двигателя.

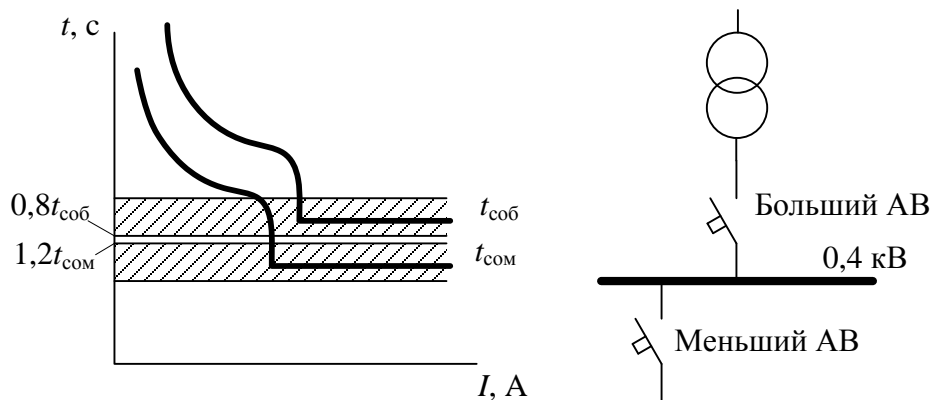
$$t_{сз.пуск} \geq 1,5t_{пуск}. \quad (2.8)$$

#### *Выбор по условиям селективности*

Так как реальное время срабатывания автоматических выключателей может отклоняться на 20 % в обе стороны от паспортной защитной характеристики, то условие селективности для двух последовательно включенных выключателей записывается следующим образом:

$$0,8t_{собр} > 1,2t_{сომ}; \quad t_{собр} > 1,5t_{сომ}, \quad (2.9)$$

где  $t_{собр}$ ,  $t_{сომ}$  – соответственно время срабатывания отсечки АВ, находящегося ближе к источнику (большой АВ) и находящегося дальше от источника (меньший АВ).



**Рис. 2.18. Выбор автоматических выключателей по условиям селективности**

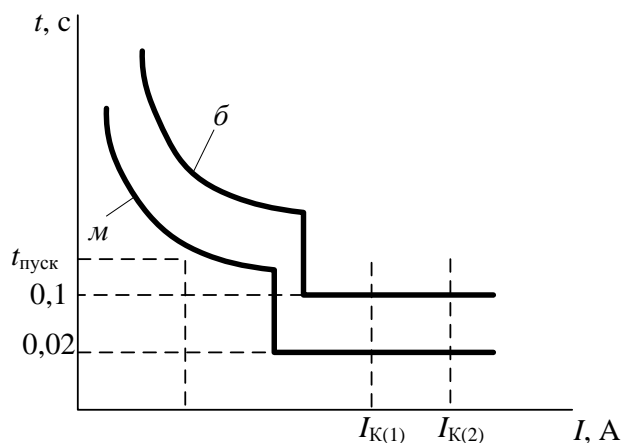
Для ответственных потребителей условие выбора по селективности записывается следующим образом:

$$t_{собр} > t_{сომ} + \Delta t, \quad (2.10)$$

где  $\Delta t$  – ступень селективности, которая зависит от трех причин:

- а) время инерционного выбега – это время, в течение которого возможно отключение автоматического выключателя после прекращения тока короткого замыкания.
- б) время запаса – это время, которое определяется конструктивными особенностями АВ.
- в) неточность расчета тока КЗ в месте установки АВ.

$\Delta t = 0,1 \div 0,15$  для выключателей ВА, АЗ700, Электрон;  $\Delta t = 0,15 \div 0,2$  для выключателей АВМ. Более точно  $\Delta t$  выбирается по техническим характеристикам соответствующих типов АВ.



**Рис. 2.19. Проверка селективности защиты**

У выключателя, находящегося в схеме электроснабжения у электроприемника, степень селективности никогда не вводится, он обязан отключить поврежденный участок мгновенно. У следующего за ним АВ время срабатывания отсечки выбирается минимальным (обычно 0,1с). Общее требование - отключение тока КЗ с минимальным временем и по возможности селективно. Поэтому в некоторых случаях условиями селективности отключения пренебрегают.

В табл. 2.3 приведён пример проверки технических характеристик и выбранных уставок для выключателя ВА 51-31.

Таблица 2.3

**Проверка выбора выключателя**

Условие проверки	Расчётное выражение	Численное значение проверки
1. Соответствие номинальному напряжению сети	$U_{нв} \geq U_{нс}$	660 В > 380 В
2. Соответствие номинальному току электродвигателя	$I_{нр} \geq I_{нд}$	63 > 56
3. Стойкость при КЗ	$ПКС \geq I_{к}^{(3)}$	6 кА > 4,35 кА
4. Отстройка от пусковых токов и проверка чувствительности при минимальных токах к.з.	$K_n I_{пуск} < I_{со} < I_{к}^{(1)} / K_{ч}$	200 < 630 < 2000
5. Отстройка от времени пуска	$t_{сзп} > 1,5 t_{пуск}$	20с > 15с
6. Проверка селективности	$t_{соб} > t_{сом}$	0,1 > 0,02

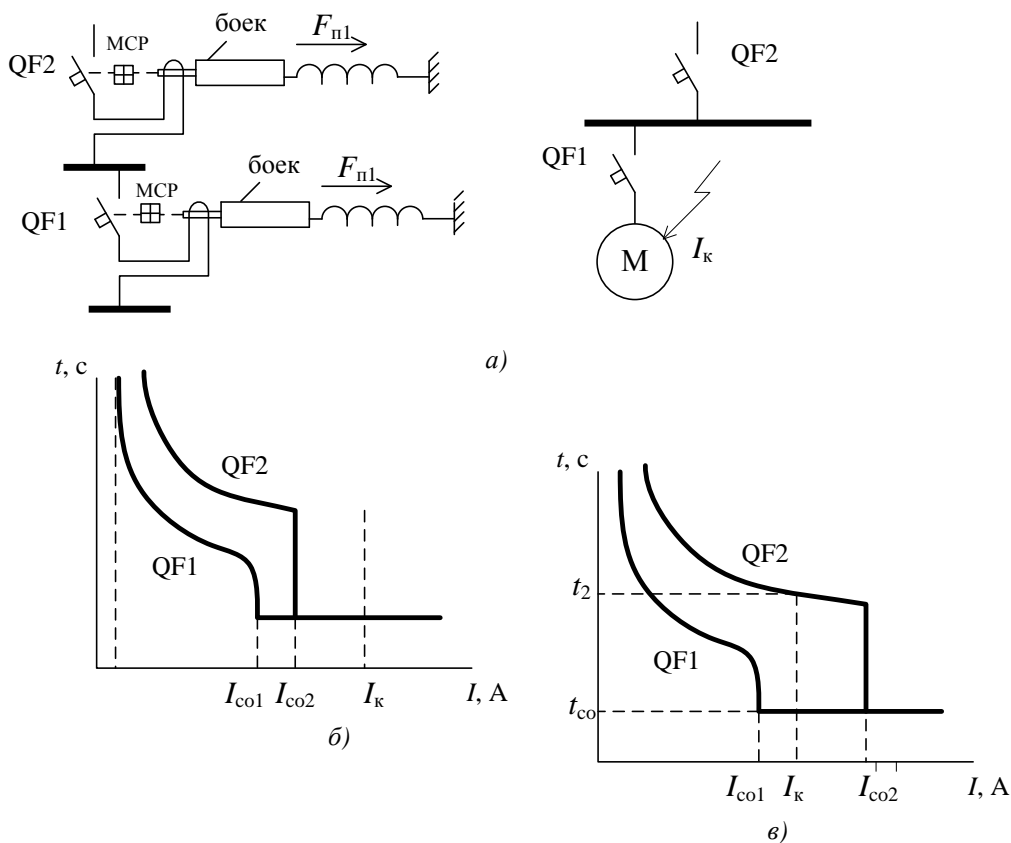
## **2.7. Особенности выполнения защиты автоматическими выключателями**

### *Анализ времятоковых характеристик автоматических выключателей с комбинированными расцепителями*

В системе электроснабжения (см. рис 2.20,а) для защиты электроприёмников используются, как правило, автоматические выключатели с комбинированными расцепителями. Они являются неселективными, то есть отключают токи короткого замыкания без выдержки времени. Это идёт в

полном соответствии с ПУЭ, которое требует отключения токов короткого замыкания с минимальным временем.

Электромагнитный расцепитель срабатывает без выдержки времени после того, как ток короткого замыкания достигнет тока уставки ( $I_{co}$ ). Поэтому селективность между последовательно включёнными автоматическими выключателями не может быть обеспечена для наиболее распространённого случая, когда ток короткого замыкания ( $I_{кз}$ ) в конце линии, защищённой более удалённым от источника питания автоматическим выключателем (QF1), будет больше, чем ток  $I_{co2}$  автоматического выключателя (QF2), расположенного ближе к источнику питания. При этом у обоих расцепителей бойки (якори) электромагнитных механизмов успевают ударить по планке МСР, после чего отключение автоматического выключателя неизбежно в независимости от того, протекает по ним ток или нет. Боёк ударяет за время 0,005 с.



**Рис. 2.20. Пример обеспечения селективности защиты:**

а) схема защиты; б) неселективная защита; в) селективная защита

Защита будет действовать селективно в случае, когда ток короткого замыкания в конце линии, защищённой более удалённым от источника питания автоматическим выключателем, будет меньше, чем уставка тока  $I_{co}$  автоматического выключателя, расположенного ближе к источнику питания.

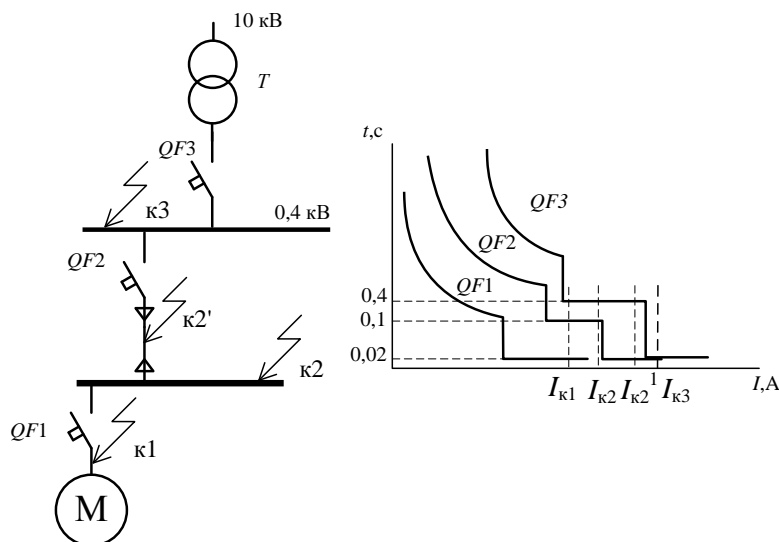
$$I_k < I_{co2}. \quad (2.11)$$

Этот случай получил название – селективность по току.



### Трехступенчатые времятоковые характеристики

Таковыми характеристиками обычно обладают автоматические выключатели с электронным (полупроводниковым) расцепителем. Они устанавливаются на трансформаторных подстанциях в качестве вводных выключателей для сборных шин и выключателей, отходящих от сборных шин.



**Рис. 2.21. Трехступенчатые защитные характеристики:**

$QF3$  – вводной АВ,  $QF2$  – отходящий (линейный) АВ,  $QF1$  – конечный в схеме электроснабжения АВ

При КЗ в точке К1 ( $I_{к1}$ ) первым должен отключиться  $QF1$  с минимальным временем, а  $QF2$  резервирует защиту электрической сети и отключит ток  $I_{к1}$  (если  $QF1$  не сработает) за время, равное ступени селективности – 0,1с. При «близких» к  $QF2$  коротких замыканиях ( $I_{к2}^1$ ) выдержка времени не требуется и  $QF2$  отключается мгновенно за счет наличия третьей ступени в защитной характеристике. Аналогично работает  $QF3$ , т.е. резервирует предыдущую защиту ( $QF2$ ) при удаленных токах КЗ и срабатывает мгновенно при «близких» КЗ ( $I_{к3}$ ).

*Координация: энергетическая, логическая и динамическая селективность*

Координация (координация рабочих характеристик аппаратов защиты при любых типах повреждений) – это последовательное соединение двух или нескольких аппаратов защиты, чтобы обеспечить селективность при сверхтоках и резервную защиту.

Резервная защита позволяет использовать аппараты защиты с отключающей способностью ниже, чем расчетный ток КЗ в точке его установки, учитывая, что другое устройство защиты с необходимой отключающей способностью имеется на стороне питания. В таком случае характеристики этих устройств должны согласовываться так, чтобы значение удельной энергии ( $I^2t$ ), пропускаемой устройством на стороне питания, было выше выдерживаемого без повреждения устройства на стороне нагрузки и защищаемых линий. Защита происходит следующим образом. Короткое

замыкание фиксируют оба расцепителя, но у выключателя, расположенного «выше» по схеме, ток КЗ вызывает отталкивание контактов выключателя, ограничивая тем самым «удар» тока (из-за наличия дуги между контактами), поэтому АВ, установленные «ниже» по сети, могут обладать отключающей способностью меньшей, чем значения ожидаемого тока КЗ. Такое резервирование наиболее часто применяется в «середине» схемы электроснабжения для устройств распределения электроэнергии (вводной выключатель – сверхтокоограничивающий АВ, а отходящие от шин выключатели – нормальные быстродействующие АВ с меньшей отключающей способностью, чем расчетный ток на сборных шинах).

Селективность действия защитных устройств заключается в отключении от сети лишь того электроприемника или линии, в котором произошло повреждение (и никаких других), обеспечивая тем самым максимальный уровень бесперебойности электроснабжения. Селективность называется *полной* только в том случае, если срабатывает и остается в отключенном положении лишь тот выключатель, который расположен ближе всех остальных по ходу распространения электроэнергии к месту возникновения аварийной ситуации. Селективность называется *частичной*, если выполнение вышеуказанного условия не обеспечивается при величинах аварийного тока, превышающих определенное значение.

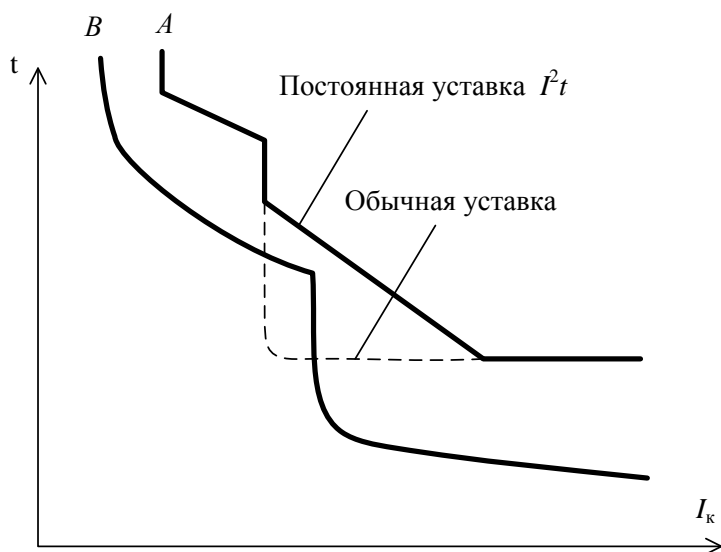
В электрических распределительных сетях возникают сверхтоки называемые перегрузкам или короткими замыканиями. Анализ селективности проводится отдельно для каждого вида сверхтока. Для селективной работы автоматических выключателей при перегрузках нужно, чтобы номинальный ток ( $I_n$ ) автоматического выключателя со стороны питания был больше номинального тока автоматического выключателя со стороны потребителей. Добиться полной селективной работы автоматических выключателей при КЗ сложнее, а иногда невозможно (при использовании АВ с термоманитными расцепителями). Проверка возможности селективной работы производится при расчетном токе КЗ по специальным таблицам, которые имеются в каталогах фирм производителей оборудования.

У выключателей с электронным расцепителем селективность обеспечивается задержкой времени срабатывания «вышестоящего» выключателя. Эти аппараты согласно ГОСТ Р 50030.02 (МЭК 60947.2) относятся к категории применения «В», для которой нормируется величина кратковременно допустимого тока КЗ  $I_{cw}$ . Это позволяет данным аппаратам срабатывать с заданной выдержкой времени, которая устанавливается на блоке управления электронным расцепителем. Таким образом, он будет обеспечивать временную селективность с нижестоящими аппаратами при токах КЗ вплоть до значения предельной отключающей способности  $I_{cu}$ . Задача разработчика и производителя АВ заключается в том, чтобы  $I_{cu}$  и  $I_{cw}$  имели близкие значения. При этом не менее важно, чтобы рабочая отключающая способность аппарата  $I_{cs}$  была равна предельной  $I_{cu}$ , т.е.  $I_{cs} = 100\% I_{cu}$ . Это позволяет аппарату не менее трех раз отключать ток КЗ, равный предельной отключающей способности автоматического выключателя.

Динамическая селективность применяется для повышения селективности АВ с электронным (полупроводниковым) расцепителем, для этого переключатель селективности может быть установлен в положение *High* (высокое значение). Это гарантирует селективность такого автоматического выключателя по отношению к другому, нижестоящему, переключателю селективности которого установлен в положение *Low* (низкое значение).

Логическая селективность (зонная селективность) реализуется между аппаратами, объединенными специальной связью (локальной вычислительной сетью), и наиболее часто применяется в начале схемы электроснабжения. Это функция также электронных расцепителей, которая заключается в том, что вышестоящий АВ «зафиксировав» сверхток, но не получивший от нижестоящего сигнала о возникновении КЗ и начале его отключения, «считает» что КЗ происходит между ними и отключается мгновенно, без учета уставок времени своего расцепителя. Назначение – улучшение защиты сборных шин подстанций и НКУ.

Селективность улучшается при использовании АВ с электронными расцепителями, в которых можно выбрать функцию  $I^2t = const$ , что позволяет избежать наложения защитных характеристик (см. рис. 2.22).



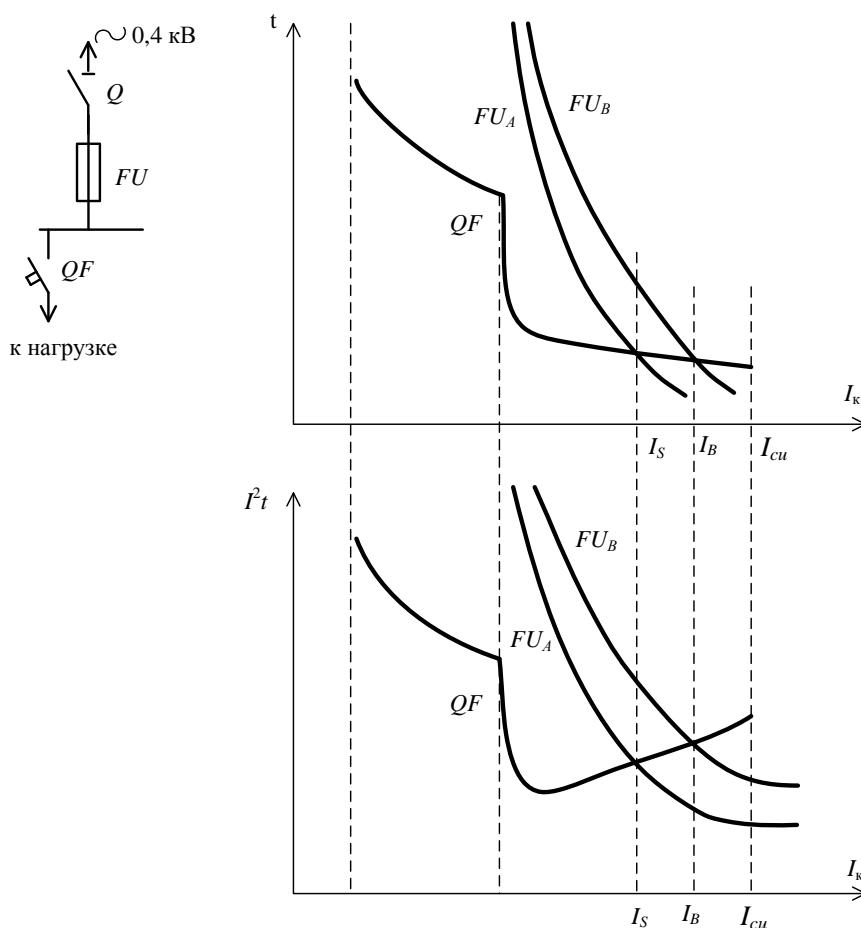
**Рис. 2.22. Координация характеристик автоматических выключателей при введении уставки  $I^2t = const$**

В конце системы электроснабжения часто выполняется псевдовременная селективность путем использования там токоограничивающего выключателя, который обладает способностью ограничивать величину тока, создавая падение напряжения на возникающей дуге между контактами, а также скорость отключения такого АВ возрастает с увеличением тока КЗ.

Энергетическая селективность является обобщенной модификацией псевдовременного способа обеспечения селективности. Селективность будет полной, если поток энергии при всех токах КЗ, который пропускает через себя АВ, расположенный «ниже» по сети, будет меньше, чем ток, требуемый для

срабатывания расцепителя АВ, расположенного «выше» по сети (см. аналогичные рассуждения для селективности предохранителей на рис.1.11.). Так как отключения происходят за время меньшее половины периода (10мс для промышленной частоты), то для анализа используются не времятоковые характеристики, а интегральные характеристики  $I^2t$  в функции тока короткого замыкания (см. рис.2.11.). И если интегральная характеристика «нижестоящего» выключателя будет располагаться ниже интегральной характеристики «вышестоящего» выключателя, построенной в тех же осях координат, то селективность будет полной.

Еще один из способов обеспечения селективности – это применение в цепи питания плавких предохранителей. При правильно рассчитанной системе координации отключающих устройств (для всех возможных значений сверхтока вплоть до номинальной предельной отключающей способности  $I_{cu}$ ) отключение производит только автоматический выключатель. Если значение ожидаемого аварийного тока больше  $I_{cu}$ , следует так подобрать характеристику предохранителя, чтобы обеспечить  $I_B < I_{cu}$  (см. рис.2.23)



**Рис. 2.23. Координация характеристик плавкого предохранителя и автоматического выключателя:**

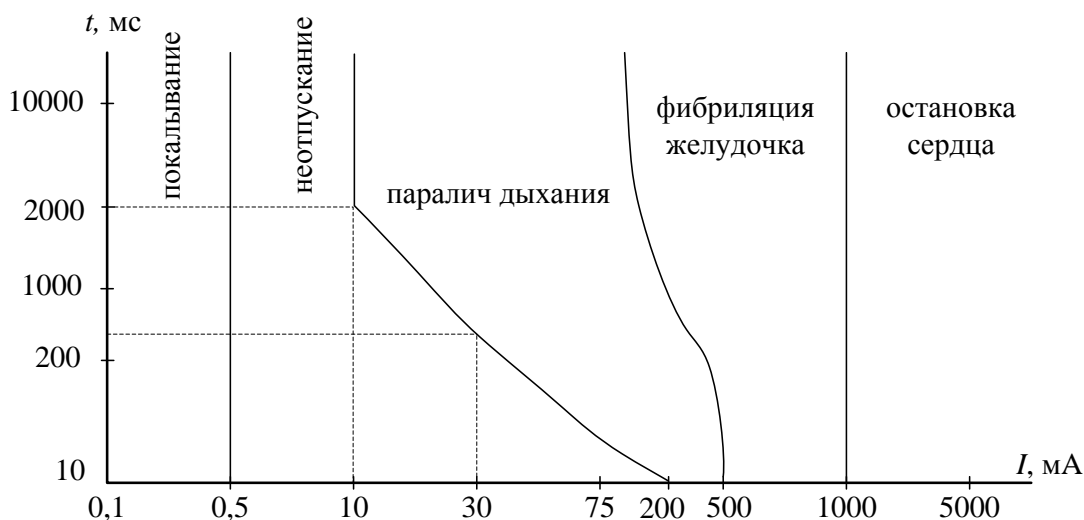
$I_k$  – ожидаемый ток короткого замыкания,  $I_S$  – предельный ток селективности,  $I_B$  – ток координации,  $I_{cu}$  – номинальная предельная отключающая способность автоматического выключателя,  $FU_A$  – преддуговая характеристика плавкого предохранителя,  $FU_B$  – рабочая характеристика плавкого предохранителя,  $QF$  – рабочая характеристика автоматического выключателя

### 3. Дифференциальные выключатели и дифференциальные автоматические выключатели

#### 3.1. Общие сведения

Дифференциальные выключатели и дифференциальные автоматические выключатели относятся к устройствам защитного отключения (УЗО) и предназначены для защиты людей и животных от поражения электрическим током при случайном прикосновении к неизолированным токоведущим частям или корпусам электрооборудования, оказавшимся под напряжением вследствие нарушения изоляции, а также для защиты имущества от теплового воздействия.

На рис. 3.1. приведены последствия влияния электрического тока на организм человека в виде силы тока и времени его протекания. Ток до 0,5 мА человеком почти не ощущается. Ток до 10 мА ощущается, но опасных последствий не имеет. Ток в 200 мА при кратковременном воздействии не вызывает органических повреждений, но при воздействии дольше 2с может спровоцировать рефлекторное сокращение мышц, находящихся в непосредственном контакте с источником тока (явление «неотпускания провода»), затруднение дыхания, судороги и даже паралич мышц, а также фибрилляцию сердца. Ток более 500 мА даже при кратковременном влиянии на человека приводит к наиболее печальным последствиям – параличу мышц грудной клетки (остановке дыхания) или сердечных мышц и, следовательно, летальному исходу. Оба вида паралича могут быть как результатом непосредственного прохождения тока через область грудной клетки, так и рефлекторными – ответной реакцией нервной системы на протекание тока через любую область организма.



**Рис.3.1. Последствия влияния электрического тока на организм человека**

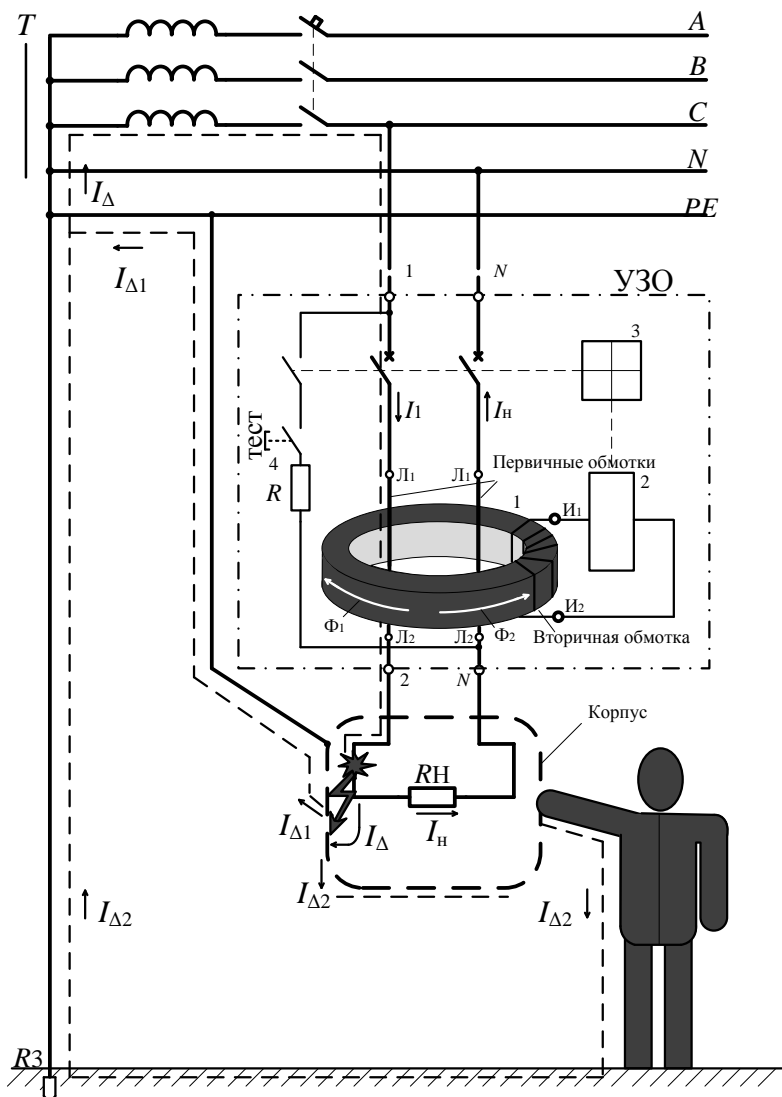
$I$  — сила тока, протекающего через тело человека в миллиамперах,

$t$  — длительность воздействия в миллисекундах

Таким образом, необходим аппарат, который отключит электроустановку при токах утечки более 10-30мА за время менее 300мс.

## Принцип действия УЗО

Устройство защитного отключения является быстродействующим защитным выключателем, автоматически отключающим от сети контролируемую электроустановку в случае возникновения в ней однофазного или трехфазного тока утечки. УЗО реагирует на дифференциальный ток в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке. Например, для однофазной нагрузки дифференциальным током будет являться разность токов в прямом и обратном проводнике (см. рис. 3.2).



### Рис.3.2. Принцип действия устройства защитного отключения

1 – дифференциальный трансформатор тока; 2 – пусковой орган (пороговый элемент);  
3 – исполнительный механизм; 4 – цепь тестирования.

С точки зрения электробезопасности УЗО принципиально отличаются от устройств защиты от сверхтока (предохранителей) тем, что предназначены именно для защиты от поражения электрическим током, поскольку они срабатывают при утечках тока 0,01-0,3А за время не более 25-40 мс, что значительно меньше, чем у предохранителей (обычно от 2 А и более для бытовых предохранителей, что во много раз превышает смертельное для

человека значение). УЗО должны срабатывать до того, как электрический ток, проходящий через организм человека, вызовет фибрилляцию сердца – наиболее частую причину смерти при поражениях электрическим током.

В российских стандартах и литературе встречаются следующие наименования УЗО: 1) устройство защитного отключения; 2) выключатели управляемые дифференциальным током без встроенной защиты от сверхтоков; 3) выключатели дифференциального тока (ВДТ); 4) дифференциальные выключатели нагрузки.

УЗО реагирует на дифференциальный ток в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке, поэтому в абсолютном большинстве УЗО, производимых и эксплуатируемых в настоящее время во всем мире, в качестве датчика дифференциального тока используется дифференциальный трансформатор тока  $I$  (рис. 3.2.).

В нормальном режиме, при отсутствии дифференциального тока (тока утечки), в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока  $I$ , протекают рабочие токи нагрузки  $I_1$  и  $I_2$ , равные между собой по модулю, но векторно противоположно направленные. Данные токи наводят в магнитном сердечнике встречные магнитные потоки. Результирующий магнитный поток при работе в нормальном режиме равен нулю, следовательно, ток во вторичной обмотке также равен нулю. Вся система находится в состоянии покоя.

При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприемника, на который произошел пробой изоляции, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки протекает дополнительный ток – ток утечки, являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным).

Неравенство токов в первичных обмотках вызывает неравенство магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока. Если этот ток превышает значение уставки порогового элемента пускового органа, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм.

Пороговый элемент выполняется, как правило, на чувствительных магнитоэлектрических реле прямого действия (устройства защитного отключения вида дифференциальный выключатель) или электронных компонентах (дифференциальные автоматы).

Исполнительный механизм, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается.

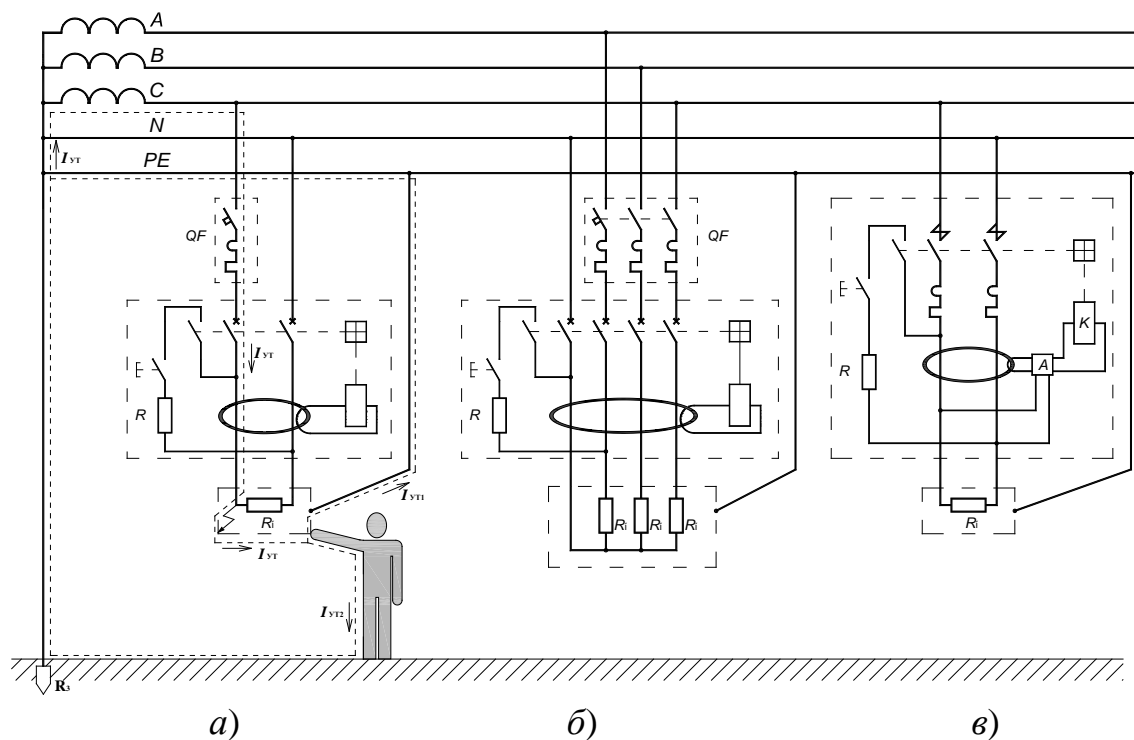
Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования. При нажатии кнопки «Тест» искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание устройства означает, что оно в целом исправно.

Для электромеханических устройств защитного отключения (рис. 3.2, 3.3, а, б) источником энергии, необходимой для функционирования, –

выполнения защитных функций, включая операцию отключения, является сам сигнал – дифференциальный ток, на который реагирует устройство.

Механизм электронного УЗО (рис. 3.3,в) для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника. Применение устройств, функционально зависящих от напряжения питания, должно быть ограничено в силу их меньшей надежности. Однако основной причиной меньшего распространения таких устройств является их неработоспособность при часто встречающейся и наиболее опасной (по условиям вероятности электропоражения) неисправности электроустановки, а именно: при обрыве нулевого проводника в цепи до устройства по направлению к источнику питания. В этом случае, электронное УЗО, не имея питания, не функционирует, а на электроустановку по фазному проводнику выносится опасный для жизни человека потенциал.

В конструкции электронных УЗО, производимых в США, Японии, Южной Корее и в некоторых европейских странах, как правило, заложена функция отключения от сети защищаемой электроустановки при исчезновении напряжения питания. Эта функция конструктивно реализуется с помощью электромагнитного реле, работающего в режиме самоудерживания. Силовые контакты реле находятся во включенном положении только при протекании тока по его обмотке (аналогично магнитному пускателю). При исчезновении напряжения на вводных зажимах устройства якорь реле отпадает, при этом силовые контакты размыкаются, защищаемая электроустановка обесточивается. Подобная конструкция УЗО обеспечивает гарантированную защиту от поражения человека в электроустановке и в случае обрыва нулевого проводника.



**Рис.3.3. Схемы включения устройств защитного отключения:**  
а, б – электромеханические (защищены от токов КЗ и перегрузки автоматом  $QF$ ),



*в* – электронное (с встроенной защитой от токов КЗ и перегрузки)

Устройство защитного отключения (электромеханическое) включается последовательно с автоматическим выключателем, при этом номинальный ток выключателя рекомендуется выбирать на ступень ниже номинального тока УЗО. Дифференциальный автомат (электронное УЗО) имеет встроенную защиту от перегрузки и тока КЗ (рис. 3.3, *в*).

### 3.2. Защитные характеристики

Защитной характеристикой УЗО называют зависимость времени отключения от кратности дифференциального тока  $K$  (отношение реально существующего дифференциального тока в электрической цепи  $I_{\Delta}$  к номинальному отключающему дифференциальному току  $I_{\Delta n}$ ).

На рис. 3.3 изображена защитная характеристика дифференциального выключателя, анализ которой позволяет сделать следующие заключения:

- характеристика ограничена слева значением номинального неотключающего дифференциального тока, равного половине номинального отключающего дифференциального тока  $I_{\Delta n}$ .
- в диапазоне кратности тока от 0,5 до 1, время отключения УЗО не превышает 0,3с.
- в диапазоне кратности дифференциального тока выше единицы, время срабатывания УЗО составляет от 0,1 до 0,01с, уменьшаясь, при возрастании кратности дифференциального тока.

Паспортная защитная характеристика используется для построения реальной защитной характеристики конкретного образца УЗО при оценке селективности защит нескольких УЗО, применяемых в электроустановках здания. В случае использования селективного УЗО данная характеристика будет поднята на величину заданной ступени селективности.

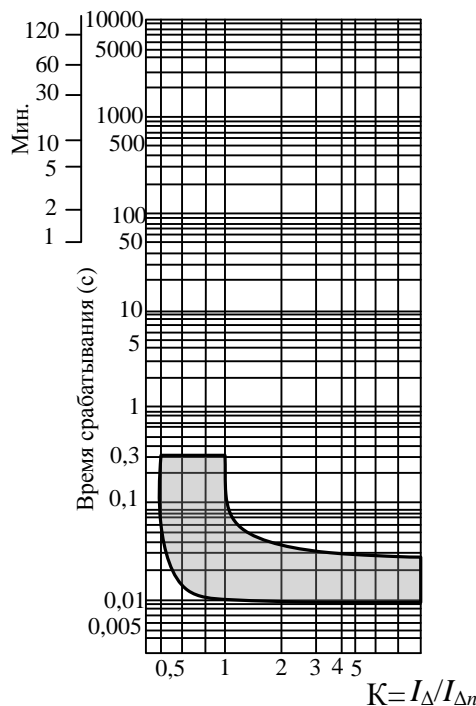
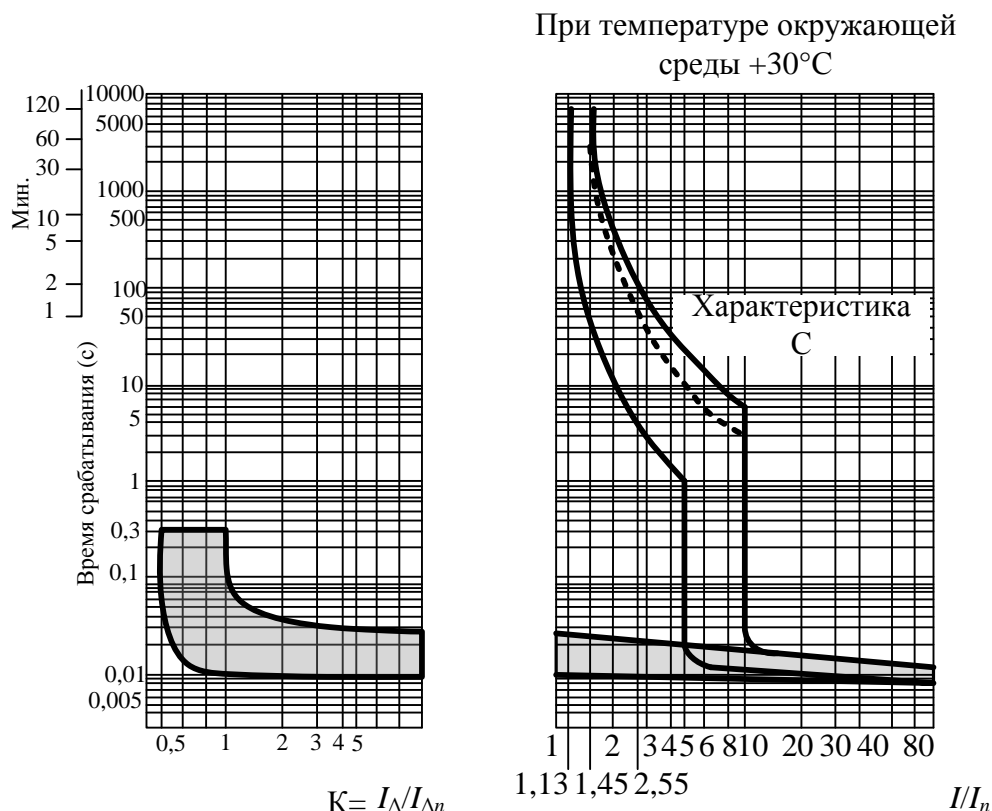


Рис.3.4. Времятоковые характеристики дифференциального выключателя

Реальная характеристика строится на бланке селективности следующим образом: время срабатывания УЗО берется из паспортной характеристики без изменения, кратность дифференциального тока переводится в именованные единицы тока, с использованием формулы:  $I_{\Delta} = K I_{\Delta n}$ .

Защитная характеристика дифференциального автомата приведена на рис. 3.5 и разделена на две области: первая область аналогична защитной характеристике дифференциального выключателя, вторая область включает в себя две защитные характеристики: продолжение защитной характеристики дифференциального выключателя, встроенного в корпус дифференциального автомата и защитной характеристики теплового и электромагнитного расцепителя. Допустимость продолжения данной характеристики обусловлена тем, что ток однофазного короткого замыкания на корпус, является полностью дифференциальным.



**Рис.3.5. Времятоковые характеристики дифференциального автомата:**  
кратность дифференциального тока (слева) и кратность тока нагрузки (справа)

Реальные характеристики дифференциального автомата строятся на бланке селективности следующим образом: время срабатывания УЗО берется из паспортной характеристики без изменения, кратность дифференциального тока переводится в именованные единицы тока, используя формулу:  $I_{\Delta} = K I_{\Delta n}$  кратность номинального тока максимального расцепителя переводится в именованные единицы, используя формулу:  $I = K I_n$ .

### 3.3. Классификация

По техническому исполнению существуют различные виды УЗО, ниже приведена примерная их классификация.

1. По назначению:

а) без встроенной защиты от токов перегрузки и короткого замыкания

(сверхтоков) – дифференциальные выключатели. Они должны включаться последовательно с автоматическим выключателем, номинальный ток расцепителей которого рекомендуется выбирать на ступень ниже номинального тока УЗО (рис. 3.3, а; б, 3.6, а; 3.7, а, б).

- б) со встроенной защитой от сверхтоков (комбинированные УЗО – дифференциальные автоматы). Они различаются по характеристике мгновенного расцепления (тип В, тип С, тип D).

Конструктивной особенностью этих УЗО является то, что механизм размыкания силовых контактов (механизм свободного расцепления) запускается при воздействии на него любого из трех элементов — катушки с сердечником токовой отсечки, реагирующей на ток короткого замыкания, биметаллической пластины, реагирующей на токи перегрузки и магнитоэлектрического расцепителя, реагирующего на дифференциальный ток (рис. 3.6, б; 3.7, в, г).

## 2. По способу управления:

- а) функционально не зависящие от напряжения в электрической сети (электромеханические). Для этих УЗО источником энергии, необходимой для выполнения защитных функций, включая операцию отключения, является сам сигнал – дифференциальный ток (рис. 3.3, а, б; 3.6, а; 3.7, а, б).
- б) функционально зависящие от напряжения (электронные), т.к. напряжение подается для питания электронной схемы. (рис. 3.3, в; 3.6, б; 3.7, в, г).

Электронные УЗО подразделяются:

- устройства, автоматически размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения с выдержкой времени или без нее.
- устройства, не размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения. Имеются также два варианта исполнения устройств этой группы. В одном варианте при исчезновении напряжения устройство не размыкает свои контакты, но сохраняет способность разомкнуть силовую цепь при возникновении дифференциального тока (присутствует независимый источник питания). Во втором варианте, при отсутствии напряжения, устройства неспособны произвести отключение при возникновении дифференциального тока, и это является недостатком данного типа УЗО.

**Внимание!** Механизм электронного УЗО для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника.

## 3. По типу:

- АС – реагирует на переменный синусоидальный дифференциальный ток, возникающий внезапно либо медленно возрастающий;
- А – реагирует на внезапный либо медленно возрастающий переменный синусоидальный дифференциальный ток и пульсирующий постоянный дифференциальный ток;

- $B$  – реагирует на переменный, постоянный и выпрямленный дифференциальный токи;
  - $S$  – селективное устройство (имеет выдержку времени на отключение);
  - $G$  – то же, что и  $S$ , но с меньшей выдержкой времени.
4. По числу полюсов и токовых путей:
- двухполюсные, защищающие две электрические цепи;
  - четырехполюсные, защищающие четыре электрические цепи.
5. По условиям регулирования отключающего дифференциального тока:
- с одним значением номинального отключающего дифференциального тока;
  - с несколькими фиксированными значениями отключающего дифференциального тока.
6. По способу установки:
- для стационарной установки;
  - для подвижной установки (переносные) и шнурового присоединения.
7. По способу защиты от внешних воздействий:
- защищенного исполнения, не требующие для своей эксплуатации защитной оболочки;
  - незащищенного исполнения, для эксплуатации которых необходима защитная оболочка.
8. По способу монтажа: поверхностного, утопленного, панельно-щитового.

### 3.4. Структура условного обозначения

В настоящее время единого стандарта в обозначениях данных устройств нет, поэтому каждый производитель придерживается своего обозначения. Наиболее часто применяется следующая структура условного обозначения:

$$\begin{aligned} & \text{УЗО } XX_1 - X_2 - XX_3 / XX_4 \\ & \text{ВД1 } 63 / X_2 / XX_3 / XX_4 \\ & \text{АД } XX_1 - X_2 - XX_3 / XX_4 \end{aligned}$$

- УЗО – устройство защитного отключения;
- ВД1 – выключатель дифференциальный;
- АД – автомат дифференциальный;
- $XX_1$  – номер разработки;
- $X_2$  – количество полюсов;
- $XX_3$  – номинальный ток нагрузки  $I_n$ , А;
- $XX_4$  – номинальный отключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta n}$ , mA.

### Достоинства электромеханических УЗО

Полная независимость от колебаний напряжения в сети и даже наличия напряжения в сети. Сохраняет работоспособность при исчезновении питания на электроустановке при обрыве нулевого провода или одного из фазных, т.к.

источником энергии необходимой для операции отключения является сам дифференциальный ток.

### *Достоинства электронных УЗО*

#### 1. Наиболее простая конструкция механизма отключения.

- механизм отечественных электронных УЗО состоит из механизма автоматических выключателей, конструкция которых достаточно хорошо отработана, имеет высокую надежность и низкую стоимость.
- механизм расцепителя, управляемого дифференциальным током, в большинстве случаев встроен в выключатель и воздействует на уже существующий механизм размыкания силовых контактов.
- электронные элементы установлены на печатных платах, технология производства которых обеспечивает высокую надежность УЗО при работе в самых суровых климатических условиях.

2. Высокая чувствительность к дифференциальному току, простота регулировки и стабильность тока срабатывания. Это обусловлено электронной схемой усиления сигнала, поступающего с вторичной обмотки измерительного дифференциального трансформатора, и сравнения его с эталонным сигналом, имеющим высокую стабильность. В связи с этим электронные УЗО могут быть выполнены с любым требуемым значением номинального отключающего дифференциального тока, и иметь при этом практически одинаковую стоимость.

#### 3. Получение любых требуемых характеристик.

- без увеличения стоимости могут иметь тип А по условиям функционирования при наличии постоянной составляющей в дифференциальном токе.
- при умеренном увеличении стоимости могут иметь исполнения с выдержкой времени - тип S для обеспечения селективности.
- выполняют ряд дополнительных функций - защиту от временных перенапряжений, защиту от грозовых импульсных напряжений, защиту от повышенной температуры, световую сигнализацию о включенном состоянии и о наличии напряжения в питающей сети, дистанционное управление отключением и т.п.

### *Недостатки электромеханических УЗО*

1. Сложная конструкция устройства, выполненная на основе чувствительного магнитоэлектрического реле прямого действия. К механизму выключателя, имеющему специальное исполнение, вместо печатной платы ставится реле с постоянным магнитом, воздействующим на механизм выключателя, и механизм взвода этого реле.

2. Функцию измерения и сравнения дифференциального тока выполняет реле, повышение чувствительности которого, значительно повышает стоимость устройства:

- ток срабатывания реле имеет большой разброс значений от одного образца к другому и существенно изменяется по мере старения в конце эксплуатации;
- ток срабатывания реле зависит от воздействия магнитных полей в месте размещения УЗО и от температуры окружающего воздуха.

3. Выполнение требований, предъявляемых к УЗО типа *A* и типа *S*, приводит к значительному увеличению их стоимости. Дополнительные функции, как правило, отсутствуют, что связано с усложнением конструкции, чрезмерным удорожанием УЗО и дальнейшим снижением их надежности.

### *Недостатки электронных УЗО*

Зависимость работы от напряжения сети, понижающегося или совсем пропадающего при некоторых авариях в защищаемой электросети.

При этом:

- не функционирует электронный усилитель.
- отсутствует энергия, необходимая для срабатывания автоматического выключателя.

Таким образом, в случае обрыва нулевого проводника до места установки УЗО (или фазного проводника, от которого запитан электронный усилитель) устройство неработоспособно и не защищает контролируемую цепь. Существует опасность поражения человека электрическим током, так как по фазному проводнику через замкнутые контакты УЗО в электроустановку выносится потенциал (то есть, в электроустановке присутствует напряжение относительно земли). Для исключения этого недостатка требуется установка дополнительного устройства контроля напряжения, отключающее УЗО при исчезновении напряжения между фазным и нулевым проводником.

### **3.5. Нормируемые технические параметры**

В настоящее время параметры УЗО нормируются следующими стандартами: ГОСТ Р 50807-95, ГОСТ Р 51326.1-99 и ГОСТ Р 51327.1-99.

*Номинальное напряжение  $U_n$*  – действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО.

$$U_n = 220, 380 \text{ В.}$$

*Номинальный ток  $I_n$*  – значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы.

$$I_n = 6; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 125 \text{ А.}$$

*Номинальная частота  $f_n$*  – промышленная частота, на которую рассчитано УЗО и которой соответствуют значения других характеристик. Существуют и специальные УЗО, рассчитанные на определенный диапазон частот, например: 16–60 Гц, 150–400 Гц.

*Номинальный отключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta n}$*  – значение дифференциального тока, которое вызывает отключение УЗО при заданных

условиях эксплуатации.

$$I_{\Delta n} = 0,006; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 0,5 \text{ A}.$$

*Номинальный неотключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta nO}$*  – значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации.

$$I_{\Delta nO} = 0,5 I_{\Delta n}$$

Анализ определений  $I_{\Delta n}$ ,  $I_{\Delta nO}$  показывает, что УЗО обязано отключать токи равные  $I_{\Delta n}$  и выше и не должно отключать токи равные  $0,5 I_{\Delta n}$  и ниже.

*Предельное значение неотключающего сверхтока  $I_{nm}$*  – минимальное значение неотключающего сверхтока, т.е. способность не реагировать на несимметричные режимы нагрузки.

$$I_{nm} = 6 I_n$$

Сверхток — любой ток, который превышает номинальный ток нагрузки.

*Номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность)  $I_m$*  – действующее значение ожидаемого тока, который УЗО способно включить, пропускать в течение своего времени размыкания и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности. Минимальное значение:  $I_m = 10 I_n$  или 500А (выбирается большее значение).

*Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току  $I_{\Delta m}$*  – действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое УЗО способно включить, пропускать в течение своего времени размыкания и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности.

Минимальное значение:  $I_{\Delta m} = 10 I_n$  или 500А (выбирается большее значение).

*Номинальный условный ток короткого замыкания  $I_{nc}$*  – действующее значение ожидаемого тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от коротких замыканий, при заданных условиях эксплуатации, без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность.  $I_{nc} = 3000; 4500; 6000; 10\,000 \text{ A}$

*Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания  $I_{\Delta c}$*  – действующее значение ожидаемого дифференциального тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от коротких замыканий при заданных условиях эксплуатации без необратимых изменений, нарушающих его работоспособность.

$$I_{\Delta c} = 3000; 4500; 6000; 10\,000 \text{ A}$$

*Номинальное время отключения  $T_n$*  – промежуток времени между моментом внезапного возникновения отключающего дифференциального тока и моментом гашения дуги на всех полюсах.



### 3.6. Технические требования

Режим работы устройства – непрерывный, продолжительный.

1. УЗО должно отключать защищаемый участок сети при появлении в нем тока утечки в диапазоне величин: от номинального дифференциального тока ( $I_{\Delta n}$ ) до номинальной включающей и отключающей способности по дифференциальному току ( $I_{\Delta m}$ ).

2. УЗО не должно отключать защищаемый участок сети при появлении в нем тока утечки, меньшего или равного половине номинального дифференциального тока ( $I_{\Delta n0}$ ).

3. УЗО, функционально не зависящее от напряжения питания, не должно срабатывать при снятии и повторном включении напряжения сети.

4. УЗО не должно производить автоматическое повторное включение.

5. УЗО, функционально не зависящее от напряжения питания, не должно зависеть от наличия напряжения в контролируемой сети и обязано сохранять работоспособность при обрыве нулевого или фазного проводов.

6. УЗО должно срабатывать при нажатии кнопки "Тест" и работоспособность УЗО должна сохраняться при снижении напряжения сети до значения  $0,85 U_n$ .

7. Конструкция контрольного эксплуатационного устройства должна исключать возможность попадания сетевого напряжения в цепь, подключенную к выходным выводам УЗО при нажатии кнопки "Тест" когда УЗО находится в разомкнутом состоянии. Это означает, что тестовая цепь должна быть подключена к входному выводу УЗО через контакт, заблокированный с силовой контактной группой (вспомогательный контакт).

8. УЗО должно быть защищено от токов короткого замыкания последовательно включенным с ним защитным устройством: автоматическим выключателем или предохранителем, номинальный ток которых (номинальный ток расцепителя или ток плавкой вставки) не должен превышать номинальный рабочий ток УЗО.

9. УЗО не должно срабатывать при бросках тока на землю, вызванных включением емкостной нагрузки. Испытания УЗО по этому параметру проводятся импульсом тока с пиковым значением 200А с длительностью фронта 0,5 мкс.

10. УЗО должно быть стойким к импульсам перенапряжений.

Испытания проводятся:

- приложением к фазному и нейтральному (для четырехполюсных УЗО – фазным, соединенным вместе и нейтральному) выводам УЗО пакета импульсного напряжения 6 кВ длительностью не менее 10с;
- приложением к токоведущим частям и основанию УЗО (УЗО закрепляется на металлическом основании) пакета импульсного напряжения 8 кВ длительностью не менее 10с.

Импульсное напряжение получают при помощи генератора, дающего

положительные и отрицательные импульсы длительностью фронта 1,2 мкс.



11. Сопротивление изоляции электрических цепей УЗО в нормальных климатических условиях должно быть не менее 10 МОм.

12. Изоляция электрических цепей УЗО должна выдерживать в течение 1 мин без пробоя и поверхностного перекрытия воздействие испытательного напряжения 2200 В (действующее значение) переменного тока частотой 50 Гц.

13. Согласно ГОСТ Р 51326.1-99, изготовитель должен гарантировать надежную работу УЗО в течение не менее 5 лет с момента ввода в эксплуатацию.

### **3.7. Маркировка и специальные обозначения**

На каждом УЗО должна быть стойкая маркировка с указанием всех или, при малых размерах, части следующих данных.

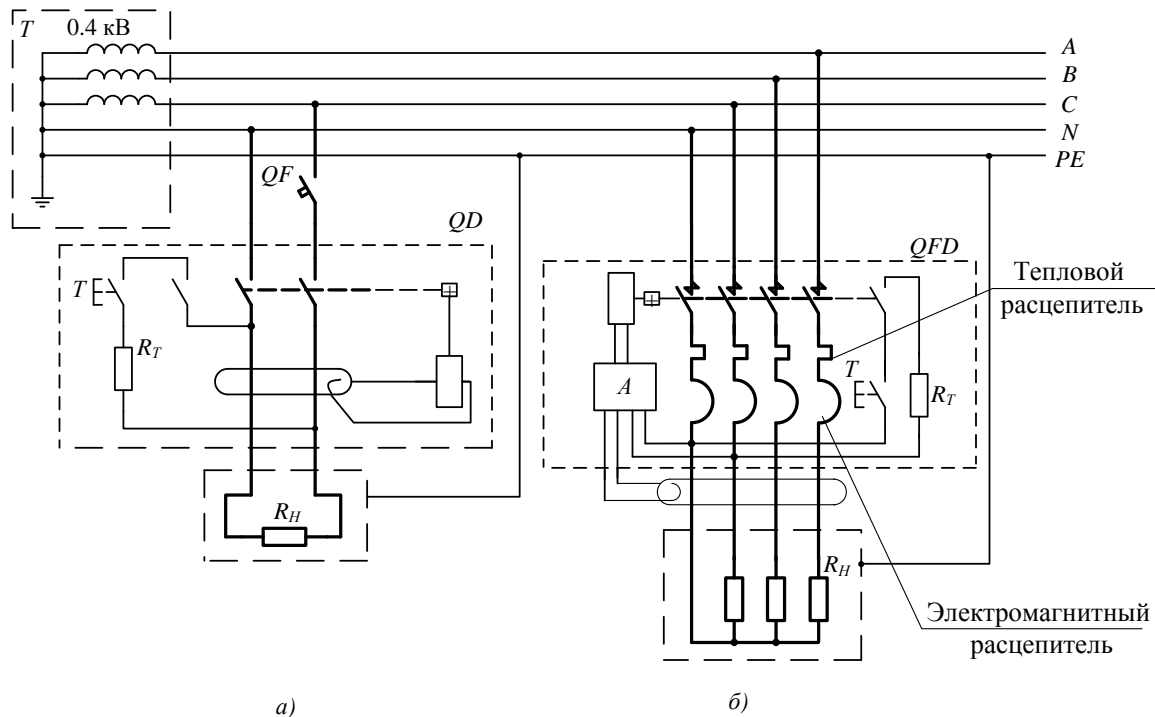
1. Наименование или торговый знак (марка) изготовителя;
2. Обозначение типа, номера по каталогу или номера серии;
3. Номинальное напряжение  $U_n$ ;
4. Номинальная частота, если УЗО разработано для частоты, отличной от 50 и (или) 60 Гц;
5. Номинальный ток нагрузки  $I_n$ ;
6. Номинальный отключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta n}$ ;
7. Номинальная включающая и отключающая коммутационная способность  $I_m$ ;
8. Номинальный условный ток короткого замыкания  $I_{nc}$ ;
9. Степень защиты (только в случае ее отличия от IP20);
10. Символ [S] для устройств типа S, [G] для устройств типа G;
11. Указание, что УЗО функционально зависит от напряжения сети, если это имеет место (электронные УЗО);
12. Обозначение органа управления контрольным устройством – кнопки "Тест" – буквой Т;
13. Схема подключения;
14. Тип дифференциального тока, на который реагирует УЗО: AC – символ , A – символ 
15. Выводы, предназначенные исключительно для соединения цепи нулевого рабочего проводника, должны быть обозначены буквой "N".
16. Стандартные значения температуры окружающей среды (-5-40°C) могут не указываться. Диапазон температур (-25-40°C) обозначается символом



### **3.8. Принципиальные электрические схемы подключения электроприемников**

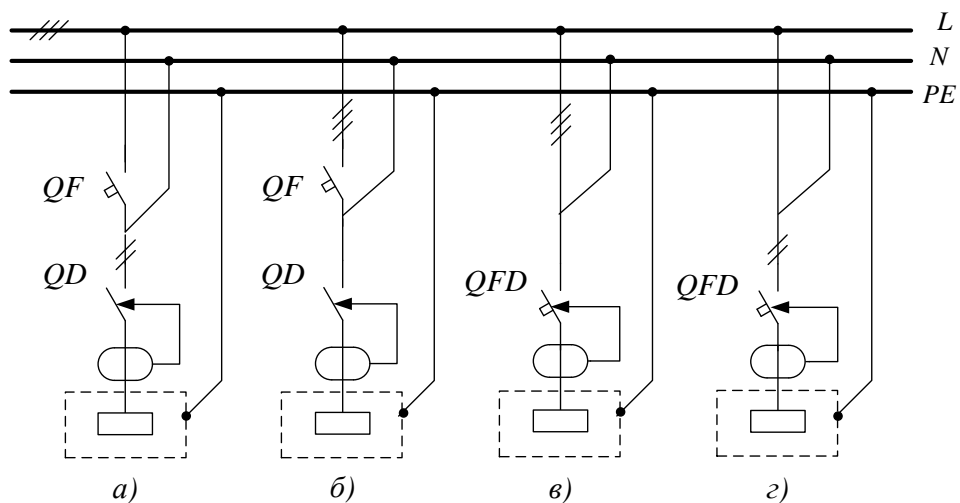
На рис. 3.6, 3.7 изображены некоторые варианты подключения электроприемников посредством УЗО в многолинейном и однолинейном исполнении.

На рис. 3.6, а показано подключение однофазного электроприемника посредством двухполюсного электромеханического УЗО без встроенной защиты от сверхтоков — дифференциального выключателя ( $QD$ ). Контур электрической цепи дополнительно защищен однополюсным автоматическим выключателем ( $QF$ ). На рис. 3.6, б показано подключение трехфазного электроприемника посредством четырехполюсного электронного УЗО со встроенной защитой от сверхтоков — дифференциальный автомат ( $QFD$ ), дополнительной защиты от сверхтоков не требуется.



**Рис.3.6. Пример подключения электроприемников к сети посредством УЗО:**

*а)* посредством дифференциального выключателя, который не имеет встроенной защиты от сверхтоков — токов КЗ и перегрузки (двухполюсное исполнение); *б)* посредством дифференциального автомата, который имеет встроенную защиту от сверхтоков - токов КЗ и перегрузки (четырехполюсное исполнение),  $A$  – электронный блок дифференциального расцепителя



**Рис.3.7. Однолинейная схема подключения электроприемников посредством УЗО:**  
*a), z)* – двухполюсное исполнение УЗО; *б), в)* – четырехполюсное исполнение УЗО;  
*a), б)* – не имеют встроенной защиты от сверхтоков (дифференциальные выключатели);  
*в), z)* – имеют встроенную защиту от сверхтоков (дифференциальные автоматы)

## 4. Контроль знаний

### 4.1. Задание на контрольную работу

Вариант задается преподавателем по табл.4.1.

#### Задание 1

1. Изучить техническое описание автоматических выключателей и предохранителей по каталогу электротехнической продукции и выписать: а) технические характеристики, б) техническое описание, в) электрические схемы (изобразить), г) структуру условного обозначения

2. Обеспечить защиту электрической сети от коротких замыканий и перегрузки при помощи автоматических выключателей и предохранителей.

3. Изобразить паспортные защитные характеристики выбранных аппаратов защиты. Для выключателей использовать времятоковые характеристики типа *C* (для варианта 1) и характеристики типа *D* (для варианта 2). Одновременно использовать две оси абсцисс: в кратностях тока и в именованных единицах (Ампер). Для варианта защиты предохранителями использовать тип предохранителя *gG*.

4. Нанести на общий бланк с логарифмической шкалой защитные характеристики автоматических выключателей и предохранителей, построенные в п.3.

5. Подписать характеристики по образцу: Тип,  $I_{нр}$ ; Тип,  $I_B$ . Сделать вывод о том, какой вид расцепителя АВ обеспечивает ту или иную область характеристики выключателя.

6. Изобразить интегральные характеристики  $I^2t$  выбранных аппаратов защиты на отдельном бланке с логарифмической шкалой. Сделать вывод о величине удельной энергии, пропускаемой в защищаемую сеть при различных видах сверхтоков.

#### Задание 2

1. Изучить техническое описание дифференциальных выключателей и дифференциальных автоматических выключателей по техническому каталогу электротехнической продукции. Изобразить принципиальную схему подключения однофазной и трехфазной электрической нагрузки к электрической силовой сети посредством дифференциальных выключателей и дифференциальных автоматических выключателей в многолинейном исполнении (с подробным изображением основных элементов конструкции выключателей) и в однолинейном исполнении. Описать принцип действия дифференциального выключателя и дифференциального автоматического выключателя. Назвать их общие и отличные признаки.

2. Записать условное обозначение и технические характеристики дифференциального выключателя и дифференциального автоматического выключателя для двухполюсного и четырехполюсного исполнения. Изобразить паспортные времятоковые защитные характеристики.

3. Выбрать дифференциальный автомат для защиты трехфазной электроустановки от токов перегрузки и короткого замыкания и защиты обслуживающего персонала от поражений электрическим током. На бланке карты селективности построить времятоковую характеристику для выбранного дифференциального автомата. Характеристику подписать в соответствии с принятой структурой условного обозначения.

Таблица 4.1

#### Исходные данные

Наименование характеристик			Значение характеристик, соответствующих первой цифре варианта задания									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номинальный ток для задания 2 п.2, $I_n$ , А			16	25	32	40	50	63	80	100	16	25
Наименование характеристик			Значение характеристик, соответствующих второй цифре варианта задания									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номинальная мощность электродвигателя для задания 1, кВт	вариант	1	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0	5,5	7,5	11	15	18,5
		2	15	18,5	22	30	37	45	55	75	90	110
Расчетная мощность электроустановки для задания 2 п.3, кВт			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ для задания 2, мА			10	30	100	300	30	100	300	30	100	300
Напряжение сети, В			380									
Коэффициент мощности			0,76									

### Задание 3

1. Рассчитать и изобразить времятоковую и интегральную характеристику  $I^2t$  автоматического выключателя с электронным расцепителем с заданными уставками тока и времени, приведенными в задании 4 [23]. Интегральную характеристику  $I^2t$  также изобразить на бланке с логарифмической шкалой и расположить ниже времятоковой характеристики.

2. Сделать вывод о величине удельной энергии, пропускаемой в защищаемую сеть при различных видах сверхтоков. Сравнить с величиной удельной энергии аппаратов защиты, исследованных в задании 1.

## **4.2. Методические указания к выполнению контрольной работы**

### **Методические указания к выполнению задания 1**

1) К п.1. Использовать техническое описание, приведенное в Каталоге электротехнической продукции (по указанию преподавателя).

2) К п.2. Рассчитать ток электродвигателя заданной мощности по формуле активной мощности трехфазной цепи. Выбрать номинальный ток расцепителя автоматического выключателя ( $I_{нр}$ ) таким образом, чтобы он был не менее (т.е. больше или равен) расчетного тока электродвигателя ( $I_{нр} > I_{нд}$ ).

3) К п.3. Перерисовать времятоковую характеристику отключения (защитную характеристику) автоматического выключателя или использовать, для построения характеристики, следующие опорные точки (для холодного состояния): для кратности тока (K) более 12 время составляет 0,02с в области характеристики, где время не зависит от тока, и 1,8с – в области характеристики, где время зависит от тока; для кратности 7, время – 5с; для кратности тока 1,25, время – 1000с; для кратности тока 1, время стремится к бесконечности. Для выбранного тока расцепителя нарисовать ось абсцисс в именованных единицах, используя формулу –  $I = K I_{нр}$ .

4) К п.4,5. Нарисованные защитные характеристики (тепловых реле и автоматических выключателей) перенести на общий график (карту селективности с логарифмической шкалой тока и времени) при этом следует использовать именованные значения тока по оси абсцисс. Характеристики подписать на свободном поле графика по образцу (для автоматических выключателей: Тип,  $I_{нр}$ ; для предохранителей Тип,  $I_{нв}$ ). Нанести номинальный ток электродвигателя и восстановить из этого значения пунктирную линию перпендикулярную оси тока.

5) К п.6. Для расчета значения  $I^2t$  использовать времятоковую характеристику аппаратов защиты. Выбранные значения тока для характерных областей «возводятся в квадрат» и умножаются на значение времени срабатывания при данном токе. Полученное значение интегральной величины откладывается по оси ординат с логарифмической шкалой. Ось абсцисс остается аналогичной времятоковой характеристики. Для автоматического выключателя выполнить расчет и построение для областей защитной характеристики: зависимой от тока и не зависимой от тока.

### **Методические указания к выполнению задания 2**

1) К п.1. Использовать техническое описание, приведенное в каталоге электрооборудования.

2) Методические указания к п.2.

Используя структуру условного обозначения, приведенную в разделе 3, записать два варианта обозначения дифференциального выключателя и два варианта обозначения дифференциального автоматического выключателя. Перерисовать паспортные защитные характеристики, параллельно оси в

кратностях токов нарисовать ось в именованных единицах тока и на этой оси записать токи, используя формулы:  $I = K I_n$ ,  $I_{\Delta} = K I_{\Delta n}$ .

### 3) Методические указания к п.3.

Рассчитать ток электроустановки по формуле активной мощности трехфазной цепи. Выбрать номинальный ток дифференциального автоматического выключателя ( $I_n$ ) таким образом, чтобы он был не менее (т.е. больше или равен) расчетного тока электроустановки ( $I_n \geq I_{\text{расч}}$ ). Обычно номинальный ток дифференциального автомата равен номинальному току теплового и электромагнитного расцепителя.

Перерисовать на бланк с логарифмической шкалой времятоковую характеристику отключения (защитную характеристику) дифференциального автомата или использовать, для построения характеристики, следующие опорные точки: для кратности тока более 10, время отключения составляет: 0,01с – в области характеристики, где время не зависит от тока, и 4с – в области характеристики, где время зависит от тока; для кратности 5, время составляет 10с; для кратности тока 1,45, время – 1000с; для кратности тока 1, время стремится к бесконечности. Для выбранного тока расцепителя нарисовать ось абсцисс в именованных единицах тока, используя формулу  $I = K I_n$ .

Защитную характеристику блока дифференциального выключателя, входящего в дифференциальный автомат, следует изобразить в виде пунктирной прямой линии параллельной оси тока на «уровне» времени – 0,01с. Начало линии ограничить током равным половине заданного номинального дифференциального отключающего тока. Характеристику подписать согласно структуре условного обозначения, используя свободное поле графика.

В оси абсцисс следует выполнить разрыв, чтобы обеспечить возможность отображения времятоковых характеристик дифференциального выключателя и автоматического выключателя. Значения шкалы тока, нанесенные на бланке можно изменять (например, 10А на 0,010А или 0,10А, или 1,0А)

### ***Методические указания к выполнению задания 3***

Для выполнения задания используются исходные данные, приведенные в задании 4[23]. Строится времятоковая характеристика с заданными по варианту уставками тока и времени, и только затем следует построить интегральную характеристику для тех же значений тока по оси абсцисс с логарифмической шкалой тока. Расчет и построение ведется следующим образом: выбранные значения тока для характерных областей времятоковой характеристики «возводятся в квадрат» и умножаются на значение времени срабатывания при данном токе, затем полученное значение интегральной величины откладывается по оси ординат с логарифмической шкалой времени. В результате получается группа характеристик, подобная рис. 2.23.



## ГЛОССАРИЙ

**Автоматический выключатель** (механический) – механический коммутационный аппарат, способный включать, проводить и отключать токи при нормальном состоянии цепи, а также включать, проводить в течение заданного времени и автоматически отключать токи в указанном аномальном состоянии цепи, таких как токи короткого замыкания.

**Боек** – механическое устройство, составляющее часть плавкой вставки, которое при срабатывании плавкого предохранителя освобождает энергию, необходимую для срабатывания другого аппарата или указателя или для обеспечения внутренней блокировки.

**Восстанавливающееся напряжение** – напряжение, появляющееся на выводах плавкого предохранителя после отключения тока.

**Время отключения УЗО** – промежуток времени между моментом внезапного возникновения отключающего дифференциального тока и моментом выполнения функции данного устройства до полного гашения дуги.

**Время преддуговое (для предохранителя)** – время между появлением тока, достаточного для расплавления плавкого элемента (ов), и моментом возникновения дуги.

**Время дуги (для предохранителя)** – Время между моментами возникновения и окончательного погасания дуги.

**Время отключения** – Сумма преддугового времени и времени дуги.

**Вспомогательный контакт** – контакт, входящий во вспомогательную цепь и механически приводимый в действие автоматическим выключателем (например, для указания положения контактов).

**Вывод** – токоведущая часть электрического аппарата, предназначенная для электрического присоединения к внешним цепям.

**Главный контакт** – контакт, включенный в главную цепь автоматического выключателя и предназначенный для проведения в замкнутом положении тока главной цепи.

**Датчик** – измерительный элемент сигнального, регулирующего или управляющего устройства, преобразующий контролируемую величину (температуру, ток, напряжение и т.п.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, хранения, регистрации или воздействия на управляемый процесс.

**Держатель плавкой вставки** – съемная часть плавкого предохранителя, предназначенная для удержания плавкой вставки.

**Держатель плавкого предохранителя** – комбинация основания плавкого предохранителя с держателем плавкой вставки.

**Диапазон отключения** - диапазон ожидаемых токов, внутри которого обеспечивается отключающая способность плавкой вставки.

**Дифференциальный (остаточный) ток ( $I_{\Delta}$ )** – действующее значение векторной суммы токов, протекающих в первичной цепи УЗО.

**Дугогасительный контакт** – контакт, на котором предполагается возникновение дуги.

**Закрытая плавкая вставка** – плавкая вставка, один или несколько элементов которой полностью закрыты таким образом, чтобы при срабатывании в пределах ее номинальных характеристик была исключена возможность причинения ущерба, например из-за возникновения дуги, выделений газов или выбросов пламени или металлических частиц.

**Защитное отключение** – функция, состоящая в переводе исполнительного органа УЗО из положения «Вкл.» в положение «Откл.».

**Зона времятоковых характеристик** – область, ограниченная минимальной преддуговой времятоковой характеристикой и максимальной времятоковой характеристикой отключения в установленных условиях.

**Зона  $I^2t$**  – область, ограниченная минимальной характеристикой преддугового  $I^2t$  и максимальной характеристикой  $I^2t$  отключения в установленных условиях.

**Интеграл Джоуля ( $I^2t$ )** – интеграл квадрата силы тока за определенный период времени (различают интеграл Джоуля преддуговой и отключения)

$$I^2t = \int_{t_0}^{t_1} i^2 dt .$$

*Примечания*

1. Преддуговой  $I^2t$  — это интеграл  $I^2t$  за преддуговое время плавкого предохранителя.
2.  $I^2t$  отключения — это интеграл  $I^2t$  за время отключения плавкого предохранителя.
3. Энергия в Джоулях, выделяемая в резисторе 1 Ом в цепи, защищаемой плавким предохранителем, равна  $I^2t$  отключения, выраженному в амперах в квадрате в секунду ( $A^2 \cdot c$ ).

**Коммутационный аппарат** – аппарат, предназначенный для включения или отключения тока в одной или нескольких электрических цепях.

**Контакт плавкого предохранителя** – две или несколько токоведущих частей, предназначенных для обеспечения непрерывности цепи между плавкой вставкой и соответствующим держателем.

**Координация** – последовательное соединение двух или нескольких устройств защиты от сверхтоков, для того, чтобы обеспечить селективность по сверхтоку, резервную защиту.

**Напряжение дуги** – мгновенное значение напряжения, появляющегося на выводах плавкого предохранителя в период горения дуги.

**Неотключающий дифференциальный ток** – значение дифференциального тока, при котором и ниже которого УЗО не отключается в заданных условиях эксплуатации.

**Отключающая способность плавкой вставки** – значение (для переменного тока – действующее значение симметричной составляющей) ожидаемого тока, который способна отключать плавкая вставка при установленном напряжении в установленных условиях эксплуатации и обслуживания.

**Основание плавкого предохранителя** – несъемная часть плавкого предохранителя, снабженная контактами, выводами и, при необходимости, оболочками.

**Отключающий дифференциальный ток** – значение дифференциального тока, вызывающее отключение УЗО в заданных условиях эксплуатации.

**Параметр** – в технике – величина, являющаяся характеристикой системы, технического устройства, явления или процесса.

**Плавкая вставка** – часть плавкого предохранителя, включающая в себя плавкие элементы, заменяемая после срабатывания плавкого предохранителя.

**Плавкая вставка типа  $a$**  – токоограничивающая плавкая вставка, способная в установленных условиях отключать все токи в интервале между наименьшим током, показанным на времятоковой характеристике отключения, и номинальной отключающей способностью.

**Плавкая вставка типа  $g$**  – токоограничивающая плавкая вставка, способная в установленных условиях отключать все токи, вызывающие расплавление плавкого элемента, вплоть до номинальной отключающей способности.

**Плавкий предохранитель** – аппарат, который вследствие расплавления одного или нескольких специально спроектированных и рассчитанных элементов размыкает цепь, в которую он включен, отключая ток, превышающий заданное значение в течение достаточно продолжительного времени. В состав плавкого предохранителя входят все части, образующие аппарат в комплекте.

**Плавкий элемент** – часть плавкой вставки, предназначенная для расплавления при срабатывании плавкого предохранителя. В плавкой вставке может быть несколько параллельных плавких элементов.

**Предельное время неотключения** – максимальный промежуток времени, в течение которого можно пропускать через УЗО дифференциальный ток, превышающий значение максимального неотключающего дифференциального тока, не вызывая его фактического отключения.

**Потери мощности плавкой вставки** – энергия, которая выделяется в плавкой вставке, проводящей номинальный ток в установленных условиях.

**Разброс** – предельные значения, между которыми находятся характеристики, например времятоковые.

**Рассеиваемая мощность держателя** – максимальное значение выделяемой в плавкой вставке энергии, на которое рассчитывается держатель плавкой вставки в установленных условиях.

**Расцепитель** – устройство, механически связанное с автоматическим выключателем (или встроенное в него), которое освобождает удерживающее устройство в механизме автоматического выключателя и вызывает автоматическое срабатывание выключателя.

**Селективность при сверхтоке** – координация соответствующих характеристик двух или более устройств, для защиты от сверхтоков с таким расчетом, чтобы при появлении сверхтоков в установленных пределах

срабатывало устройство, рассчитанное на эти пределы, в то время как другие устройства не срабатывали.

**Сверхток** – любой ток, превышающий номинальный.

**Типоразмер** – установленный ряд размеров плавких предохранителей в пределах серии. Каждый отдельный типоразмер охватывает определенный диапазон номинальных токов плавких вставок (элементов), для которых установленные размеры плавких предохранителей остаются неизменными.

**Ток короткого замыкания** – сверхток, обусловленный замыканием с ничтожно малым полным сопротивлением между точками, которые в нормальных условиях эксплуатации должны иметь различный потенциал.

**Ток ожидаемый** (относительно плавкого предохранителя) – ток, который бы проходил по цепи, если бы включенный в нее плавкий предохранитель был заменен проводником, полным сопротивлением которого можно пренебречь. Обычно отключающую способность и характеристики плавкого предохранителя, например  $I^2t$  и характеристики пропускаемого тока задают при определенном значении ожидаемого тока.

**Ток отключения** (коммутационного аппарата или плавкого предохранителя) – ток в одном полюсе коммутационного аппарата или в плавком предохранителе в момент возникновения дуги в процессе отключения.

**Ток перегрузки** – сверхток в электрически не поврежденной цепи.

**Ток плавкой вставки номинальный  $I_n$**  – значение тока, который плавкая вставка может длительно проводить в установленных условиях без повреждений.

**Ток пропускаемый** – максимальное мгновенное значение, достигаемое током в процессе отключения, когда плавкая вставка своим срабатыванием предотвращает достижение током максимально возможного в других условиях значения.

**Ток селективности предельный ( $I_s$ )** – координата точки пересечения времятоковой характеристики в зоне наибольшей отключающей способности защитного аппарата на стороне нагрузки и преддуговой характеристикой (для предохранителя) или времятоковой характеристикой расцепителя (для автоматического выключателя) другого защитного аппарата.

**Ток условный неплавления  $I_{nf}$**  – установленное значение тока, который плавкая вставка способна пропускать в течение установленного (условного) времени, не расплавляясь.

**Ток условный плавления  $I_f$**  – установленное значение тока, вызывающего срабатывание плавкой вставки в течение установленного (условного) времени.

**Ток утечки** – ток, протекающий по участку электрической цепи, не предусмотренному нормальным режимом работы электроустановки (например, по изоляции сети, по корпусу электроустановки, через тело человека и проч.).

**Токоограничивающая плавкая вставка** – плавкая вставка, которая в процессе и в результате своего срабатывания в установленном диапазоне токов ограничивает ток до значительно более низкого значения, чем пиковое значение ожидаемого тока.

**Указатель срабатывания (индикатор)** – устройство, предназначенное для указания срабатывания плавкого предохранителя.

**Уставка** – термин, обозначающий установленное значение какого либо параметра. Значение параметра устанавливается (выставляется) на заводе изготовителе или персоналом в начале эксплуатации при помощи переключателей, реостатов (для полупроводниковых расцепителей) или непосредственным изменением геометрических размеров (для тепловых расцепителей). При превышении значения установленного параметра происходит срабатывание электрического аппарата. Например, для автоматического выключателя: *уставка тока срабатывания* (при перегрузке, при токах короткого замыкания «отсечка»), *уставка времени срабатывания*.

**Устройство защитного отключения (УЗО)** – механический коммутационный аппарат или совокупность элементов, которые при достижении (превышении) дифференциальным током заданного значения при определённых условиях эксплуатации должны вызвать размыкание контактов.

**Устройство защиты от сверхтоков** (для дифференциального выключателя) – устройство, указанное изготовителем, которое должно быть установлено последовательно с УЗО с целью защиты его от сверхтоков.

**Фибрилляционный ток** – электрический ток, вызывающий при прохождении через организм человека фибрилляцию сердца.

**Фибрилляция сердца** – процесс разрушения связей между отдельными мельчайшими волокнами мышцы сердца под влиянием воздействия электричества.

**Характеристика времятоковая** – кривая зависимости преддугового времени или времени отключения от ожидаемого тока в установленных условиях срабатывания.

*Примечание.* Для времени больше 0,1 с практически можно пренебречь разницей между преддуговым временем и временем отключения.

**Характеристика  $I^2t$**  – кривая зависимости значения  $I^2t$  (преддугового и/или отключения) от ожидаемого тока в установленных условиях срабатывания.

**Характеристика пропускаемого тока** – зависимость пропускаемого тока от ожидаемого тока в установленных условиях срабатывания.

*Примечание* — Для переменного тока значения пропускаемого тока — это максимальные значения, не зависящие от степени асимметрии. Для постоянного тока значения пропускаемого тока — это максимальные значения, достигнутые при установленной постоянной времени.

**Электробезопасность** – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила устройства электроустановок. Издание седьмое.- М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002г.
2. ГОСТ 15543.1-89 (2002). Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам. – М.: Издательство стандартов, 2004.
3. ГОСТ 12434-83 (1988). Аппараты коммутационные низковольтные. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2004.
4. ГОСТ 14254-96 (2002). Степень защиты, обеспечиваемые оболочками (код *IP*). – М.: Издательство стандартов, 2004.
5. ГОСТ 17516.1-90 (2001) Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам. – М.: Издательство стандартов, 2004.
6. ГОСТ Р 51321.1-2000. Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Устройства, испытанные полностью или частично. Общие технические требования и методы испытаний – М.: Издательство стандартов, 2004.
7. ГОСТ Р 51321.1-2000. (МЭК 60439-1-92) Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. – М.: Издательство стандартов, 2004.
8. ГОСТ Р МЭК 60536-2-2001. Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током. – М.: Издательство стандартов, 2004.
9. ГОСТ 17242-86. Предохранители плавкие силовые низковольтные. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2004.
10. ГОСТ 9098-78. Выключатели автоматические низковольтные. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 2004.
11. ГОСТ Р 50339.0-2003 (МЭК 60269-1-98) Предохранители плавкие низковольтные. Часть 1. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 2004.
12. ГОСТ Р 50339.1-92 (МЭК 269-2-86). Низковольтные плавкие предохранители. Часть 2. Дополнительные требования к плавким предохранителям промышленного назначения. – М.: Издательство стандартов, 1992.
13. ГОСТ Р 50339.2-92 (МЭК 269-2-1-87) Низковольтные плавкие предохранители. Часть 2-1. Дополнительные требования к плавким предохранителям промышленного назначения. Разделы I-III – М.: Издательство стандартов, 1993.
14. ГОСТ Р 50339.3-92 (МЭК 269-3-87) Низковольтные плавкие предохранители. Часть 3. Дополнительные требования к плавким предохранителям бытового и аналогичного назначения. – М.: Издательство стандартов, 1992.

15. ГОСТ Р 50339.4-92 (МЭК 269-4-86) Низковольтные плавкие предохранители. Часть 4. Дополнительные требования к плавким предохранителям для защиты полупроводниковых устройств. – М.: Издательство стандартов, 2004.
16. ГОСТ Р 50030.2-99 (МЭК 60947-2-98) Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели. – М.: Издательство стандартов, 2000.
17. ГОСТ Р 50030.3-99 (МЭК 60947-3-99) Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 3. Выключатели, разъединители, выключатели-разъединители, и комбинации с их предохранителями. – М.: Издательство стандартов, 2000.
18. ГОСТ Р 50345-99 Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. – М.: Издательство стандартов, 2000.
19. ГОСТ Р 51326.1-99 (ИЕС 61008-1-96) Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 2000.
20. ГОСТ Р 51327.1-99 (ИЕС 61009-1-96) Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков. Часть 1. Общие методы и требования испытаний. – М.: Издательство стандартов, 2000.
21. Технический справочник Низковольтные комплектные устройства. Первое издание. Фирма *Legrand*. 2007.
22. Каталог продукции группы предприятий ЭЛЕКТРОАППАРАТ (г. Курск, КЭАЗ, [www.keaz.ru](http://www.keaz.ru)) на 2009г.
23. Электрические аппараты: комплекс учебно-методических материалов / А.И. Гардин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2008. – 172с.
24. Папков Б.В. Токи короткого замыкания в электрических системах: учеб. пособие / Б.В. Папков; Нижегород. гос. техн. ун-т; Н.Новгород, 2005. 277 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Предохранители типа ППН, ППНИ\*

##### *П 1.1. Особенности конструкции*

1. Контакты предохранителя и держателя выполнены из электротехнической меди с гальваническим покрытием сплавом олово-висмут, что предотвращает их окисление в процессе эксплуатации.

2. Основание держателя (изолятор) выполнено из армированной термореактивной пластмассы, стойкой к коррозии, механическим воздействиям, перепадам температуры и динамическим ударам, которые возникают при коротких замыканиях вплоть до 120кА.

3. Контакты плавкой вставки выполнены в форме ножа (заострены), что позволяет их устанавливать в держатели с меньшими усилиями.

4. Все габариты плавких вставок удобно устанавливать или демонтировать универсальной рукояткой съема РС1, изоляция которой выдерживает напряжение до 1000 В.

5. Корпус плавкой вставки наполнен кварцевым песком высокой химической очистки, что обеспечивает быстрое и эффективное дугогашение.

6. Плавкий элемент выполнен из фосфористой бронзы (сплав меди с цинком с добавлением фосфора) и надежно соединен точечной сваркой с выводами предохранителя. Плавкая вставка не подвержена коррозии

7. В конструкции плавкой вставки есть специальный индикатор, выполненный в виде выдвижного штока, который позволяет визуально определять сработавшие предохранители.

8. Предохранители с отключающей способностью во всем диапазоне «gG» надежно срабатывают как при токах короткого замыкания, так и при перегрузках.

9. Конструкция, технические параметры, габаритные и установочные размеры плавких вставок и держателей соответствуют современным стандартам МЭК и ГОСТ, и, следовательно, этими предохранителями можно заменять другие отечественные и импортные предохранители.

##### *Защитные характеристики*

Характеристики выражают зависимость времени срабатывания предохранителя  $t$  от действующего значения ожидаемого тока короткого замыкания  $I_k$ . Время срабатывания задается зонами срабатывания для каждого номинального тока плавкой вставки, которые приведены на рис. П2.1.



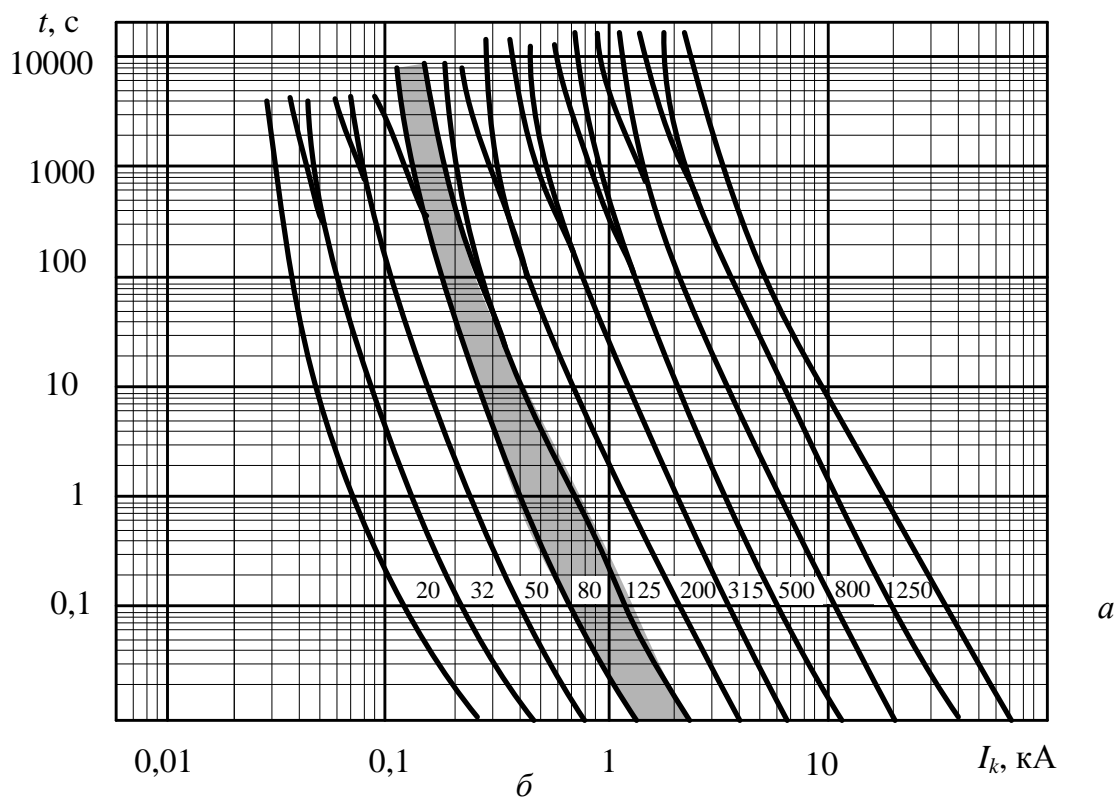
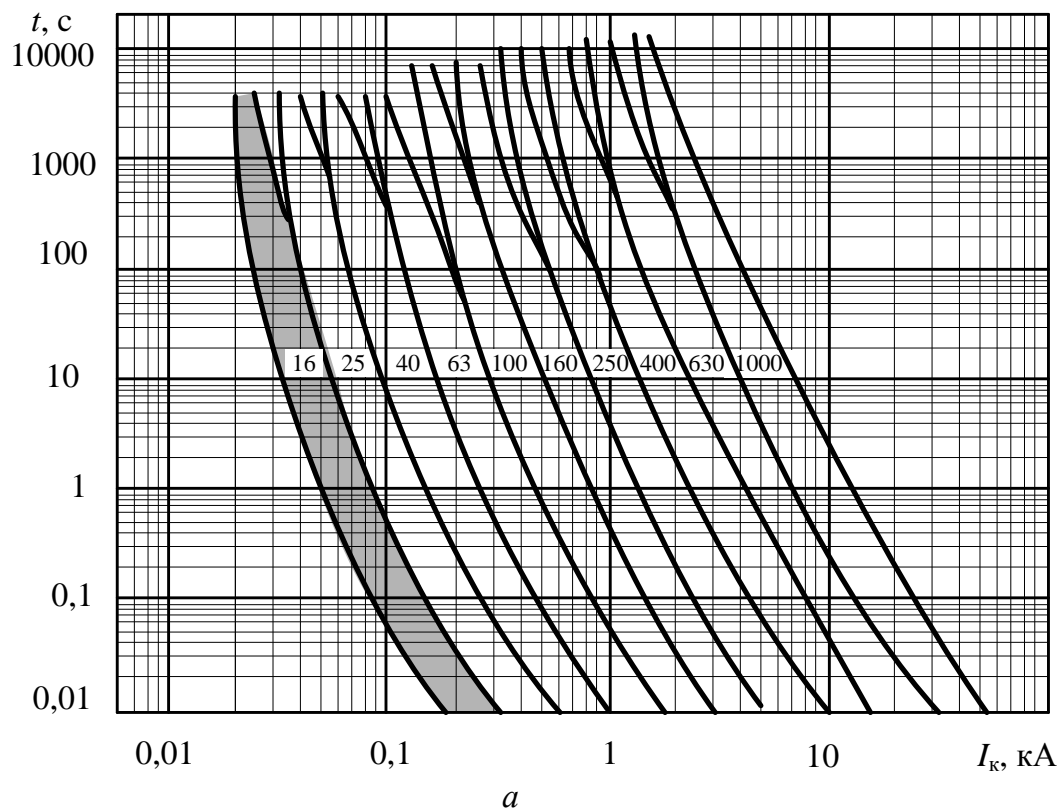


Рис. П 2.1. Зоны времятоковых характеристик:

а) номинальные токи плавких вставок, А - 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000 (выделена зона действия плавкой вставки с номинальным током 16А);

б)

номинальные токи плавких вставок, А - 20, 32, 50, 80, 125, 200, 315, 500, 800, 1250, (выделена зона действия плавкой вставки с номинальным током 80А)

### *Некоторые преимущества перед предохранителями других типов*

1. Благодаря современной конструкции, технологии изготовления и качеству применяемых материалов снижены потери мощности по сравнению с предохранителями ПН-2 более чем на 30%.

2. Основание держателя (изолятор) выполнено из армированной термореактивной пластмассы, стойкой к механическим воздействиям, перепадам температуры и динамическим ударам.

---

- ППНИ - предохранитель плавкий с наполнителем и индикатором срабатывания

3. Габаритные размеры предохранителей на 10-20% меньше предохранителей ПН-2.

4. В ассортименте продукции представлен весь стандартный ряд плавких вставок с номинальными токами от 2 А до 1250 А, всего 65 позиций в 6 габаритах.

5. Токоограничение плавкой вставки позволяет снизить ожидаемый ток короткого замыкания в несколько раз. Это позволяет защитить электроустановку от чрезмерных перегрузок.

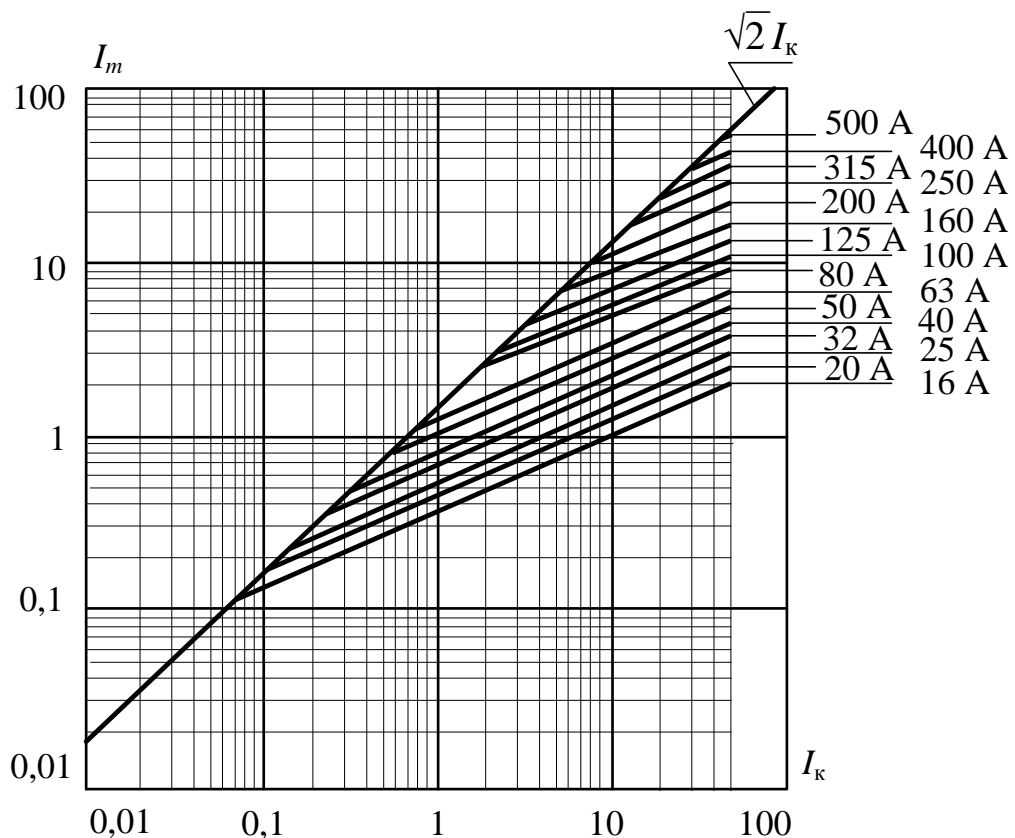
6. Широкий диапазон рабочих температур, от  $-45^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ , позволяет применять предохранители в разных климатических поясах.

7. Высокая отключающая способность: при 660 В – 50 кА, а при 500 В – 120 кА.

### *Некоторые преимущества перед автоматическими выключателями*

1. Плавкий элемент вставки заключен в герметичный корпус и не подвергается воздействию окружающей среды, поэтому не может быть поврежден коррозией. В результате защитные характеристики плавкой вставки с годами не меняются.

2. При использовании плавких вставок не требуется дополнительного пространства для гашения дуги, не происходит эмиссии металла с плавкого элемента.



**Рис. П 1.3. Характеристики пропускаемого тока:**

$I_m$  – максимальное амплитудное значение тока, кА;  $I_k$  – действующее значение ожидаемого тока короткого замыкания, кА

В практических расчетах максимальное мгновенное значение полного тока короткого замыкания называют ударным током короткого замыкания  $i_y$ . Величина апериодической составляющей тока зависит от начального момента возникновения тока короткого замыкания и скорости затухания колебаний тока в сети.

$$i_y = \sqrt{2} I_{\Pi} k_y$$

$I_{\Pi}$  – действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания.

$k_y$  – ударный (импульсный) коэффициент, который зависит от соотношения  $R/X$  сети, показывает превышение ударного тока над амплитудой периодической составляющей тока.

В зарубежной практике для расчета ударного коэффициента используется формула

$$k_y = 1,022 + 0,969 \cdot e^{\frac{-3,03R}{X}},$$

где,  $R, X$  – соответственно активное и реактивное сопротивление сети.

Коэффициент  $k_y$  зависит от соотношения  $R/X$ . Если  $\cos \varphi = 1$ , то коэффициент  $k_y = 1,07$ . Если бы сеть была полностью индуктивной, то  $\cos \varphi$  был бы равен 0, и коэффициент  $k_y$  - равен 2.

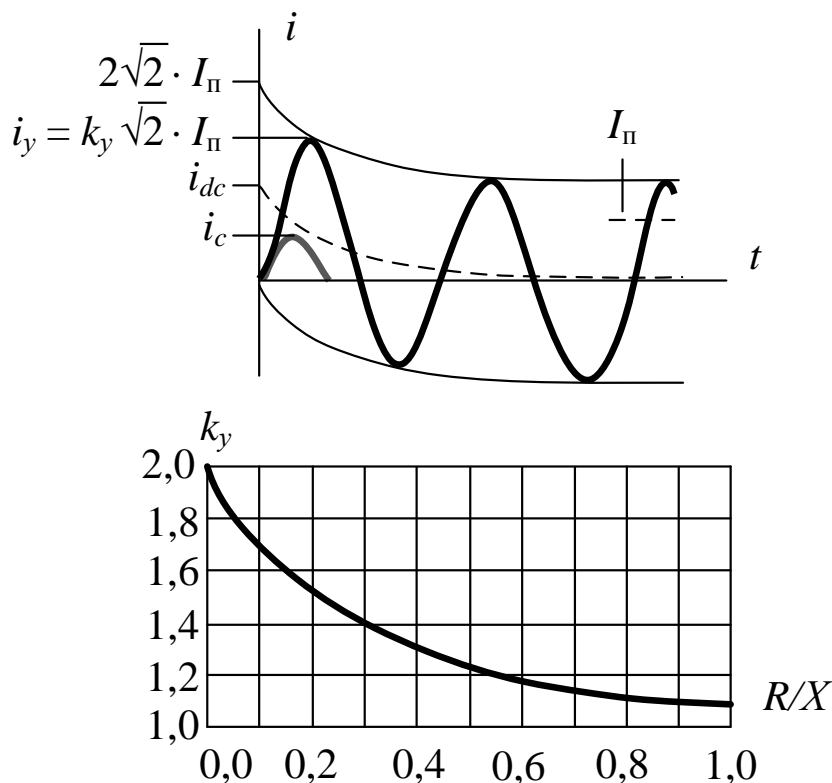


Рис. П 1.4. Характер изменения тока КЗ и величины ударного коэффициента

## Приложение 2

### Автоматические выключатели

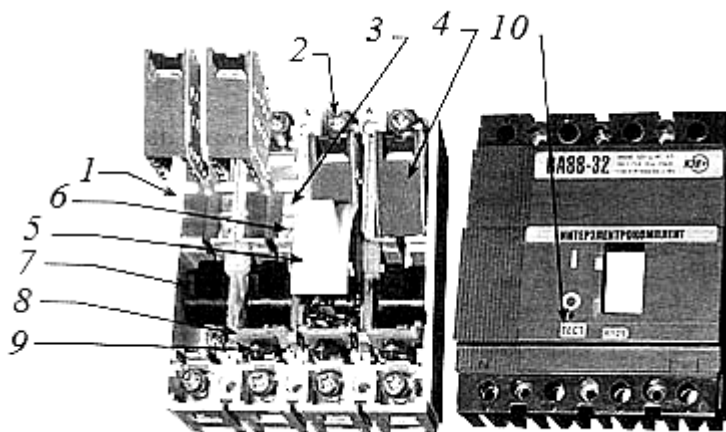
#### П 2.4. Техническое описание выключателей серии ВА88

##### Принцип действия и конструкция

Выключатель ВА88 выполнен в виде моноблока и состоит из основания и крышки с панелью, в которой имеется окно для рукоятки управления и толкатель кнопки «Тест» (проверки механизма отключения выключателя). Основание является несущей конструкцией для присоединительных зажимов, неподвижных силовых контактов с системой дугогашения, механизма управления с системой подвижных контактов, блока защиты от сверхтоков. Крышка закрывает все подвижные элементы механизма управления и внутренние токоведущие части.

Механизм управления выключателя построен на принципе переламывающегося рычага и снабжен мощной возвратной пружиной. При взведении рукоятки механизма управления приводится в движение изолирующая рейка, на которой закреплены подпружиненные подвижные силовые контакты с гибкими соединениями. Рейка поворачивается в боковых направляющих, обеспечивая не только замыкание подвижных и неподвижных силовых контактов, но и необходимые провалы для увеличения и выравнивания

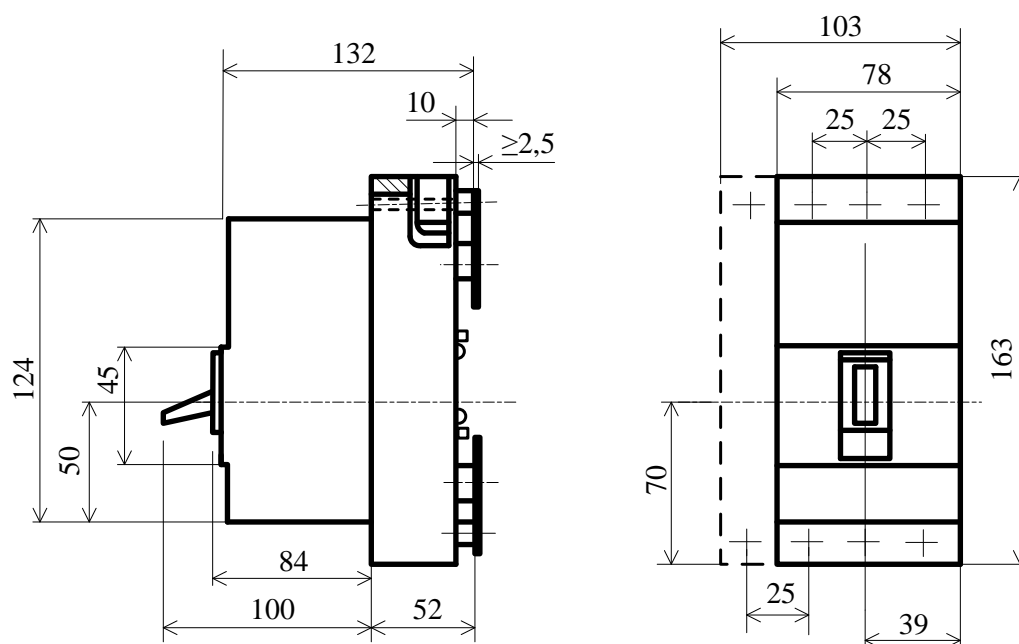
давления на подвижные контакты. Действие возвратной пружины блокируется элементами переламывающегося рычага, находящимися в этот момент на одной прямой линии и опирающимися одним коленом на выступ поворотного элемента сброса механизма управления. Сброс механизма управления осуществляется посредством плоской рейки, на которую воздействуют через регулировочные винты толкатели биметаллических пластин тепловых расцепителей и электромагнитов защиты от коротких замыканий.



**Рис. П 2.1. Временные характеристики ВА88-32 (3+N):**

1 – основание из термостойкой пластмассы, 2 – присоединительные зажимы неподвижных силовых контактов, 3 – неподвижные силовые контакты, 4 – система дугогашения, 5 – рукоятка механизма управления, 6 – система подвижных контактов, 7 – изолирующая рейка, 8 – плоская рейка теплового расцепителя, 9 – регулировочные винты, 10 – кнопка «ТЕСТ»

Система дугогашения выключателей в исполнениях ВА88-32,33 состоит из дугогасящих решеток со стальными никелированными вкладышами; в исполнении ВА88-35 и выше применены дополнительные распылители дуги в виде толстых перфорированных стальных пластин вставленных в крышку.



**Рис. П 2.2. Габаритные размеры выключателей ВА88-32 (втычной вариант с передним**

присоединением)

### *Технические характеристики*

Автоматические выключатели серии ВА88 предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузке, недопустимых снижениях напряжения, а также до 30 оперативных включений и отключений электрических цепей в сутки и рассчитаны для эксплуатации в электроустановках с номинальным рабочим напряжением до 400 В переменного тока частотой 50 Гц.

Число полюсов 3, 3+N, 4.

Температура настройки расцепителей 40 °С.

Выключатели серии ВА88 соответствуют ГОСТ Р 50030.2.

### *Условия эксплуатации*

Категория применения – А, для ВА88-43 - В (по ГОСТ Р 50030.2).

Группа механического исполнения – МЗ (по ГОСТ 17516.1).

Рабочее положение в пространстве – любое.

Высота над уровнем моря до 4000 м.

Тип атмосферы II (по ГОСТ 15150).

Вид климатического исполнения УХЛЗ (по ГОСТ 15150).

Степень защиты от воздействия окружающей среды и от соприкосновения с токоведущими частями (по ГОСТ 14254-96):

IP30 – оболочки выключателя;

IP00 – зажимов для присоединения внешних проводников.

### *Структура обозначения*

ВА88-XX<sub>1</sub>-XX<sub>2</sub>-XX<sub>3</sub>-X<sub>4</sub>-X<sub>5</sub>-X<sub>6</sub>

ВА88 – Обозначение серии.

XX<sub>1</sub> – Условное обозначение максимального номинального тока расцепителей\*: 32 – 125 А; 33 – 160 А; 35 – 250 А; 37 – 400 А; 40 – 800 А; 43 – 1600 А

XX<sub>2</sub> – Число полюсов: 3, 3+N, 4

XX<sub>3</sub> – Способ установки и монтажа проводников: СП – стационарный с передним присоединением; СЗ – стационарный с задним присоединением; ВП – втычной с передним присоединением; ВЗ – втычной с задним присоединением; КП – выдвижной с передним присоединением; КЗ – выдвижной с задним присоединением.

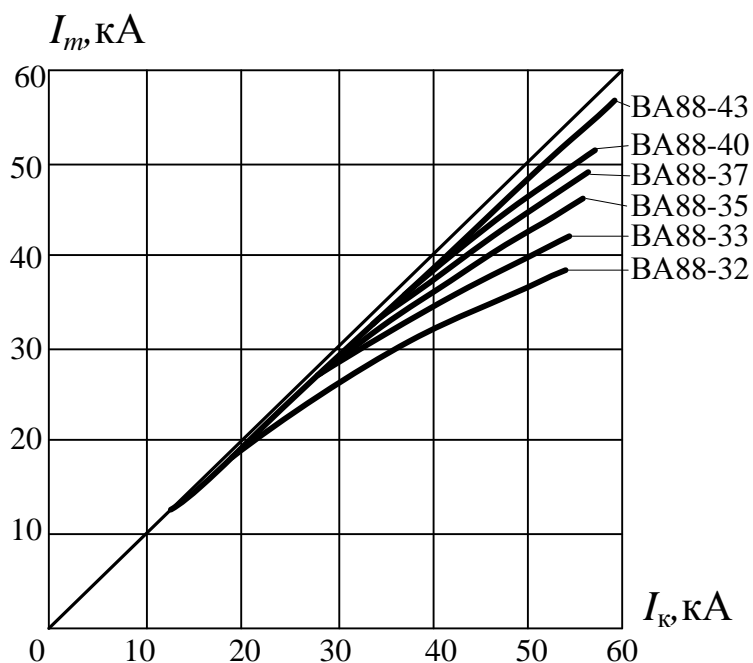
X<sub>4</sub> – Привод управления: Р – ручной; П – ручной поворотный; Д – электропривод.

---

\* В пределах максимального тока можно выбрать и заказать расцепитель из ряда диапазона токов. Например, для исполнения ВА88-32: 12,5; 16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125 А (см. табл. П 2.1)

$X_5$  – Дополнительные расцепители: О – отсутствуют; Р – независимый расцепитель; М – минимальный расцепитель.

$X_6$  – Вспомогательные контакты: О – отсутствуют; С – аварийные; В – дополнительные; К – аварийные и дополнительные



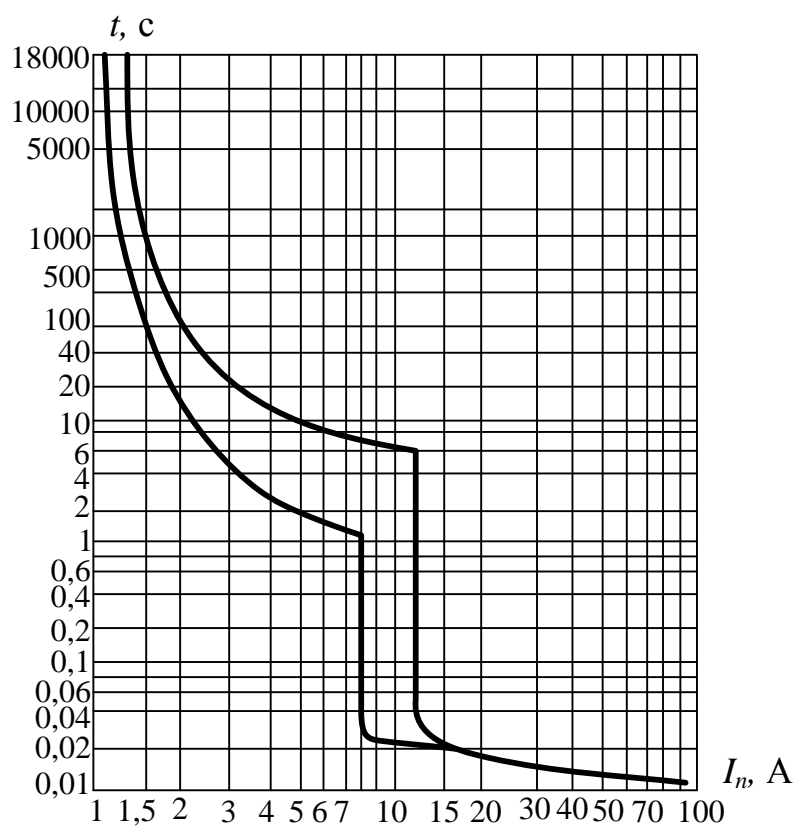
**Рис. П 2.3. Характеристика токоограничения выключателей при напряжении 400 В**

Таблица П 2.1

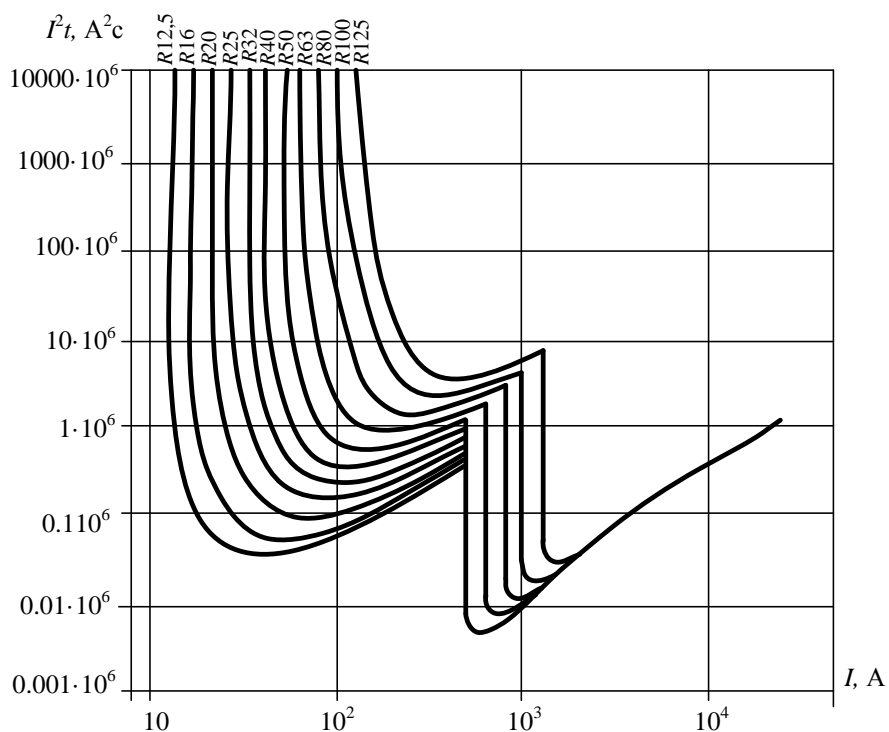
## Технические характеристики выключателей серии ВА-88

Наименование параметра			BA88-32		BA88-33		BA88-35*		BA88-37	BA88-37*	BA88-40	BA88-40*	BA88-43
Максимальный номинальный ток (базовый габарит) $I_{nm}$ , А			125	125	160	160	250	250	400	400	800	800	1600
Номинальный ток (уставка теплового расцепителя) $I_n$ , А			12,5	50	16	50	63*	250	250	400	400	800	1000
			16	63	25	63	80*		315		500		1250
			25	80	32	100	100*		400		630		1600
			32	100	40	125	125				800		
			40	125		160	160						
							200						
							250						
Уставка электромагнитного расцепителя $I_m$			500А	$10 \cdot I_n$	500А	$10 \cdot I_n$	$10 \cdot I_n$	регулир. (2-12)· $I_n$	$10 \cdot I_n$	регулир. (2-12)· $I_n$	$10 \cdot I_n$	регулир. (2-12)· $I_n$	регулир. (2-12)· $I_n$
Номинальная наибольшая отключающая способность	Рабочая		12,5	12,5	17,5	17,5	25	25	35	35	35	35	50
	Предельная	220В	25	25	35	35	35	3	35	35	35	35	50
		690В	4	4	6	6	14	14	18	18	20	20	20
Износостойкость В-О, не менее тысяч циклов	Механическая		8,5	8,8	7	7	7	7	4	4	4	4	2,5
	Электрическая		2.5	2.5	2	2	2	2	2	2	2	2	1,5
Исполнение**	Втычное		•	•	•	•	•		•	•			
	Выдвижное						•		•	•	•	•	•
Присоединение внешних проводников**	Переднее		•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
	Заднее		•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
Вид привода	Электропривод		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Ручной привод		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Габаритные размеры, мм	Ширина		76	76	90	90	105	105	140	140	210	210	210
	Высота		120	120	120	120	170	254	254	254	268	268	404
	Глубина		70	70	70	70	105.5	103,5	103,5	103,5	103,5	103,5	138,5
Климатическое исполнение			УХЛ3	УХЛ3	УХЛ3	УХЛ3	УХЛ3	УХЛ3.1	УХЛ3	УХЛ3.1	УХЛ3	УХЛ3.1	УХЛ3.1
Масса, кг			0,92	0,92	1,2	1,2	4,1	4,1	5,1	5,1	9,6	9,6	17,2
Срок службы			не менее 15 лет										





**Рис. П 2.4. Времятоковые характеристики ВА88-32**



**Рис. П 2.5. Кривые коэффициента пропуска энергии (интегральные характеристики  $I^2t$ )  
ВА88-32:**

R12,5 – расцепитель с номинальным током 12,5 А; R125 – расцепитель с номинальным током 125 А

## Дифференциальные выключатели

Трехфазные дифференциальные выключатели являются четырех-полюсными отключающими аппаратами и конструируются таким образом, чтобы нулевой полюс отключался последним при размыкании цепи и включался первым при замыкании цепи. Поэтому очень важно, чтобы нулевой проводник был подключен именно к полюсу с маркировкой N, а не к какому-либо другому. В противном случае на краткий промежуток времени при размыкании выключателя возникает режим подобный обрыву нулевого провода.

Обрыв нулевого проводника порождает небаланс напряжений, приложенных к однофазным устройствам, питающимся от трехфазной сети. Например, электроприемники  $R_1$  и  $R_2$  (см. рис. П.3.1.), нормально подключенные на фазное напряжение сети, становятся запитанными последовательно на линейное напряжение  $U_{23}$ , и для электроприемника с меньшей мощностью возникает аварийный режим.

Рассмотрим ситуацию обрыва нулевого проводника при следующих условиях:  $U_{23} = 380\text{В}$ ,  $U_n = 220\text{В}$  – соответственно, линейное и фазное номинальное напряжение,  $R_1 = 2 \text{ кВт}$  (электрокамин), а  $R_2 = 100 \text{ Вт}$  (электрическая лампа накаливания).

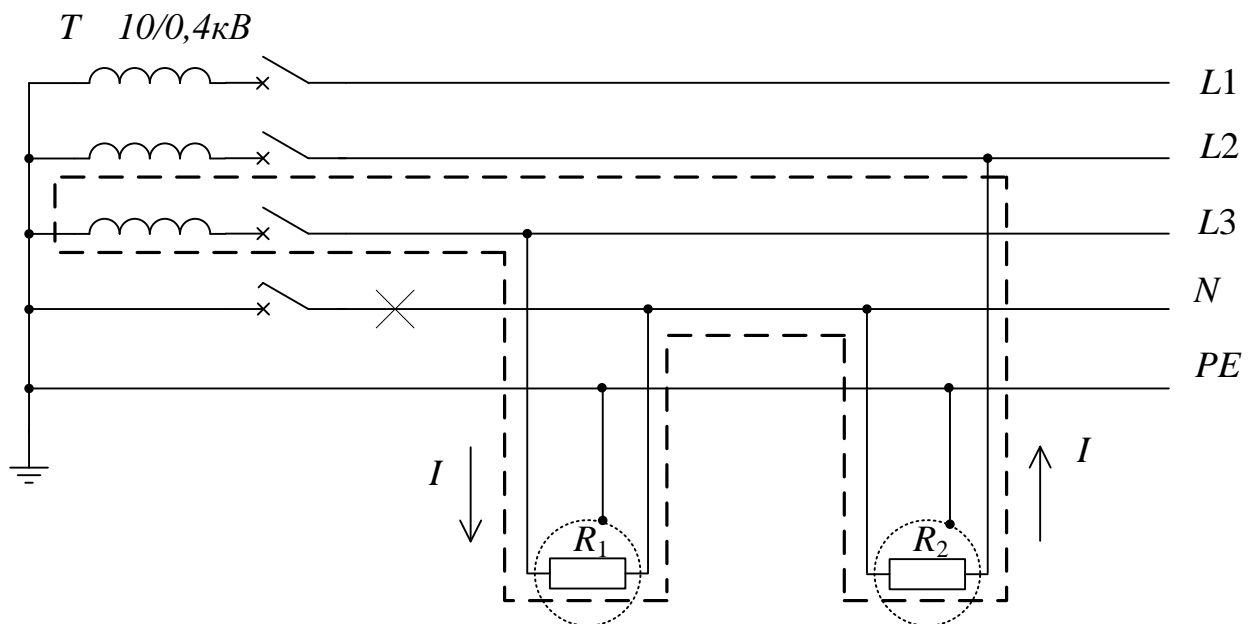


Рис. П 3.1. Схема питания электроприемников после обрыва нулевого проводника.

Мощность электроприемников в номинальном режиме рассчитывается по формулам  $P_n = I_n U_n = I_n^2 R = \frac{U_n^2}{R}$ . Отсюда сопротивления электроприемников:

$$R_1 = \frac{U_n^2}{P_{H_1}} = \frac{220^2}{2000} = 24,2 \text{ Ом}, \quad R_2 = \frac{U_n^2}{P_{H_2}} = \frac{220^2}{100} = 484 \text{ Ом}.$$

В нормальном режиме согласно закону Ома протекают токи:

$$I_1 = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{н}}}{R_1} = \frac{220}{24,2} = 9,1 \text{ А}; \quad I_2 = \frac{U_{\text{н}}}{R_2} = \frac{220}{484} = 0,45 \text{ А}.$$

При обрыве нулевого провода согласно второму закону Кирхгофа (пренебрегаем сопротивлением подводящих проводников и индуктивностью цепи) можно записать:

$$U_{23} = U_{R_1} + U_{R_2} = IR_1 + IR_2.$$

Ток в цепи будет составлять:

$$I = \frac{U_{23}}{R_1 + R_2} = \frac{380}{24,2 + 484} = 0,747 \text{ А}.$$

Значение тока через электрическую лампу накаливания превысит номинальную величину в 1,67 раз. Мощность лампы будет составлять:  $P_2 = I^2 R_2 = 0,747^2 \cdot 484 = 270 \text{ Вт}$ , что в 2,7 раз больше номинальной мощности, и нить спирали лампы разрушится от теплового воздействия («перегорит»). Дополнительно на зажимах лампы возникнет повышенное напряжение  $\Delta U_2 = IR_2 = 0,747 \cdot 484 = 362 \text{ В}$  с амплитудным значением  $U_m = \sqrt{2} \cdot 362 = 517 \text{ В}$ , которое может спровоцировать пробой изоляции и привести к режиму короткого замыкания. На зажимах электрокамина наоборот напряжение будет ниже номинальной величины –  $\Delta U_1 = IR_1 = 0,747 \cdot 24,2 = 18 \text{ В}$ .