

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА



А.И. Гардин

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ



НИЖНИЙ НОВГОРОД  
2008



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 1**

Нижний Новгород  
НГТУ 2008

УДК 621.31.031

**Гардин А. И. Электрические аппараты:** комплекс учебно-методических материалов / А.И. Гардин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2008. –172 с.

Изложены вопросы применения электрических аппаратов в системах электроснабжения промышленных предприятий: правила выполнения и анализа электрических схем с электрическими аппаратами, основы теории электрических аппаратов, конструкция электрических аппаратов, технические характеристики, выбор электрических аппаратов, использование электрических аппаратов низкого напряжения (до 1000 В). Приведены задания и варианты контрольных работ, методические указания по их выполнению, вопросы для проверки знаний.

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 Е.В. Комарова  
Компьютерная верстка А.А. Петров

Подписано в печать 30.06.2008. Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,8. Уч. – изд. л.10,0. Тираж 300 экз. Заказ

---

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.  
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:  
603950, ГСП-41, г. Нижний Новгород, ул. К.Минина, 24.

© Нижегородский государственный  
технический университет  
им. Р.Е. Алексеева, 2008

© Гардин А. И., 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Пояснительная записка.....</b>	<b>4</b>
<b>Рабочая программа.....</b>	<b>4</b>
<b>Опорный конспект лекций.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Общие сведения об электрических аппаратах.....</b>	<b>12</b>
1.1. Основные определения.....	12
1.2. Режимы работы электротехнических устройств.....	12
1.3. Классификация электрических аппаратов.....	13
1.4. Классификация электроустановок.....	16
1.5. Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам.....	17
1.6. Материалы, применяемые при изготовлении электрических аппаратов.....	19
<b>2. Правила выполнения и анализа электрических схем.....</b>	<b>21</b>
2.1. Условные буквенно-цифровые обозначения.....	21
2.2. Условные графические обозначения.....	24
2.3. Правила техники чтения электрических схем.....	35
<b>3. Режимы работы электроприемников и электрической сети.....</b>	<b>38</b>
3.1. Схемы включения электроприёмников.....	38
3.2. Нормальные и аварийные режимы работы цеховой электрической сети и электроприёмников.....	47
<b>4. Основы теории электрических аппаратов.....</b>	<b>50</b>
4.1. Электродинамические усилия в электрических аппаратах.....	50
4.2. Нагрев электрических аппаратов.....	59
4.3. Электрические контакты в электрических аппаратах.....	69
4.4. Основы теории горения и гашения электрической дуги.....	81
4.5. Электромагнитные механизмы.....	92
<b>5. Контроль знаний.....</b>	<b>110</b>
5.1. Задание на контрольную работу.....	110
5.2. Методические указания к выполнению контрольной работы.....	117
5.3. Описание лабораторных работ.....	133
<b>Глоссарий.....</b>	<b>139</b>
<b>Библиографический список.....</b>	<b>144</b>
<b>Приложения.....</b>	<b>145</b>

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

**Цель преподавания дисциплины.** Электрические аппараты являются одним из основных средств электрификации и автоматизации процессов в промышленности и быту и представляют собой широкий класс электротехнических устройств, которые применяются на всех этапах появления электрической энергии: при ее производстве (выработке), преобразовании, передаче, распределении и потреблении.

Дисциплина является базовой для всех специальностей, по которым на кафедре «Электроэнергетика и электроснабжение» НГТУ им. Р. Е. Алексеева готовятся специалисты и магистры, ее цель – дать основной запас знаний по специальности и увязать ранее изученные общетехнические дисциплины с данным курсом и профилем специальности.

**Основные знания и умения, приобретаемые студентами в результате изучения дисциплины:**

- знание основ теории электрических аппаратов,
- знание назначения, принципов действия, технических характеристик и конструктивных особенностей электрических аппаратов,
- знание основных принципов поведения электрических аппаратов в различных режимах работы электрической сети,
- умение осуществлять выбор электрических аппаратов в системах электроснабжения на напряжении до 1000В,
- умение проводить контроль исправности и наладку электрических аппаратов в процессе эксплуатации.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ГОС ВПО по направлению подготовки дипломированного специалиста 140200 «Электроэнергетика».

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

### ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела, темы	Заочная форма обучения					
		Всего часов	Аудиторные	Лекции	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Контрольная работа
1	Тема 1	3	0,5	0,5	–	2,5	2
2	Тема 2	5	1	1	–	4	2
3	Тема 3	5	0,5	0,5	–	4,5	1
4	Тема 4	41	10	6	4	31	
5	Тема 5	46	10	6	4	36	10
Итого		100	22	14	8	78	
Форма контроля знаний студента: экзамен							

# **ОПИСАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

## **Тема 1. Общие сведения об электрических аппаратах**

Предмет и задачи курса. Общие определения и классификация электрических аппаратов. Роль электрических аппаратов при производстве, передаче и распределении электроэнергии. Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам. Материалы, применяемые в аппаратостроении [1], [3,ч.2], [4].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что изучает курс «Электрические аппараты»?
2. Определение электрического аппарата.
3. Классификация электрических аппаратов по назначению.
4. Классификация по исполнению защиты от воздействия окружающей среды.
5. Общие требования, предъявляемые к электрическим аппаратам.
6. Требование к надежности электрического аппарата.
7. Зависимость интенсивности отказов электроаппаратов от времени эксплуатации.
8. Применение проводниковых материалов в аппаратостроении.
9. Применение магнитных материалов в аппаратостроении.
10. Применение изоляционных материалов в аппаратостроении.
11. Применение полупроводниковых материалов в аппаратостроении.

## **Тема 2. Правила выполнения и анализа электрических схем**

Классификация электрических схем. Обозначения электрических аппаратов и их элементов. Условные буквенно-цифровые обозначения (БЦО) в электрических схемах. Условные графические обозначения (УГО) в электрических схемах: устройства коммутационные и контактные соединения, линии, текстовая информация. Правила техники чтения электрических схем.

## **Тема 3. Режимы работы электроприемников и электрической сети**

Схемы включения электроприемников в сетях с различными режимами нейтрали источников. Нормальные и аварийные режимы работы цеховой электрической сети и электроприемников.

## **Тема 4. Основы теории электрических аппаратов**

### ***4.1. Электродинамические силы в электрических аппаратах***

Общие сведения об электродинамических усилиях (ЭДУ), возникающих в электрических аппаратах. Силы, действующие на проводник с током: в витке, в катушке, рядом с ферромагнитной массой. Электродинамические усилия при переменном токе. Понятие о механическом резонансе [1, гл.1], [4].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Причины возникновения электродинамических усилий в электрических аппаратах.
2. Последствия воздействия ЭДУ на электрические аппараты.
3. Понятие электродинамической стойкости электрического аппарата.
4. Основные способы расчета ЭДУ.
5. Направление сил на линейные проводники с токами одинакового и противоположного направления.
6. ЭДУ в проводниках переменного сечения.
7. ЭДУ в проводниках, расположенных под углом друг к другу.
8. ЭДУ в кольцевом витке и между кольцевыми витками (в катушках).
9. ЭДУ между проводником с током и ферромагнитной массой.
10. Зависимость ЭДУ от времени при синусоидальном токе.
11. Соотношение между электромагнитными силами на постоянном и переменном токе
12. ЭДУ при трехфазном токе.
13. Понятие механического резонанса и его последствия.

#### ***4.2. Нагрев электрических аппаратов***

Причины, вызывающие нагрев электрических аппаратов. Особенности процесса нагрева электрического аппарата в установившихся и переходных режимах. Допустимые температуры нагрева проводников и электрических аппаратов [1, гл.2; 3, гл.4; 4].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Причины нагрева электрических аппаратов.
2. Влияние нагрева на работу электрического аппарата. Нагрев деталей электрических аппаратов из проводниковых и диэлектрических материалов.
3. Способы передачи тепла от нагретого тела. Уравнение теплового баланса.
4. Тепловой баланс проводника в режиме длительного нагрева. Решение уравнения теплового баланса.
5. Постоянная времени нагрева. Общее понятие.
6. Изменение температуры проводника в кратковременном и повторно-кратковременном режиме.
7. Общее понятие продолжительности включения (ПВ).
8. Определение допустимого тока в длительном режиме и в режиме короткого замыкания. Тепловой импульс. Термическая устойчивость.

#### ***4.3. Электрические контакты в электрических аппаратах***

Определение электрического контакта и контактного сопротивления. Переходное сопротивление контакта. Факторы, влияющие на величину контактного сопротивления. Конструктивное выполнение контактов и условия их работы. Материалы, применяемые для контактных соединений. Герметичные контакты (герконы и герсиконы) [1, гл.3], [4].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Понятие электрического контакта и контактного соединения. Классификация контактов по возможному перемещению.
2. Требования, предъявляемые к электрическим контактам.
3. Понятие контактного сопротивления, чем оно обусловлено?
4. От чего зависит величина контактного сопротивления? Классификация контактов в зависимости от формы контактирования.
5. Контактное сопротивление различных проводниковых материалов.
6. Опишите процесс спекания контактов в случае их окисления.
7. Схемное изображение коммутирующих контактов: размыкающие, замыкающие, с ручным возвратом, с выдержкой времени, протаскивающие.
8. Изображение на принципиальных схемах контактов различных электрических аппаратов (автоматические выключатели, магнитные пускатели, рубильники, реле).
9. Применение болтовых соединений.
10. Неразмыкаемые контакты передвижных токоприемников и подвижных частей электрических аппаратов.
11. Основные конструкции контактов. Требования, предъявляемые к коммутирующим (разрывным) контактам. Классификация разрывных контактов по конструктивному исполнению.
12. Особенности работы контактов при включении.
13. Особенности работы контактов при отключении.
14. Причины износа электрических контактов при размыкании и замыкании.
15. Понятие "провала" контактов.
16. Выполнение и преимущества самоуставляющихся контактов.
17. Выполнение и преимущества перекатывающихся контактов.
18. Контакты с двумя разрывами на фазу.
19. Выполнение и преимущества сдвоенной контактной системы.
20. Розеточная контактная система. Изображение в электрических схемах.
21. Материалы, применяемые для изготовления контактов.
22. Магнитоуправляемые герметичные контакты (герконы). Конструкция и область применения.

#### ***4.4. Основы теории горения и гашения электрической дуги***

Физические процессы, протекающие при возникновении дугового разряда. Способы гашения дуги. Электрическая дуга постоянного тока и условия ее гашения. Гашение дуги переменного тока при активной, индуктивной и емкостной нагрузке [1, гл.4], [3 ч. 1, гл.5], [4].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Условия возникновения дугового разряда.
2. Два вида электронной эмиссии, сопровождающей дуговой разряд.
3. Условия гашения дуги.
4. Особенности гашения дуги низкого и высокого напряжения.



5. Распределение напряжения по длине дуги.
6. Статическая вольт-амперная характеристика дуги на постоянном токе.
7. Семейство вольт-амперных характеристик при различной длине дуги.
8. Уравнение баланса напряжений в электрической цепи с дугой.
9. Точки устойчивого и неустойчивого горения дуги.
10. Возникновение перенапряжений при гашении дуги постоянного тока.
11. Способы уменьшения перенапряжений.
12. Вольт-амперная характеристика дуги на переменном токе.
13. Процесс гашения дуги при отключении активной и индуктивной нагрузки.
14. Движение дуги в магнитном поле. Магнитное дутье.
15. Влияние скорости движения дуги на ее гашение.
16. Гашение дуги в продольных щелях, в дугогасительной решетке.
17. Выполнение и материалы дугогасительных решеток.
18. Гашение дуги за счет растяжения и охлаждения дуги.

#### **4.5. Электромагнитные механизмы**

Особенности расчета магнитных цепей электроаппаратов на постоянном и переменном токе. Тяговые характеристики электромагнитных механизмов (ЭММ). Способы замедления и ускорения срабатывания электромагнитных механизмов. Расчет обмоток катушек электромагнитных механизмов. Пересчет обмоточных данных [1, гл.5], [3; ч.1], [4].

##### ***Вопросы для самопроверки***

1. Применение электромагнитных механизмов.
2. Основные части электромагнитного механизма.
3. Особенности выполнения магнитопроводов на переменном токе.
4. Назначение короткозамкнутых витков на магнитопроводах переменного и постоянного тока.
5. Классификация электромагнитных механизмов.
6. Статическая тяговая характеристика электромагнитного механизма.
7. Коэффициент возврата и способы его регулирования.
8. Динамическая характеристика ЭММ при срабатывании.
9. Составляющие времени срабатывания и отпускания ЭММ.
10. Способы замедления срабатывания и отпускания ЭММ.
11. Конструктивное выполнение катушек ЭММ.

### **Тема 5. Электрические аппараты низкого напряжения в схемах электроснабжения**

#### **5.1. Неавтоматические аппараты управления**

Рубильники, выключатели нагрузки, пакетные выключатели, ключи управления, командоаппараты, кнопки, кнопочные станции, сопротивления, реостаты [1, гл.9, 16], [3, ч.2, гл.3, 5, 7], [4].

##### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назначение рубильников. Конструкция рубильников [1, рис.16-1].
2. Назначение и типы пакетных выключателей.

3. Устройство пакетного выключателя [1, рис.16-4].
4. Назначение кнопок и станций управления.
5. Устройство кнопки управления [3, рис.7-1].
6. Назначение универсальных переключателей.
7. Устройство переключателя УП-5400 [1, рис.9-10].
8. Назначение и конструкция рамочного резистора [1, рис.9-3].
9. Назначение и конструкция чугунного резистора [1, рис.9-15].
10. Назначение реостатов и требования предъявляемые к ним.
11. Назначение и схема пускового реостата [3, рис.5-3].
12. Выключатели нагрузки.

## **5.2. Предохранители**

Предохранители, конструкции, принципы действия. Способы гашения дуги [1, гл.16], [2], [3 ч.2, гл.4, 8], [4].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назначение аппаратов защиты.
2. Плавкие предохранители: назначение, технические параметры.
3. Назначение и работа предохранителя ПР-2 [1, рис.16-3].
4. Назначение и работа предохранителя ПН-2 [1, рис. 16-4].
5. Назначение и параметры быстродействующих предохранителей.
6. Устройство и работа предохранителя ПБП [3, рис.4-6].
7. Гашение дуги в предохранителях.
8. Защитные время-токовые характеристики плавких вставок и их выбор.
9. Обеспечение селективности при защите сети предохранителями.
10. Достоинства и недостатки предохранителей.
11. Построение защитной характеристики предохранителя на бланке карты селективности.

## **5.3. Автоматические воздушные выключатели (АВ)**

Конструкция. Основные узлы. Расцепители. Максимальные расцепители тока (МРТ) [1, гл.17], [2], [3 ч.2, гл.4, 8], [4].

### ***Вопросы для самопроверки***

1. АВ, назначение, основные технические параметры.
2. Преимущества и недостатки АВ.
3. Основные узлы АВ [3, рис.8-2; 1, рис.17-1].
4. Блок-схема взаимодействия частей АВ [3, рис.8-1; 1, рис.17-1].
5. Классификация максимальных токовых расцепителей АВ. Принципиальная схема включения комбинированных и полупроводниковых расцепителей.
6. Механизм свободного расцепления [3, рис, 8-2].
7. Классификация расцепителей напряжения, назначение. Принципиальная схема их включения.
8. Основные узлы АВ. Контактная система, ее назначение, конструкция, применяемые материалы. Выполнение токоограничения у выключателей путем электромагнитного отброса контактов при сверхтоках.

9. Основные узлы АВ. Дугогасительная система, ее назначение, конструкция. Принцип образования магнитного поля для эффективного дугогашения.
10. Токоограничивающие АВ. Область применения. Графическое пояснение.
11. Применение и достоинства АВ с полупроводниковыми расцепителем тока.
12. Собственное и полное время отключения АВ. Нормальные выключатели и выключатели с выдержкой времени.
13. Классификация АВ по быстродействию и собственному времени отключения.
14. Построение защитной характеристики АВ на бланке карты селективности.

#### **5.4. Автоматические аппараты управления**

Контакторы постоянного и переменного тока, магнитные пускатели, тиристорные контакторы [1, гл.8], [3 ч.2, гл.9].

##### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назначение и основные конструктивные узлы контактора.
2. Назначение и устройство пускателя типа ПМЛ.
3. Назначение и устройство пускателя типа ПМА.
4. Устройство контактора типа КТ6000 [1, рис.8-4].
5. Особенности выполнения контактных систем пускателей ПМЛ и ПМА.
6. Особенности исполнения контакторов на постоянном и переменном токе.
7. Назначение и типы тепловых реле.
8. Устройство теплового реле типа РТЛ, РТТ.
9. Характеристики тепловых реле и способы их регулировки.
10. Согласование характеристик теплового реле и защищаемого объекта.
11. Схема защиты и управления асинхронным двигателем [1, рис. 8-11, 8-13].
12. Назначение и типы тиристорных контакторов.
13. Работа схемы тиристорного контактора [1, рис.8-14].
14. Осциллограмма тока и напряжения при работе тиристорного контактора.

#### **5.5. Электрические реле**

Реле тока, реле напряжения, реле времени, промежуточные реле. Полупроводниковые реле [1, гл.9-11, 12], [3 ч.1, гл.4].

##### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назначение и классификация релейных аппаратов.
2. Блок-схема функциональных органов реле.
3. Основные параметры, характеризующие релейный аппарат.
4. Назначение и составные части реле времени.
5. Параметры и устройство пневматического реле времени [1, рис.10-5].
6. Параметры и устройство моторного реле времени [1, рис. 10-6].
7. Параметры и устройство реле времени РЭВ-800 [1, рис.10-1].
8. Преимущества полупроводниковых реле.
9. Регулирование времени срабатывания реле РЭВ-800.
10. Составляющие полного времени срабатывания и отпускания электромагнитного реле.

### **5.6. Логические элементы**

Контактные и бесконтактные элементы. Законы и тождества алгебры логики. Построение схем по логическим уравнениям [1, гл.12].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Реализация логических функций "ИЛИ", "И", "НЕ", "Задержка" на контактных элементах.
2. Функции "Память", "И-НЕ" на контактных элементах.

### **5.7. Бесконтактная силовая аппаратура**

Контакты, преобразователи. Гибридные электрические аппараты. Сравнительная оценка контактной и бесконтактной аппаратуры [3 ч.2, гл.11-14].

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назначение и преимущества силовых бесконтактных аппаратов по сравнению с контактными аппаратами.
2. Применение силовых бесконтактных аппаратов для систем автоматического регулирования.
3. Применение силовых бесконтактных аппаратов для коммутационных целей.
4. Работа цепочки встречно-параллельного включения тиристоров на однофазную нагрузку. Осциллограмма тока и напряжения.
5. Особенность защиты тиристорных преобразователей.
6. Работа контактора с бездуговой коммутацией.
7. Электрическая схема тиристорного пускателя переменного тока.
8. Тиристорные управляемые пускатели (тиристорные источники питания) переменного тока.
9. Электрическая схема тиристорного пускателя постоянного тока.
10. Тиристорные управляемые источники питания постоянного тока.
11. Область использования контактной и бесконтактной аппаратуры.
12. Развитие контактной аппаратуры, гибридные электрические аппараты.
13. Устройства плавного пуска.

### **5.8. Низковольтные комплектные устройства (НКУ)**

НКУ распределения энергии. НКУ защиты и управления. Основные отечественные производители НКУ. Зарубежные производители НКУ.

#### ***Вопросы для самопроверки***

1. Исполнение и назначение НКУ.
2. Конструкции НКУ распределения энергии.
3. Конструкции НКУ защиты и управления.
4. Устройства защитного отключения (УЗО) в трехфазных и однофазных сетях.
5. Устройства защиты от импульсных перенапряжений.
6. Отечественные производители НКУ.
7. Зарубежные производители НКУ.

# ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1. Общие сведения об электрических аппаратах

### 1.1. Основные определения

*Электрические аппараты (ЭА)* – электротехнические устройства, предназначенные для различных целей: включение и отключение электрических цепей, контроль их состояния, управление, измерение и защита электрических и неэлектрических объектов.

*Электротехническое устройство (ЭУ)* – промышленное изделие, предназначенное для выполнения определенной функции при решении комплексной задачи производства, распределения и использования электрической энергии.

*Номинальное значение параметра* – указанное изготовителем значение параметра ЭУ.

*Приемник электрической энергии или электроприемник (ЭП)* – это устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в другие виды энергии (механическую, тепловую, химическую и прочие).

*Потребитель электрической энергии* – ЭП или группа ЭП, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

*Электроустановка* – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другие виды энергии.

Электрические аппараты представляют собой средства управления электрическим током. В техническом отношении к *функции управления током* относятся:

- коммутация (включение – отключение) электрического тока;
- распределение тока (электрической энергии) по объектам и потребителям;
- защита электротехнического оборудования от аварийных режимов;
- контроль параметров электрического тока;
- автоматическое и неавтоматическое регулирование электрического тока, стабилизация, изменение по заданному закону.

### 1.2. Режимы работы электротехнических устройств

Номинальный режим работы – режим, когда элемент электрической цепи работает при значениях тока, напряжения, мощности, указанных в техническом паспорте, что соответствует самым выгодным условиям работы с точки зрения экономичности и надежности.

Нормальный режим – режим, когда объект (ЭУ, ЭА, ЭП) эксплуатируется при параметрах режима, незначительно отличающихся от номинальных

режимов работы (“недогруженный режим” или находящийся в пределах перегрузочной способности).

Ненормальный режим – параметры режима работы *кратковременно* превышают номинальный режим до двух-трех раз (во многих случаях отключать ЭУ не нужно, так как используется его перегрузочная способность в течение непродолжительного времени).

Аварийный режим – параметры режима (тока, напряжения, мощности) *длительно* превышают номинальные – свыше двух-трех раз. В этом случае объект обязательно должен быть отключен от сети, иначе он выйдет из строя.

### **1.3. Классификация электрических аппаратов**

Многообразие видов аппаратов и выполняемых ими функций, совмещение в одном аппарате нескольких функций не позволяют строго классифицировать их по одному признаку. Поэтому электрические аппараты классифицируются: по назначению, по напряжению, по роду тока, по роду защиты от попадания в электрические аппараты инородных тел, по работе в определенных климатических условиях и категории размещения.

#### **1. По назначению:**

а) коммутационные аппараты (основные функции – включение, отключение, переключение электрических цепей). Это рубильники, выключатели нагрузки, разъединители, короткозамыкатели, пакетные переключатели. Особенность данных видов аппаратов - редкое выполнение операций включения - отключения (ВО);

б) защитные аппараты (основная функция – защита электрических цепей от токов короткого замыкания и перегрузок). Это предохранители, автоматические выключатели, устройства защитного отключения (УЗО);

в) пускорегулирующие аппараты (основная функция - управление электроприводами и другими промышленными потребителями электроэнергии). Часто их называют аппараты управления (АУ). Это контакторы, пускатели, командоконтроллеры, реостаты. Особенность этих аппаратов – частое ВО (до 3600 в час, т.е. 1 раз в секунду);

г) ограничивающие аппараты (основная функция реакторов и разрядников – ограничение токов короткого замыкания и перенапряжений соответственно);

д) контролирующие аппараты (основная функция – контроль заданных электрических и неэлектрических параметров). Это реле, датчики;

е) аппараты для измерения (основная функция – изолирование цепи первичной коммутации (силовой цепи, цепи главного тока) от измерительных цепей и преобразование контролируемого параметра в форму, удобную для измерения). Это трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, делители напряжения;

ж) регулирующие аппараты (основное назначение – автоматизация, стабилизация или регулирование заданного параметра электрической цепи). Это УПП, преобразователи частоты и проч.

2. *По напряжению:*

- а) аппараты до 1000 В;
- б) аппараты выше 1000 В.

В данном курсе изучаются аппараты до 1000 В.

3. *По роду тока:*

- а) аппараты постоянного тока;
- б) аппараты переменного тока промышленной частоты;
- в) аппараты переменного тока повышенной частоты.

4. *По роду защиты от попадания в электрические аппараты инородных тел и защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и подвижными частями, а также от попадания влаги.*

По ГОСТ 14254-96 степень защиты обозначается двумя буквами и двумя цифрами (международная классификация степени защиты):

***IP X<sub>1</sub> X<sub>2</sub> (International Protection)***

*X<sub>1</sub> – степень защиты персонала, а также степень защиты изделия от попадания внутрь твердых посторонних тел (защита по “пыли”):*

- 0** – защита отсутствует;
- 1** – защита от преднамеренного доступа тел диаметром не менее 52,5 мм (“ладонь”);
- 2** – защита от преднамеренного доступа тел диаметром не менее 12,5 мм и длиной 80 мм (“палец”);
- 3** – защита от преднамеренного доступа тел диаметром не менее 2,5 мм (“отвертка”);
- 4** – защита от преднамеренного доступа тел диаметром не менее 1,0 мм (“провода”);
- 5** – полная защита персонала и защита от отложения пыли;
- 6** – полная защита персонала и защита от попадания пыли.

*X<sub>2</sub> – степень защиты изделия от попадания воды (защита по “воде”):*

- 0** – защита отсутствует;
- 1** – защита от капель конденсирующейся воды;
- 2** – защита от капель;
- 3** – защита от дождя, падающего под углом 60° к вертикали;
- 4** – защита от брызг любого направления;
- 5** – защита от водяных струй;
- 6** – защита от воздействий, характерных для палубы корабля (от волн воды);
- 7** – защита от погружения в воду;
- 8** – защита от длительного погружения в воду при определенном давлении.

***Примеры***

***IP00***– открытое исполнение;

***IP20***– защищенное исполнение;

***IP44***– брызгозащищенное исполнение;

*IP54*– пылебрызгозащищенное исполнение;  
*IP66*– пылеводонепроницаемое (морское) исполнение;  
*IP67*– герметичное исполнение.

*5. По работе в определенных климатических условиях и категории размещения электрических аппаратов.*

С точки зрения воздействия климатических факторов поверхность земного шара делится на ряд макроклиматических районов, которые характеризуются температурой и влажностью воздуха, а также пределами их изменения во времени.

ГОСТ 15150-69 устанавливает 5 категорий размещения электрических аппаратов:

1 категория – электрические аппараты, предназначенные для работы на открытом воздухе;

2 категория – электрические аппараты, предназначенные для работы на открытом воздухе, но под навесом, в палатке, в металлическом кожухе;

3 категория – электрические аппараты, предназначенные для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без отопления;

4 категория – электрические аппараты, предназначенные для работы в закрытых помещениях с отоплением;

5 категория – электрические аппараты, предназначенные для работы в помещениях с повышенной влажностью и почве (шахты, подвалы, трюмы).

ГОСТ 15543-70 конкретизирует возможность использования электрических аппаратов в определенных климатических условиях.

Таблица 1.1

**Климатические зоны**

Вид зоны, район	Обозначение	
	русское	латинское
1. Зона умеренного климата	У	<i>N</i>
2. Зона умеренного и холодного климата	УХЛ	<i>NF</i>
3. Зона тропического влажного климата	ТВ	<i>TH</i>
4. Зона тропического сухого климата	ТС	<i>TA</i>
5. Зона тропического климата (сухого и влажного)	Т	<i>T</i>
6. Для всех климатических районов на суше и на море	О	<i>U</i>

*Пример.* Маркировка магнитного пускателя ПМА-6122У225.

Из маркировки выделяется сочетание буквы и цифры У2. Буква У (ГОСТ 15543-70) означает, что данный аппарат предназначен для работы в странах с умеренным климатом при нормальном значении температуры воздуха от  $-40^{\circ}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ , при среднемесечном значении относительной влажности воздуха 80% при  $20^{\circ}\text{C}$ ; цифра 2 (ГОСТ 15150-69) – данный аппарат предназначен для работы в помещениях, имеющих свободный доступ наружного воздуха.



#### 1.4. Классификация электроустановок

Климатические возможности работы электрических аппаратов необходимо соотносить с категориями электроустановок, которые классифицируются правилами устройства электроустановок (ПУЭ).

1. *Открытые или наружные электрические установки* – это электроустановки, которые располагаются на открытом воздухе (защищены навесом или сетчатым ограждением).

2. *Закрытые или внутренние* – это электроустановки, находящиеся в закрытых помещениях.

Помещения бывают:

а) *сухие* – относительная влажность не превышает 60% при 20°C.

Такие помещения называются *нормальными*, если в них отсутствуют условия, характерные для помещений жарких, пыльных, с химически активной средой или взрывоопасных;

б) *влажные* помещения – с влажностью не более 75% при 20°C, пары и сконденсировавшаяся влага выделяется лишь временно;

в) *сырые* – относительная влажность длительно превышает 75%;

г) *особо сырые* – относительная влажность близка к 100% (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой);

д) *жаркие* – температура длительно (более одних суток) превышает +35°C;

е) *пыльные* – выделяется технологическая пыль, проникающая внутрь электрических аппаратов и электрических машин, они подразделяются на помещения с токопроводящей пылью и с нетокопроводящей пылью;

ж) *с химически активной или органической средой* – содержатся пары или образуются отложения или плесень и агрессивные газы, жидкости, действующие разрушающе на изоляцию и на токоведущие части.

В отношении опасности поражения людей электрическим током выделяются: *помещения с повышенной опасностью* – такие, в которых присутствует одно из следующих условий:

а) сырость и токопроводящая пыль;

б) токопроводящий пол (в том числе земляной, железобетонный, кирпичный и т.п.);

в) высокая температура;

г) возможность одновременного соприкосновения человека с металлическими корпусами электрооборудования, с одной стороны, и заземленными механическими конструкциями, с другой.

*Особо опасные помещения* – такие, в которых присутствуют условия:

а) особая сырость;

б) химически активная или органическая среда;

в) одновременное наличие двух или более условий повышенной опасности;

г) территория открытых электроустановок.

### 1.5. Требования, предъявляемые к электрическим аппаратам

Все требования направлены на обеспечение нормальной эксплуатации во всех режимах, достаточно большой срок службы, минимальные материальные затраты и отсутствие чрезмерных звуковых и световых эффектов.

Требования определяются назначением аппаратов, условиями эксплуатации, необходимой надежностью электрических аппаратов.

Надежность – основной качественный показатель для электрических аппаратов. Определяется надежностью узлов, из которых состоит электрический аппарат.

Надежность включает в себя три понятия:

1. *Безотказность* – свойство непрерывно сохранять работоспособность.

2. *Долговечность* – свойство длительно сохранять работоспособность.

Это сумма интервалов времени безотказной работы.

3. *Ремонтпригодность* – приспособленность к восстановлению работоспособности.

Рассмотрим характеристики надежности от начала эксплуатации (НЭ) до конца эксплуатации (КЭ).

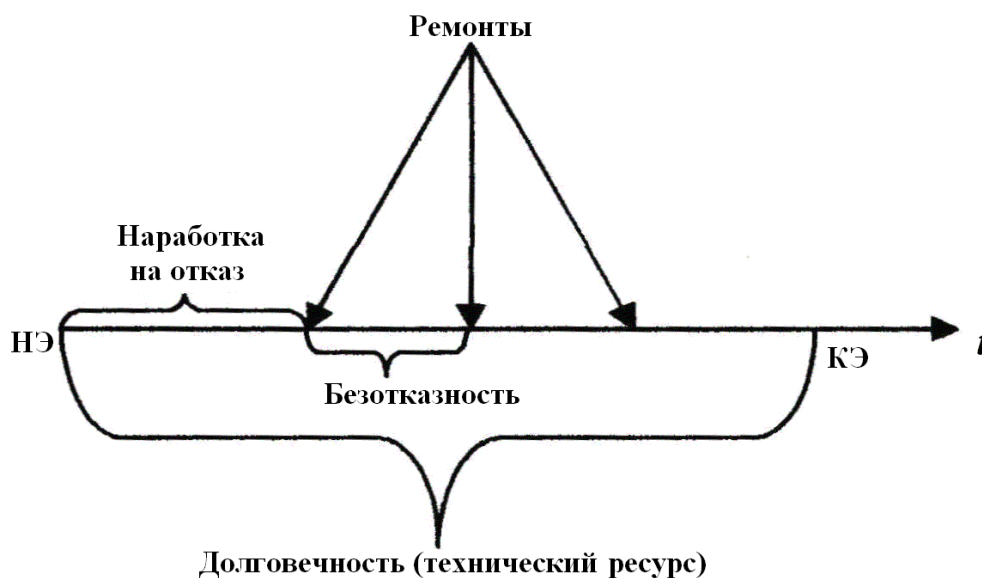


Рис. 1.1. Характеристики надежности

*Отказ* – состояние электрического аппарата, когда одна характеристика или группа его характеристик выходит за определенные пределы и аппарат теряет свойство работы.

Количественно надежность характеризуется интенсивностью потока отказов  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot t} \left[ \frac{1}{\text{время}} \right], \quad (1.1)$$

где  $N$  – общее число однотипных наблюдаемых аппаратов за время  $t$ ;  
 $n$  – количество отказавших аппаратов.

Пример определения предполагаемого количества отказов для автоматических выключателей:

$$\lambda = 0,05 \left[ \frac{1}{\text{год}} \right], \text{ тогда } n = \lambda \cdot N \cdot t = 0,05 \cdot 100 \cdot 1 = 5 \text{ аппаратов в год.}$$

Если эксплуатируются 100 штук автоматических выключателей, то 5 из них за 1 год могут отказать.

Интенсивность потока отказов  $\lambda$  является справочной величиной для каждого вида ЭА и показывает, сколько аппаратов выйдет из строя за определенное время (за время  $t$ ). Она не является постоянной величиной и изменяется в процессе “жизненного” цикла ЭА.

Типовая кривая надежности показана на рис. 1.2

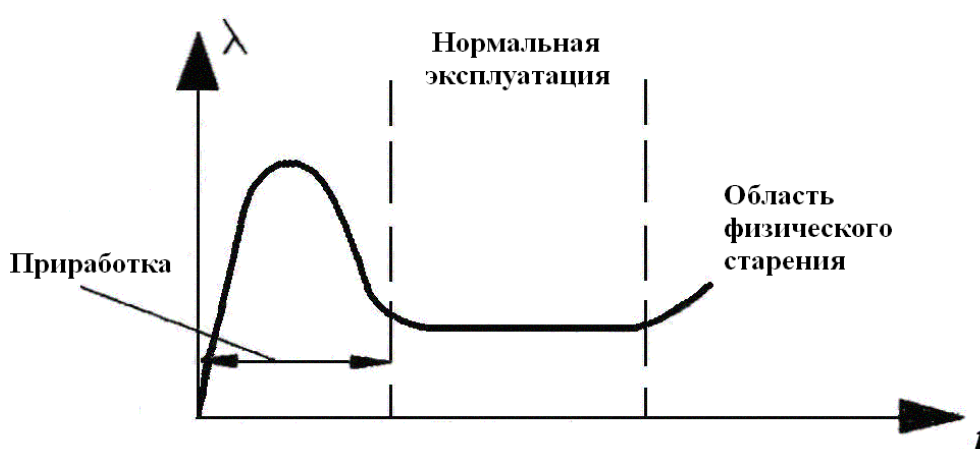


Рис. 1.2. Типовая кривая надежности

В период приработки выходит из строя наибольшее количество аппаратов.

Наиболее важные требования, предъявляемые к ЭА:

1. В нормальном режиме температура электрического аппарата не должна превосходить определенных значений, установленных для данного аппарата в техническом паспорте, т.е. должен длительное время выдерживать нагревание, происходящее за счет протекания по нему электрического тока

2. В аварийном режиме аппарат должен обладать термической стойкостью, т.е. должен кратковременно выдерживать нагревание, происходящее за счет протекания по нему электрического тока короткого замыкания и перегрузки.

3. В аварийном режиме аппарат должен обладать электродинамической стойкостью т.е. должен кратковременно выдерживать механические силы, происходящие за счет протекания по нему электрического тока короткого замыкания и перегрузки.

4. Электрическая прочность изоляции. Изоляция ЭА должна быть рассчитана на определенное напряжение в электрической сети и на некоторые

его колебания, а также учитывать возможность ослабления изоляции вследствие ее загрязнения.

5. Механическая и электрическая износоустойчивость - для электрических аппаратов, предназначенных для частых циклов ВО.

6. Специфические требования в зависимости от назначения.

7. Любой электрический аппарат должен иметь минимальные габариты, массу, стоимость, быть простым по устройству, технологичным в производстве, удобным в обслуживании и удовлетворять требованиям эстетики.

### ***1.6. Материалы, применяемые при изготовлении электрических аппаратов***

1. *Проводниковые материалы* – это материалы высокой электрической проводимости (медь, сталь, алюминий, латунь), обладают удельным электрическим сопротивлением при нормальных условиях не более  $0,1 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$  и предназначены для изготовления токоведущих частей.

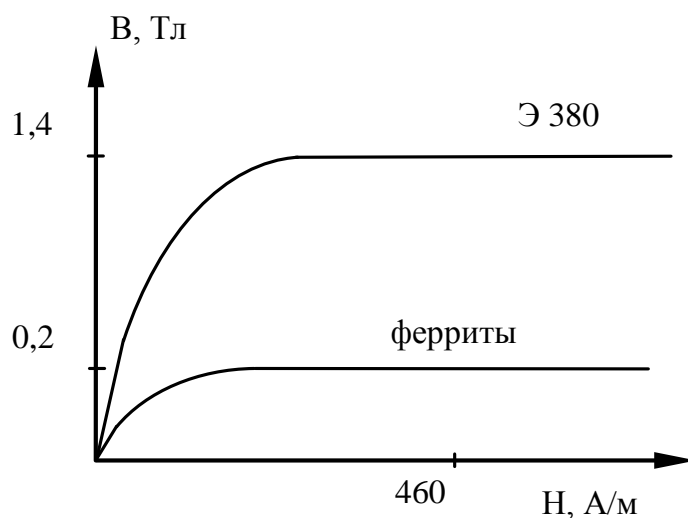
*Требования:*

- а) малое удельное электрическое сопротивление  $\rho$ ;
- б) высокая механическая прочность и пластичность;
- в) стойкость против коррозии.

2. *Магнитные материалы* – предназначены для усиления электромагнитного поля, создаваемого проводником с током.

*Требования:*

- а) материал должен обладать резко выраженным переходом в область насыщения;
- б) магнитная проницаемость  $\mu$  должна быть минимальной после перехода в область насыщения;
- в) насыщение должно наступать при возможно малых магнитных полях.



**Рис. 1.3. Кривые насыщения для магнитных материалов**

Кремний в магнитные материалы добавляется для увеличения удельного электрического сопротивления, что уменьшает величину вихревых токов.

Используются электротехнические стали: Э380 – сплав железа с кремнием, железо-никелевые, железо-кобальтовые стали, ферриты.

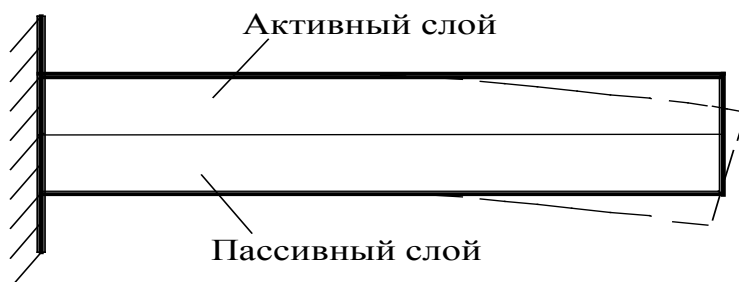
3. *Изоляционные материалы* – предназначены для изоляции токоведущих деталей ЭА друг от друга и от других частей электроаппаратов. Это электротехнический картон, лакоткань, текстолит, гетинакс, полиэтилен, эпоксидные компаунды, различные пластмассы.

Изоляция считается хорошей, если величина сопротивления изоляции составляет  $R_{из} \geq 100 \text{ МОм}$ . ПУЭ допускает эксплуатировать установку до 1000 В с  $R_{из} \geq 0,5 \text{ МОм}$ .

4. *Дугостойкие изоляционные материалы* – предназначены для выполнения дугогасительных камер. Это асбест, керамика, пластмассы.

5. *Контактные материалы* – предназначены для обеспечения высокой электрической износостойкости контактов. Медь, металлокерамика, серебро.

6. *Биметаллы* – предназначены для изготовления тепловых расцепителей. Тепловой расцепитель выполнен в виде биметаллической пластины, на которую намотана нагревательная спираль, включенная в защищаемую цепь последовательно. Используется эффект различного линейного удлинения некоторых металлов при нагревании. При увеличении тока нагрузки сверх номинального значения спираль нагревает биметаллическую пластину.



**Рис. 1.4. Биметаллическая пластина**

Пассивный слой – инвар (36% Ni, 64% Fe). При нагреве активный слой удлиняется в большей степени, чем пассивный слой, и биметалл изгибается, воздействуя своим окончанием на какое-либо отключающее устройство.

7. *Сплавы высокого электрического сопротивления (высокоомные сплавы)* – материалы с удельным электрическим сопротивлением при нормальных условиях не менее  $0,3 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ . Это нихром, манганин.

8. *Полупроводниковые материалы* – для изготовления бесконтактных электрических аппаратов. Это германий, кремний.

9. *Конструкционные материалы*. Предназначены для придания аппарату тех или иных форм. Основное назначение – восприятие механических усилий. Это металлы, пластмассы, электротехнический картон.

Технический прогресс при производстве ЭА в основном определяется качеством материалов.

## **2. Правила выполнения и анализа электрических схем**

### **2.1. Условные буквенно – цифровые обозначения**

#### ***Общие определения***

*Электрическая схема* – это упрощенное и наглядное изображение связей между отдельными элементами электрической цепи, выполненное при помощи условных обозначений.

*Электрическая цепь* – совокупность электротехнических устройств, образующих путь для электрического тока.

Электрическая цепь обязательно включает в себя источник электрической энергии; приёмник электрической энергии, соединительные провода или проводники. Также в её состав могут входить измерительные приборы, коммутирующая аппаратура.

*Электрический ток* – направленное движение зарядов в электрическом поле.

Электрический ток в электрических цепях всегда идёт по замкнутому контуру, внутри которого должен быть источник.

#### ***Классификация схем***

Согласно ГОСТ 2701-84, все схемы разделяются на виды:

I. В зависимости от видов элементов и связей между ними:

Э – электрические схемы;

Г – гидравлические;

П – пневматические;

Гз – газовые и т.д.

II. В зависимости от основного назначения каждый вид схемы делится на типы:

1 – структурные схемы;

2 – функциональные схемы;

3 – принципиальные (полные) схемы;

4 – схемы соединений (монтажные);

5 – схемы подключения;

6 – общие схемы;

7 – схемы расположения;

0 – объединенные схемы.

Таким образом, наименование схемы определяется её видом и типом и обозначается буквенно-цифровым обозначением (БЦО).

*Пример.* Обозначение ЭЗ – это электрическая принципиальная схема.

#### ***Условные буквенно-цифровые обозначения (БЦО) в электрических схемах***

Буквенно-цифровые обозначение (БЦО) предназначены для записи в сокращённой форме сведений об элементах электрической цепи. Для этого используются прописные буквы латинского алфавита и арабские цифры. Для

уточнения вида элементов применяются двухбуквенные и многобуквенные коды.

Таблица 2.1

**Буквенные обозначения элементов электрической цепи**

Первая буква кода	Наименование группы элементов	Примеры наименований элементов	Двух-буквенный код
1	2	3	4
<i>A</i>	Устройства	Усилитель, прибор	
<i>B</i>	Преобразователи неэлектрических величин в электрические	Телефон Тепловой датчик Датчик давления	<i>BF</i> <i>BK</i> <i>BP</i>
<i>C</i>	Конденсаторы		
<i>D</i>	Схемы интегральные, микросборки	Схема памяти Логические элементы Схема задержки	<i>DC</i> <i>DD</i> <i>DT</i>
<i>E</i>	Элементы разные	Нагревательный элемент Лампа осветительная	<i>EK</i> <i>EL</i>
<i>F</i>	Разрядники, предохранители, защитные устройства	Предохранитель плавкий Разрядник	<i>FU</i> <i>FV</i>
<i>G</i>	Генераторы источники питания	Аккумуляторная батарея	<i>GB</i>
<i>H</i>	Устройства индикации и сигнализации	Звуковой прибор Световой прибор	<i>HA</i> <i>HL</i>
<i>K</i>	Реле, контакторы, пускатели	Реле тока Реле управления Реле электротепловое Контактор (магнитный пускатель) Реле времени Реле напряжения	<i>KA</i> <i>KC</i> <i>KK</i> <i>KM</i> <i>KT</i> <i>KV</i>
<i>L</i>	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссель люминесцентной лампы	<i>LL</i>
<i>M</i>	Двигатели		
<i>P</i>	Приборы, измерительное оборудование	Амперметр Счетчик активной энергии Счетчик реактивной энергии Часы (секундомер) Вольтметр Ваттметр	<i>PA</i> <i>PI</i> <i>PK</i> <i>PT</i> <i>PV</i> <i>PW</i>
<i>Q</i>	Выключатели, разъединители в силовых цепях	Выключатель автоматический Короткозамыкатель Разъединитель	<i>QF</i> <i>QK</i> <i>QS</i>
<i>R</i>	Резисторы	Терморезистор Измерительный шунт	<i>RK</i> <i>RS</i>



1	2	3	4
<i>S</i>	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации, измерения	Переключатель (ключ управления) Выключатель кнопочный Выключатель автоматический Переключатель температуры Переключатель уровня Переключатель давления Переключатель положения (“путевой”)	<i>SA</i> <i>SB</i> <i>SF</i> <i>SK</i> <i>SL</i> <i>SP</i> <i>SQ</i>
<i>T</i>	Трансформаторы, автотрансформаторы	Силовой трансформатор Трансформатор тока Трансформатор напряжения	<i>T</i> <i>TA</i> <i>TV</i>
<i>U</i>	Устройства связи, преобразователи электрических величин в электрические	Выпрямитель	<i>UZ</i>
<i>V</i>	Приборы электровакуумные, полупроводниковые	Диод Электровакуумный прибор Тиристор Транзистор	<i>VD</i> <i>VL</i> <i>VS</i> <i>VT</i>
<i>W</i>	Линии и элементы сверхвысоких частот, антенны		
<i>X</i>	Соединения контактные	Скользящий контакт Штырь (“вилка”) Гнездо (“розетка”) Соединение разборное (клеммник)	<i>XA</i> <i>XP</i> <i>XS</i> <i>XT</i>
<i>Y</i>	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит	<i>YA</i>
<i>Z</i>	Устройства оконечные, фильтры, ограничители	Фильтр кварцевый	<i>ZQ</i>

### **Текстовая информация в схемах**

На схемах рекомендуется помещать следующие текстовые данные:

1. Наименование или характеристики электрических сигналов.
2. Обозначение электрических цепей (маркировка).
3. Технические характеристики электрических аппаратов и других устройств в виде текста, таблиц, диаграмм. Текст выполняется по ГОСТ 2.701-84, должен быть кратким, точным без сокращений (кроме общепринятых) по возможности справа и сверху от электрического аппарата, рядом с линиями, в конце или в разрыве, на свободном поле, по возможности горизонтально. Таблицы должны иметь наименование, раскрывающее содержание, располагаться на свободном поле. Все надписи выполняются чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304-81. Допускаются шрифты различных размеров.

## 2.2. Условные графические обозначения

### Устройства коммутационные и контактные соединения

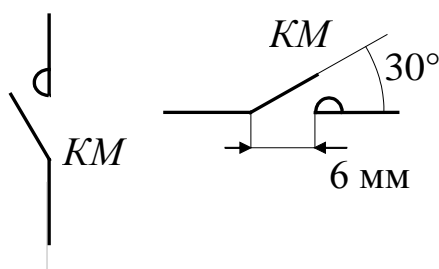
Условные графические обозначения (УГО) на устройства коммутационные и контактные соединения регламентируются ГОСТ 2.755-87.

#### Квалифицирующие символы, поясняющие принцип работы коммутационных устройств

Функции:

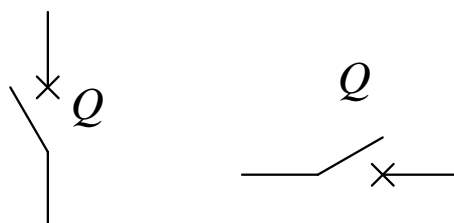
1)  – контактор.


*Контактор* – то электрический аппарат, предназначенный для дистанционной коммутации силовых электрических цепей низкого напряжения:



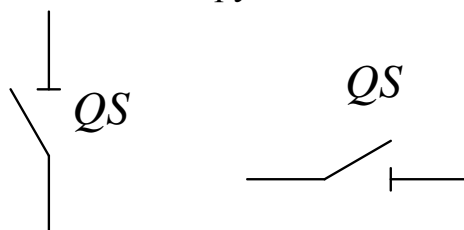
2)  – выключатель.

*Выключатель* – коммутационный электрический аппарат, имеющий два коммутационных положения и предназначенный для включения, отключения электрического тока нагрузки:



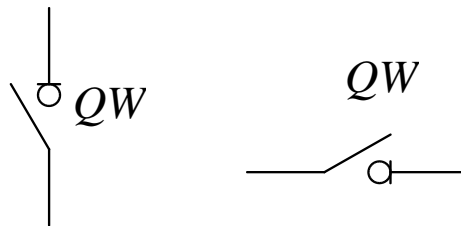
3)  – разъединитель.

*Разъединитель* – коммутационный аппарат, предназначенный для коммутации участков электрической цепи высокого напряжения (выше 1000В) при отсутствии тока или при силе тока значительно меньше номинальной. Для обеспечения безопасности персонала разъединитель имеет в отключенном положении изоляционный промежуток (видимый разрыв). В цепях низкого напряжения такую функцию выполняет рубильник:



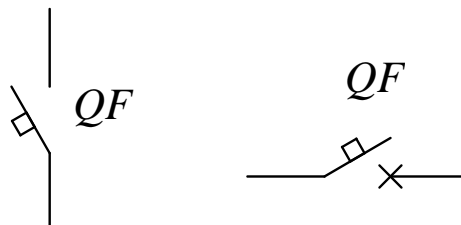
*Рубильник* – коммутационный аппарат, предназначенный для ручного включения, отключения в электрических цепях низкого напряжения. В отключенном состоянии обеспечивает видимый разрыв.

4)  $\bigcirc$  – выключатель-разъединитель – коммутационный аппарат, имеющий два коммутационных положения и предназначенный для включения, отключения электрического тока нагрузки и обладающий функцией видимого разрыва:

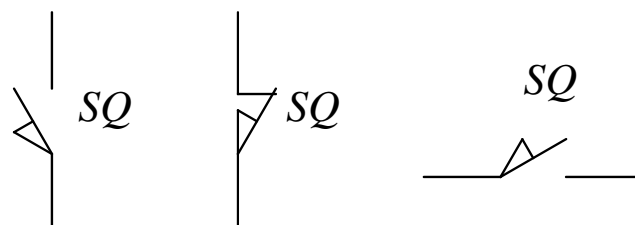


5)  $\square$  – автоматическое срабатывание, т.е. данный коммутационный аппарат срабатывает автоматически при превышении какого-либо параметра сверх заданного.

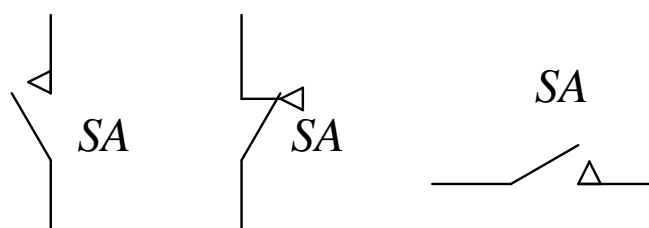
Размер квадрата:  $1,5 \times 1,5$  [мм]:



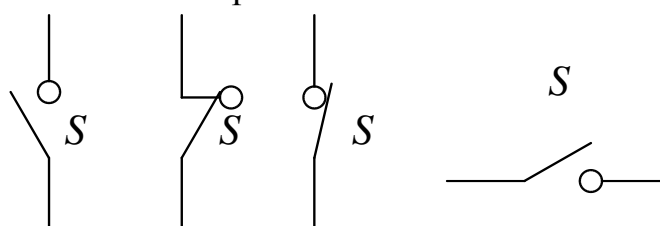
6)  $\triangleleft$  – путевой или концевой выключатель, т.е. происходит срабатывание данного коммутационного аппарата при достижении объектом какого-то пространственного положения:



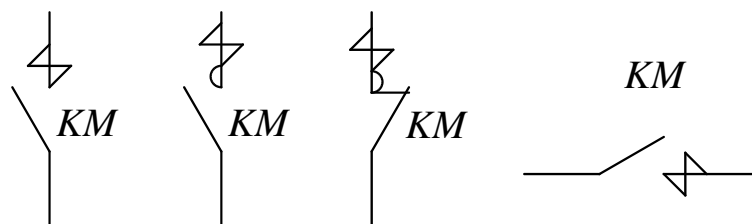
7)  $\triangleleft$  – самовозврат, т.е. контакт возвращается в исходное положение после того, как воздействие на него заканчивается:



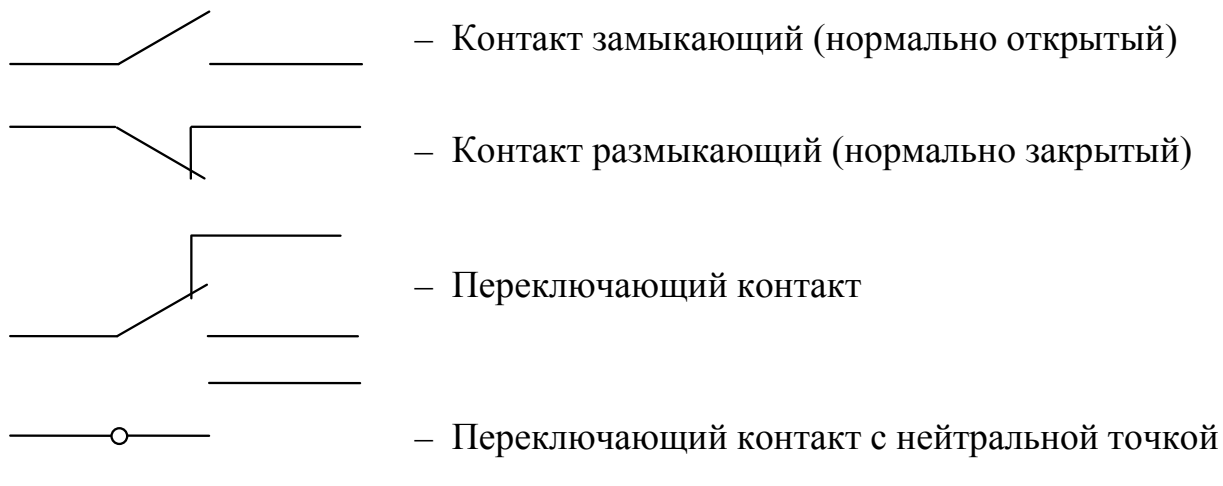
8)  $\bigcirc$  – отсутствие самовозврата:



9)  – дугогашение:



### **Примеры построения контактных коммутирующих устройств**

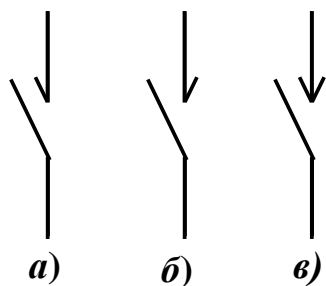


### **Дополнительно используемые символы**

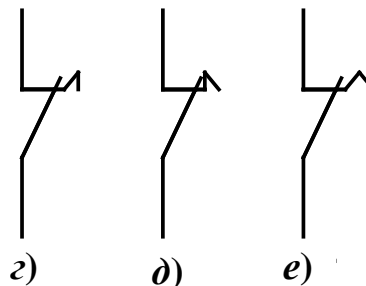
#### **1. Контакты импульсные:**

Контакты импульсные – это контакты, которые замыкаются (размыкаются) на незначительный промежуток времени (*a* и *г* – при срабатывании; *б* и *д* – при возврате; *в* и *е* – при срабатывании и при возврате):

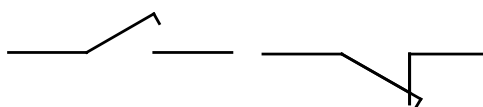
#### **Замыкающие контакты**



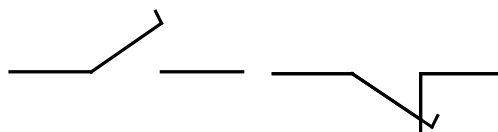
#### **Размыкающие контакты**



2. Контакты в контактной группе, срабатывающие раньше по отношению к другим контактам:

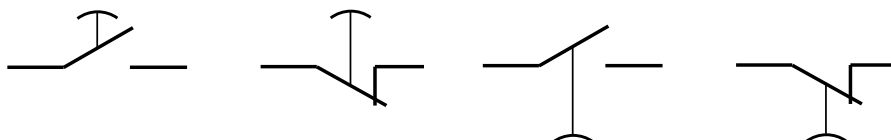


3. Контакты в контактной группе, срабатывающие позднее по отношению к другим контактам:

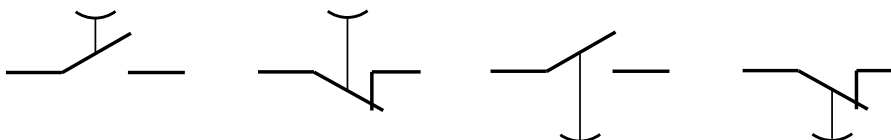


4. Контакты замедления:

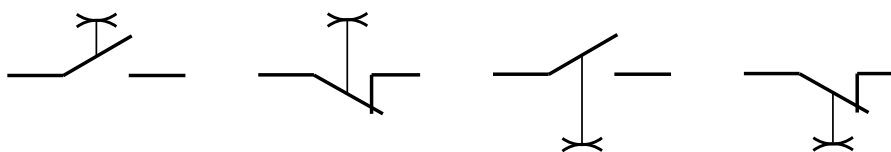
а) при срабатывании;



б) при возврате;



в) при срабатывании и при возврате:



### ***Контакты двухпозиционных коммутационных устройств***

1. Контакт замыкающий выключателя:

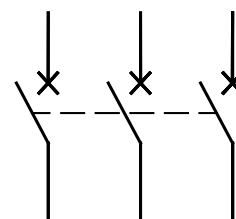
Однополюсный



Трёхполюсный



Однолинейное  
изображение

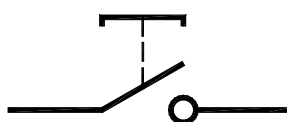


Многолинейное  
изображение

Пунктирная линия показывает, что все полюса замыкаются и размыкаются одновременно.

2. Контакт замыкающий нажимного кнопочного устройства:

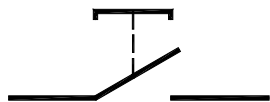
а) без самовозврата;



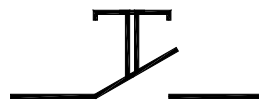
б) размыкание и возврат элемента управления происходит:

– автоматически;

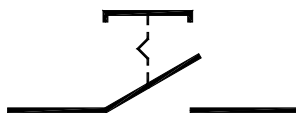
Действующий стандарт



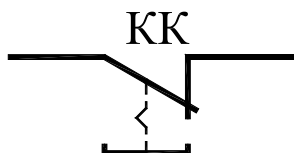
Устаревший стандарт



– посредством вторичного нажатия кнопки;

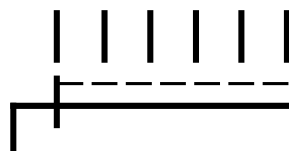


– посредством отдельного привода (например, нажатия кнопки “сброс” у теплового реле КК):



### ***Многопозиционные коммутационные устройства***

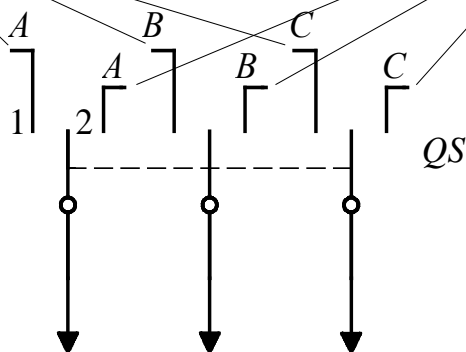
1. Переключатель однополюсный многопозиционный:



2. Трехпозиционный переключатель с нейтральным положением:

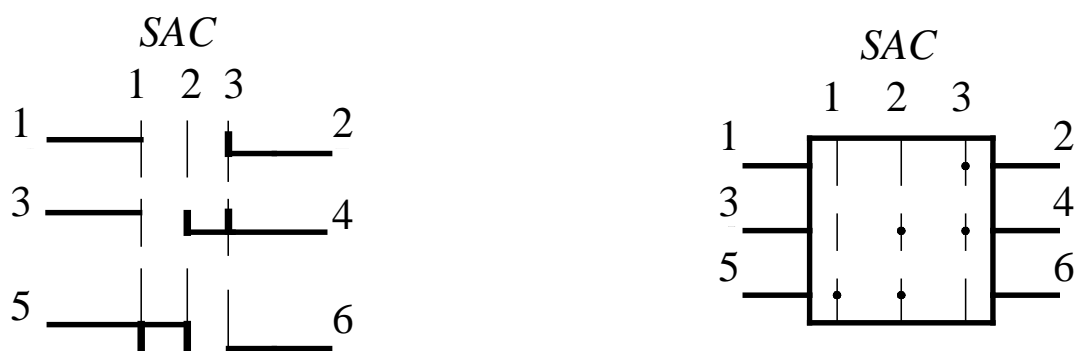
От первого источника  
питания

От второго источника  
питания



На жилой дом

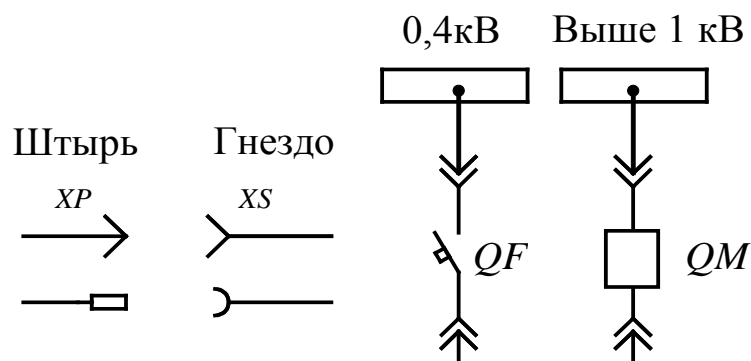
### 3. Ключ управления:



Утолщенная черточка или точка указывает на замкнутое состояние контактов ключа. Например, цепь 1–2 разомкнута в первом и втором положении ключа и замкнута в третьем положении ключа.

#### **Контакты контактных соединений**

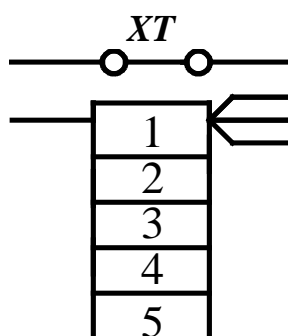
##### а) разъемное соединение



Гнездо конструктивно выполняется на подвижном элементе силовоточного электрического аппарата, так как это более сложный узел, который легче обслуживать, когда аппарат выведен из ячейки распределительного устройства и не находится под напряжением электрической сети. Наоборот, для переносных электроприемников (в том числе бытовых) - штырь является элементом подвижной части, а гнездо (розетка) – неподвижный элемент электрической сети.

##### б) разборное соединение или клемма —○—.

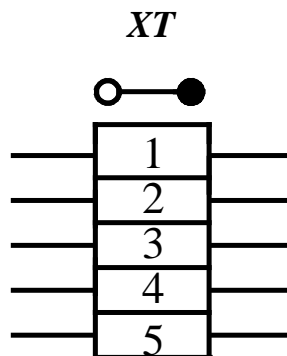
*Пример.* Колодка зажимов (клеммник) с разборными контактами



Проводники с двух сторон клеммника зажимаются при помощи винта.

в) неразборное соединение (пайка) —●—.

*Пример.* Клеммник с разборными и неразборными контактами



**Размеры УГО** могут выполняться в стандарте или пропорционально увеличенными. Ориентация УГО должна быть такая, чтобы обеспечивался наиболее простой рисунок схемы с минимальным количеством изломов и пересечений линий связи.

### *Линии в электрических схемах*

Линиями изображают:

- элементы взаимосвязи (функциональные, логические и т.п.);
- пути прохождения электрического тока (электрические связи);
- механические взаимосвязи;
- материальные проводники (провода, кабели, шины);
- экранирующие оболочки, корпуса приборов и т.п.;
- условные границы устройств и функциональных групп.

Толщины линий выбираются в зависимости от формата схемы и размеров УГО. На одной схеме рекомендуется применять не более трех типоразмеров линий по толщине:  $b$  – тонкая линия;  $2b$  – утолщённая;  $3b...4b$  – толстая.

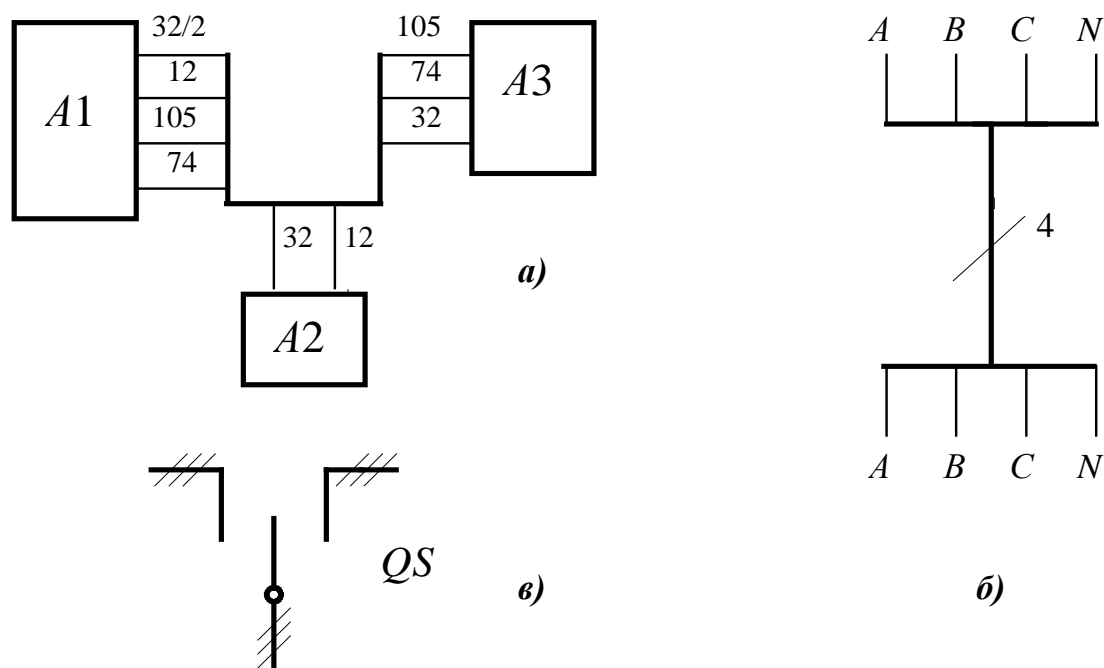
Линии должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь минимальное количество изломов и взаимных пересечений. Допускается применение наклонных линий связи, но длину этих линий по возможности следует ограничивать. Электрические связи изображают, как правило, тонкими линиями ( $b = 0,2 \div 1,0$  мм). Для выделения наиболее важных цепей (например, цепи силового питания) используют утолщенные ( $2b$ ) и толстые ( $3b$ ,  $4b$ ) линии. УГО и линии связи в пределах одной схемы выполняются линиями одной толщины. Рекомендуется толщина линий  $b = 0,3 \div 0,4$  мм.

### *Линии групповой связи*

Линии групповой связи предназначены для уменьшения количества линий, изображаемых на схеме. Каждая сливаемая линия в месте слияния должна быть помечена цифрой, буквой или их сочетанием. Сливаемые линии не должны



иметь разветвлений, то есть каждый условный номер должен встречаться два раза. При наличии разветвлений их количество указывается через дробную черту.



**Рис. 2.1. Применение линий групповой связи:**

*a* – три устройства *A1*, *A2*, *A3*, между которыми проходят проводники с маркировкой 12, 32, 74, 105; *б* – четыре проводника от источника к приемнику; *в* – УГО трехполюсного перекидного рубильника

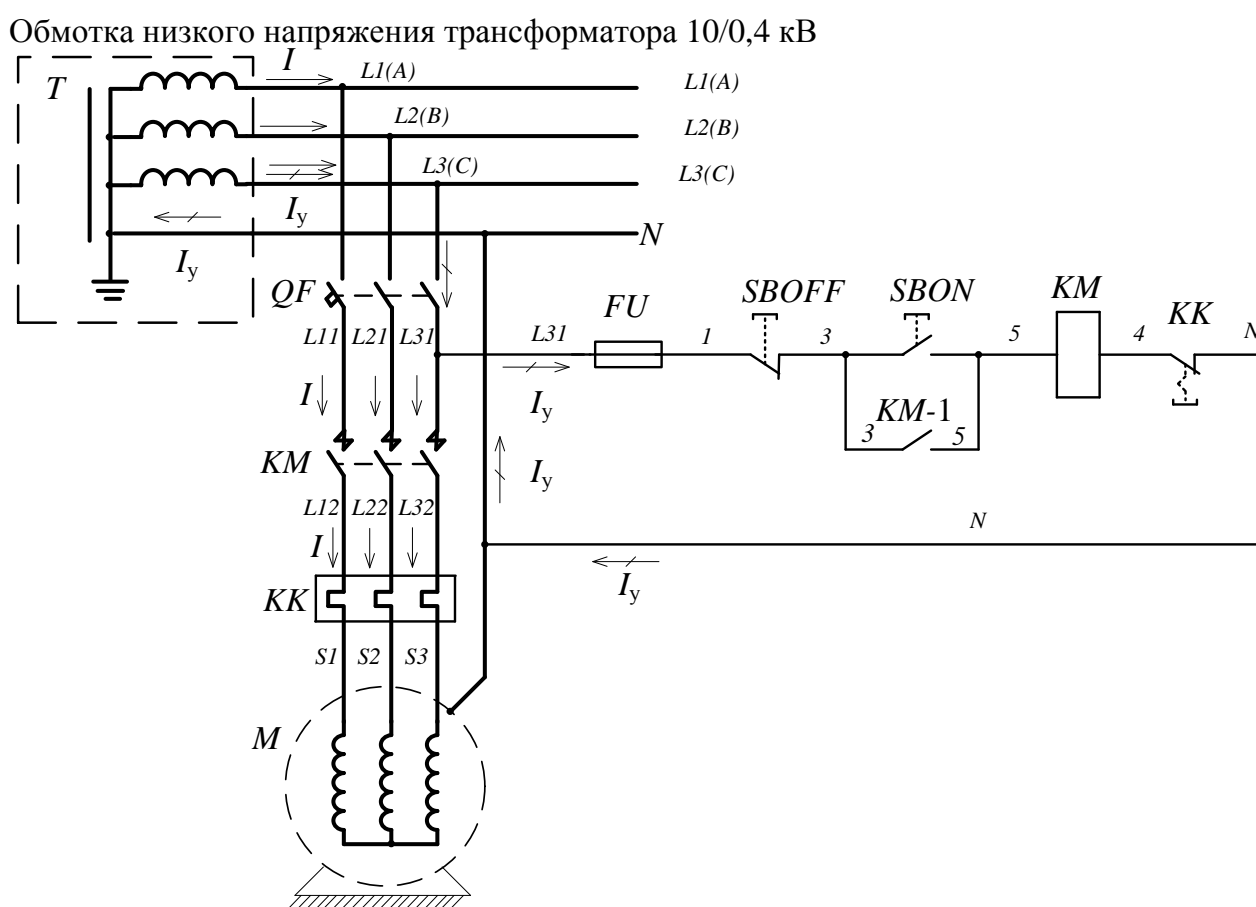
Таблица 2.2

**Примеры видов и толщин линий**

Наименование линий ГОСТ 2303-68	Начертание	Толщина	Основное назначение
Сплошная тонкая	————	<i>b</i>	Линия электрической связи, провод, кабель, шина, линия групповой связи, линия УГО
Сплошная толстая основная	—————	$2b, 3b \dots 4b$	То же. <i>Примечание:</i> для линий групповой связи и силовых электрических цепей применяются утолщенные ( $2b$ ) и толстые ( $3b-4b$ ) линии
Штриховая	-----	<i>b</i>	Линия механической связи, линия экранирования
Штрихпунктирная тонкая	-. - . - . - .	<i>b</i>	Линия для выделения на схеме групп элементов, составляющих устройства
Штрихпунктирная с двумя точками	- . . . - . . .	<i>b</i>	Линия разъединительная, для графического разделения частей схемы

## Обозначение цепей в электрических схемах

В ГОСТ 2.709-72 выделены следующие виды цепей: силовые, защиты, управления, сигнализации, автоматики, измерения. Наиболее распространённый тип маркировки называется независимым. В этом случае одинаковую марку присваивают электрическим цепям, связанным между собой точками с одинаковым потенциалом не зависимо от того, к каким приборам и аппаратам относятся эти точки. Участки цепи, разделённые электрическими аппаратами или их контактами, имеют разную маркировку, а участки, проходящие через разборные или неразборные контакты, имеют одинаковую маркировку. Как правило, используются арабские цифры и латинские буквы.



**Рис. 2.2. Пример электрической схемы (подключение электрического двигателя)**

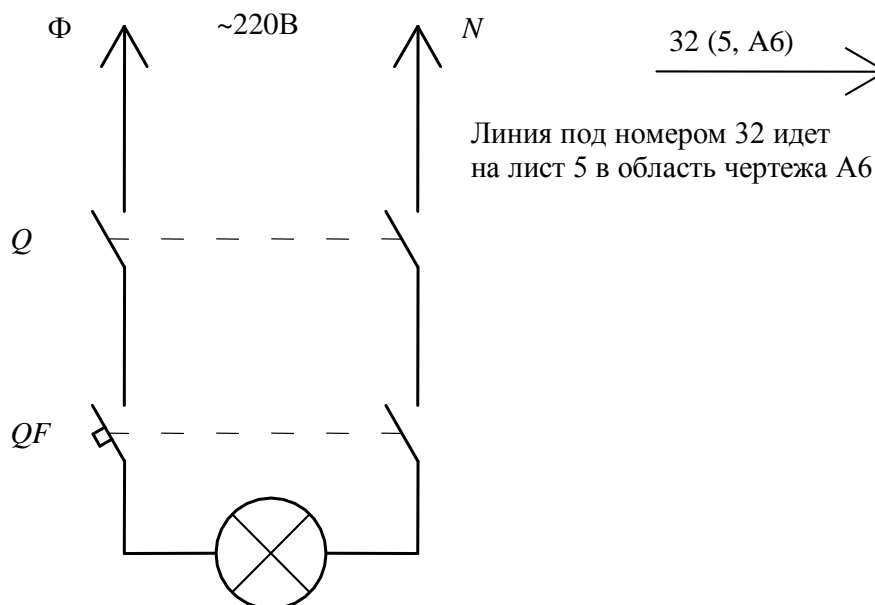
Фаза (рис. 2.2) – это проводник в трехфазной линии, связанный с источником ЭДС (с выводом трансформатора) в отличие от нулевого проводника (провод, соединенный с нейтралью трансформатора). Фазы обозначаются буквами **A, B, C** или **Ж, З, К**, так как шины, присоединенные к разным фазам, окрашивают желтой, зеленой и красной краской. Нулевой провод (ноль) обозначают цифрой **0** или буквой **N** (нейтраль).

Зависимая маркировка применяется для облегчения чтения монтажных схем, цепей вспомогательного тока. При этом каждому виду цепей присваивается определенная буква и определенный порядок цифр, например:

- цепи постоянного тока, защиты и управления распределительных устройств имеют маркировку 1-99;
- цепи переменного тока, защиты и управления распределительных устройств - 101-199;
- цепи трансформаторов напряжения 201-299;
- цепи трансформаторов тока 301-399;
- цепи аварийной сигнализации 501-599;
- цепи предупредительной сигнализации 601-699;
- цепи электропривода 701-799.

### ***Прерывание линий***

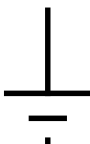
Допускается обрывать линии, если они мешают чтению схемы. Обрывы обозначаются стрелками, около которых указывается БЦО. Если схема продолжается на другой лист, то указывается маркировка и адрес в круглых скобках.



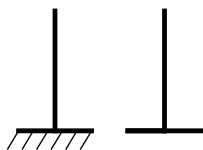
**Рис. 2.3. Пример обозначения продолжения электрических цепей**

### ***Обозначение заземлений и возможных повреждений изоляции***

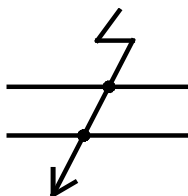
**Заземление** – электрическое соединение с потенциалом земли:



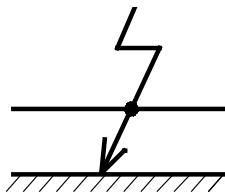
Соединение с корпусом, корпус бывает или заземлен, или присоединен к защитной шине:



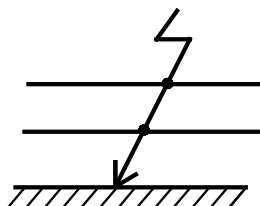
Повреждение изоляции между проводами:



Повреждение изоляции между проводом и землей:

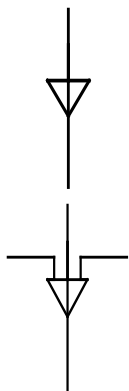


Двойное замыкание на землю:



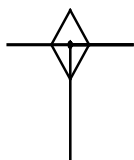
### **Обозначение муфт в электрических схемах**

*Муфта* – это устройство в месте присоединения проводников (жил) кабеля к ЭА распределительных устройств или в месте соединения проводников двух и более кабелей, предотвращающее проникновение влаги внутрь кабеля:



– Концевая муфта

– Концевая муфта с ответвлениями



– Соединительная муфта с ответвлениями

### **2.3. Правила техники чтения электрических схем**

*Чтение схемы дает возможность:*

- 1) понять принцип действия электроустановки;
- 2) выяснить назначение ее элементов;
- 3) определить, что с чем и как должно быть соединено;
- 4) обнаружить ложные цепи;
- 5) проверить правильность выбора режима электрооборудования;
- 6) оценить предусмотренные схемой меры безопасности.

*Для чтения схем необходимо:*

- а) знать и понимать УГО и БЦО и правила их применения;
- б) располагать достаточными знаниями из курса теоретических основ электротехники;
- в) уметь пользоваться приёмами чтения и анализа схем.

*Прочитать схему* – это значит почерпнуть из неё необходимые сведения.

*Чтение и анализ схем* неразрывно связаны, так как в процессе чтения схем необходимо оценивать правильность сделанных предположений, пользуясь приёмами, либо подтверждающими, либо опровергающими их.

*Анализ схем* – дело сложное, кропотливое, требующее большого внимания и аккуратности.

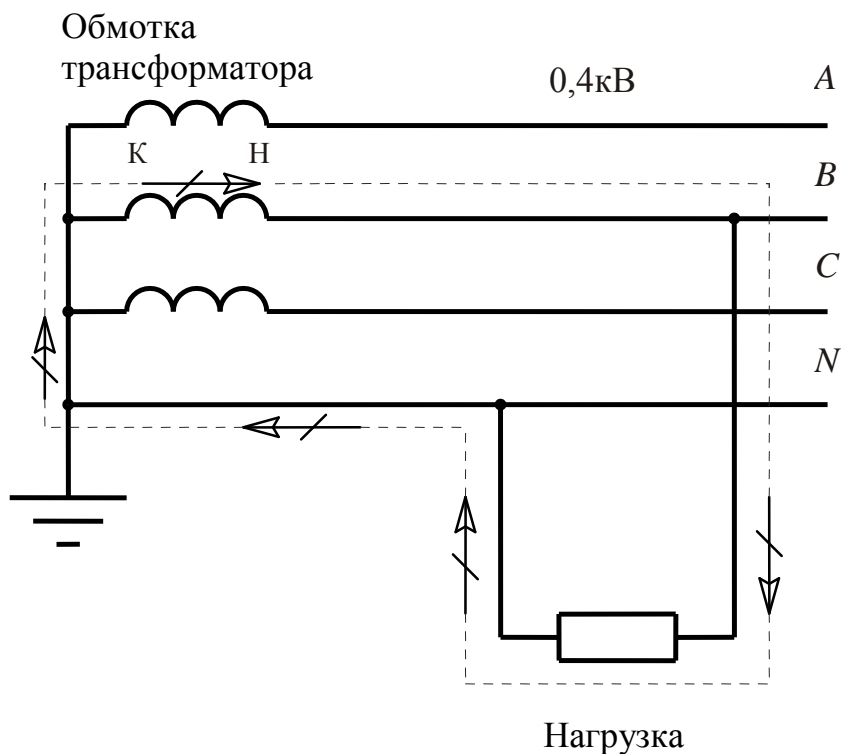
#### **Существующие ГОСТы**

1. ГОСТ 2.701-84. “ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.”
2. ГОСТ 2.702-75. “ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.”
3. ГОСТ 2.708-81. “ЕСКД. Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники.”
4. ГОСТ 2.709-89. “ЕСКД. Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах.”
5. ГОСТ 2.710-81. “ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.”

Обозначение **7** – это номер группы стандартов единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

### ***Правила техники чтения схем, базирующиеся на законах Кирхгофа***

1. Электрический ток в электрической цепи проходит по замкнутому контуру от условного начала источника ЭДС к его концу (внутри контура протекания тока должен быть источник ЭДС).



**Рис. 2.4. Пример одного контура протекания тока**

2. Если в схеме присутствует несколько источников ЭДС, то каждый из них создаёт ток, протекающий независимо от токов других источников (принцип суперпозиции полей).

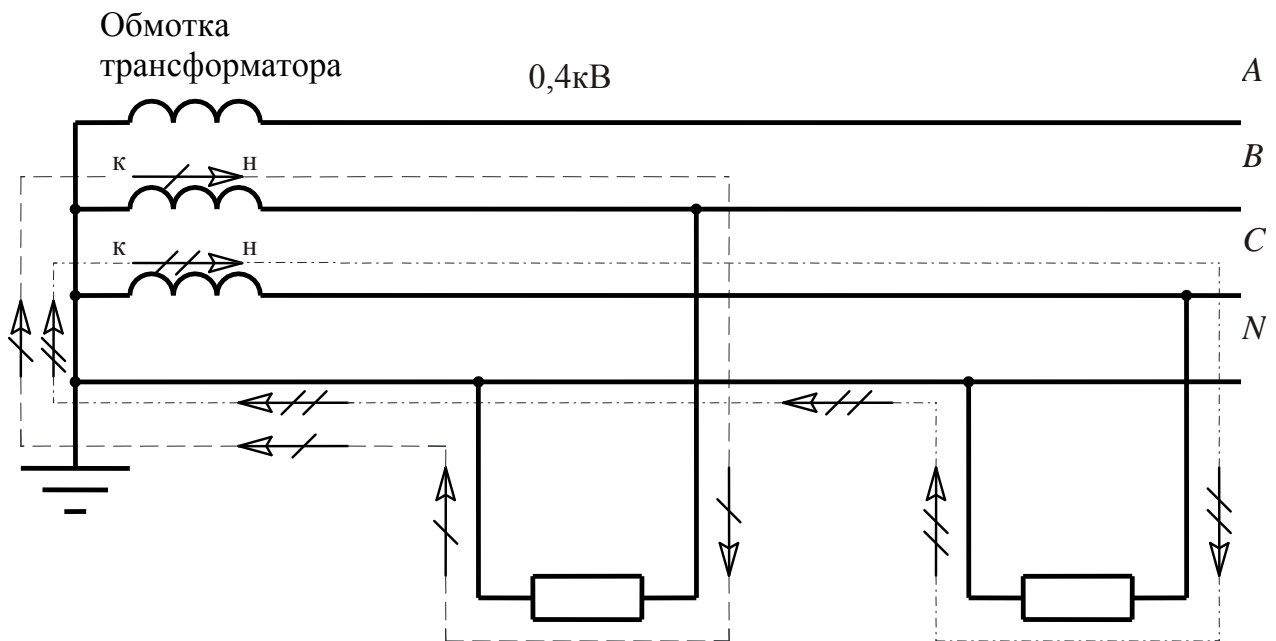


Рис. 2.5. Пример двух контуров для протекания тока

3. При наличии нескольких контуров электрический ток в них распределяется обратно пропорционально их сопротивлению.

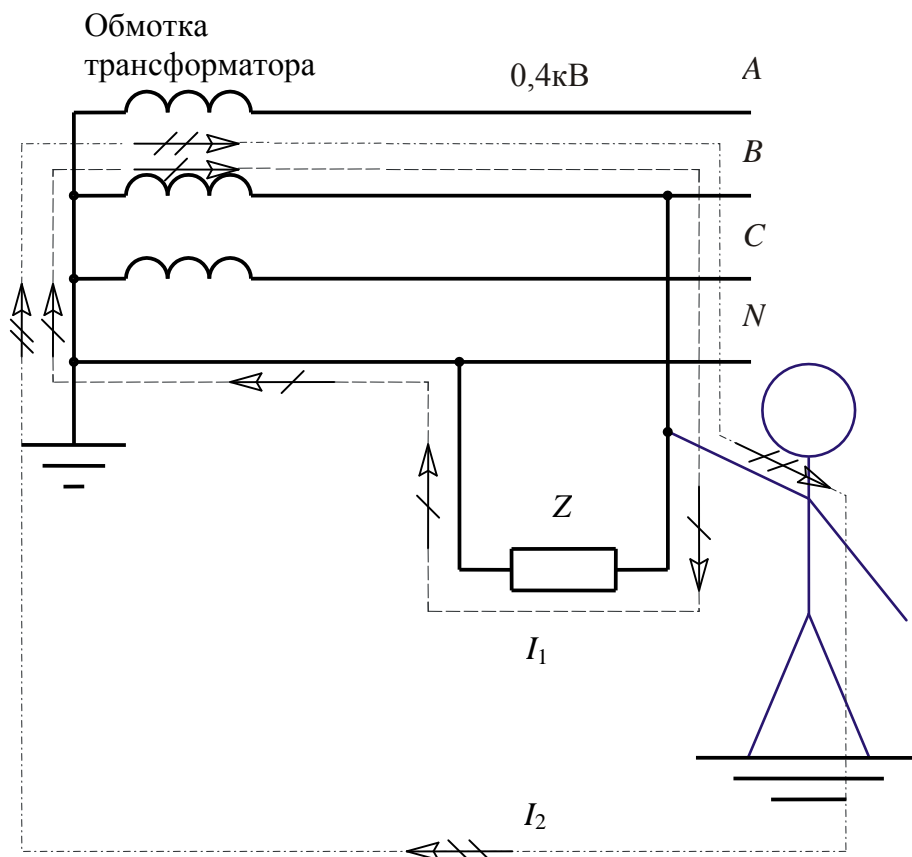


Рис. 2.6. Пример распределения тока обратно пропорционально сопротивлению

### *Пример*

Задано:

- Значение фазного напряжения в месте подключения нагрузки:  $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ .
- Мощность нагрузки  $Z$ :  $S = 1100 \text{ ВА}$ .
- Сопротивление цепи человек – контакт с землей – сопротивление заземления нейтрали трансформатора:  $R = 1000 \text{ Ом}$ .

Определение тока в каждом контуре:

Значение сопротивления нагрузки:

$$Z = \frac{U^2}{S}; Z = \frac{220^2}{1100} = 44 \text{ Ом}.$$

Определение значения токов  $I_1, I_2$ :

$$I_1 = \frac{U}{Z}; I_1 = \frac{220}{44} = 5 \text{ А},$$

$$I_2 = \frac{U}{R}; I_2 = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ А}.$$

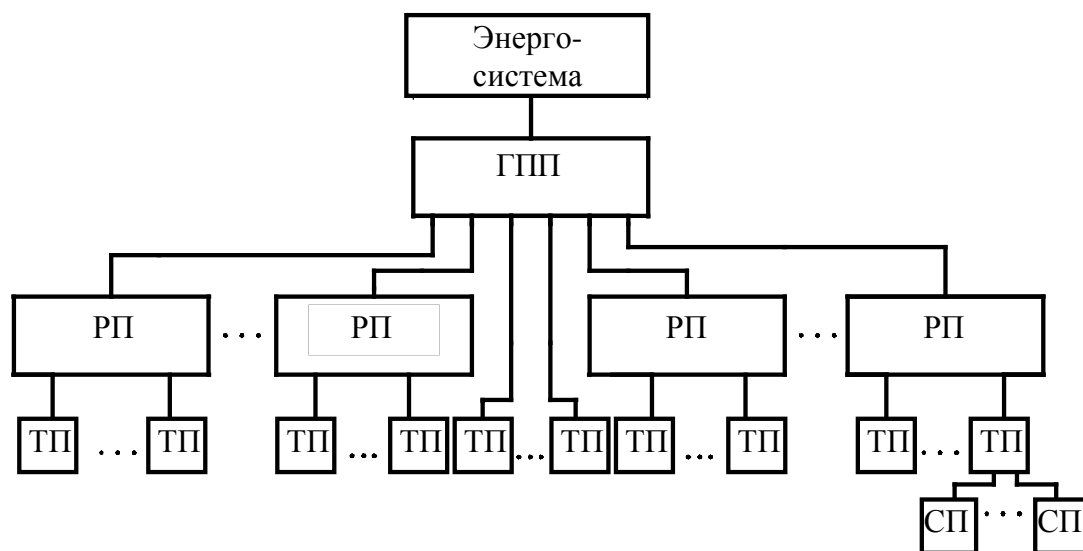


### 3. Режимы работы электроприемников и электрической сети

#### 3.1. Схемы включения электроприёмников

При изображении электрических сетей используется три вида электрических схем:

*Структурная схема* предназначена для общего ознакомления с электрической установкой. В ней даётся упрощенное изображение основных элементов в виде прямоугольников и связей между ними.



**Рис. 3.1. Структурная схема электроснабжения завода:**

ГПП – главная понижающая подстанция;

РП – распределительная подстанция – электроустановка, служащая для приема и распределения электрической энергии;

ТП – трансформаторная подстанция – электроустановка, служащая для приема, распределения и преобразования электрической энергии;

СП – силовой пункт

На функциональной схеме указываются источники, преобразователи с обозначением их мощности, раскрываются некоторые структурные блоки, позволяющие понять функциональные возможности схемы.

*Принципиальная схема* облегчает понимание принципа действия электротехнической установки, электрической сети во всех подробностях и дает исходный материал для составления спецификаций и заявок на основное оборудование, для составления монтажных схем (схем соединения), для разработки конструктивных чертежей.

На принципиальных схемах изображаются все элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля технологических процессов. Изображение осуществляется в соответствии с УГО. Электрические аппараты показываются на схеме в отключенном положении. Принципиальная схема изображается либо в однолинейном, либо в многолинейном изображении.

В случае однолинейного изображения цепи, выполняющие одинаковую функцию, изображаются одной линией, а одинаковые элементы – одним УГО.

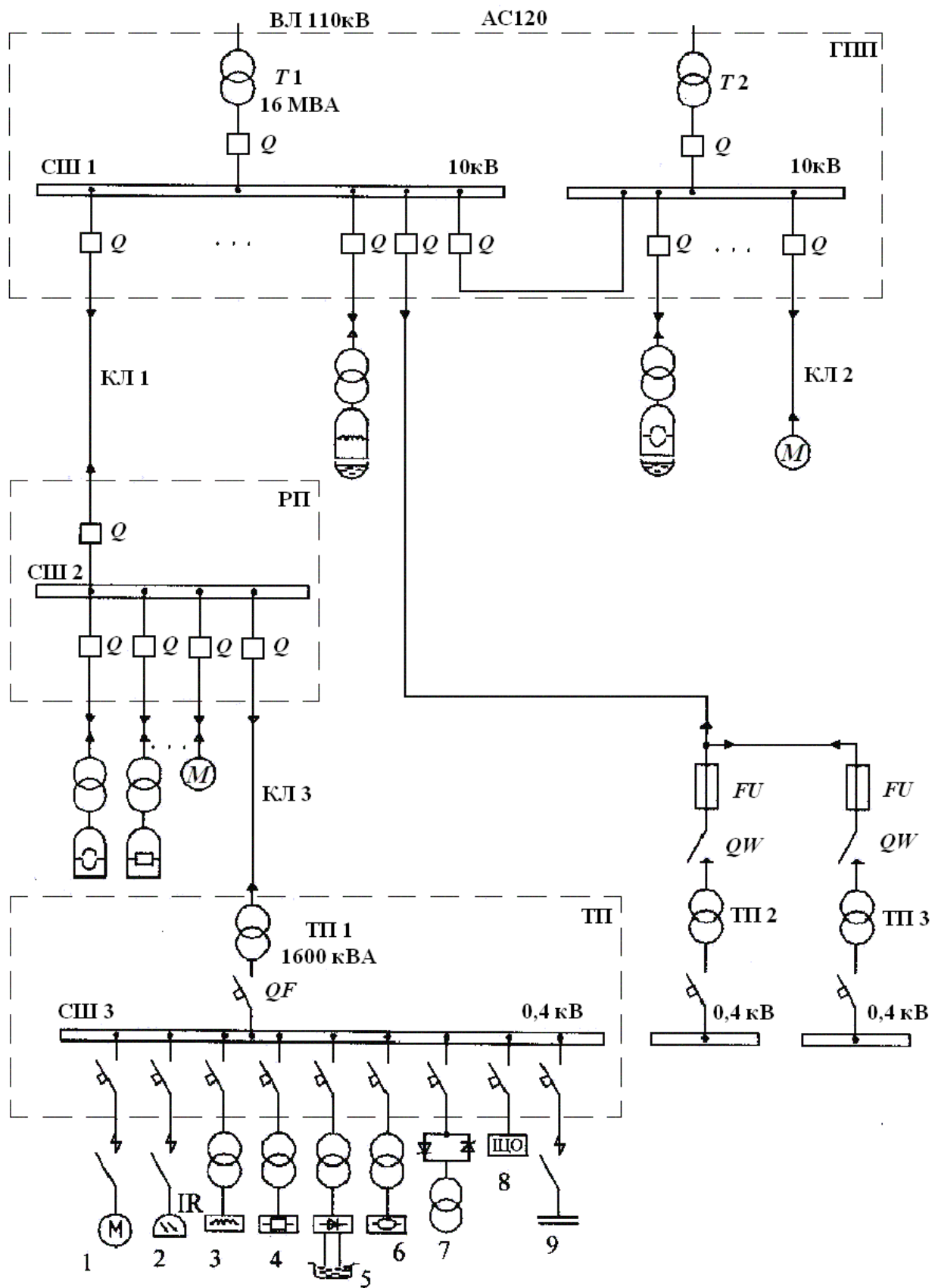


Рис. 3.2. Фрагмент принципиальной схемы электроснабжения завода, выполненной в однолинейном изображении

При многолинейном изображении каждая электрическая цепь изображается отдельной линией, а элементы цепи – отдельным УГО.

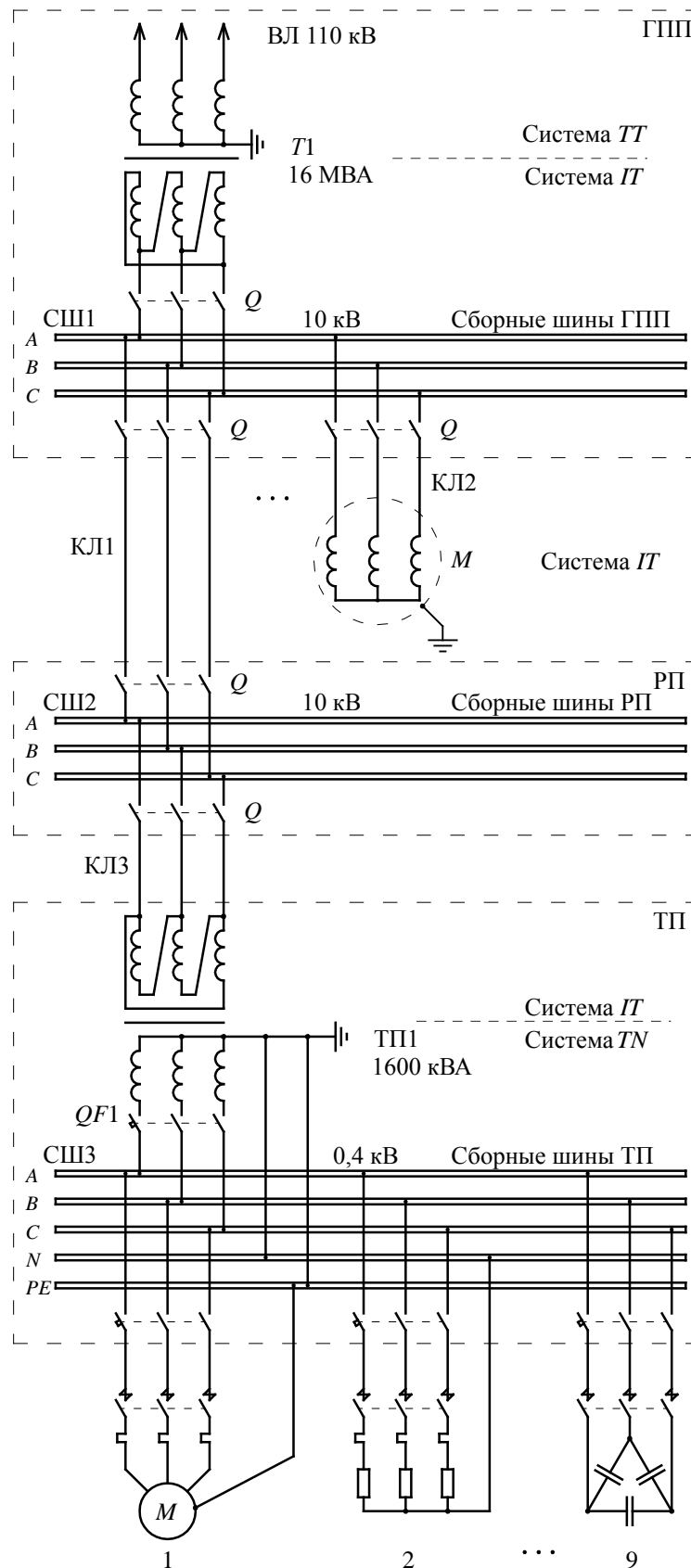


Рис. 3.3. Фрагмент принципиальной схемы электроснабжения завода, выполненной в многолинейном изображении

*Электрическая сеть* – совокупность подстанций, распределительных устройств и соединяющих их электрических линий, размещённых на определённой территории (район, населённый пункт, завод, цех).

*Подстанция* – электроустановка, служащая для приёма, преобразования и распределения электрической энергии.

### **Классификация электрических сетей**

Системы электрических сетей классифицируются по ГОСТ 505712-94 (МЭК-364-3-93). Для классификации используются две буквы, указывающие характер заземления:

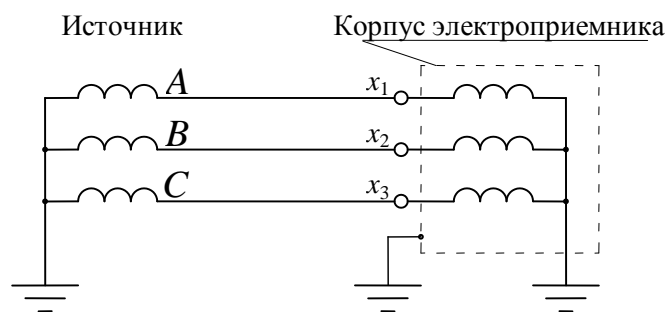
- *первая буква* – указывает характер заземления нейтрали источника;
- *вторая буква* – указывает характер заземления открытых проводящих нетоковедущих частей электроустановок (корпуса).

В обозначении используются начальные буквы французских слов:

- **T** (terre) – заземлено;
- **N** (neutre) – занулено (присоединено к нейтрали источника питания);
- **I** (isole) – изолировано.

Выделяется три системы сетей (см. рис. 3.4 - 3.6):

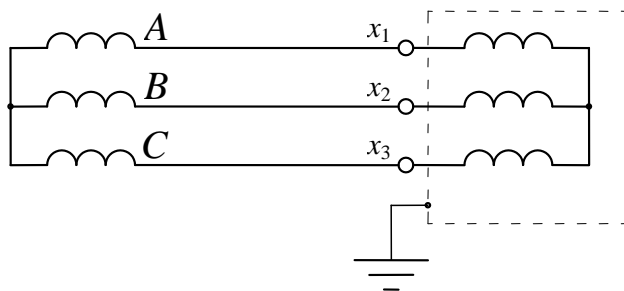
1. **Система TT** – нейтраль источника и корпуса электроприемников заземлены;



**Рис. 3.4. Система TT**

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 110 кВ и выше.

2. **Система IT** – нейтраль источника *изолирована*, а корпуса электроприемников *заземлены*;



**Рис. 3.5. Система IT**

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 6, 10, 35 кВ.

3. Система **TN** – нейтраль источника заземлена, а корпуса электроприемников занулены. Как правило, это сети напряжением 0,4 кВ. Система **TN** имеет 3 модификации.

В системе **TN-C** (common) – функции нулевого рабочего (*N*) и нулевого защитного (*PE*) проводников объединены в одном проводнике, который называется *PEN*.

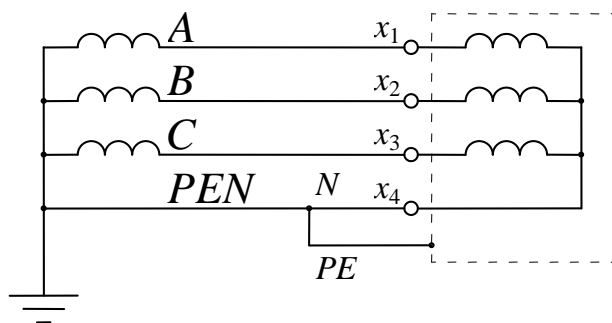


Рис. 3.6. Система **TN-C**

В системе **TN-S** (select) – функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников обеспечиваются отдельными проводниками, соответственно *N* и *PE*.

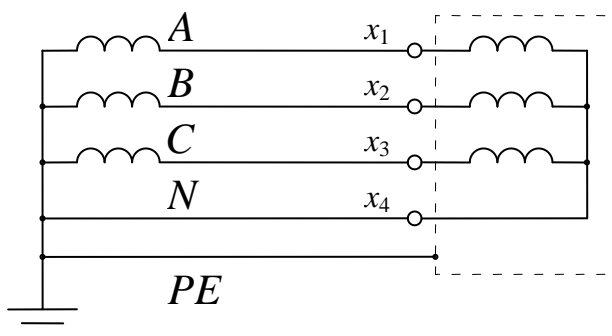


Рис. 3.7. Система **TN-S**

В системе **TN-C-S** – нулевые проводники на головных участках объединены в проводник *PEN*, а далее разделены на проводники *N* и *PE*.

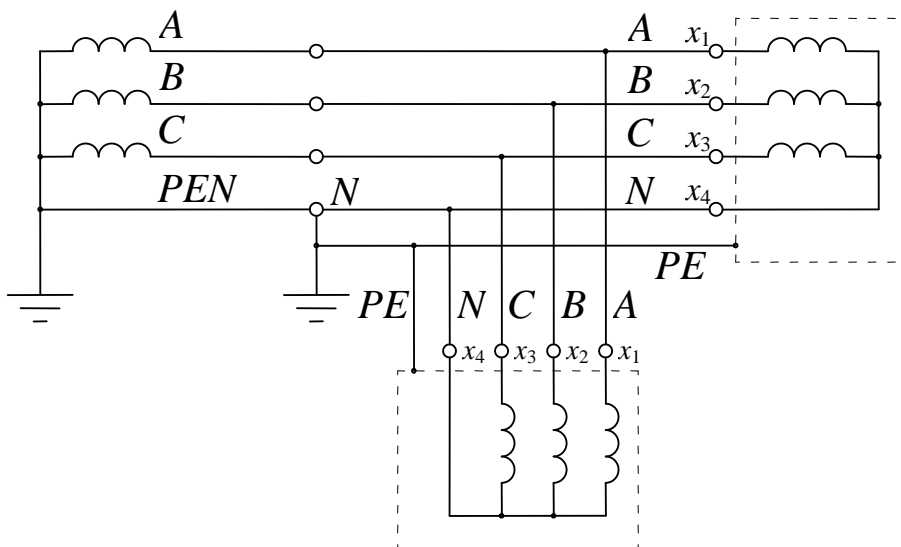


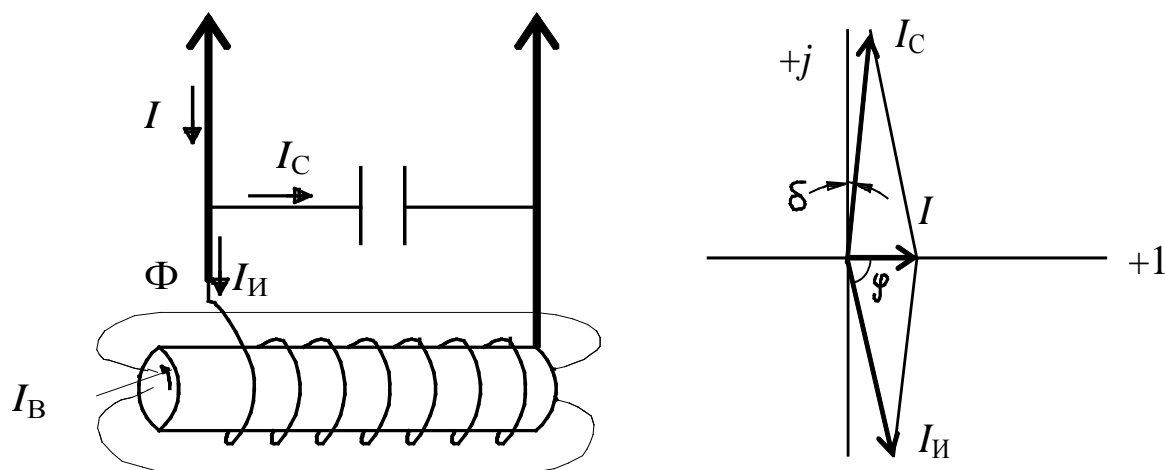
Рис. 3.8. Система **TN-C-S**

Рассмотрим принципиальные схемы электроприемников (порядковые номера соответствуют номерам на рис. 3.2).

1. *Электропривод* – электроустановка, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую (как правило, энергию вращения тела). Принципиальная схема показана на рис. 2.2.

2. *Установка инфракрасного нагрева* – установка для преобразования электрической энергии в энергию электромагнитного излучения в инфракрасной области спектра с длиной электромагнитной волны ( $\lambda = 0,8 \div 4$  мкм). Принципиальная схема показана на рис. 3.3. В изображениях единичных сопротивлений, соединенных в звезду с нулем, сосредоточены десятки ламп инфракрасного нагрева. В быту – электрокамин.

3. *Установка индукционного нагрева* – установка для преобразования электрической энергии в тепловую посредством электромагнитного поля.



**Рис. 3.9. Принципиальная схема установки индукционного нагрева и векторная диаграмма токов**

Ток, протекающий по индуктору, создаёт магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий заготовку. Согласно закону электромагнитной индукции, в заготовке индуцируется ЭДС, прямо пропорциональная скорости изменения электромагнитного поля. Под действием ЭДС, согласно закону Ома, в заготовке протекает ток:

$$i_B = \frac{e}{z}. \quad (3.1)$$

При протекании тока, согласно закону Джоуля-Ленца, происходит преобразование электрической энергии в тепловую энергию:

$$W_Q = I_B^2 \cdot R \cdot t. \quad (3.2)$$

Создание большого значения  $I_B$  требует большого значения  $I_И$ . Но непосредственная передача его по сети приводит к большим потерям активной энергии в подводящей сети:

$$\Delta W = I_{\text{и}}^2 \cdot R_{\text{ПС}} \cdot t. \quad (3.3)$$

Уменьшить их можно двумя способами:

а) за счет снижения сопротивления подводящей сети  $R_{\text{ПС}}$ . Для этого приходится увеличивать сечение проводников сети до тех пор, пока явление поверхностного эффекта позволяет сделать это;

б) за счет размещения в непосредственной близости от индуктора конденсаторной установки. В этом случае потери в элементах электрической сети (линиях, преобразователях) уменьшаются, так как суммарный (совместный) ток  $I$  значительно меньше, чем ток индуктора  $I_{\text{и}}$ :

$$\Delta W = I^2 \cdot R_{\text{ПС}} \cdot t. \quad (3.4)$$

4. *Установка нагрева методом электрического сопротивления* (печь сопротивления) – установка для преобразования электрической энергии в тепловую. Схема подключения аналогична подключению установки инфракрасного нагрева.

5. *Электролизная установка* – установка для преобразования электрической энергии в химическую.

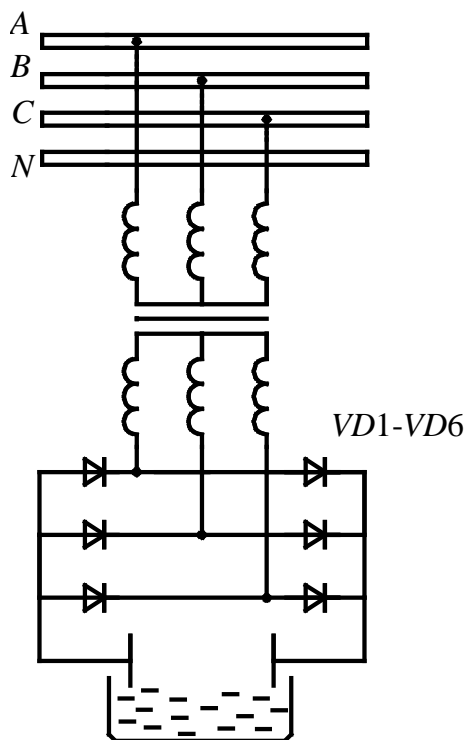
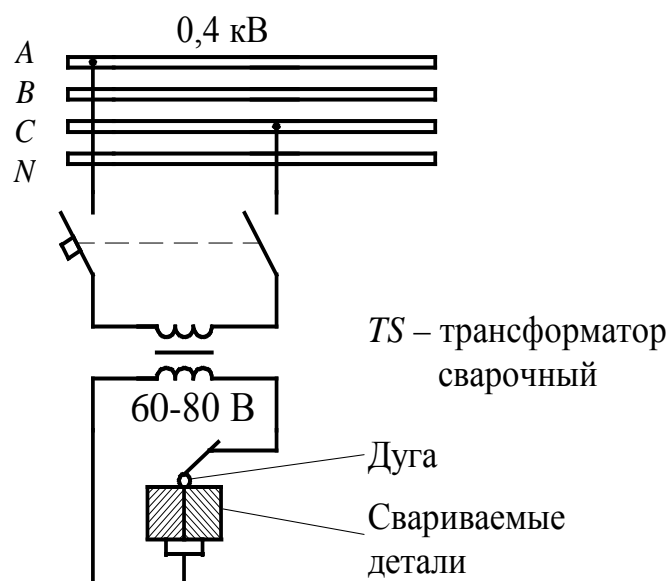


Рис. 3.10. Принципиальная схема электролизной установки

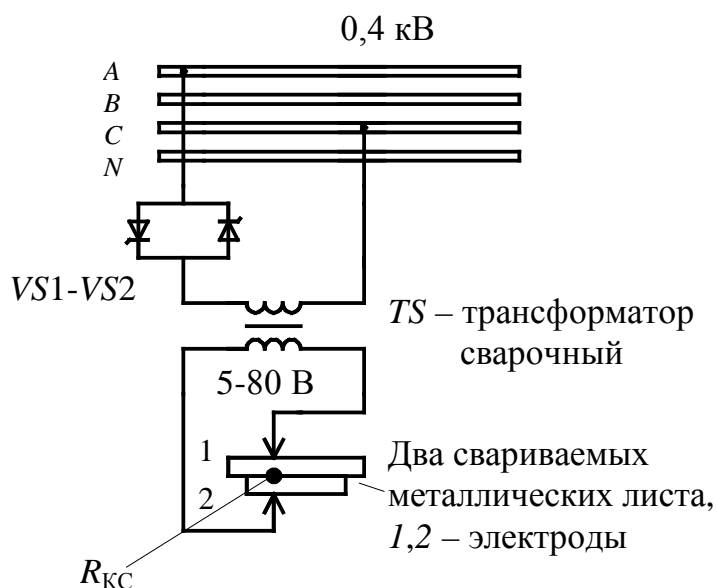
6. *Электросварочная установка* (например, установка дуговой сварки) – установка, предназначенная для соединения и разъединения деталей.



**Рис. 3.11. Принципиальная схема установки дуговой сварки**

Температура столба дуги 7000-8000 К.

7. Установка контактной сварки – установка, предназначенная для соединения деталей за счет энергии, выделяющейся в контактном сопротивлении.



**Рис. 3.12. Принципиальная схема установки контактной сварки**

Ток, проходя через электроды детали, преобразуется в тепловую энергию в месте контактного сопротивления (согласно закону Джоуля-Ленца):

$$W_Q = I^2 \cdot R_{KC} \cdot t_{CB}, \quad (3.5)$$

где  $W_Q$  – тепловая энергия;

$R_{KC}$  – контактное сопротивление (сопротивление в месте контактирования деталей друг с другом, в точке между деталями по линии сжатия электродов);



$t_{CB}$  – время протекания тока, составляет для различных режимов работы 0,01÷1 с.

Эффективность установки контактной сварки будет зависеть от того, насколько сопротивление  $R_{КС}$  будет больше сопротивления всей подводящей сети (обмотка трансформатора, провода, электроды). Например, если  $R_{КС} = R_{ПС}$ , то коэффициент полезного действия передачи энергии будет равен 0,5:

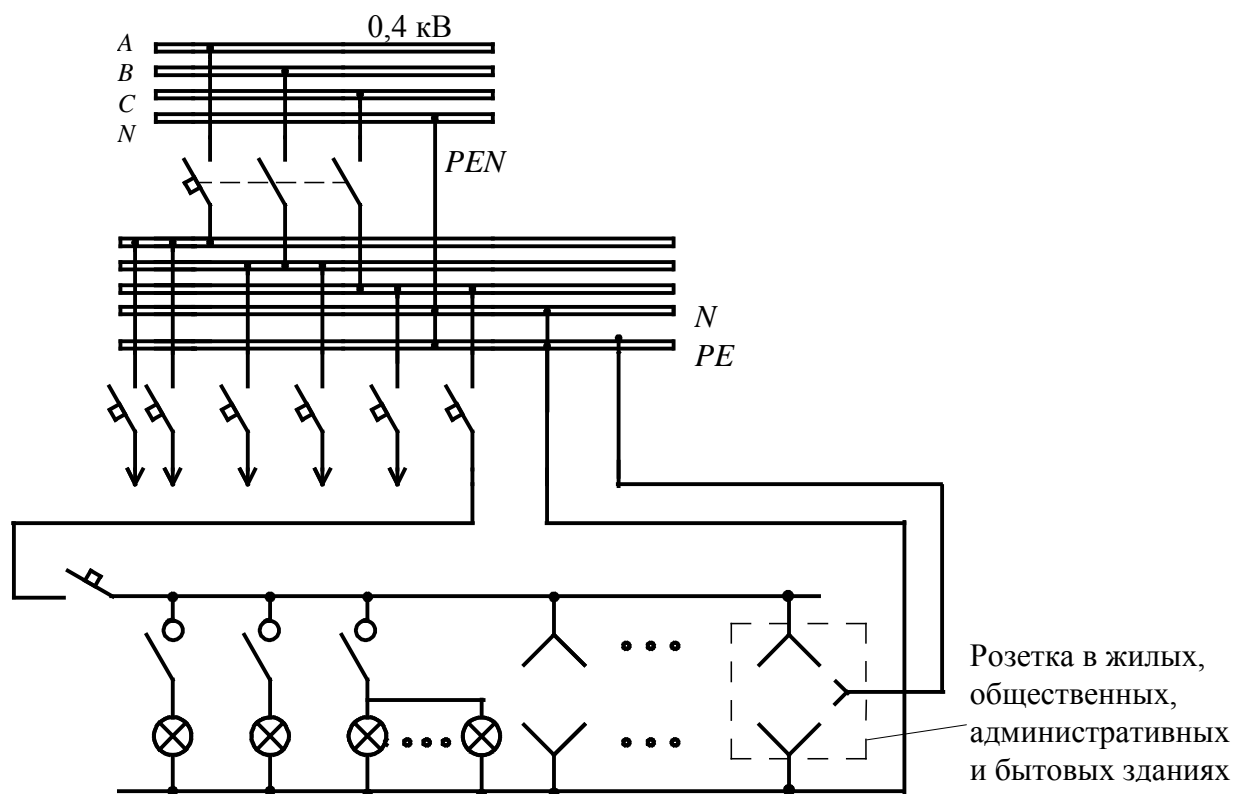
$$\eta = \frac{W_{КС}}{W_{КС} + W_{ПС}} = \frac{1}{1 + \frac{R_{ПС}}{R_{КС}}} \quad (3.6)$$

Тиристорный контактор VS1-VS2 предназначен для создания небольших длительностей протекания тока (до 0,1 с) и обеспечения высокой коммутационной износостойкости.

Установки 2-7 называются электротехнологическими установками.

*Электротехнологические установки* – это технологические установки, принцип действия которых основан на использовании энергии электрического тока, подводимой непосредственно в зону обработки и преобразуемой там в другие виды энергии.

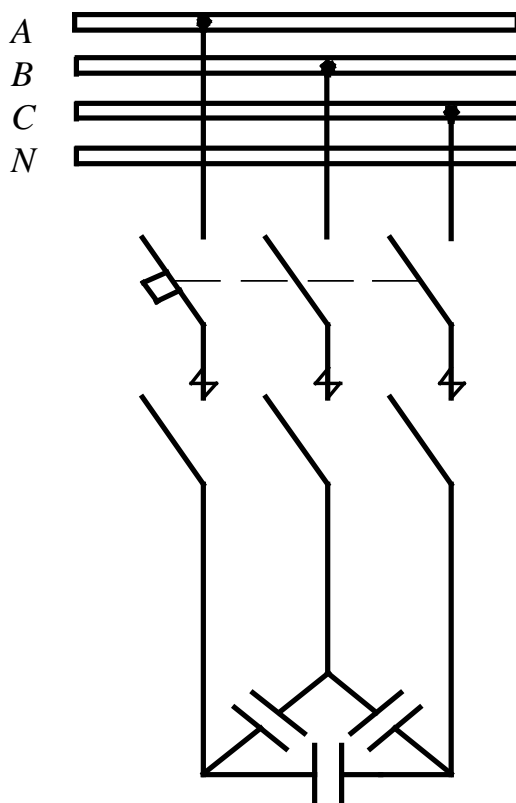
8. *Щит освещения для питания осветительных установок*, то есть таких, где электроэнергия преобразуется в световую энергию видимого излучения ( $\lambda = 0,38 \div 0,78$  мкм).



**Рис. 3.13. Принципиальная схема подключения распределительного щита освещения и фрагмент принципиальной схемы осветительной сети и переносных электроприемников**

Рабочие нулевые проводники присоединяют к шине  $N$ , а защитные проводники к шине  $PE$ .

9. *Конденсаторная установка* – установка для компенсации реактивной энергии группы электроприемников с целью уменьшения тока и снижения потерь в подводящей электрической сети.



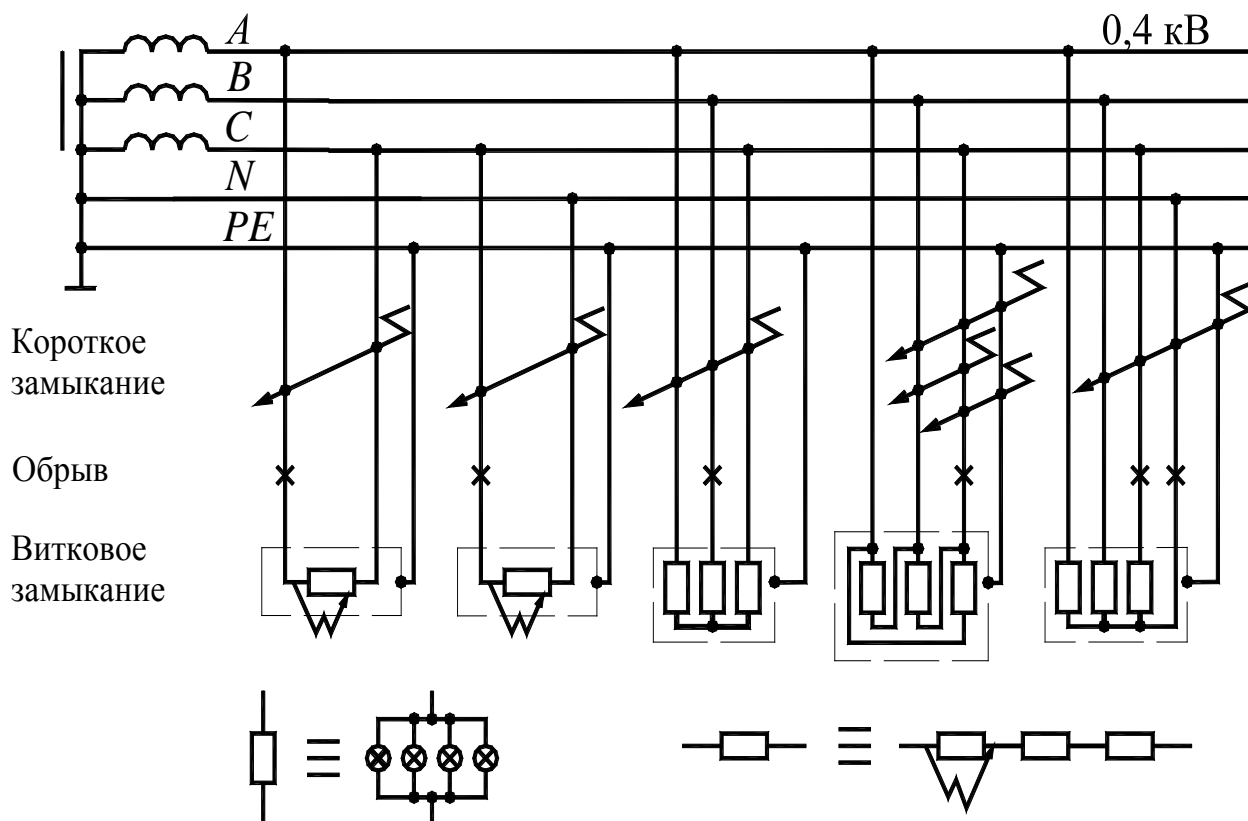
**Рис. 3.14. Принципиальная схема конденсаторной установки**

Предназначена для компенсации реактивной энергии группы электроприемников. Конденсаторные батареи соединяются в треугольник для создания большего реактивного тока.

### **3.2. *Нормальные и аварийные режимы работы цеховой электрической сети и электроприёмников***

Большинство принципиальных схем электроприемников в цеховой сети можно представить в виде схем замещения, состоящих из полных сопротивлений  $Z_H$ , представляющих собой электрическую нагрузку. Данная нагрузка может быть представлена в виде сопротивлений, соединенных последовательно или параллельно и подключенных на фазное или линейное

напряжение (для однофазных ЭП), а также в треугольник, звезду, звезду с нулем (для трехфазных ЭП).



**Рис. 3.15. Аварийные режимы работы цеховой электрической сети и электроприемников**

Нормальные режимы – все электроприёмники подключены по нормальным схемам. В этих случаях протекают нормальные токи, величина которых определяется по закону Ома, согласно величины сопротивления нагрузки  $Z_H$  и сопротивления проводников подводящей сети  $Z_{пс}$ :

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_H + \dot{Z}_{пс}}. \quad (3.7)$$

Аварийные режимы возникают при коротком замыкании, витковых замыканиях и обрывах.

1. *Коротким* называется такое замыкание, когда электроприёмник шунтируется (замыкается) накоротко. Сопротивление электроприёмника выводится из схемы и ток определяется только сопротивлением проводников:

$$\dot{I}_K^{(1)} = \dot{U} / (\sqrt{3} \cdot 2 \cdot Z_{пс}), \quad \dot{I}_K^{(2)} = \dot{U} / (2 \cdot Z_{пс}), \quad \dot{I}_K^{(3)} = \dot{U} / (\sqrt{3} \cdot Z_{пс}). \quad (3.8)$$

При замыканиях на корпус ток короткого замыкания  $i_k^{(1)}$  протекает под действием фазного напряжения (меньшего, чем линейное напряжение). Этот ток будет определяться только сопротивлением фазного и нулевого проводников.

2. *Витковое замыкание* – это замыкание, исключающее из схемы часть сопротивления нагрузки, например, половину, что также увеличивает ток в электрической цепи:

$$I = \frac{\dot{U}}{0,5 \cdot \dot{Z}_H + \dot{Z}_{\text{ПС}}}. \quad (3.9)$$

### 3. *Обрывы.*

При обрывах в цепях электродвигателей ток в цепях, оставшихся в работе, увеличивается, так как для создания такого же по величине вращающегося электромагнитного поля (для обеспечения достаточного механического момента на валу электродвигателя) меньшим количеством обмоток требуется большее значение тока.

Аварийный режим, как правило, сопровождается увеличением тока по сравнению с нормальным режимом. Увеличение тока приводит к повышенному нагреву проводников (согласно закону Джоуля-Ленца). Под действием этого нагрева происходит разрушение изоляции. Также возникают большие ЭДУ, под действием которых возможно разрушение электрических аппаратов и сетей. Поэтому электроприемник и электрические сети требуют защиты от токов при аварийных режимах, которая осуществляется за счет быстрого отключения поврежденного участка от источника питания. Наиболее часто эта защита выполняется автоматическими выключателями и предохранителями.

Обрывы ведут к незначительному увеличению тока и отключение допускается производить с некоторой задержкой по времени с использованием тепловых реле.

Замыкания на корпус всегда должны отключаться мгновенно при помощи автоматических выключателей или предохранителей. Это связано с тем, что с корпусом может соприкасаться человек (персонал), который может оказаться под напряжением. Данная защита наиболее эффективно обеспечивается устройством защитного отключения (УЗО).

## 4. Основы теории электрических аппаратов

### 4.1. Электродинамические усилия в электрических аппаратах

#### Общие положения

Физически электродинамические усилия (ЭДУ) в электрических аппаратах основаны на силе Лоренца. Это сила, которую оказывает магнитное поле на движущийся в нем электрический заряд:

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{V} \times \vec{B}), \quad (4.1)$$

где  $q$  – электрический заряд;

$B$  – вектор магнитной индукции;

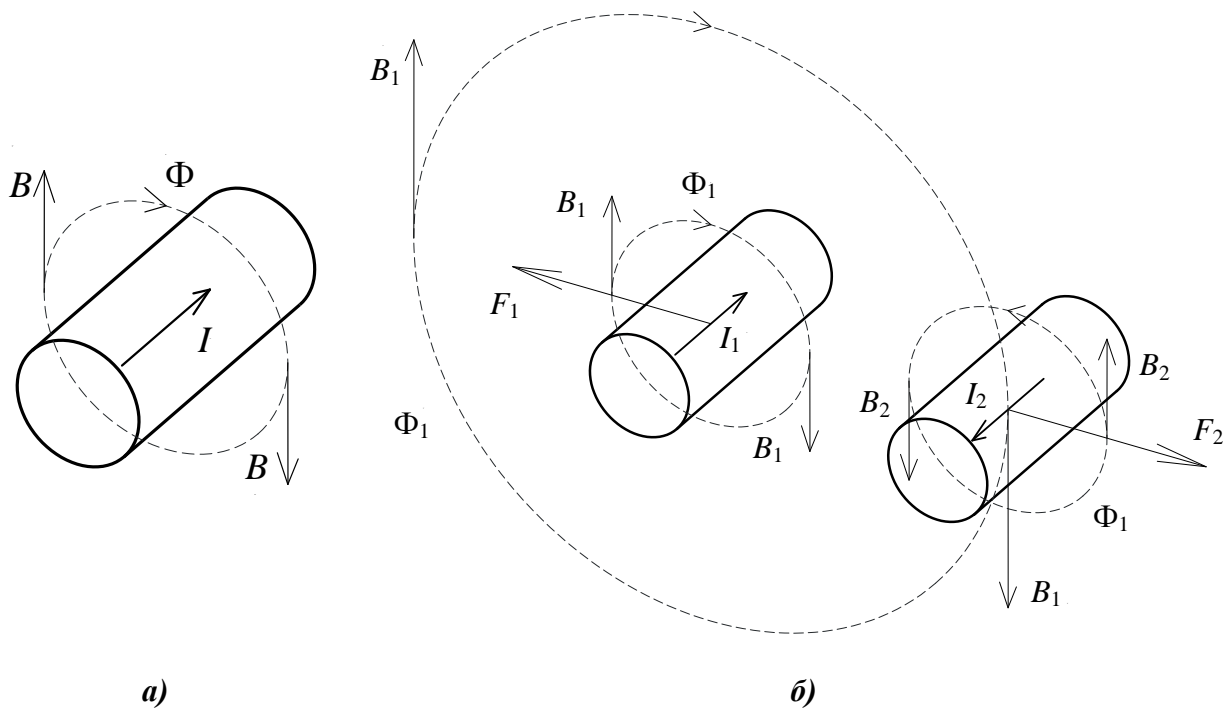
$V$  – скорость движения заряда.

Так как электрический заряд в проводниках связан с кристаллической решеткой проводника с током ( $I$ ), то это силовое воздействие передается на весь провод. Для случая с проводниками эта сила называется силой Ампера:

$$d\vec{F} = I \cdot (d\vec{l} \times \vec{B}), \quad (4.2)$$

где  $d\vec{l}$  – вектор, численно равный элементу проводника и направленный в ту же сторону, что и вектор плотности тока.

Направление вектора магнитной индукции определяется по правилу буравчика. Направление вектора  $d\vec{l}$  определяется направлением тока (рис. 4.1, а).



**Рис. 4.1. ЭДУ, возникающие в результате протекания токов по проводникам:**  
а – магнитное поле одного проводника; б – направление сил, действующих на проводники с токами, протекающими в разных направлениях

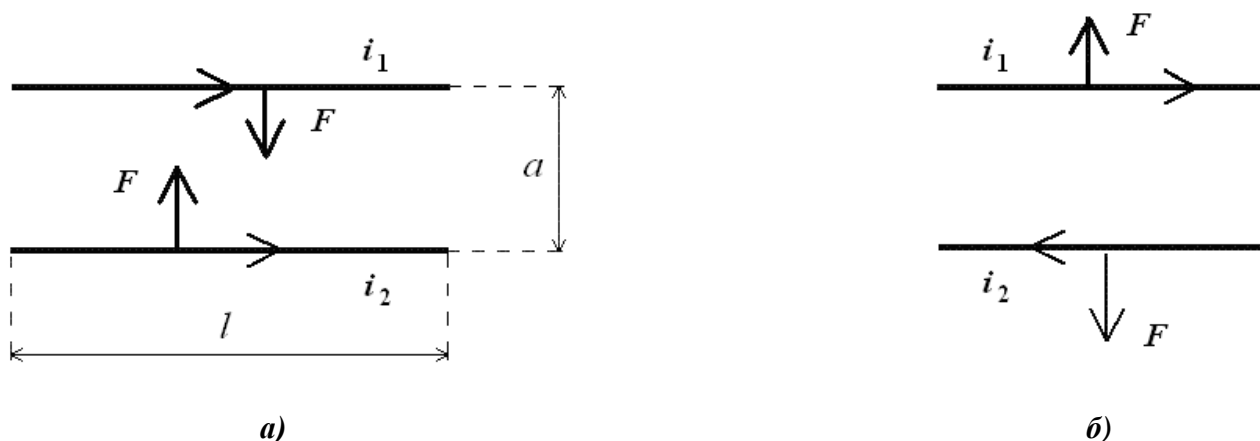
Направление силы определяется по правилу левой руки. Вектор  $B$  входит в ладонь, четыре пальца направлены вдоль тока, большой отогнутый палец покажет направление силы (рис. 4.1, б).

Определим направление силового воздействия, которое оказывает первый проводник с током на второй проводник с током:

а) определяем направление  $B_1$  в области проводника с током  $I_2$ ;

б) определяем направление силы по правилу левой руки. Получается, что проводник с током  $I_1$  отталкивается от проводника с током  $I_2$ . Это наиболее распространенный случай для однофазной сети, когда "прямой" и обратный проводники располагаются в непосредственной близости друг от друга. Аналогичные результаты получаем при рассмотрении силового воздействия, которое оказывает второй проводник с током на первый.

**Вывод.** Второй проводник притягивается к первому в случае одинакового направления тока (рис.4.2, а) и отталкивается в случае противоположного направления тока (рис.4.2, б).



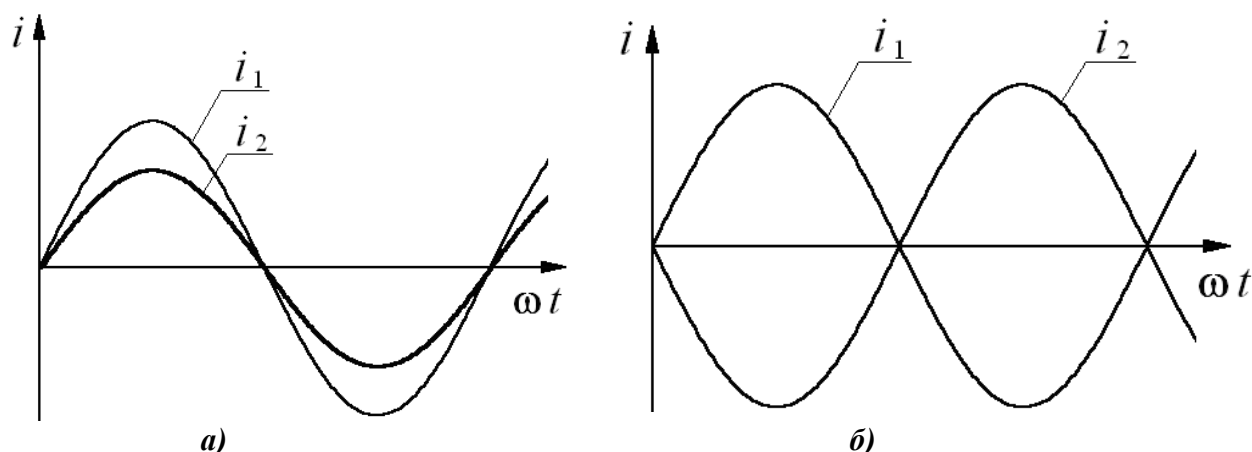
**Рис. 4.2. Силовое взаимодействие между двумя проводниками с током:**

а - направление сил при согласном направлении токов; б - направление сил при встречном направлении токов

ЭДУ действуют в электрических аппаратах всегда, но в аварийном режиме, когда возникают большие токи и большие магнитные потоки, усилия могут достигать таких значений, что способны изменить геометрию проводника, т.е. разрушить электрический аппарат. Способность электрических аппаратов противостоять ЭДУ называется *электродинамической стойкостью*.

Данная характеристика приводится в технических характеристиках электрических аппаратов в виде квадрата амплитуды тока  $i_y^2$ . В процессе проектирования каждый аппарат рассчитывается на стойкость противодействия ЭДУ.

На переменном токе проводники притягиваются, если токи совпадают по фазе (или если фаза меньше  $90^\circ$ ), и отталкиваются, если фаза между токами больше  $90^\circ$ . Максимальное значение сил достигается при фазе между токами в  $0^\circ$  и  $180^\circ$ .



**Рис. 4.3. Осциллограммы токов в проводниках:**

$i_1$  – ток, протекающий по первому проводнику;  $i_2$  – ток, протекающий по второму проводнику;  $a$  – фаза  $0^\circ$ ;  $b$  – фаза  $180^\circ$

### ***Расчет электродинамических усилий Способы расчета ЭДУ***

Существует два способа расчета ЭДУ.

1) на основе взаимодействия магнитного поля и тока по формуле Ампера. Величину магнитного поля определяют по закону Био-Савара-Лапласа. Этот способ расчета применяют только для простых контуров.

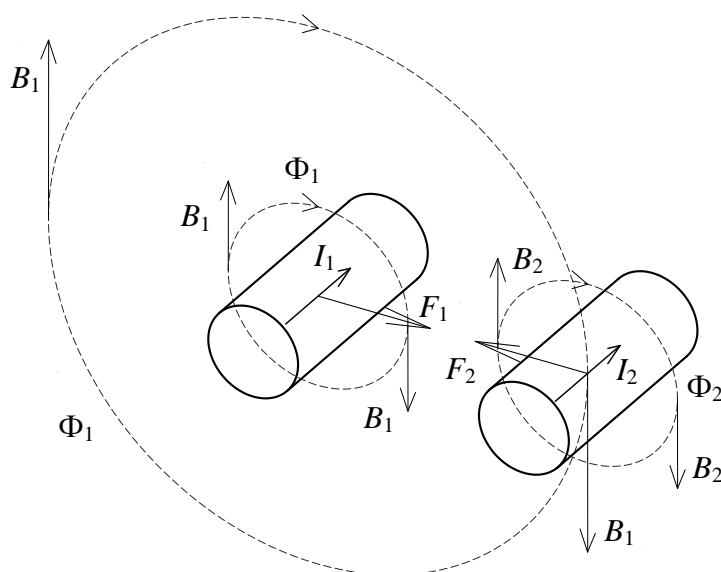
2) на основе изменения электромагнитной энергии проводника с током. Этот способ применяют для расчета сложных контуров:

$$F = dW / dx, \quad (4.3)$$

где  $dW$  – изменение энергии электромагнитного поля;

$dx$  – возможное перемещение в направлении переменной  $x$ .

*Следствие:* электромагнитная сила всегда направлена в сторону ослабленного магнитного поля.



**Рис. 4.4. ЭДУ, действующие на проводники с токами, протекающими в одном направлении**

### **ЭДУ между проводниками**

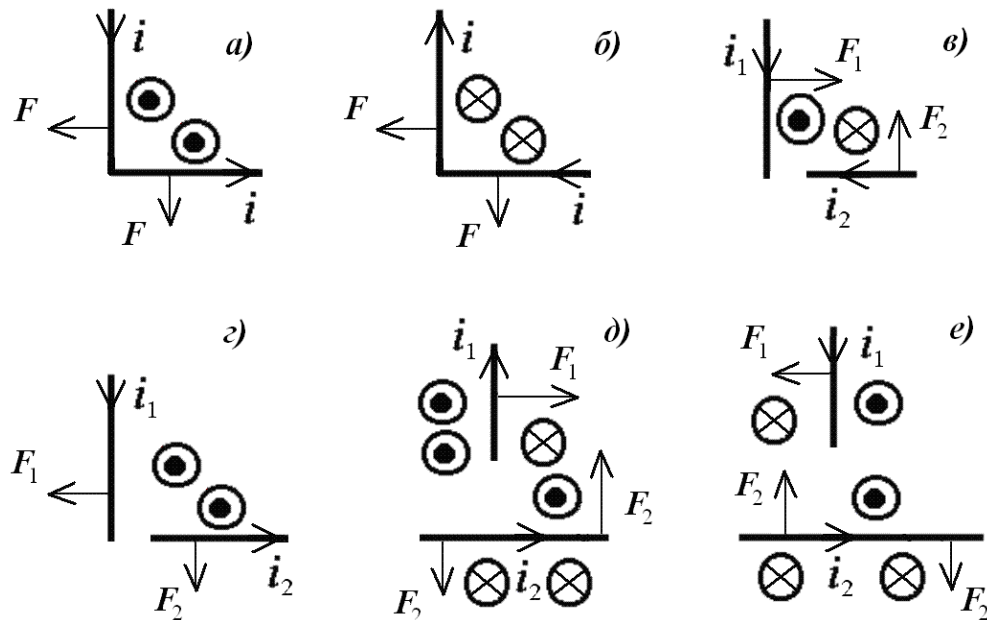
Сила, возникающая между двумя проводниками, определяется по выражению:

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot k_K \cdot k_\Phi = 10^{-7} \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot k_K \cdot k_\Phi, \quad (4.4)$$

где  $\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  (Гн/м);

$k_K$  – коэффициент контура, зависит от взаимного расположения проводников ( $k_K = 2l/a$  – для параллельных проводников, см. рис. 4.2);

$k_\Phi$  – коэффициент формы, зависит от размеров проводника и для цилиндрических проводников  $k_\Phi = 1$ .



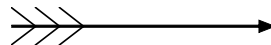
**Рис. 4.5. Действие сил для различных форм проводников, располагающихся в одной плоскости**

*Примеры анализа:* а) изогнутый проводник с током  $I$ , поле во внутренней области, охватываемой проводником усилено, а в наружной – ослаблено. Так как сила направлена в сторону ослабленного поля, то проводник стремится переместиться влево-вниз.

*Примечание.* При обозначении направления вектора на плоском чертеже используются следующие графические символы:

⊗ – вектор "уходит за плоскость чертежа (видно "оперение" стрелы),

⊙ – вектор "приходит" из-за плоскости чертежа (видно острие стрелы).



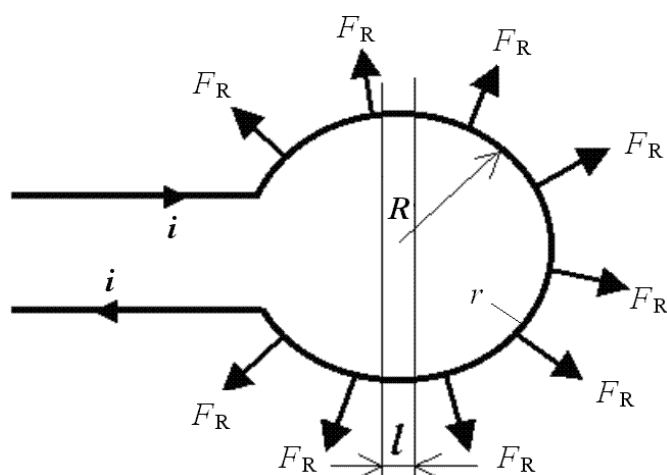


### ***ЭДУ в кольцевом витке и между кольцевыми витками***

Любой кольцевой виток стремится разорваться. Элементы противоположных сторон витка можно рассматривать как два параллельных проводника, по которым течет ток, сдвинутый по фазе на  $180^\circ$  (см. рис.4.2, б), т.е. витки катушки будут стремиться разорваться

Сила, действующая в этом случае:

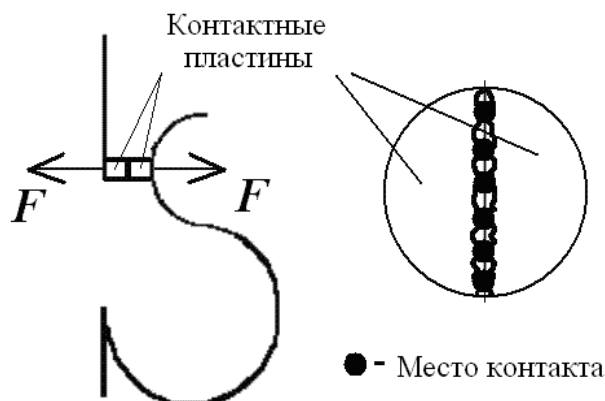
$$F_R = 10^{-7} \cdot i^2 \cdot \left( \ln \frac{8 \cdot R}{r} - 0,75 \right). \quad (4.5)$$



**Рис. 4.6. ЭДУ в кольцевом витке**

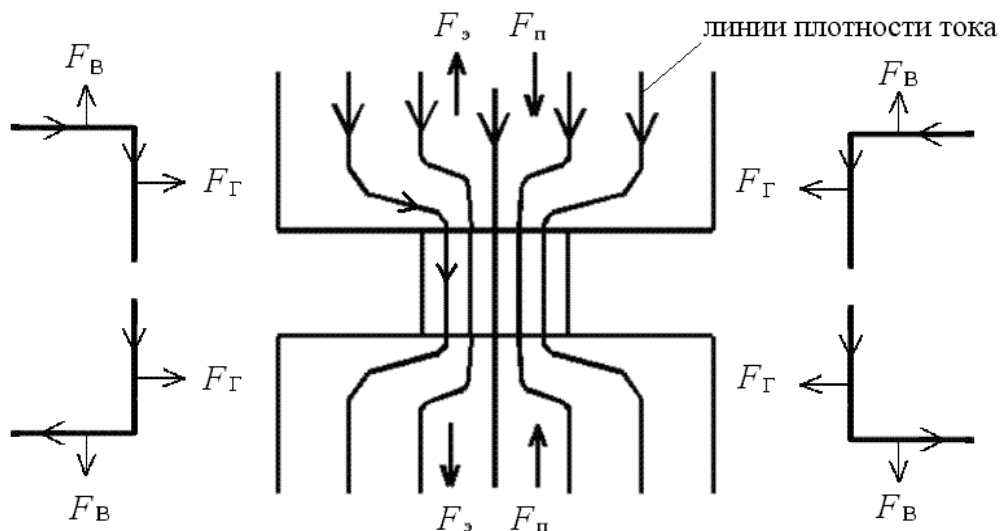
Межкольцевые витки представляют собой проводники с током согласного направления (см. рис. 4.2, а), поэтому проводники притягиваются друг к другу. Таким образом, проводники, сформированные в катушку, никогда не распадутся.

### ***ЭДУ в проводниках переменного сечения***



**Рис. 4.7. ЭДУ в контактной системе автоматического выключателя**

Контактирование происходит не по всей поверхности, а в отдельных точках в силу неровностей (шероховатости) любой, даже тщательно обработанной поверхности.



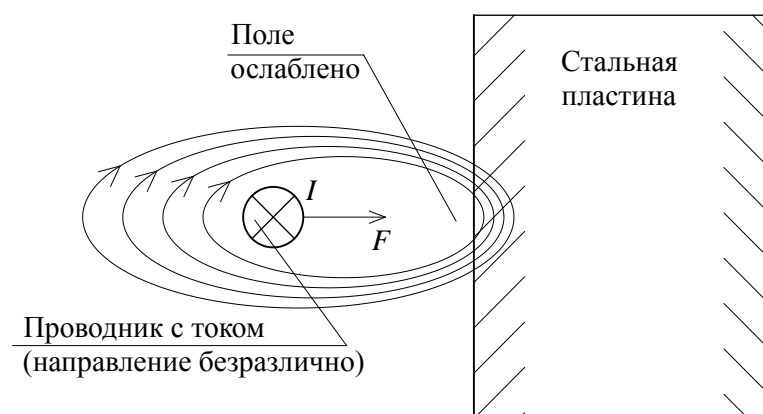
**Рис. 4.8.** Модель точечного контакта - три проводника переменного сечения

Горизонтальные электродинамические силы  $F_H$  взаимно компенсируются, а вертикальные  $F_B$  - образуют результирующие силы  $F_З$ , которые будут направлены в различные стороны. Таким образом, электрический контакт всегда стремится саморазорваться. Силы, которые стремятся разорвать контакт, малы при номинальных токах и значения их возрастают при токах короткого замыкания. Силы противодействующих пружин  $F_П$  должны препятствовать разрыву контакта.

### *ЭДУ между проводником с током и ферромагнитной массой*

#### *Проводник с током около ферромагнитной массы*

Силовые линии магнитного поля стремятся замкнуться через магнитный материал, и магнитное поле между проводником с током и ферромагнитной массой получается ослабленным. Именно в сторону ослабленного магнитного поля и направлена сила, и проводник с током (например, электрическая дуга) притягивается к магнитному материалу. На этом же принципе основано действие магнитного замка. Следовательно, сила  $F$  будет стремиться затягивать проводник с током внутрь ферромагнитной массы.



**Рис. 4.9.** Проводник с током вне стальной пластины

### Проводник с током внутри ферромагнитной массы

Поле между “проводником с током” и границей ферромагнитной массы усилено. Следовательно, сила  $F$  будет стремиться затягивать проводник с током внутрь ферромагнитной массы. Дойдя до противоположной границы, он будет отталкиваться внутрь ферромагнитной массы. Таким образом, электрическая дуга, “единожды затянутая” в стальную пластину, не сможет “выйти” из неё.

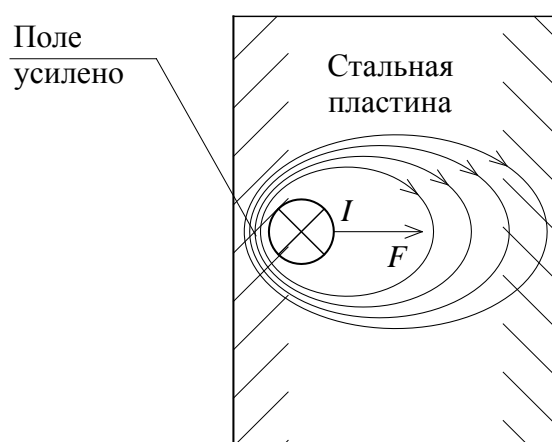


Рис. 4.10. Проводник с током внутри стальной пластины

### Проводник с током около фигурных стальных пластин дугогасительной решетки (ферромагнитной массы)

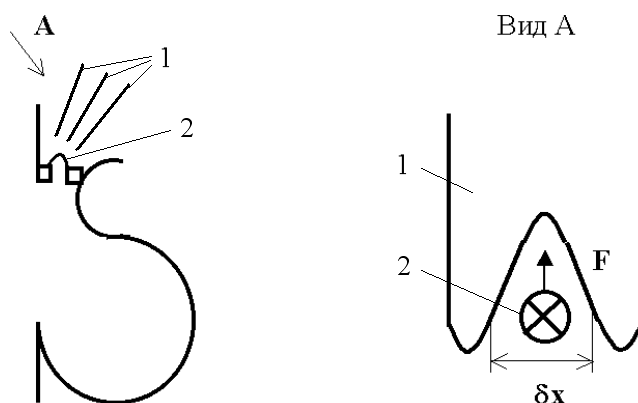


Рис. 4.11. Проводник с током вне фигурной стальной пластины:

1 – стальная пластина дугогасительной решетки; 2 – электрическая дуга

Сила, действующая на дугу:

$$F = 0,63 \cdot 10^{-6} \cdot i^2 \cdot \frac{l}{\delta_x}, \quad (4.6)$$

где  $l$  – толщина пластины;

$\delta_x$  – расстояние между границами пластины.

При затягивании дуги происходит уменьшение расстояния  $\delta_x$ , и сила, действующая на дугу, увеличивается по мере сужения щели.

### ЭДУ при переменном токе

Всё перечисленное ранее, справедливо и для переменного тока, только сила, возникающая при этом, будет иметь переменное (во времени, но не в пространстве) значение.

а) *переменный однофазный ток.*

Ток изменяется по синусоидальному закону:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t . \quad (4.7)$$

Подставим ток в выражение (4.4) и для случая рис.4.5, а получим силу:

$$F_t = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot i^2 \cdot k_K = C \cdot i^2 = C \cdot I_m^2 \cdot \sin^2 \omega t , \quad (4.8)$$

где  $C = \frac{\mu_0}{4\pi} k_K$  - постоянная величина. Учтем, что  $\sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$ , перепишем формулу (4.8):

$$F_t = \frac{C \cdot I_m^2}{2} - \frac{C \cdot I_m^2}{2} \cdot \cos 2\omega t = F' - F' \cdot \cos 2\omega t . \quad (4.9)$$

Введем следующие обозначения:

$$F' = \frac{C \cdot I_m^2}{2} = \frac{\mu_0 \cdot I_m^2 \cdot k_K}{8\pi} ; \quad F'' = -F' \cdot \cos 2\omega t . \quad (4.10)$$

Таким образом, на переменном токе сила состоит из двух составляющих: постоянной ( $F'$ ) и переменной ( $F''$ ), изменяющейся во времени с удвоенной частотой и с той же амплитудой  $F'$ , что и постоянная составляющая. Изобразим это графически на рис. 4.12:  $F_t = F' + F''$ .

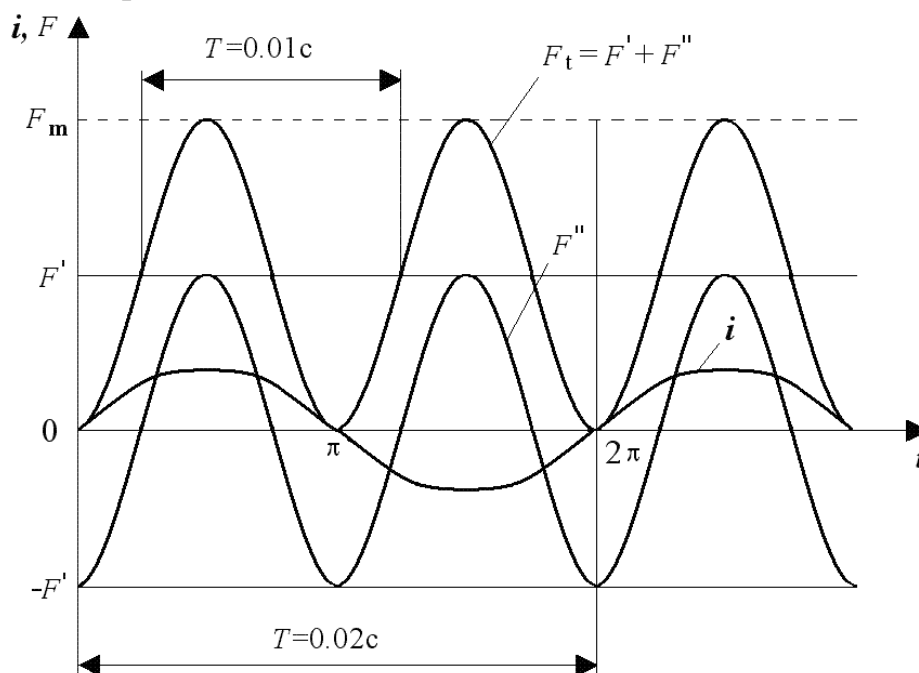


Рис. 4.12. Сила, возникающая в результате протекания переменного тока по проводнику

Переменная сила всегда располагается выше оси абсцисс, изменяется с двойной частотой, (т.е. всегда положительна, не изменяет свой знак, а значит и направление). В момент перехода тока через ноль сила снижается до нуля.

Определим величину максимальной силы  $F_m$ :

$$F_m = 2 \cdot F' = 2 \cdot \frac{\mu_0}{8\pi} \cdot k_K \cdot I_m^2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot k_K \cdot I^2, \text{ т.к. } I_m = \sqrt{2} \cdot I, \quad (4.11)$$

где  $I$  – действующее значение тока.

На переменном токе сила в два раза больше, чем при таком же действующем значении постоянного тока.

При коротком замыкании в первый полупериод возникает ударное значение тока:

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I, \quad (4.12)$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент,  $k_y = 1,8$ :

$$F_{\max} = C \cdot i_y^2 = 6,48 \cdot \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot k_K \cdot I^2. \quad (4.13)$$

При коротком замыкании возникает ударная сила, которая в 6,48 раз превышает значение силы при таком же действующем значении постоянного тока.

б) *переменный трёхфазный ток.*

Рассмотрим три проводника, идущие параллельно (рис. 4.13).

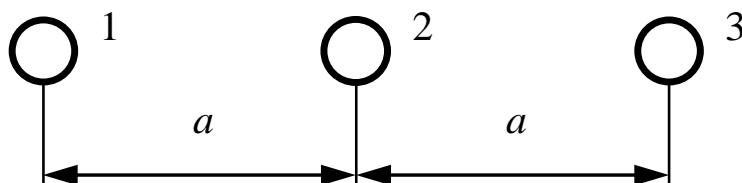


Рис. 4.13. ЭДУ при трёхфазном токе

Токи, протекающие по проводникам, сдвинуты на угол  $120^\circ$ . На проводник 2 оказывают силовое воздействие проводники 1 и 3. Это силовое воздействие будет максимальным:

$$F_{(1+3)/2} = 0,866 \cdot \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot k_K \cdot I_m^2. \quad (4.14)$$

На переменном трёхфазном токе электродинамические силы меньше, чем при переменном однофазном токе.

в) *механический резонанс.*

Механический резонанс возникает при совпадении частоты электродинамической силы с собственной частотой колебания механической системы. В этом случае деформация механической системы с каждым периодом будет возрастать и в какой-то момент механическая система

разрушится. Поэтому при проектировании специально рассчитывается, чтобы таких совпадений не возникало.

## **4.2. Нагрев электрических аппаратов**

### ***Источники тепловой энергии в электрических аппаратах***

1. *Нагрев проводников с током* (нагрев методом электрического сопротивления). Энергия, которая выделяется в проводнике при протекании по нему тока, определяется по экспериментальному закону Джоуля-Ленца,

$$W_Q = I^2 \cdot R \cdot t, \quad (4.15)$$

который формулируется следующим образом: в любом теле, обладающем электрическим сопротивлением, выделяется тепловая энергия, пропорциональная квадрату тока, сопротивлению и времени протекания тока.

На постоянном токе электрическое сопротивление проводника определяется:

$$R_{\sim} = \rho \cdot \frac{l}{S}. \quad (4.16)$$

На переменном токе электрическое сопротивление проводника определяется:

$$R_{\sim} = R \cdot k_D, \quad (4.17)$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление;

$l$  – длина проводника;

$S$  – площадь сечения проводника;

$k_D$  – коэффициент добавочных потерь:

$$k_D = k_{\Pi} \cdot k_B, \quad (4.18)$$

где  $k_{\Pi}$  – коэффициент поверхностного эффекта;

$k_B$  – коэффициент близости.

Данная энергия идёт на нагрев токопроводящих частей самого аппарата, нагрев прилегающих материалов и нагрев окружающей среды по законам теплопередачи (теплопроводностью, конвекцией и тепловым излучением).

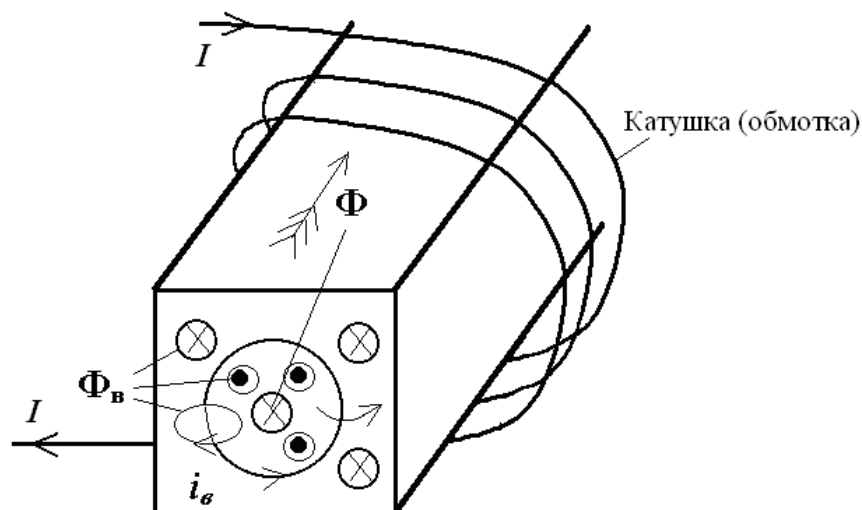
2. *Энергия, выделяющаяся в деталях из ферромагнитных материалов* (в нетоковедущих ферромагнитных частях).

В электрических аппаратах выделяют два вида ферромагнитных материалов: 1) *магнитопроводы* и 2) *конструктивные узлы*, выполненные из стальных деталей. Магнитопроводы предназначены для усиления магнитного поля, создаваемого проводником с током.

1) различают две причины нагрева магнитопроводов:

а) *нагрев от вихревых токов*.

Рассмотрим элемент магнитопровода с проходящим переменным магнитным потоком  $\Phi$  (см. рис.4.14).



**Рис. 4.14. Возникновение вихревых токов в магнитопроводе при протекании по катушке переменного тока**

При прохождении магнитного потока  $\Phi$  в магнитопроводе появляется электродвижущая сила (ЭДС), согласно закону электромагнитной индукции:

$$e = -\frac{d\psi}{dt} = -L \cdot \frac{d\Phi}{dt}, \quad (4.19)$$

где  $\psi$  – потокосцепление;

$L$  – индуктивность.

Под действием этой ЭДС, согласно закону Ома, возникает вихревой ток  $i_\epsilon$  такого направления, при котором создаваемые им магнитные потоки противодействуют изменению основного потока  $\Phi$  (правило Ленца).

При протекании вихревых токов по магнитопроводу, согласно закону Джоуля-Ленца (см. 4.15), происходит преобразование электрической энергии в тепловую. Для уменьшения данного вида потерь магнитопроводы выполняются шихтованными, т.е. набранными из пластин электротехнической стали толщиной 0,2 – 0,5 мм, тщательно изолированными друг от друга. Этим самым исключается контур протекания вихревого тока, как основного источника потерь, а также происходит разбиение магнитного потока по отдельным пластинам. В пределах одной пластины величина магнитного потока уменьшается, от чего уменьшается скорость его изменения, а значит уменьшается и величина ЭДС, и величина вихревого тока.

б) *потери на гистерезис* физически представляют собой энергию, которая затрачивается на поворот доменов ферромагнитного материала стали.

*Полные потери в стали магнитопровода  $P_{СТ}$  на гистерезис и вихревые токи:*

$$P_{СТ} = (K_\Gamma \cdot B_m^{1,6} + K_B \cdot f \cdot B_m^2) \cdot f \cdot G_T, \quad (4.20)$$

где  $K_\Gamma$  – коэффициент потерь от гистерезиса (1,9 – 2,6),

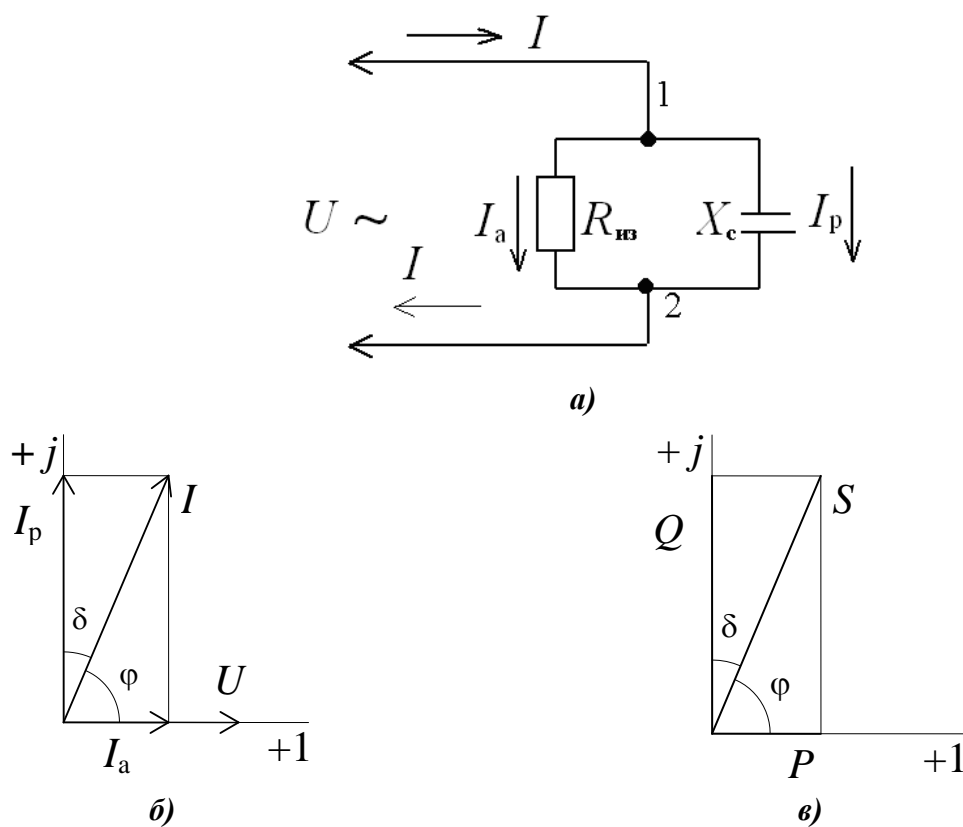
$k_B$  – коэффициент потерь от вихревых токов (0,4 – 1,2),  
 $B_m$  – амплитуда вектора магнитной индукции,  
 $G_T$  – масса магнитопровода,  
 $f$  – частота.

2) *выделение энергии в конструктивных узлах электрических аппаратов, выполненных из стальных деталей*, происходит по той же схеме, что и в магнитопроводе, т.е. также есть потери от вихревых токов и потери на гистерезис. Для снижения потерь в стальных деталях используются следующие мероприятия:

а) введение немагнитных зазоров на пути магнитного потока;  
 б) надевание на стальные конструкции короткозамкнутого витка с малым активным сопротивлением. При этом в нём индуцируется ЭДС, под действием которой протекает вихревой ток короткозамкнутого витка, который создает магнитный поток, направленный встречно основному. В результате величина магнитного потока уменьшается, уменьшается ЭДС и вихревой ток в магнитопроводе, снижаются потери от его протекания.

в) в электрических аппаратах с токами выше 1000 А вообще не должно быть стальных деталей. Все детали изготавливаются из немагнитных материалов (алюминий, пластмасса, бронза).

3. *Выделение энергии в изоляции электрического аппарата. Изоляция моделируется следующей схемой замещения:*



**Рис. 4.15. Выделение энергии в изоляции:**

а – схема замещения изоляции; б – треугольник токов, в – треугольник мощностей



По первому закону Кирхгофа для узлов 1 и 2:  $I = I_a + I_p$  получаем треугольник токов. Активный ток совпадает по направлению с напряжением, а реактивный на конденсаторе опережает напряжение на  $90^\circ$ .

При умножении векторов тока на напряжение (общее для обеих цепей) получим треугольник мощностей.

Выразим из треугольника мощностей активную мощность:

$$P = Q \cdot \operatorname{tg} \delta = \frac{U^2}{X_C} \cdot \operatorname{tg} \delta = \frac{U^2}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}} \cdot \operatorname{tg} \delta = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (4.21)$$

где  $Q$  – реактивная мощность;

$\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь (0,005 – 0,0001);

$X_C$  – емкостное сопротивление;

$C$  – ёмкость изоляции.

Появление дефектов в отдельных местах твёрдой изоляции приводит к увеличению  $\operatorname{tg} \delta$  и способно вызвать тепловой пробой изоляции. Изоляция меняет свою структуру и становится проводящей.

#### *4. Другие виды источников теплоты в электрических аппаратах:*

а) энергия, выделяемая в электрических дугах - в коммутационных аппаратах, особенно при частых ВО;

б) при трении между собой отдельных элементов электрических аппаратов.

Нагрев электрических аппаратов вызывает ускоренное старение изоляции и повышает скорость окисления электрических контактов, что снижает срок службы электрических аппаратов.

#### ***Уравнение теплового баланса при нагреве однородного проводника во времени при продолжительном режиме работы***

После включения аппарата температура его элементов не сразу достигает установившихся значений. Так, в силу инерционности теплопередачи тепло частично идет на повышение его температуры и частично отдается в окружающее пространство. Рассмотрим этот процесс на примере проводника с током, включенным в электрическую цепь последовательно с нагрузкой. В этом случае величина тока  $I$  определяется величиной сопротивления нагрузки и является неизменной. При этом мощность, выделяемая в проводнике, будет величиной постоянной:

$$P = I^2 \cdot R_0 = \operatorname{const}, \quad (4.22)$$

где  $R_0$  – сопротивление элемента проводника с током.

Допускаем, что его сопротивление мало изменяется с ростом температуры проводника.

Энергия, выделяемая в проводнике с током, может быть разделена на две составляющие:

- нагрев самого проводника;
- нагрев окружающей среды.

Запишем уравнение теплового баланса в дифференциальной форме:

$$Pdt = c \cdot Gd\tau + F \cdot k_T \cdot \tau dt, \quad (4.23)$$

где  $Pdt$  – энергия, поступающая в проводник ( $P$  – активная мощность,  $t$  – время);

$c$  – удельная теплоёмкость проводника, [Дж/кг · град];

$G$  – масса проводника, [кг];

$F$  – поверхность проводника, [м<sup>2</sup>];

$k_T$  – коэффициент теплоотдачи – количество теплоты, которое отдаётся за 1 секунду всеми видами теплопередачи с 1м<sup>2</sup> теплоотдающей поверхности при разности температуры нагретого тела и окружающего пространства 1° [Вт/м<sup>2</sup> · град]:

- $k_T$  на воздухе = 10-16,
- $k_T$  в масле = 25-100;

$\tau$  – превышение температуры проводника над температурой окружающей среды, разность температур проводника  $\theta_{\text{пров}}$  и окружающей среды  $\theta_{\text{окр}}$ , град:

$$\tau = \theta_{\text{пров}} - \theta_{\text{окр}}, \quad (4.24)$$

где  $d\tau$  – приращение данного превышения за время  $dt$ .

Так как температура проводника повышается в процессе нагрева, то  $\tau$  – величина переменная (различная для каждого момента времени при нагреве или охлаждении).

Разделим выражение (4.23) на множители:  $c$ ,  $G$ ,  $dt$ :

$$\frac{P}{c \cdot G} = \frac{d\tau}{dt} + \tau \cdot \frac{F \cdot k_T}{G \cdot c}. \quad (4.25)$$

Решение этого уравнения имеет вид:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}} + \tau_y \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}}), \quad (4.26)$$

где  $\tau_0$  – превышение температуры проводника над температурой окружающей среды в начале процесса нагрева (при  $t = 0$ );

$\tau_y$  – установившееся превышение температуры.

Графическое решение этого уравнения имеет вид, изображенный на рис. 4.16. В установившемся режиме, когда температура тела уже не повышается (вся энергия, выделенная в нем, идет только на теплообмен с

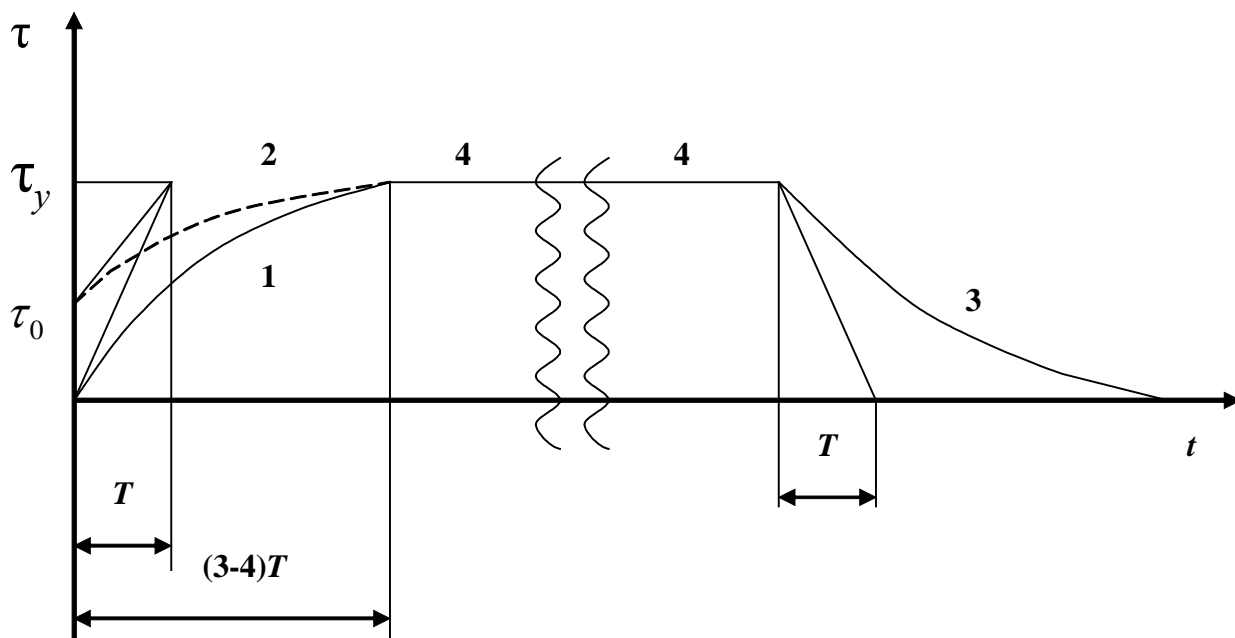
окружающей средой). Изменение превышения температуры тела над температурой окружающей среды становится равным нулю  $d\tau = 0$ . Из уравнения (4.23) выразим  $\tau_y$ :

$$\tau_y = \frac{Pdt}{k_T \cdot Fdt} = \frac{P}{k_T \cdot F} \cdot \quad (4.27)$$

Если бы не происходила отдача тепла в окружающую среду, то нагрев проводника, до установившейся температуры, осуществлялся бы за время  $T$ , которое получило название  $T$  - *постоянная времени нагрева*.

$T = \frac{c \cdot G}{k_T \cdot F}$  – время, за которое нагрелся бы проводник до значения

установившейся температуры  $\Theta_{уст}$ , если бы отдача в окружающую среду отсутствовала. В этом случае графический процесс нагрева осуществляется по прямой, касательной к графику нагрева  $\tau(t)$  в начале нагрева (охлаждения). Очевидно, что чем больше  $T$ , тем медленнее происходит нагрев (охлаждение).



**Рис. 4.16. Нагрев проводника при продолжительном режиме работы:**

1 – нагрев проводника от температуры, равной температуре окружающей среды  $\tau = 0$ ;  
2 – нагрев проводника от температуры, отличающейся от температуры окружающей среды  $\tau_0 > 0$ ; 3 – охлаждение проводника; 4 – установившийся режим

В обоих случаях (1 и 2) нагрев происходит за одно и то же время, изменяется лишь скорость нагрева.

В установившемся режиме вся тепловая энергия, выделяющаяся в проводнике, отдаётся в окружающую среду и кривая нагрева приобретает вид прямой линии, проходящей параллельно оси абсцисс.

Если время нагрева меньше  $0,1T$ , то потерями в окружающую среду пренебрегают. Чем более массивен проводник, тем медленнее он нагревается.

### Охлаждение проводника

Допустим ток, протекающий по проводнику, прекратится:

$$Pdt = 0; \quad 0 = c \cdot Gdt + F \cdot k_T \cdot \tau dt. \quad (4.28)$$

Решение этого уравнения имеет вид:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}, \quad (4.29)$$

при  $\tau_0 = \tau_{уст}$  - кривая 3 - зеркальное отображение кривой нагревания.

#### *Длительно допустимый ток токоведущих частей*

Каждый электрический аппарат обычно по условиям изоляции имеет допустимую температуру нагрева  $\theta_{доп}$ . Выразим в уравнение (4.27)  $\tau_y$  через температуру окружающей среды и допустимую температуру провода:

$$\theta_{доп} - \theta_{окр.ср} = \tau_{уст} = \frac{P}{k_T \cdot F} = \frac{I^2 \cdot R}{k_T \cdot F}. \quad (4.30)$$

Выразим ток из выражения (4.30), и определим его как ток, который можно пропускать по токоведущим частям электрического аппарата, (кабелю, проводу) и при этом температура электрического аппарата (кабеля, провода) не превысит допустимого значения. Такой ток получил название длительно-допустимого (номинального) тока:

$$I_{доп(ном)} = \sqrt{F \cdot k_T \cdot \frac{\theta_{доп} - \theta_{окр.ср}}{R}}. \quad (4.31)$$

Для электрических аппаратов номинальный ток - это ток, длительное протекание которого не вызывает нагрева электрического аппарата сверх заданной температуры.

Проанализируем формулу (4.31).

Если в электрическом аппарате (кабеле, проводе) материал токоведущих частей заменить, с алюминия на медь, сохраняя конструктивные размеры, то это приведет к уменьшению активного сопротивления  $R$ . Уменьшится знаменатель формулы (4.31). И значение номинального тока данного аппарата (кабеля, провода) увеличится.

Аналогичный результат (увеличение номинального тока) можно получить, если увеличить поверхность охлаждения  $F$ , т.е. улучшить условия охлаждения, или увеличить коэффициент теплоотдачи, (например, за счет изменения способа прокладки кабеля перенеся его с эстакады в земляную траншею), или увеличить возможную допустимую температуру  $\theta_{доп}$  за счет использования другого класса изоляции.

### Нагрев электрических аппаратов при коротком замыкании

Токоведущие элементы аппарата, рассчитанные для длительного режима, должны быть проверены, на способность противостоять токам аварийного режима. Наиболее тяжелый режим – короткое замыкание (КЗ) в электрической сети.

Допустимую температуру токоведущих частей  $\Theta_{\text{КЗ}}$  для коротких замыканий обычно принимается в 2-4 выше, чем при нормальном режиме. Это объясняется следующим:

КЗ возникают довольно редко и на непродолжительный отрезок времени (до момента отключения защитой). Далее аппарат имеет возможность восстановить свою температуру. Вводится понятие *термическая стойкость* - это способность электрического аппарата не переходить в состояние отказа при протекании тока определённой величины и длительности без превышения  $\Theta_{\text{доп}}$  короткого замыкания.

В справочниках приводится величина  $B$  - тепловой импульс:

$$B = I^2 \cdot t. \quad (4.32)$$

Зная  $B$  и время действия защиты, можно рассчитать ток, который способен пропустить данный электрический аппарат в режиме КЗ и сравнить его с расчетным током КЗ в данной точке электрической схемы:

$$I = \sqrt{\frac{B}{t}}. \quad (4.33)$$

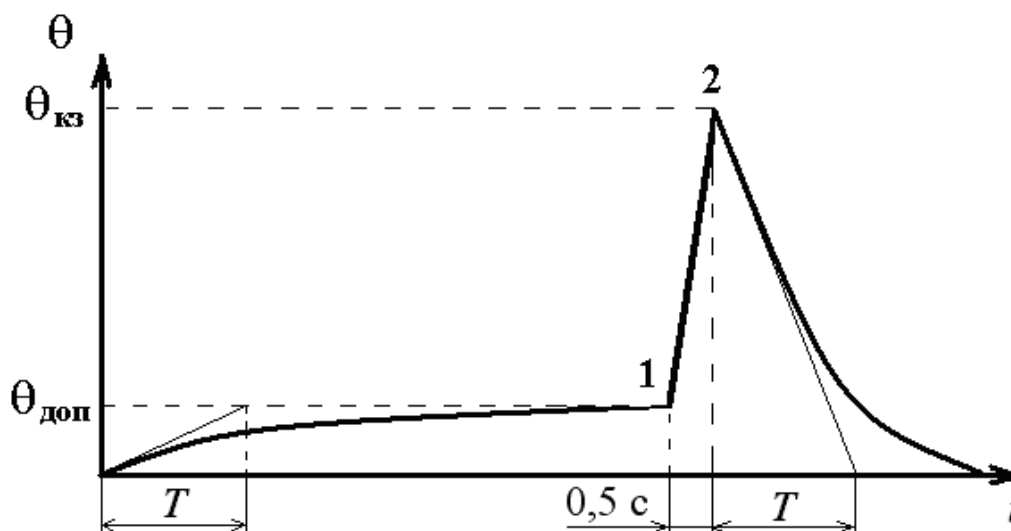


Рис. 4.17. Нагрев аппарата при коротком замыкании:

1 – момент короткого замыкания; 2 – момент отключения короткого замыкания;  $T \gg 0,5$  с

Так как действие релейной защиты в среднем равно 0,5 с (длительность интервала между моментом 1 и 2 составляет 0,5 с), то можно допустить, что за период от начала короткого замыкания до момента его отключения защитой,

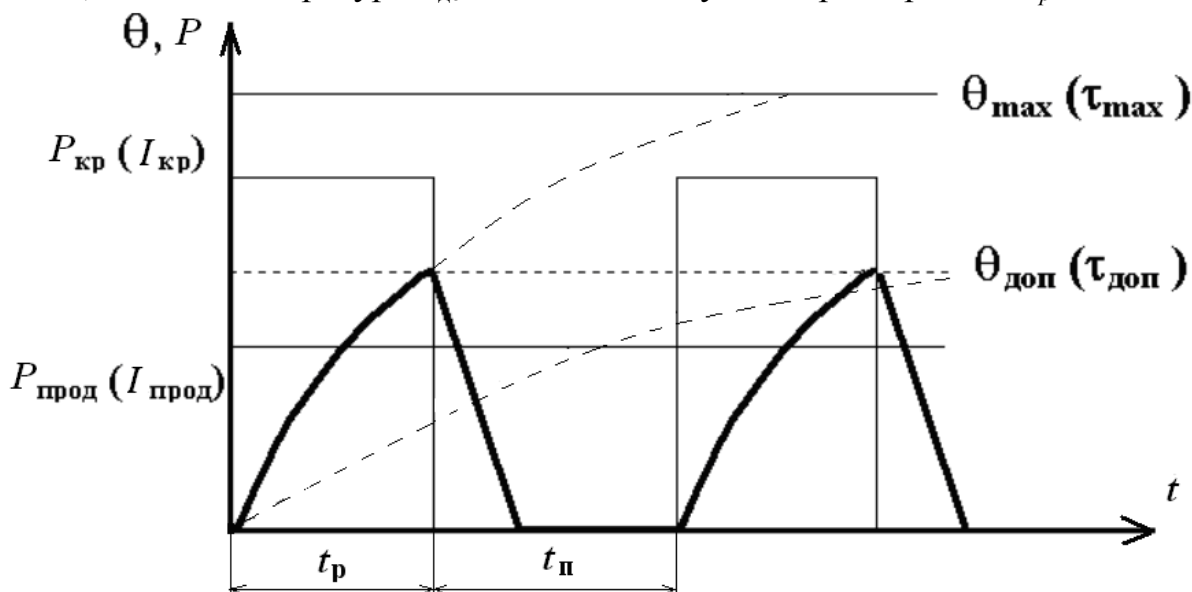
вся энергия идет только на нагрев электрического аппарата, а теплопередача в окружающую среду составляет 1 – 3% от всей энергии выделяемой в аппарате.

### ***Нормальный режим работы аппаратов***

#### ***Нагрев электрических аппаратов в кратковременном режиме***

Кратковременным называется режим, когда в период работы температура электрического аппарата не достигает своего установившегося значения, а в период пауз тока температура успевает снизиться до температуры окружающей среды.

Аппарат можно "перегрузить", пропустить через него больший ток таким образом, чтобы температура  $\theta_{\text{доп}}$  была достигнута за время работы  $t_p$ .



**Рис. 4.18. Нагрев аппарата при его работе в кратковременном режиме**

Коэффициент перегрузки по мощности определяется из соотношения:

$$K_P = \frac{P_{\text{кр}}}{P_{\text{прод}}} = \frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_{\text{доп}}} = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_p}{T}}}, \quad (4.34)$$

где  $P_{\text{кр}}$  — мощность, выделяемая в проводнике в кратковременном режиме работы;

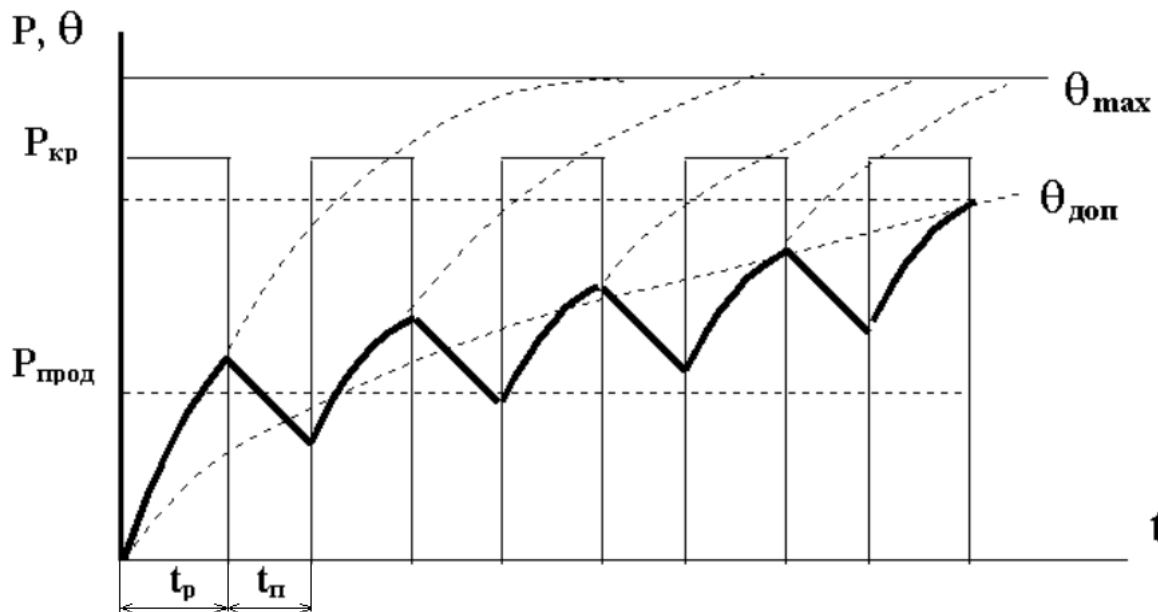
$P_{\text{прод}}$  — мощность, выделяемая в проводнике в продолжительном режиме работы;

$K_I = \sqrt{K_P}$  — коэффициент перегрузки по току (так как  $P = I^2 \cdot R$ );

$K_P$  — коэффициент перегрузки по мощности.

#### ***Нагрев аппарата в повторно-кратковременном режиме***

Повторно-кратковременным называется режим, когда температура аппарата в период пауз тока не успевает снизиться до температуры окружающей среды.



**Рис. 4.19. Нагрев аппарата при его работе в повторно-кратковременном режиме**

*Понятие продолжительности включения (ПВ)*

ПВ – является характерной величиной для кратковременного и повторно - кратковременного режима:

$$\text{ПВ} = \frac{t_p}{t_p + t_{\pi}}, \quad (4.35)$$

где  $t_p, t_{\pi}$  - соответственно время работы и время паузы.

В данном режиме аппарат также можно перегрузить:

$$K_P = \frac{P_{\text{кр}}}{P_{\text{прод}}} = \frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_y} = \frac{1 - e^{-\frac{t_p + t_{\pi}}{T}}}{1 - e^{-\frac{t_p}{T}}} > 1, \quad (4.36)$$

$$K_I = \sqrt{K_P} = \frac{I_{\text{кр}}}{I_{\text{прод}}}. \quad (4.37)$$

ПВ - паспортная величина аппаратов, работающих в кратковременном и повторно-кратковременном режиме. Связь между величинами токов при кратковременном и длительном режиме получается из соотношения равенства мощности, выделяемой в проводнике за период работы (при длительном режиме) и за период работы и паузы (при кратковременном режиме).

Для составления уравнения возьмем отрезок времени, равный времени цикла  $t_{\text{ц}} = t_p + t_{\pi}$ .

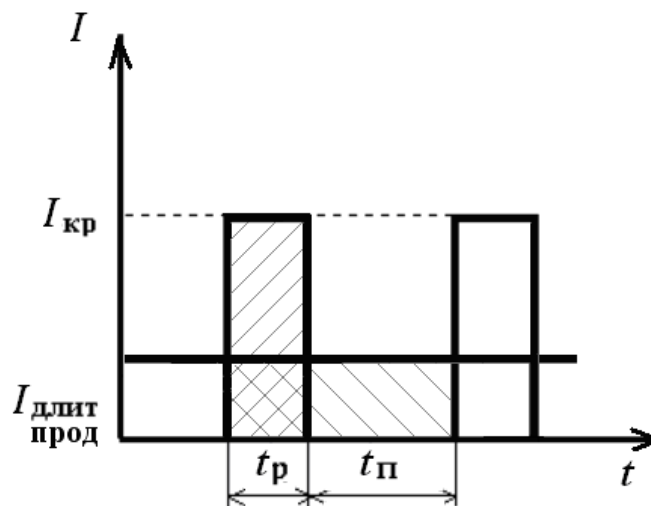


Рис. 4.20. Понятие ПВ

Исходя из равенства мощностей, выделяемых в проводниках при кратковременном и продолжительном режимах работы, получим:

$$W_{\text{кр}} = W_{\text{прод}},$$

$$I_{\text{кр}}^2 \cdot R \cdot t_p = I_{\text{прод}}^2 \cdot R \cdot (t_p + t_n), \quad (4.38)$$

$$I_{\text{прод}} = I_{\text{кр}} \cdot \sqrt{\frac{t_p}{t_p + t_n}} = I_{\text{кр}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}}. \quad (4.39)$$

*Пример.* В технической характеристике аппарата указано: ПВ = 0,36;  $I_{\text{кр}} = 10\text{А}$ . Необходимо выяснить, какое значение тока допустимо пропускать через электрический аппарат при продолжительном режиме работы.

По формуле (4.39):  $I_{\text{прод}} = 10 \cdot 0,6 = 6\text{А}$ .

### 4.3. Электрические контакты в электрических аппаратах

#### Общее представление и классификация электрических контактов

*Контакт электрический* - это поверхность соприкосновения составных частей электрической цепи, обладающая электрической проводимостью.

Электрические аппараты состоят из отдельных деталей, узлов, электрически соединенных между собой.

#### Классификация

1. По возможному перемещению контактирующих деталей:

а) разборный контакт (контактное соединение) - это конструктивный узел, предназначенный только для проведения электрического тока и не предназначенный для коммутации (болтовое соединение шин, присоединение проводника к зажиму);

б) коммутирующие контакты - это конструктивный узел, предназначенный для коммутации электрических цепей (контакты выключателей, рубильников);



в) скользящие контакты - разновидность коммутирующего контакта, у которого одна деталь скользит относительно другой, но электрический контакт при этом не нарушается (контакты реостатов, щеточные контакты в электрических машинах, шарнирный контакт и проскальзывающий контакт в автоматических выключателях).

## 2. По форме контактирования:

а) *точечный контакт* - контакт в одной площадке (сфера-сфера, сфера-плоскость, конус-плоскость);

б) *линейный контакт* - условное контактирование происходит по линии (ролик-плоскость);

в) *поверхностный контакт* - условное контактирование происходит по поверхности.

### **Переходное сопротивление электрического контакта**

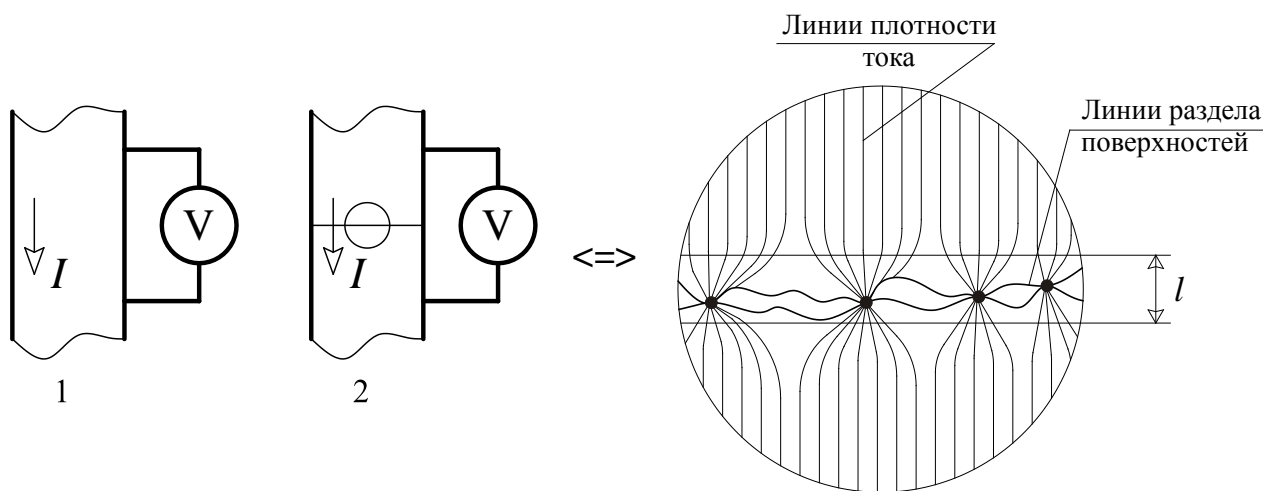
Возьмём проводник с током как элемент электрической цепи с нагрузкой. Подключим вольтметр и снимем его показания как падение напряжения  $\Delta U_1$  на элементе длины  $l$ . Разрежем проводник, а потом снова соединим и проанализируем, как изменились показания вольтметра  $\Delta U_2$ :

$$\Delta U_1 = I \cdot R_1; \quad \Delta U_2 = I \cdot R_2,$$

$$\Delta U_2 - \Delta U_1 = I \cdot (R_2 - R_1) = I \cdot \Delta R = I \cdot R_k, \quad (4.40)$$

$$R_2 - R_1 = \Delta R,$$

где  $\Delta R$  – контактное сопротивление  $R_k$ .



**Рис. 4.21. Электрический контакт**

Рассмотрим под микроскопом участок поверхности контактирования. Контакт осуществляется по микровыступам, то есть в месте контактирования резко уменьшается площадь сечения проводника  $S$ , поверхность среза окисляется, что также приводит к увеличению контактного сопротивления:

$$R_k = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (4.41)$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление материала проводника и его окислов на поверхности среза;

$l$  – единичная длина (элемент длины).

**Выводы:** 1. В каждой точке контактирования возникают ЭДУ отброса по причине сужений линий плотности тока.

2. Происходит нагрев участка контактирования вследствие закона Джоуля-Ленца:

$$P_{\text{тепл}} = I^2 \cdot R_k. \quad (4.42)$$

**Причины возникновения контактного сопротивления:**

1. Резкое уменьшение сечения проводника в месте контактирования.

2. Образование на контактах окисных плёнок, удельное сопротивление которых выше, чем у основного металла:

$$R_k = \frac{\varepsilon}{p^n}, \quad (4.43)$$

где  $\varepsilon$  – величина, зависящая от материала, формы, способа его обработки и состояния контактной поверхности, [Ом/Н<sup>1/2</sup>];

$p$  – сила, сжимающая контакты, [Н];

$n$  – показатель степени, характеризующий число точек соприкосновения (0,5 – для точечного контакта, 0,7 – для линейного, 1 – для поверхностного контакта).

Таблица 4.1

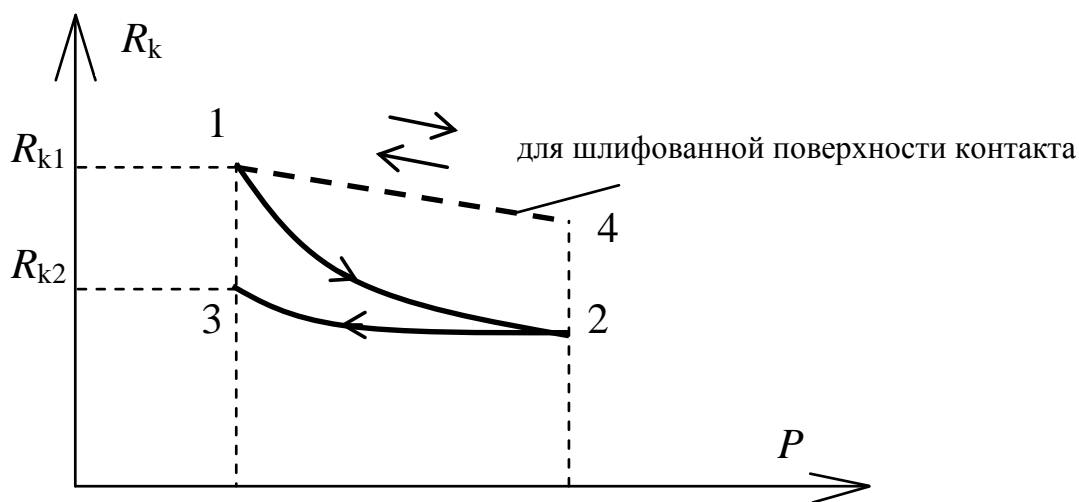
**Значение  $\varepsilon$  для неокисленного однотоочечного контакта**

Материал	$\varepsilon$ , Ом/Н <sup>1/2</sup>
Медь	$1 \cdot 10^{-3}$
Олово	$5 \cdot 10^{-3}$
Алюминий	$1.6 \cdot 10^{-3}$
Серебро	$0.5 \cdot 10^{-3}$
Сталь	$76 \cdot 10^{-3}$

Анализ формулы (4.43) позволяет сделать вывод, что контактное сопротивление зависит:

1) от материала проводника, как самого металла, так и его окислов на поверхности контакта;

2) от величины силы контактного нажатия (давления на контакт);



**Рис. 4.22. Зависимость контактного сопротивления от величины давления на контакт и состояния контактной поверхности:**

1-2 – процесс сжатия контакта (не шлифованного); 2-3 – процесс снятия давления  $P$  на контакте; 1-4-1 – процесс сжатия и снятия давления для шлифованной поверхности контакта

3) от состояния контактной поверхности. При шлифовке "бугорки" на поверхности становятся более пологими и не разрушаются при сжатии, а только упруго деформируются;

4) от условной площади контактирования.

Если увеличить площадку контактирования, то будет увеличиваться физическое число точек контактирования. Так как в пределе  $n = 1$ , то нет особого смысла увеличивать поверхность соприкосновения контактов в целях снижения его сопротивления. Часто поверхность соприкосновения контактов увеличивают для более эффективного рассеивания тепловой мощности выделяющейся в контактах при протекании по ним тока (согласно закону Джоуля-Ленца).

#### ***Явление спекания (сваривания) контактов во включенном состоянии***

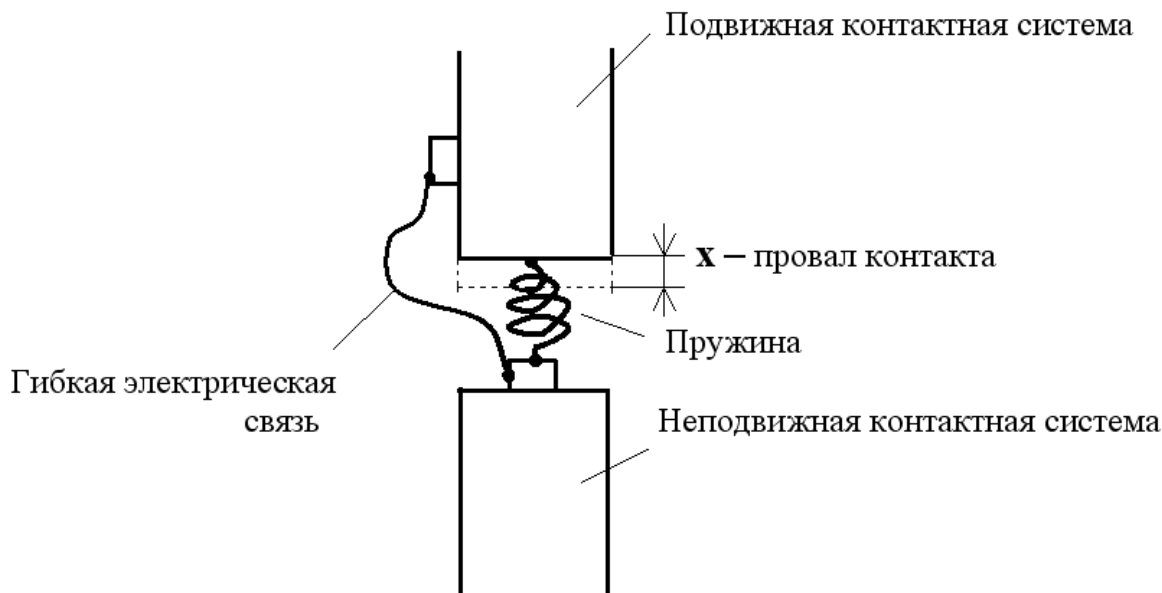
При прохождении тока в площадке контактирования, согласно закону Джоуля-Ленца, выделяется тепловая энергия:

$$W_k = I^2 \cdot R_k \cdot t. \quad (4.44)$$

Контакт вследствие нагрева ещё больше окисляется. Это приведёт к увеличению контактного сопротивления и энергии, выделяемой в контакте. Ток, определяющийся нагрузкой, является постоянным. Процесс увеличения сопротивления контакта может стать лавинообразным, и при некотором значении температуры на поверхности образуется слой жидкого металла. Контактное сопротивление резко уменьшится. Энергия, выделяющаяся в контакте, тоже резко уменьшится. Металл охлаждается и затвердевает. Это явление нежелательно для коммутирующих контактов.

Для борьбы с этим явлением используется дополнительное сжатие контактов при помощи контактных пружин ("провал контактов").

*Провал контактов* - это расстояние, на которое переместится подвижная контактная система после касания контактов (или то расстояние, на которое переместится подвижная система, если неподвижные контакты мысленно убрать).



**Рис. 4.23. Провал контактов**

Провал контактов – это паспортная техническая величина, измеряемая в мм, которая характеризует усилие нажатия на контакты.

В процессе эксплуатации контакт изнашивается (трение, выгорание части контакта вследствие электрической дуги), и контактное нажатие снижается, а значит увеличивается сопротивление контакта и возрастает опасность сваривания, поэтому провал контактов в процессе эксплуатации контролируется. Допустимо уменьшение провала контактов на 50% от начального значения, приведённого в технической документации.

### ***Износ контактов. Дребезг***

Износ - это разрушение рабочей поверхности коммутирующего контакта, приводящее к изменению формы, размера, массы и к уменьшению провала контактов.

#### ***1. Износ при размыкании***

Сила, сжимающая контакты, уменьшается до нуля. Резко возрастает контактное сопротивление, возрастает плотность тока в последней площадке контактирования. Вся энергия электрического тока выделяется в этой площадке, она разогревается, расплавляется. И между расходящимися частями контакта образуется мостик жидкого металла ("контактный перешеек"). Этот мостик рвётся, и в промежутке между контактами возникает два вида электрического разряда, например для меди:

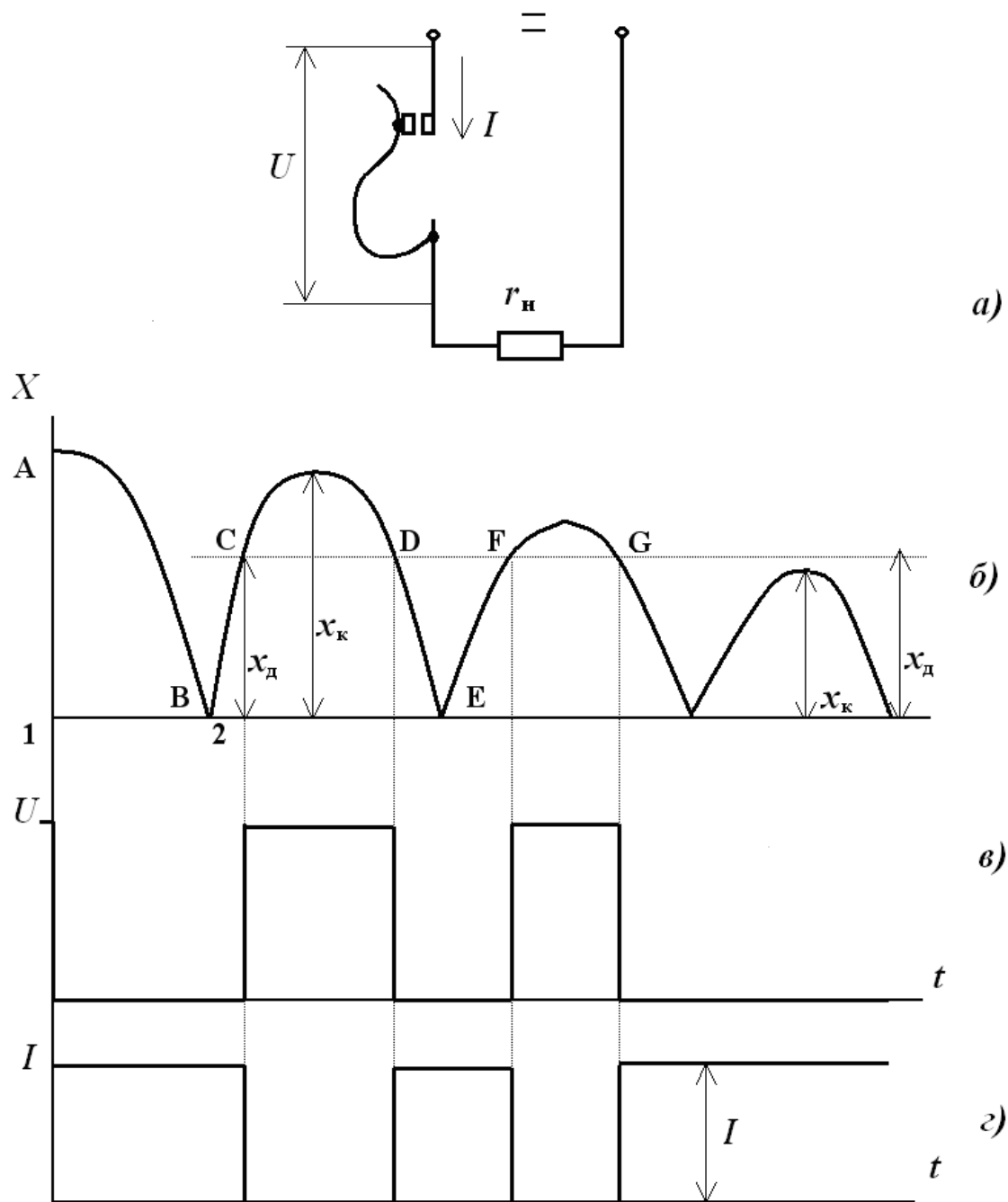
- а) при  $I = 0,5 \text{ А}$  и  $U > 15 \text{ В}$  возникает дуговой разряд;

б) при токах  $I < 0,5 A$  возникает искровой разряд.

Под действием высокой температуры дуги (искры) часть металла разбрызгивается и выбрасывается из контактного промежутка. При искровом разряде на поверхности контактов образуются лунки и наплывы (эрозия контакта).

2. Износ при замыкании, вызван дребезгом контактов.

*Дребезг* - отбрасывание подвижной контактной системы за счет упругой деформации неподвижной контактной системы (на расстояние 0,01-0,1 мм).



**Рис. 4.24. Дребезг контактов:**

*a* - замыкание контактов; *б* - осциллограмма упругой деформации; *в* - напряжение между контактами; *г* - ток через контакт

Процесс идёт с затухающей амплитудой. При каждом отбросе возникает электрическая дуга (искра), вызывающая износ контактов:

$x_k$  - величина амплитуды колебаний;

$x_d$  - величина упругой деформации материала;

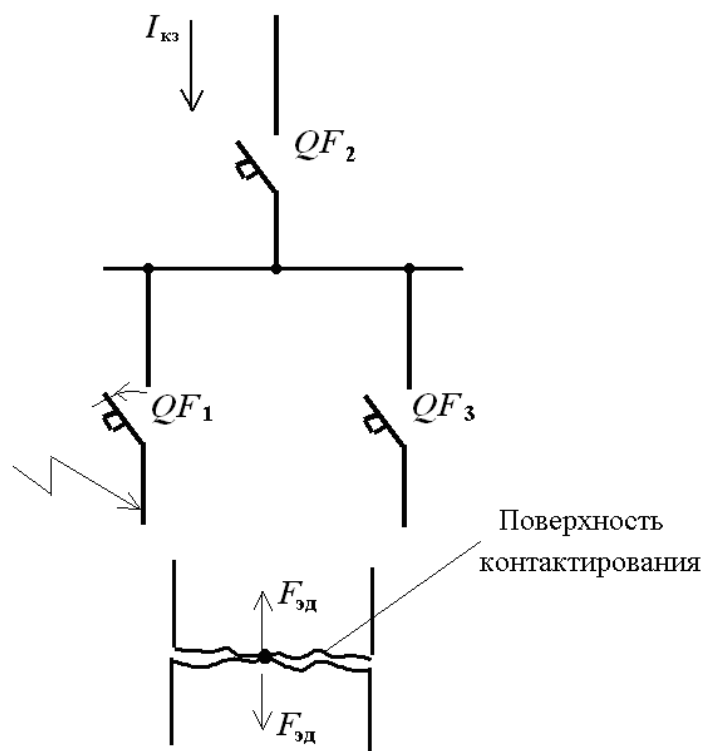
Если  $x_k \geq x_d$  - произойдет разрыв цепи (опасный дребезг). Если  $x_k < x_d$  разрыв цепи не произойдет (неопасный дребезг).

Дребезг может быть опасным (когда величина амплитуды колебания системы превосходит величину упругой деформации). При этом происходит разрыв цепи. В противном случае возникает неопасный дребезг.

Теоретически дребезга избежать невозможно, поэтому при проектировании электрических аппаратов добиваются, чтобы дребезг был неопасным.

### ***Работа контактных систем в условиях короткого замыкания***

В условиях короткого замыкания возникает опасность сваривания контактов, находящихся в замкнутом состоянии, за счёт электродинамического отброса контактов автоматических выключателей, когда электродинамические силы становятся равными, или превосходят, силы контактных пружин, обеспечивающих "провал контактов". В этом случае возникает электрическая дуга в момент отброса контактов. Рассмотрим это подробнее на примере работы элемента электрической сети с двумя последовательно включенными автоматическими выключателями.



**Рис. 4.25. К понятию «сваривание» контактов:**

$F_{эд}$  – электродинамические силы отброса

Короткое замыкание возникло за автоматическим выключателем  $QF_1$ . Рассмотрим аппарат  $QF_1$ . Его задача - отключить ток короткого замыкания. При его отключении происходит частичное оплавление и выгорание контактов за счёт энергии электрической дуги.

До момента отключения автоматического выключателя  $QF_1$  ток короткого замыкания протекает по обоим выключателям. Рассмотрим  $QF_2$ . В площадке контактирования возникает сила электродинамического отброса, которой противодействует сила контактной пружины, контактное нажатие ослабляется, сопротивление контакта увеличивается. Это приводит к увеличению энергии, выделяемой в контакте. В какой-то момент электродинамические силы превысят силу контактных пружин и контакты начнут расходиться, образуется мостик жидкого металла. В это время  $QF_1$  отключится, электродинамические силы резко уменьшатся и  $QF_2$  приходит в нормально-замкнутое положение, металл затвердевает, контакты  $QF_2$  привариваются друг к другу.

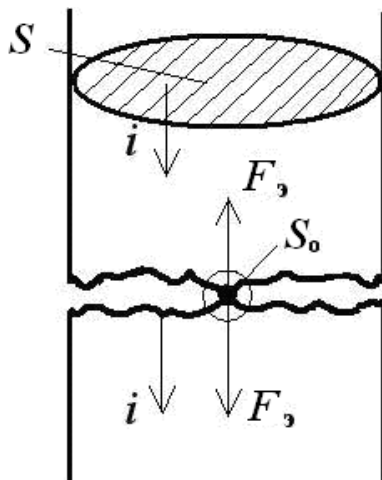
*Меры по снижению износа контактов:*

1. Применение дугостойких материалов.
2. Создание быстрого перемещения дуги по контакту.
3. Компенсация электродинамических сил отброса.

#### ***Способы компенсации электродинамических сил в электрических контактах***

Электродинамические силы отброса возникают вследствие сужения линий тока, при этом возникает продольная сила, направленная внутрь проводника:

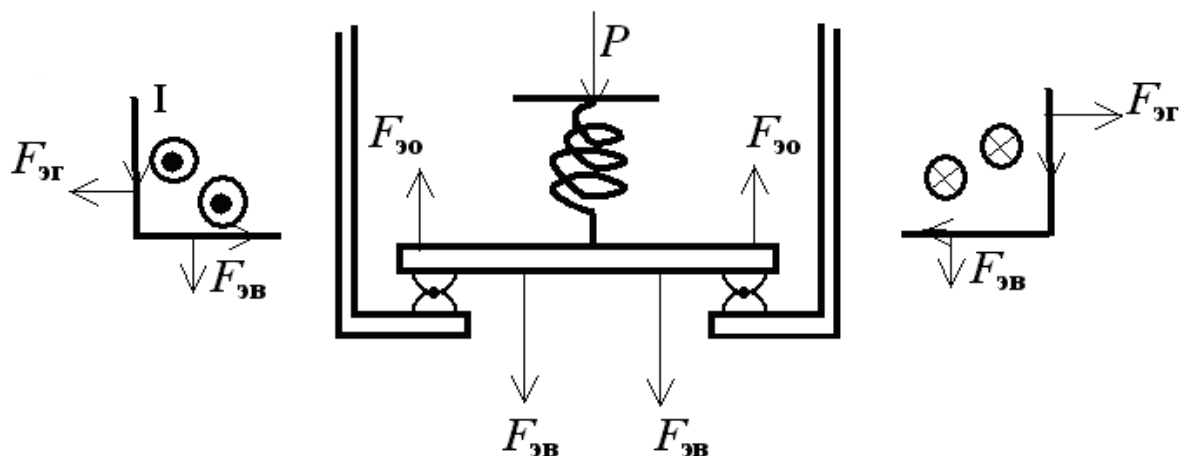
$$F_{\text{эд}} = 10^{-7} \cdot i^2 \cdot \ln \left( \frac{S}{S_0} \right). \quad (4.45)$$



**Рис. 4.26. Электродинамические силы отброса контактов**

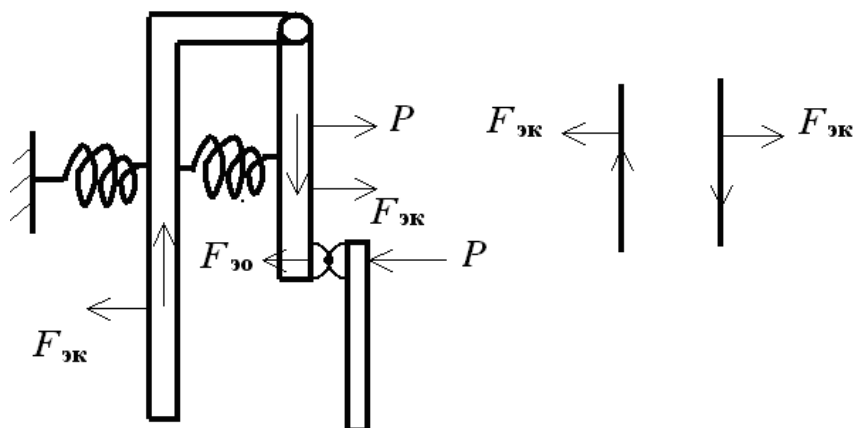
Способы компенсации электродинамической силы имеют также электродинамическую основу.

а) мостиковый контакт



**Рис. 4.27. Компенсация электродинамических сил отброса в мостиковом контакте:**  
 $F_{эг}$ ,  $F_{эв}$  – соответственно горизонтальные и вертикальные электродинамические компенсационные силы;  $F_{э}$  – электродинамические силы сброса;  $P$  – сила контактной пружины

б) рычажный контакт



**Рис. 4.28. Компенсация электродинамических сил отброса в рычажном контакте:**  
 $F_{эк}$  – электродинамические компенсационные силы

Размыкания контакта не произойдёт.

### **Материалы для контактных соединений**

#### *Требования к материалам контактов*

1. Высокая электропроводимость и теплопроводность.
2. Стойкость против коррозии.
3. Стойкость против образования плёнок с высоким удельным электрическим сопротивлением  $\rho$ .
4. Малая твёрдость материала (для уменьшения возможности силы нажатия).



5. Высокая твёрдость (для уменьшения механического износа при частых ВО).
6. Малая эрозия.
7. Высокая дугостойкость (высокая температура плавления).
8. Высокие значения тока и напряжения, необходимых для дугообразования.
9. Простота обработки и низкая стоимость.

В природе нет материалов, которые удовлетворяли бы всем требованиям одновременно:

*Медь.* Удовлетворяет всем требованиям, кроме 2 и 3, поэтому в слаботочных контактах при малых нажатиях не рекомендуется. К недостаткам можно отнести достаточно низкую температуру плавления, при работе на воздухе, медь покрывается слоем прочных оксидов, имеющих высокое сопротивление, требует довольно больших сил нажатия. Для защиты меди от окисления поверхности контактов покрываются электролитическим способом слоем серебра толщиной 20-30- мкм.

*Серебро.* Удовлетворяет всем требованиям, кроме 7. Используется для накладок на рабочие поверхности контактов из меди. К недостаткам можно отнести малую дугостойкость и недостаточную твердость, препятствующую использованию серебра при наличии мощной дуги и частых включениях и отключениях.

*Платина, золото, молибден.* Используются на малые токи при малых нажатиях, так как не образуют оксидных плёнок. Для увеличения износостойкости используется сплав платины с иридием.

*Вольфрам и его сплавы.* Используются как на малые, так и на большие токи в качестве дугостойких контактов.

*Металлокерамика* - механическая смесь двух практически не сплавляющихся металлов, получаемая методом спекания их порошков или пропиткой одного расплавом другого. Один из металлов имеет большую проводимость, другой обладает дугостойкостью, механической прочностью.

Серебро - никель, серебро - кадмий, серебро - графит.

Металлокерамика применяется в качестве дугогасительных контактов и в качестве основных контактов в аппаратах на токи до 600 А.

Алюминий обладает меньшей проводимостью и механической прочностью. На поверхности образуется плохопроводящая окисная пленка, поэтому для коммутационных контактов не используется, как проводник применяется в разборных соединениях при армировании его медью и серебром.

### ***Основные конструкции контактов***

1. Неподвижные разборные контакты.

Контакт должен быть надёжен и не ослабевать при эксплуатации. Контактное сопротивление должно быть минимальным.

Рекомендации: шины следует соединять при помощи нескольких (для большего количества точек контактирования) болтов, соединение делать через

переходную пластину (как правило, это медная фольга, покрытая с обеих сторон легкоплавким металлом, расплавляющимся при  $t = 50-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

2. Подвижные контакты (неразмыкающиеся контактные соединения).

Применяются для передачи тока с подвижного на неподвижный контакт (используется гибкая связь из медной ленты толщиной 0,1 мм при "ходах" меньше 0,25 мм), роликовый съём, шарнирный контакт.

3. Коммутирующие контакты.

При малых токах конструктивно делают одноточечное контактирование, чтобы при малых нажатиях получить высокое удельное давление в контактной точке. На токе в сотни - тысячи Ампер контакты делаются многоточечными:

- а) рычажные (проскальзывающие, перекатывающиеся);
- б) мостиковые;
- в) врубные;
- г) торцевые;
- д) розеточные.

Коммутирующие контакты бывают одноступенчатые и многоступенчатые.

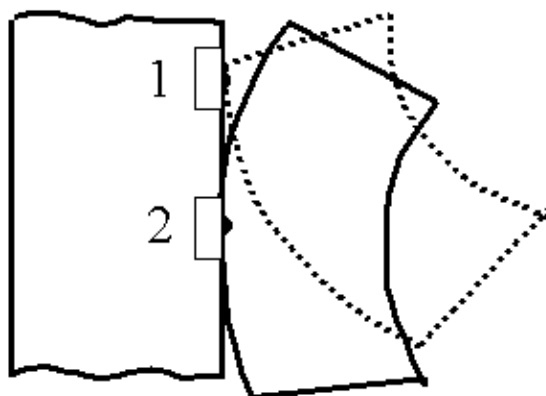
Многоступенчатых существует по крайней мере две пары параллельных контактов:

1. Дугогасительные - играют основную роль при ВО.

2. Основные или рабочие - для проведения тока в нормальном режиме.

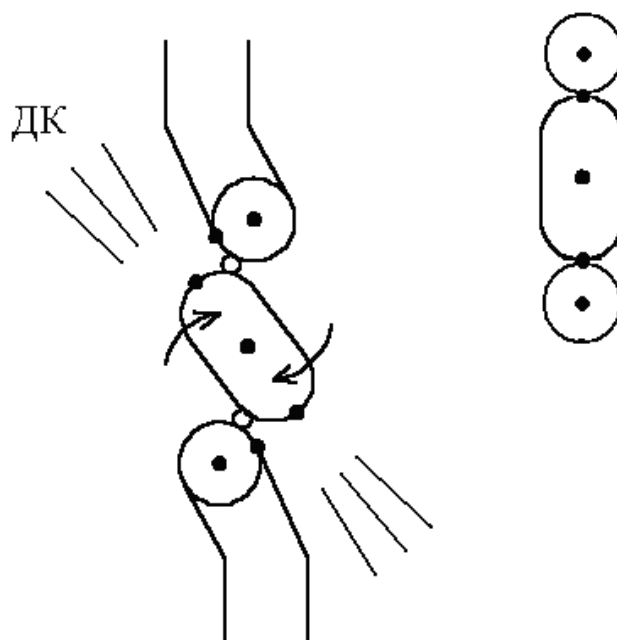
Последовательность их работы при замыкании: сначала замыкаются дугогасительные, а затем рабочие. При размыкании наоборот: первыми размыкаются рабочие контакты, а затем дугогасительные.

В современных электрических аппаратах конструктивно создают точки пространственного разделения рабочего контактирования и контактирования в процессе замыкания и размыкания за счет эффекта перекатывания и проскальзывания. Рабочие точки 2 выполняют из серебра, а дугогасительные 1 – из металлокерамики.



**Рис. 4.29. Перекатывающийся (проскальзывающий) контакт с одним разрывом «на фазу»:**

1 – точка первого касания при замыкании и последнего при размыкании; 2 – рабочая точка

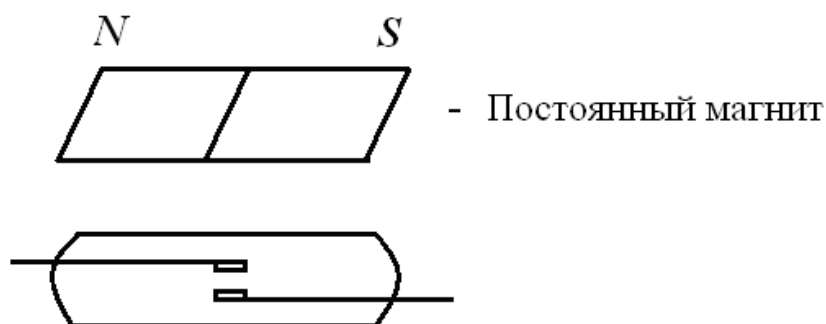


**Рис. 4.30. Перекатывающийся (проскальзывающий) контакт с двумя разрывами «на фазу»:**  
ДК – дугогасительная камера

#### ***Герметичный контакт (геркон)***

Контакты обычно работают на атмосферном воздухе, загрязняются пылью, покрываются окислами, возникающими при химических реакциях (под воздействием электрической дуги), подвергаются действию водяных паров и химически агрессивных газов. Все это понижает надежность контактов, особенно при малых значениях тока и напряжения, когда может прекратиться проводимость.

Для предотвращения этих явления контакты помещают в баллоны с инертным газом (азот, аргон, водород) или вакуумом (0,13 – 0,0013 Па).



**Рис. 4.31. Герметичный контакт**

Контакт управляется – постоянным магнитом. Такой контакт по характеристикам приближается к бесконтактным устройствам, обладая достоинствами физического контакта:

- а) быстродействие замыкания-размыкания –  $f = 100$  Гц;
- б) ресурс срабатывания отключения-включения  $10^7$ – $10^9$  циклов ВО.

Пример: контакт в охранной сигнализации.

Недостаток: малая коммутационная мощность  $\cong 60$  Вт.

Также существуют герсиконы (герметичные силовые контакты). Ток – 180 А. Частота включений  $f_{BO} = 1200$  ВО/час.

#### **4.4. Основы теории горения и гашения электрической дуги**

Размыкание электрической цепи, как правило, всегда сопровождается электрическим разрядом между контактами, то есть воздушный промежуток ионизируется и становится проводящим.

Физический процесс отключения состоит в деионизации воздушного промежутка, то есть превращении его обратно в диэлектрик, 1 см воздушного промежутка выдерживает напряжение 30 кВ.

*Ионизация* - это процесс отделения от нейтральной частицы одного или нескольких электронов и образование свободных электронов и положительно заряженных частиц - ионов.

#### **Причины образования электрического разряда**

1. При расхождении контактов возрастает контактное сопротивление, выделяется большая энергия в месте последнего контактирования, появляется мостик жидкого металла. Он рвётся, промежуток ионизируется вследствие термической ионизации и термоэлектронной эмиссии и становится проводящим.

*Термическая ионизация* - процесс ионизации под действием высоких температур.

*Термоэлектронная эмиссия* - явление испускания электронов с накаливаемой поверхности.

2. При расхождении контактов возрастает напряженность электрического поля. Возникает автоэлектронная эмиссия - процесс испускания электронов под воздействием сильного электрического поля.

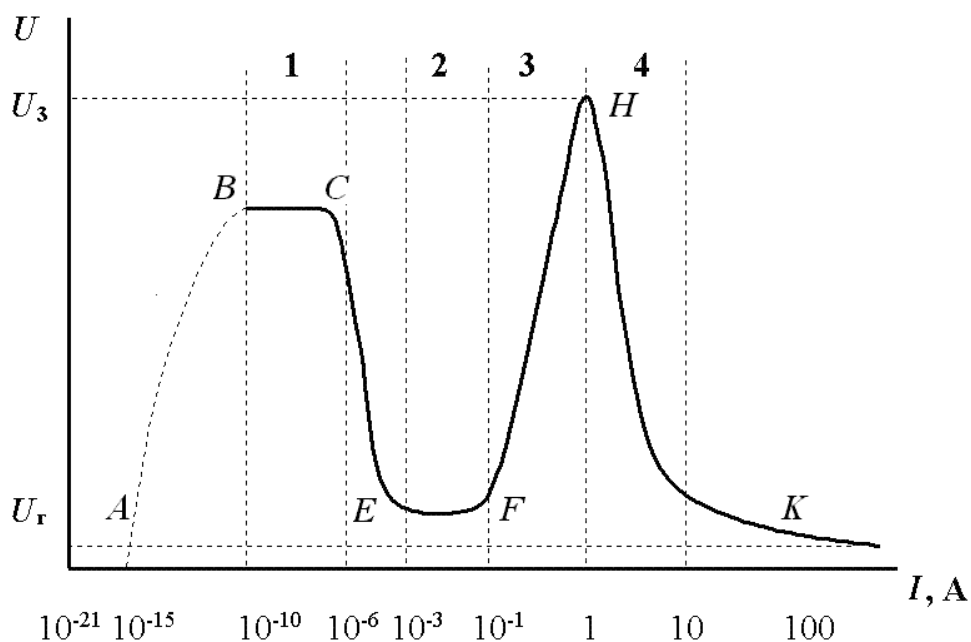
3. Под воздействием ионизации толчком - приобретение электроном скорости в конце свободного пробега, достаточной для выбивания электрона из нейтральной частицы газа. Разность потенциалов, необходимая для обеспечения данной скорости, называется потенциалом ионизации. Для газов потенциал ионизации равен 13-16 В, для меди – 7,7 В.

Одновременно проходят процессы рекомбинации и диффузии.

*Рекомбинация* - процесс образования нейтральных частиц из положительных и отрицательных.

*Диффузия* - процесс выноса заряженных частиц из межэлектродного промежутка в окружающее пространство.

Интенсивность гашения дуги будет определяться **интенсивностью процессов рекомбинации и диффузии.**

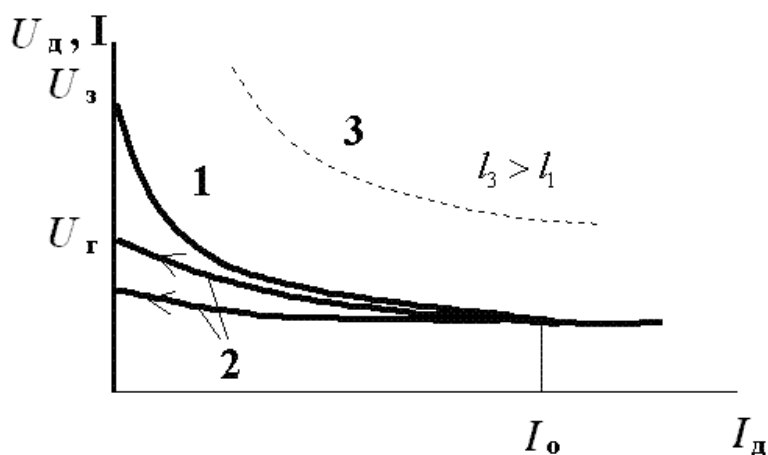


**Рис. 4.32. Вольтамперная характеристика газового разряда с металлическими электродами:**

1 — темный (таунсендовский); 2 — нормальный тлеющий; 3 — аномальный тлеющий; 4 — переход (тлеющий разряд — дуга); 5 — дуговой

*Статическая вольтамперная характеристика дуги* — зависимость падения напряжения на дуге от тока при постоянной длине дуги и медленном изменении тока.

Характеристики, которые возникают при быстром изменении тока, называются динамическими. Они показывают, что ионизационное состояние дуги не успевает за изменением тока (хотя ток и снизился до нуля, ионизационное состояние промежутка изменилось незначительно). Чем быстрее уменьшается ток, тем ниже характеристика.



**Рис. 4.33. Вольтамперные характеристики дуги:**

$U_3$  — напряжение зажигания дуги;  $U_r$  — напряжение гашения дуги

Для более длинной дуги характеристика пойдёт выше (кривая 3), то есть для поддержания горения более длинной дуги требуется большее напряжение.

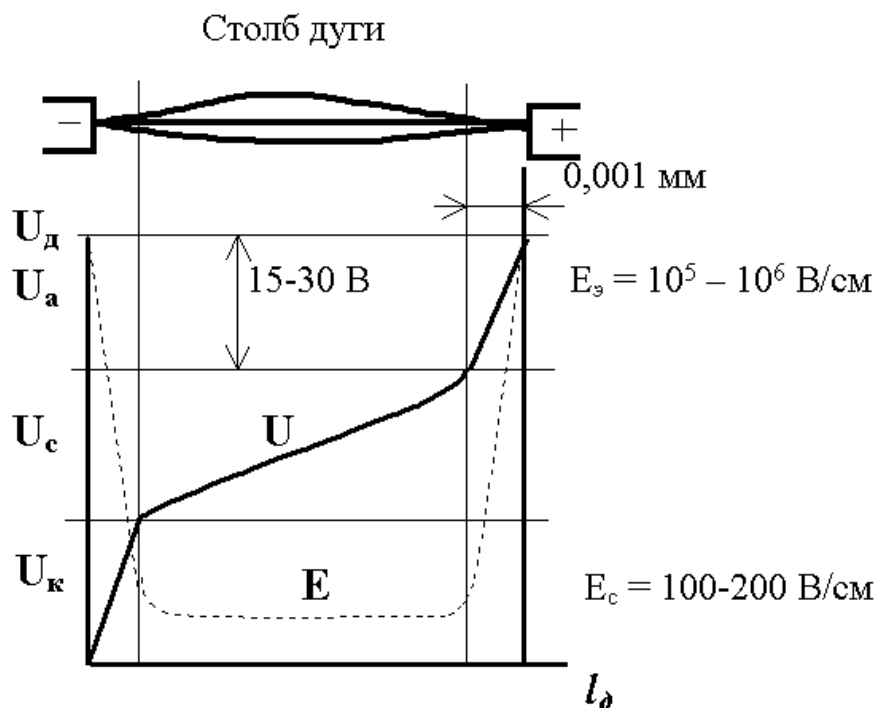


Рис. 4.34. Напряжение на дуге

Напряжение на дуге  $U_d$  складывается из околоэлектродного падения напряжения и падения напряжения на столбе дуги:

$$U_d = U_{\text{э}} + E_d \cdot l_d, \quad (4.46)$$

$$U_{\text{э}} = U_k + U_A, \quad (4.47)$$

где  $U_k$  – напряжение на катоде;

$U_A$  – напряжение на аноде;

$E_d$  – продольный градиент напряжения на стволе дуги;

$l_d$  – длина дуги.

Околоэлектродное падение напряжения не зависит от длины дуги.

#### ***Условия гашения дуги постоянного тока***

Для погашения дуги необходимо, чтобы процессы деионизации превосходили процессы ионизации.

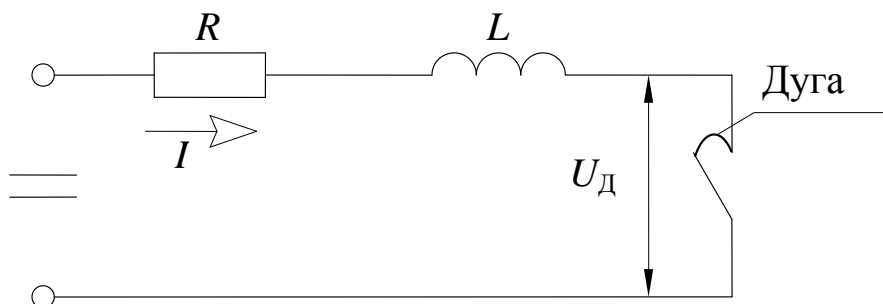


Рис. 4.35. Электрическая схема, моделирующая гашение дуги постоянного тока

Записываем 2-й закон Кирхгоффа:

$$U = U_{\text{д}} + i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt}. \quad (4.48)$$

Если дуга горит устойчиво, то изменения тока происходить не будет:

$$L \cdot \frac{di}{dt} = 0; \quad U = U_{\text{д}} + i \cdot R. \quad (4.49)$$

Для погашения дуги необходимо, чтобы ток всё время уменьшался:  $L \cdot \frac{di}{dt} < 0$

Должно выполняться:  $U_{\text{д}} = U - i \cdot R$ .

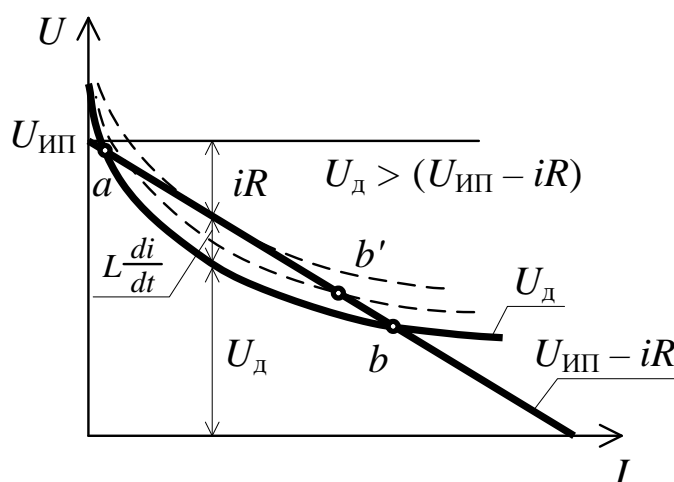


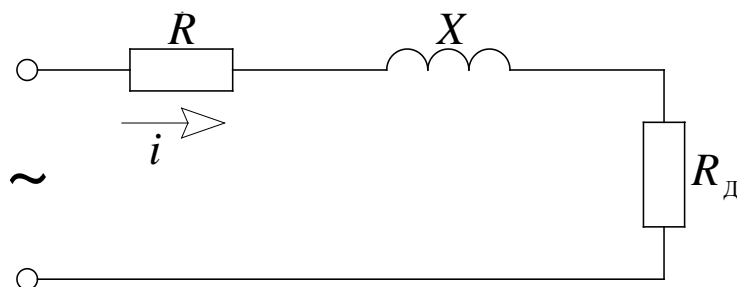
Рис. 4.36. ВАХ элементов схемы, моделирующей гашение дуги постоянного тока

В точках  $a$  и  $b$ ,  $L \cdot \frac{di}{dt} = 0$ , следовательно, дуга горит устойчиво.

Для погашения дуги необходимо, чтобы ВАХ дуги лежала выше резистивной характеристики источника питания на всём своём протяжении.

При расхождении контактов точка  $b$  перемещается вверх по резистивной характеристике ( $b'$ ). В этом случае всегда будет обеспечиваться условие гашения дуги, так как в какой-то момент времени напряжение на дуге будет больше напряжения на резистивной характеристике источника тока.

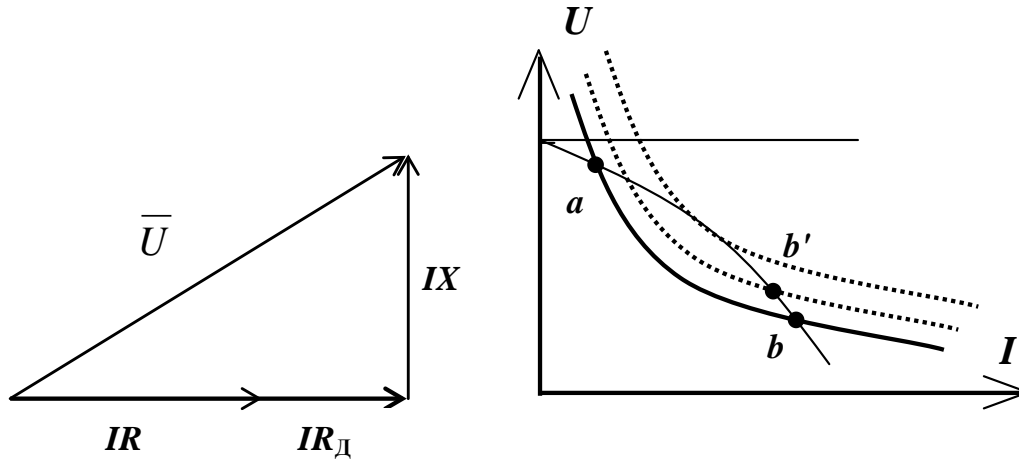
#### Условия гашения дуги переменного тока



**Рис. 4.37. Гашение дуги переменного тока**

Запишем 2-й закон Кирхгофа в комплексной форме:

$$\underline{U} = I \cdot R + j \cdot I \cdot X + I \cdot R_d. \quad (4.50)$$



**Рис. 4.38. Векторная диаграмма гашения дуги переменного тока**

Напряжение на дуге:

$$U_d = \sqrt{U^2 - I^2 X^2} - IR. \quad (4.51)$$

*Внешняя характеристика* - это зависимость напряжения на выходе источника питания от тока нагрузки.

#### ***Перенапряжение при гашении дуги постоянного тока***

Напряжение на контактах в момент нуля тока называется напряжением гашения дуги:

$$U = U_d + i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt}. \quad (4.52)$$

При  $i = 0$ ,  $U = L \frac{di}{dt} + U_{гд}$ , где  $U_{гд}$  - напряжение гашения дуги:

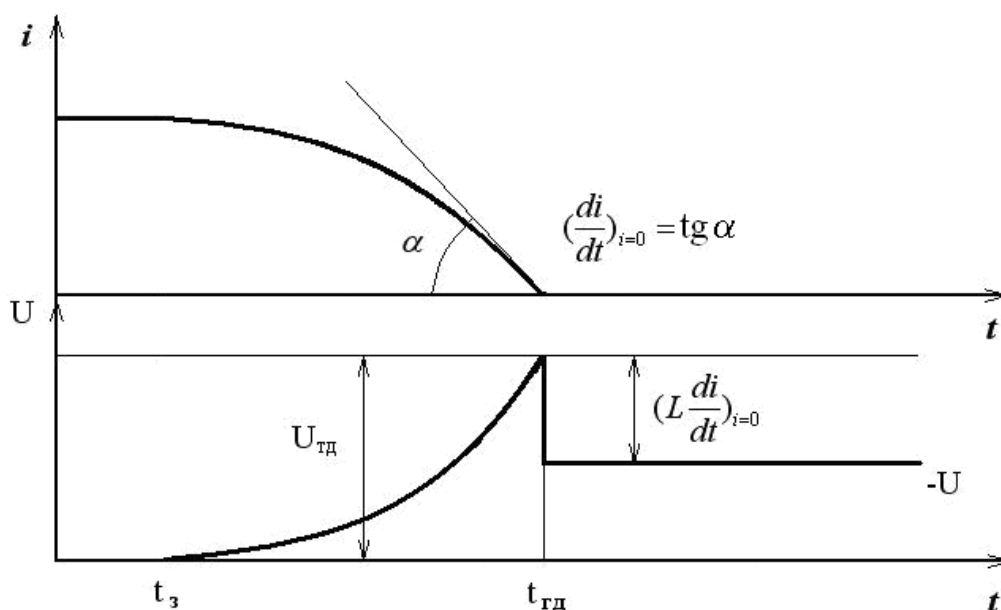
$$U_{гд} = U - L \cdot \frac{di}{dt}. \quad (4.53)$$

Так как при гашении идёт уменьшение тока, то  $\frac{di}{dt} < 0$  и  $U_{гд} = U + \left| L \cdot \frac{di}{dt} \right|$ .

Напряжение на контактах в момент гашения дуги увеличилось. Данное повышение напряжения на контактах относительно источника называется



перенапряжением. Оно тем больше, чем больше индуктивность электрической цепи и чем больше скорость изменения тока.



**Рис. 4.39. Перенапряжение при гашении дуги:**

$t_з$  – момент времени начала размыкания контактов;  $t_{гд}$  – момент времени окончательного гашения дуги

Для количественной характеристики перенапряжения вводят понятие коэффициента перенапряжения:

$$K = \frac{U_{гд}}{U} = 1 + \frac{L \cdot \left(\frac{di}{dt}\right)_{i=0}}{U}. \quad (4.54)$$

Напряжение на контактах может в **десятки раз** превышать напряжение сети. Это опасно для изоляции. При отключении активной нагрузки гашение происходит быстро, перенапряжение не возникает.

### ***Гашение дуги на переменном токе***

а) отключение активной нагрузки

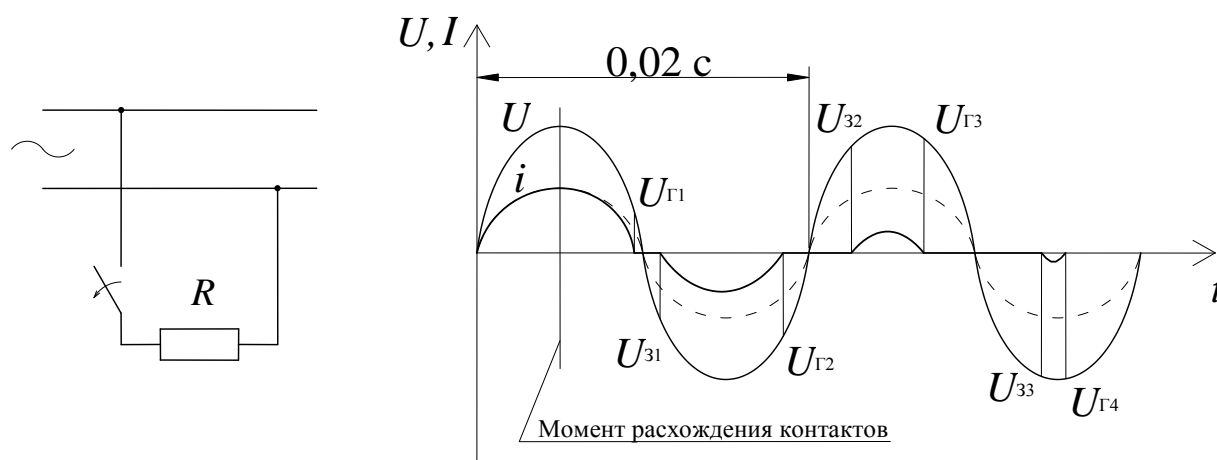
При растягивании дуги в момент отключения ВАХ дуги поднимается вверх, увеличивается диэлектрическая прочность промежутка и увеличивается напряжение зажигания и гашения дуги. Возникает ситуация, что напряжение источника питания будет недостаточно для электрического пробоя промежутка.

При совпадении момента прохождения тока через ноль и момента начала расхождения контактов дуга вообще может не возникнуть (это явление – безыскровая коммутация).

Выводы :

1. Ток дуги при гашении становится прерывистым (протекает неполный полупериод).

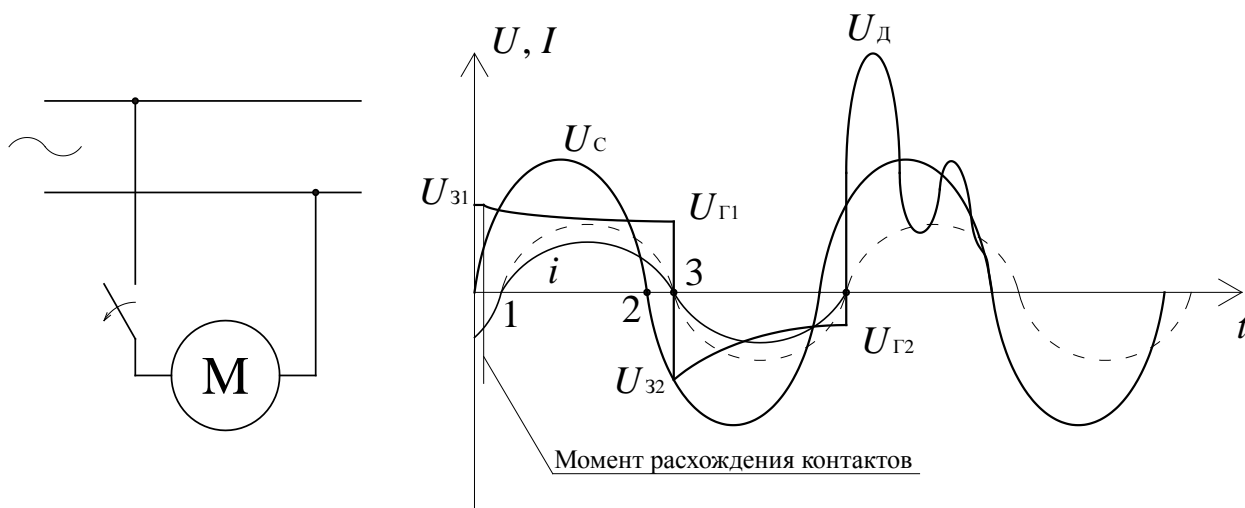
2. Дуга с частотой сети гаснет и зажигается. В момент погасания дуги активно идут процессы рекомбинации.
3. Процесс дугогашения легче, чем на постоянном токе.



**Рис. 4.40. Схема отключения активной нагрузки и функции тока и напряжения при разрыве цепи:**

$U_{Зi}$  – напряжение в моменты повторного зажигания дуги.  $U_{Зi+1} > U_{Зi}$ ;  $U_{Гi}$  – напряжение в моменты гашения дуги.  $U_{Гi+1} > U_{Гi}$

б) индуктивная нагрузка  $\cos \varphi < 1$



**Рис. 4.41. Схема отключения индуктивной нагрузки и функции тока и напряжения при разрыве цепи**

В момент расхождения контактов напряжение сети будет больше напряжения зажигания дуги, и ток не прервётся - точка 1. Когда напряжение сети будет уменьшаться и проходить через ноль - точка 2, - ток дуги будет существовать за счёт энергии, накопленной в индуктивности. Когда ток снизится до нуля - точка 3, - напряжение на контактах будет достаточным для повторного зажигания дуги. Ток непрерывен. Дуга зажигается вновь, лишь

изменив свой знак. Если в следующий полупериод напряжение сети будет недостаточно для повторного зажигания дуги, то ток оборвётся, но при этом на контактах возникает перенапряжение и колебательный процесс, так как индуктивность стремится разрядиться через колебательный контур, образованный ёмкостью контактов. Перенапряжение может достигать двойного напряжения сети. Отключение индуктивной нагрузки сложнее, чем активной.

в) гашение дуги переменного тока повышенной частоты (400, 500Гц; 2,5-10кГц).

Продолжительность времени бестоковых пауз на повышенной частоте значительно меньше, чем при частоте 50Гц и температура дуги (в силу ее инерционности) не успевает снизиться, т.е. процессы деионизации идут хуже. Условия гашения дуги повышенной частоты приближаются к условиям гашения дуги постоянного тока.

### ***Способы гашения дуги***

Для гашения дуги необходимо создать условия, при которых падение напряжения на дуге превосходило бы напряжение, даваемое источником питания.

Практически при гашении дуги используют три явления:

1. Увеличение длины дуги путём её растяжения.
2. Воздействие на ствол дуги путём охлаждения, добиваясь увеличения продольного градиента напряжения.
3. Используя экоэлектродное падение напряжения:

$$U_{\text{д}} > U_{\text{ип}}; \quad U_{\text{д}} = U_{\text{э}} + E_{\text{д}} \cdot l_{\text{д}}. \quad (4.55)$$

Рассмотрим возможные способы гашения. Обычно используются все три способа:

1. Растягивание дуги - самый простой и самый неэффективный способ.

Увеличивается падение напряжения на стволе дуги вследствие увеличения активного сопротивления дуги. Площадь поверхности увеличивается, интенсивнее идут процессы рекомбинации, улучшаются условия охлаждения дуги. Однако для того, чтобы погасить дугу, например, с  $I = 100\text{А}$ ,  $U = 220\text{В}$ , требуется растянуть дугу на расстояние 25-30 см, что практически в электрических аппаратах сделать невозможно, так как значительно возрастают габариты электрического аппарата. Поэтому данный способ используется в качестве основного только у слаботочных электрических аппаратов (реле, магнитных пускателей).

2. Охлаждение дуги.

Основным источником зарядов дуги является термическая ионизация, и если принудительно дугу охлаждать сжатым воздухом, маслом, то она эффективно гасится. Это самый эффективный, но дорогой способ. Применяется в электрических аппаратах выше 1000 В.

### 3. Магнитное дутьё.

Включает в себя 1-й и 2-й способы.

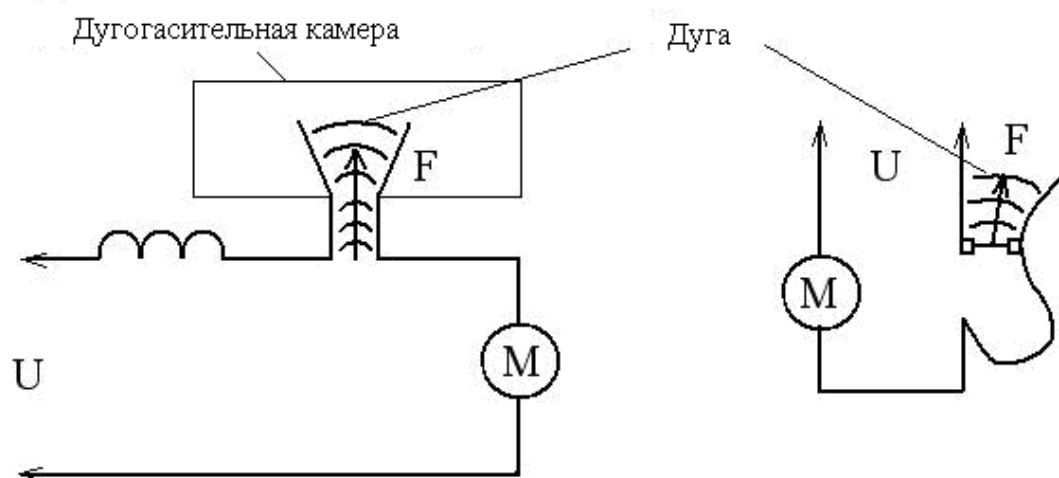


Рис. 4.42. Гашение дуги с помощью магнитного дутья

При расхождении контактов возникает электрическая дуга. Взаимодействие магнитного поля с током приводит к образованию силы. Под действием силы дуга быстро перемещается, встречает аэродинамическое сопротивление, интенсивно охлаждается, а на рогах происходит её дополнительное растяжение. Чем больше скорость движения дуги, тем интенсивнее идёт охлаждение, и ВАХ дуги резко поднимается вверх.

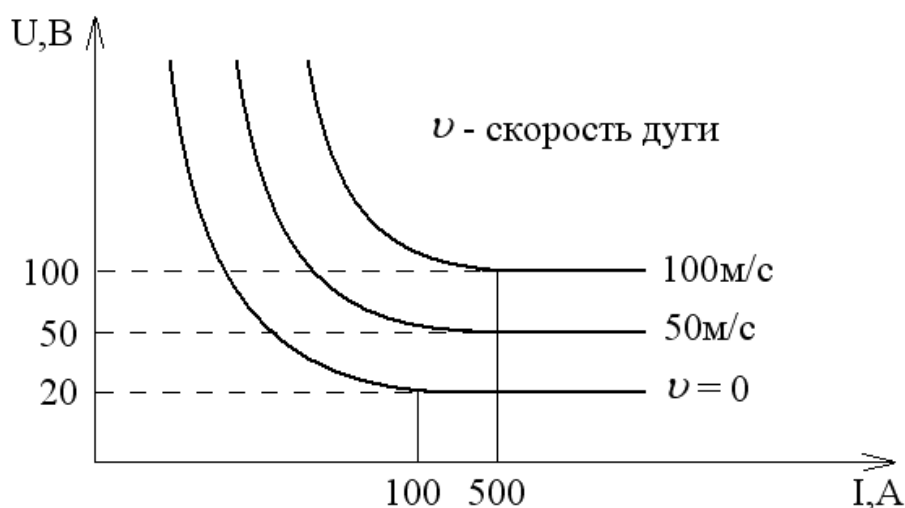


Рис. 4.43. Влияние скорости перемещения дуги на ее ВАХ

### 4. Гашение в продольных щелях.

Так как дугу следует погасить в малом объёме, при малых звуковых и световых эффектах, то магнитное дутьё всегда является составной частью дугогасительного устройства (камеры).

Конструктивно камера представляет собой извилистую щель

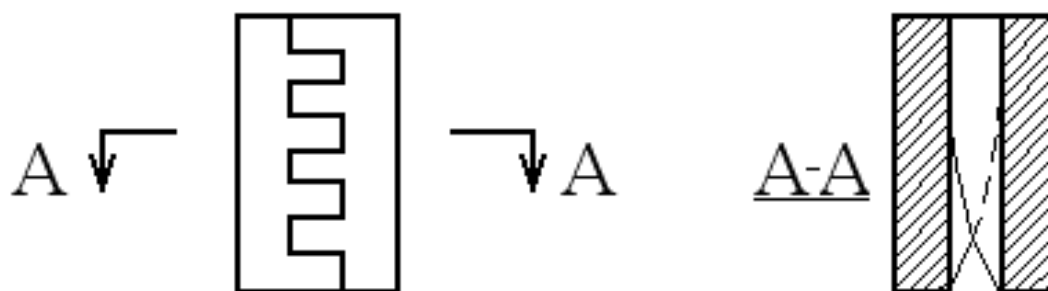


Рис. 4.44. Дугогасительная камера

Дуга охлаждается и за счёт движения вверх, и за счёт теплообмена со стенками камеры. Дуга удлиняется за счёт конфигурации щели в 2-3 раза.

Это основной способ гашения дуги на постоянном токе.

Материал щели - это дугостойкий материал, теплоёмкий, на основе асбоцемента, керамики и пластмассы.

Даже после погасания дуги остаётся пламя дуги, которое может быть выброшено за пределы камеры. Это опасно для обслуживающего персонала. Поэтому над дугогасительной камерой устанавливаются решётки из теплопроводящих металлических пластин. Высокая теплопроводность, теплоёмкость и развитая поверхность их соприкосновения с пламенем, значительный путь, который пламя проходит вдоль пластин, способствует полной деионизации пламени.

#### 5. Гашение дуги в дугогасительной камере.

В первых четырёх способах воздействие происходило на ствол дуги. Этот способ использует околоэлектродное падение напряжения.

Над контактами устанавливаются неподвижные изолированные друг от друга металлические пластины из ферромагнитного материала.

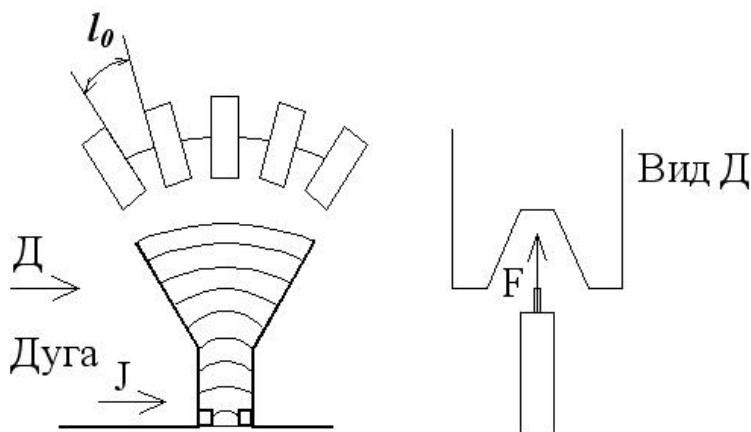


Рис. 4.45. Дуга в дугогасительной решетке

Пластины образуют дугогасительную решётку. Дуга за счёт ЭДУ загоняется в решётку, где разбивается на ряд последовательно включённых коротких дуг. У каждой пластины решётки возникает околоэлектродное падение напряжения. За счёт суммы околоэлектродных падений напряжений

суммарное напряжение на дугах становится больше, чем напряжение, даваемое источником питания, и дуга гаснет.

Дополнительно она гаснет:

а) за счёт воздуха при перемещении вверх;

б) за счёт отвода теплоты в пластины.

Для эффективного захождения дуги в пластины они выполняются из ферромагнитного материала, а в целях уменьшения окисления и увеличения теплопроводности эти пластины покрываются медью:

$$l_{\text{д}} = l_0 \cdot (m + 1), \quad (4.56)$$

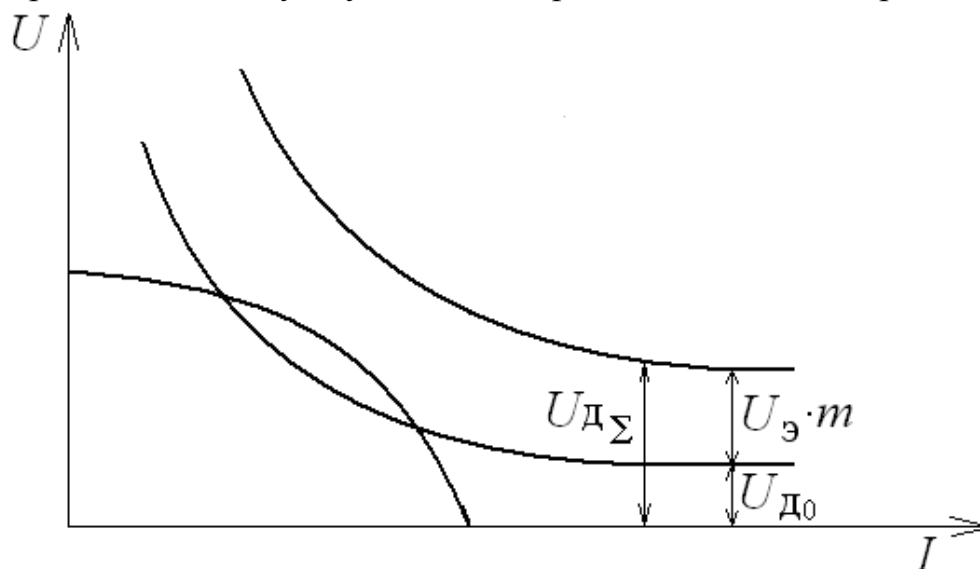
где  $m$  – количество пластин;

$l_0$  – длина единичной дуги.

$$U_{\text{д}\Sigma} = U_{\text{э}} \cdot (m + 1) + E_{\text{д}} \cdot l_{\text{д}} = U_{\text{э}} \cdot m + U_{\text{э}} + E_{\text{д}} \cdot l_{\text{д}} = U_{\text{э}} \cdot m + U_{\text{д}0}, \quad (4.57)$$

где  $U_{\text{д}0}$  – напряжение на стволе дуги.

Статическая ВАХ дуги в решётке будет такая же, как ВАХ открытой дуги, но перенесённая на сумму околоэлектродных падений напряжений вверх.



**Рис. 4.46. Поднятие ВАХ дуги на сумму околоэлектродных падений напряжений**

Дугогасительная решётка – основной способ гашения дуги переменного тока. Дуга гаснет при первом же переходе тока через ноль, в первый же полупериод после попадания в решётку. Для деионизации пламени также используется пламягасительная решётка.

### ***Бездуговая коммутация цепи переменного тока***

В нормальном режиме ток через тиристоры  $VS1$ ,  $VS2$  не протекает, так как они шунтированы контактом  $K$ . В момент размыкания этого контакта появляется падение напряжения, ток переходит в цепь того тиристора, направление проводимости которого соответствует полярности тока. Прямое

падение напряжения на тиристорах составляет 1,5 - 2 В, и дуга на контакте  $K$  не возникает.

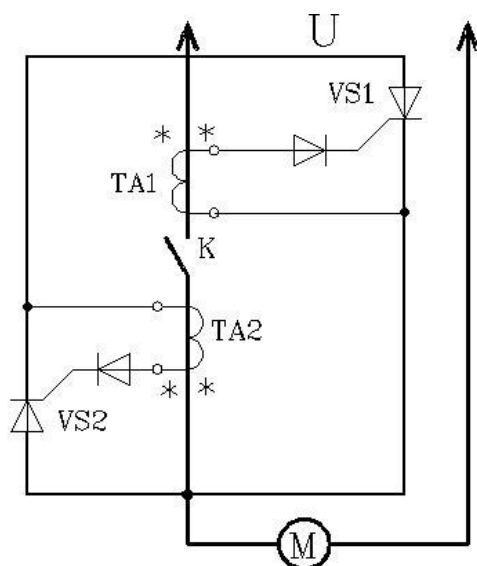


Рис. 4.47. К понятию о бездуговой коммутации

При переходе тока через ноль проводящий тиристор закрывается, а непроводящий не откроется, так как нет управляющего сигнала в цепи управления.

#### 4.5. Электромагнитные механизмы

##### Общие положения. Принцип действия

Большинство электрических аппаратов (например, контакторы, пускатели, реле, автоматы и электромагнитные муфты) имеют в своём составе электромагнитный механизм (ЭММ). Рассмотрим его простейшую конструкцию на основе принципиальной схемы включения двигателя на постоянном или переменном токе.

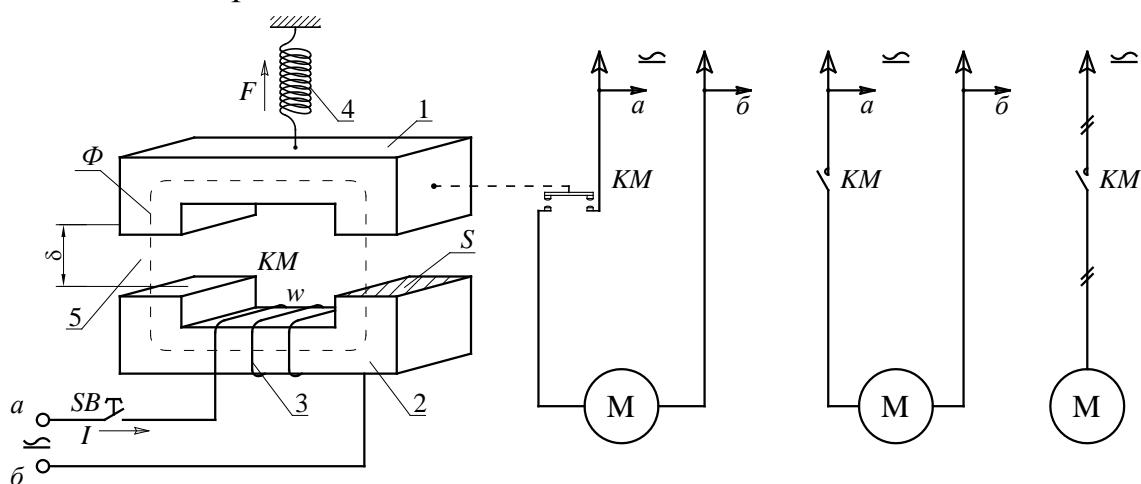


Рис. 4.48. Принцип работы ЭММ на примере электромагнитного контактора:

1 – якорь, подвижная часть ЭММ, с ней механически связано то, что необходимо переместить, повернуть (контакт магнитного пускателя  $KM$ , вал выключателя, защёлку расцепителя); 2 – сердечник, неподвижная часть ЭММ, жёстко связана с корпусом ЭА; 3 – намагничивающая катушка (обмотка)  $KM$ , 4 – возвратная пружина; 5 – воздушный

зазор;  $S$  – площадь полюса сердечника и якоря;  $w$  – количество витков;  $a, b$  – возможные точки подключения катушки

### ***Принцип действия***

При замыкании контакта  $SB$  напряжение подается на катушку  $3$ , по ее виткам  $w$  протекает ток (согласно закону Ома). Ток создаёт магнитный поток и намагничивающую силу  $F = I \cdot w$  (согласно закону полного тока). Под действием намагничивающей силы якорь намагничивается и притягивается к полюсам сердечника. Магнитный поток замыкается как через зазор  $\delta$ , так и между другими частями магнитной цепи. Воздушный зазор  $\delta$ , изменяющийся при перемещении якоря, называется рабочим. Соответственно магнитный поток, проходящий через рабочий зазор, называется рабочим магнитным потоком. Все остальные потоки в магнитной цепи, не проходящие через рабочий зазор, называется потоками рассеяния. Из курса физики известно (закон Максвелла), что сила притягивающая якорь к сердечнику прямо пропорциональна квадрату магнитного потока в рабочем зазоре:

$$P_{\text{ЭМ}} = \frac{B^2 \cdot S}{\mu_0} = \frac{B^2 \cdot S}{\mu_0} \cdot \frac{S}{S} = \frac{\Phi^2}{\mu_0 \cdot S} = K \cdot \Phi^2, \quad (4.58)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$  – магнитная проницаемость вакуума;

$$K = \frac{1}{\mu_0 \cdot S} \text{ – постоянная величина.}$$

### ***Законы, действующие в теории магнитных цепей***

1. Закон полного тока, который показывает связь между током и напряженностью магнитного поля, то есть магнитодвижущая сила равна произведению тока на количество витков:

$$H \cdot l = I \cdot w = F_{\text{М}}, \quad (4.59)$$

где  $l = 2 \cdot \delta$  – для магнитной системы с двумя воздушными зазорами (считается, что вся сила затрачивается на проведение магнитного потока по воздушному зазору);

$F_{\text{М}}$  – магнитодвижущая сила (МДС) или намагничивающая сила.

2. Связь напряженности магнитного поля с вектором магнитной индукции:

$$H = \frac{B}{\mu}, \quad (4.60)$$

3. Связь между магнитным потоком и вектором магнитной индукции:

$$\Phi = B \cdot S, \quad (4.61)$$

где  $S$  – площадь полюсов магнита.



Определим параметры, влияющие на величину электромагнитной силы. Из выражения (4.59) выразим напряженность магнитного поля  $H$ :

$$H = \frac{w \cdot I}{l} = \frac{w \cdot I}{2 \cdot \delta} \quad (4.62)$$

Из уравнений (4.60) и (4.61) также выразим напряженность магнитного поля:

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{B \cdot S}{\mu \cdot S} = \frac{\Phi}{\mu \cdot S} \quad (4.63)$$

Приравниваем правые части уравнений (4.62) и (4.63):

$$\frac{\Phi}{\mu \cdot S} = \frac{w \cdot I}{2 \cdot \delta} \quad (4.64)$$

Выразив из уравнения (4.64) магнитный поток, получим закон Ома для магнитной цепи:

$$\Phi = \frac{w \cdot I}{\frac{2 \cdot \delta}{\mu \cdot S}} = \frac{\mu \cdot S \cdot w \cdot I}{2 \cdot \delta}, \quad (4.65)$$

где  $\mu = \mu_0 \cdot \mu_{\text{отн}}$  – магнитная проницаемость. Для воздуха  $\mu_{\text{отн}} = 1$ ,  $\mu = \mu_0$ :

$$\Phi = \frac{F}{R_M}, \quad (4.66)$$

где  $R_M = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{2 \cdot \delta}{S}$  – магнитное сопротивление рабочего зазора.

Подставив закон Ома для магнитной цепи в уравнение (4.58), получим выражение для электромагнитной силы:

$$P_{\text{эм}} = K \cdot \Phi^2 = \frac{(I \cdot w)^2}{R_M^2} \cdot K = K' \cdot I^2, \quad (4.67)$$

где  $K = \frac{1}{2 \cdot \delta}$  и  $K' = \frac{w^2}{2 \cdot \delta \cdot R_M^2}$  – постоянные величины.

**Вывод:** сила, с которой якорь притягивается к сердечнику, пропорциональна квадрату тока, протекающего по катушке.

### ***Классификация электромагнитных механизмов***

1. По роду тока, протекающего по катушке.

- а) электромагнитные механизмы постоянного тока;
- б) электромагнитные механизмы переменного тока.

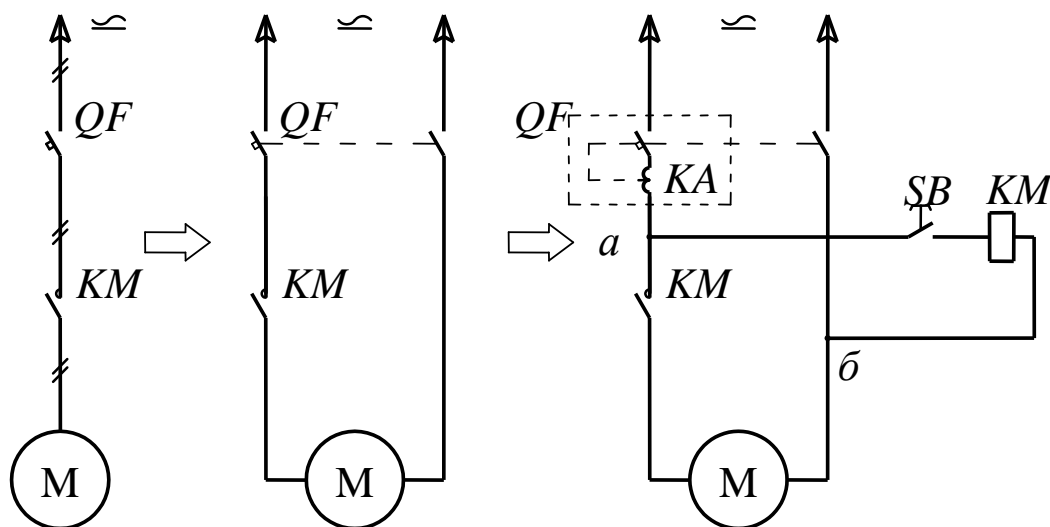
2. По способу включения катушки.

а) с параллельной катушкой. Ток в катушке определяется параметрами самой катушки и напряжением, подводимым к ней. Катушка

выполняется с большим числом витков из тонкого проводника с большим сопротивлением. Ток, протекающий по ней, будет незначителен.

б) с последовательной катушкой. Ток в катушке определяется сопротивлением устройства (элемента электрической сети), которое включено последовательно в цепь электромагнита. Катушка обладает малым сопротивлением и выполняется из небольшого числа витков провода большого сечения, и иногда имеет вид шины, проходящей через “окно” магнитной системы (т.е. представляет один виток).

Рассмотрим способы включения катушек ЭММ на примере схемы включения однофазного электродвигателя:



**Рис. 4.49. Способы включения катушек ЭММ:**

КМ – катушка параллельного включения (катушка контактора); КА – катушка последовательного включения (катушка токового расцепителя автоматического выключателя)

### 3. По характеру движения якоря.

а) поворотные ЭММ - якорь поворачивается вокруг какой-либо оси или опоры;

б) прямоходовые - якорь перемещается поступательно.

### 4. По способу действия.

а) притягивающие – совершают работу, перемещая на некоторое расстояние свой якорь, сообщив тем самым движение тому или иному исполнительному механизму;

б) удерживающие – для удержания тех или иных грузов или деталей (например, электромагнитные столы станков, электромагнитные муфты сцепления вращающихся валов, электромагниты подъемных кранов, электромагнит расцепителя минимального напряжения автоматических выключателей).

### **Электромагниты постоянного тока**

Магнитный поток создаётся обмоткой постоянного тока. Действие силы не зависит от направления тока, т.е. якорь всегда притягивается к сердечнику вне зависимости от направления тока.

#### **Основные характеристики**

1. *Тяговая (статическая) характеристика* - это зависимость электромагнитной силы от величины рабочего зазора. Тяговые характеристики электромагнита снимаются при  $U = \text{const}$  (электромагнит с параллельной катушкой) и при  $I = \text{const}$  (электромагнит с последовательной катушкой) и выражают зависимость:

$$P_{\text{ЭМ}} = f(\delta). \quad (4.68)$$

Применим формулу Максвелла для электромагнита с двумя зазорами:

$$P_{\text{ЭМ}} = \frac{B^2 \cdot S}{\mu_0} \cdot \frac{S}{S} = \frac{\Phi^2}{\mu_0 \cdot S}. \quad (4.69)$$

Выразим поток из закона Ома для магнитной цепи и подставим в формулу Максвелла (4.69):

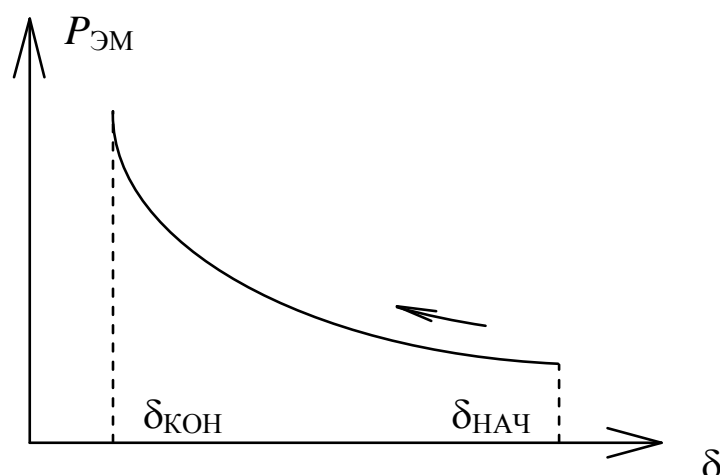
$$\Phi = \frac{F}{R_{\text{М}}} = \frac{I \cdot w}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{2\delta}{S}} \rightarrow P_{\text{ЭМ}} = \left( \frac{I \cdot w}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{2\delta}{S}} \right)^2 \frac{1}{\mu_0 \cdot S} = \frac{\mu_0 \cdot S}{4\delta^2} \cdot (I \cdot w)^2, \quad (4.70)$$

$$P_{\text{ЭМ}} = K \cdot \frac{1}{\delta^2}, \quad (4.71)$$

где  $K = \frac{\mu_0 \cdot S}{4} \cdot (I \cdot w)^2$  – постоянная величина для конкретного ЭММ.

Электромагнитная сила обратно пропорциональна величине рабочего зазора. Якорь по мере притягивания двигается с ускорением, сила все время увеличивается, достигая максимальной величины при конечной величине зазора  $\delta_{\text{к}}$ .

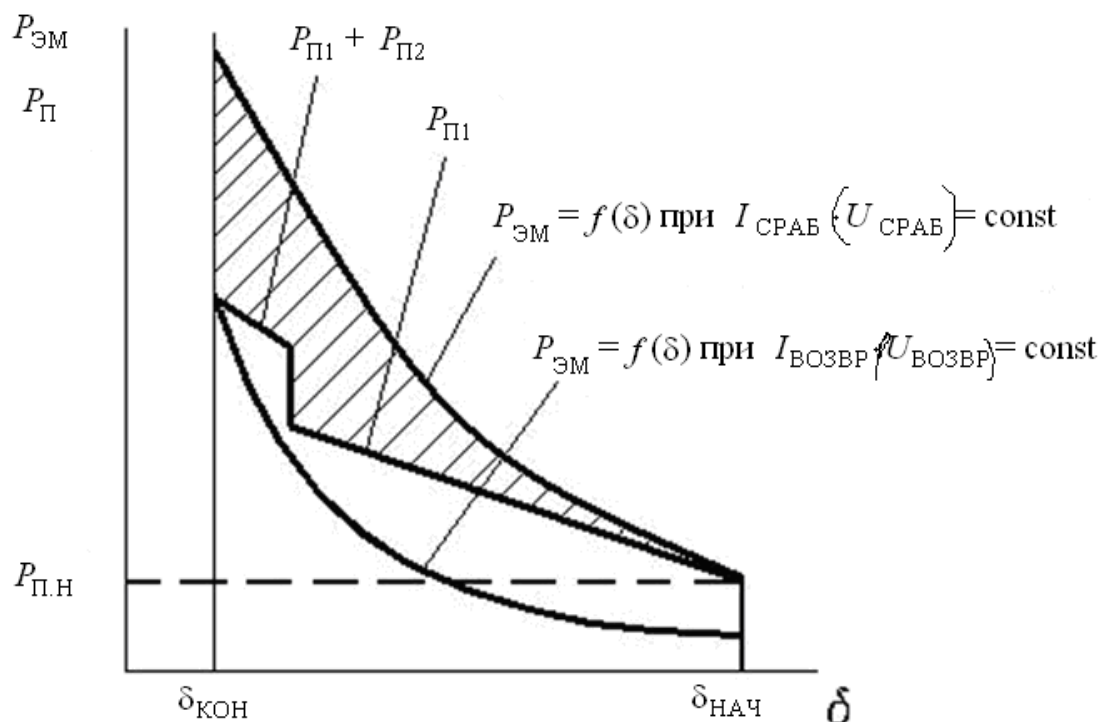
Графическое выражение уравнения (4.71) представлено на рис. 4.50.



**Рис. 4.50.** Зависимость электромагнитной силы от величины зазора:  
 $\delta_{\text{НАЧ}}$ ,  $\delta_{\text{КОН}}$  – соответственно начальная и конечная величина рабочего зазора

## 2. *Согласование тяговой характеристики с нагрузкой электромагнита.*

Согласование производится сравнением тяговой и противодействующей характеристики путём построения их в одних осях. Такое согласование даёт возможность сделать заключение о работоспособности электромагнита. Для нормального срабатывания ЭММ необходимо, чтобы тяговая характеристика, построенная при  $I_{\text{СРАБ}} = \text{const}$ , во всём диапазоне изменения хода якоря проходила выше характеристики противодействующей пружины. Для чёткого возврата (отпускания) якоря необходимо, чтобы тяговая характеристика, построенная при  $I_{\text{ВОЗВР}} = \text{const}$  проходила ниже противодействующих характеристик. Если будет хотя бы одна общая точка, возникает эффект зависания якоря.



**Рис. 4.51. Сравнение тяговой и противодействующей характеристик ЭММ:**

$\delta_{\text{кон}}$  – конечный рабочий зазор;  $\delta_{\text{нач}}$  – начальный рабочий зазор;  $P_{\text{П}}$  – сила противодействующей пружины;  $P_{\text{П.н}}$  – начальная сила противодействующей пружины;  $P_{\text{П1}}$  – противодействующая сила пружины, возврата якоря;  $P_{\text{П2}}$  – сила контактной пружины (обеспечивает “провал” контактов), возникает в момент замыкания магнитной системы;  $P_{\text{ЭМ}}$  – электромагнитная сила при токе (напряжении) срабатывания

3. *Время срабатывания* - это время с момента подачи сигнала тока (напряжения) на обмотку электромагнита до перехода якоря в его конечное положение.

#### *Параметры электромагнита*

1) мощность, потребляемая электромагнитом в установившемся режиме (якорь замкнут). При этом считается, что весь ток, проходящий по катушке, идет на ее нагрев и в паспорте приводится активная мощность.

Активная мощность для последовательной катушки:

$$P = I^2 \cdot R_0. \quad (4.72)$$

Активная мощность для параллельной катушки:

$$P = \frac{U^2}{R_0}, \quad (4.73)$$

где  $R_0$  – сопротивление обмотки.

2) *коэффициент запаса* - это отношение МДС в установившемся режиме к МДС трогания:

$$K_3 = \frac{F_y}{F_{\text{ТРОГ}}} = \frac{I_y}{I_{\text{СРАБ}}} > 1; K_3 = \frac{U_H}{U_{\text{СРАБ}}} > 1, \quad (4.74)$$

3) напряжение (ток) срабатывания, возврата.

*Напряжение (ток) срабатывания* – это минимальное значение, при котором происходит срабатывание электромагнита.

*Напряжение (ток) возврата* – это максимальное значение, при котором якорь возвращается в исходное положение.

4) *коэффициент возврата* – это отношение МДС, при которой происходит возврат якоря к МДС, при которой происходит срабатывание:

$$K_B = \frac{F_{\text{ВОЗВ}}}{F_{\text{СРАБ}}} = \frac{I_{\text{ВОЗВ}}}{I_{\text{СРАБ}}} < 1, \quad (4.75)$$

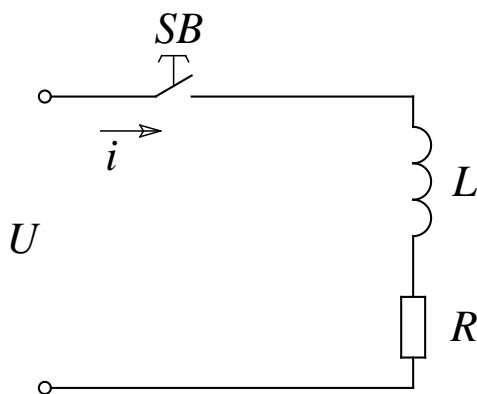
$$K_B = \frac{U_{\text{ВОЗВ}}}{U_{\text{СРАБ}}} < 1. \quad (4.76)$$

Для различных электромагнитных устройств коэффициент возврата находится в пределах  $K_B = 0,1 \div 0,9$ . Максимальное значение поддерживают в устройствах релейной защиты (у максимальных токовых реле).

#### *Динамика срабатывания электромагнита*

До сих пор были рассмотрены только статические характеристики, при которых принята неизменность тока в обмотке независимо от того, неподвижен якорь либо движется. В таком режиме работают тормозные и удерживающие электромагниты. У большинства электромагнитов процесс срабатывания имеет динамический характер.

При движении якоря изменяется индуктивность системы, и динамические характеристики электромагнитной силы будут несколько отличаться от статических характеристик, которые характеризуют тяговое усилие при фиксированном положении якоря. Изменение тока и потока в зависимости от зазора при неподвижном и подвижном якоре отличаются друг от друга.



**Рис. 4.52. Срабатывание электромагнита**

Запишем второй закон Кирхгофа для данной цепи:

$$U = i \cdot R + \frac{d\Psi}{dt}, \quad (4.77)$$

где  $\Psi$  – потокосцепление,  $\Psi = i \cdot L_{\text{д}}$ .

Так как в начальном положении якоря рабочий зазор максимален, то магнитную цепь можно считать ненасыщенной, а индуктивность обмотки – постоянной. Поскольку  $\Psi = i \cdot L_{\text{д}}$  и  $L_{\text{д}} = \text{const}$ , то  $\frac{dL_{\text{д}}}{dt} = 0$ , следовательно, выражение (4.77) можно преобразовать:

$$U = i \cdot R + L_{\text{д}} \cdot \frac{di}{dt}, \quad (4.78)$$

где  $L_{\text{д}}$  – динамическая индуктивность.

Решение этого уравнения имеет вид:

$$i = I_{\text{у}} \cdot \left(1 - e^{-t/T}\right), \quad (4.79)$$

где  $I_{\text{у}} = \frac{U}{R}$  – установившееся значение тока;

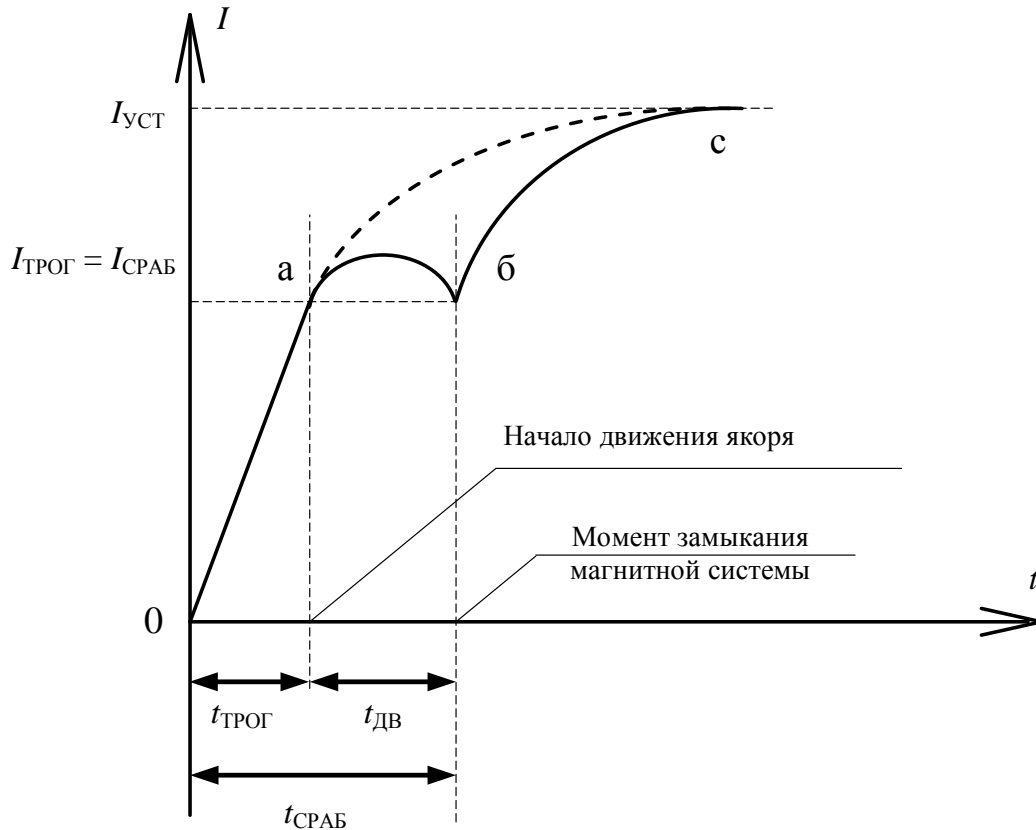
$T = \frac{L_{\text{д}}}{R}$  – постоянная времени цепи.

Графическое решение этого уравнения изображено на рис.4.53 в виде пунктирной линии.

Ток обмотки, при котором начинается движение якоря, называется током трогания  $I_{\text{ТРОГ}}$ , а время нарастания тока от нуля до  $I_{\text{ТРОГ}}$  – временем трогания  $t_{\text{ТРОГ}}$ . Как только начинается движение якоря (точка *a* на рис.4.53), зазор уменьшается, индуктивность обмотки увеличивается. Так как при движении индуктивность изменяется и член  $i \frac{dL_{\text{д}}}{dt}$  имеет конечное значение, то (4.77) примет вид:

$$U = i \cdot R + L_{\text{д}} \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL_{\text{д}}}{dt}, \quad (4.80)$$

Проанализируем изменение тока в катушке электромагнита при его срабатывании (рис.4.53).



**Рис. 4.53. Изменение тока в катушке электромагнита при его срабатывании**

На участке кривой  $o-a$  якорь неподвижен, магнитная система разомкнута, индуктивность системы постоянна. В момент времени  $t = t_{\text{трог}}$  якорь трогается и движется до момента замыкания с сердечником (участок кривой  $a-b$ ). При движении якоря на участке  $a-b$  происходит уменьшение воздушного зазора и рост значения динамической индуктивности, что вызывает появление в цепи катушки противо-ЭДС  $i \frac{dL_{\text{д}}}{dt}$  и тем самым снижает ток в катушке. При изменении тока возникают вихревые токи и явление гистерезиса, которые также оказывают влияние на работу механизма. При неподвижном якоре нарастание тока происходило бы по пунктирному участку кривой ( $a-c$ ). Точка  $b$  — соответствует моменту замыкания полюсов якоря с полюсами сердечника и остановке якоря. Индуктивность системы за счет уменьшения зазора резко возросла, но в дальнейшем изменяется мало с ростом тока. Ток в катушке нарастает до установившегося значения на участке ( $b-c$ ).



*Время срабатывания электромагнита* – это время с момента подачи напряжения на обмотку до момента остановки якоря: время срабатывания = время трогания + время движения якоря:

$$t_{\text{СРАБ}} = t_{\text{ТРОГ}} + t_{\text{ДВ}}, \quad (4.81)$$

где  $t_{\text{ТРОГ}}$  – время трогания, представляющее время с начала подачи напряжения до начала движения якоря;

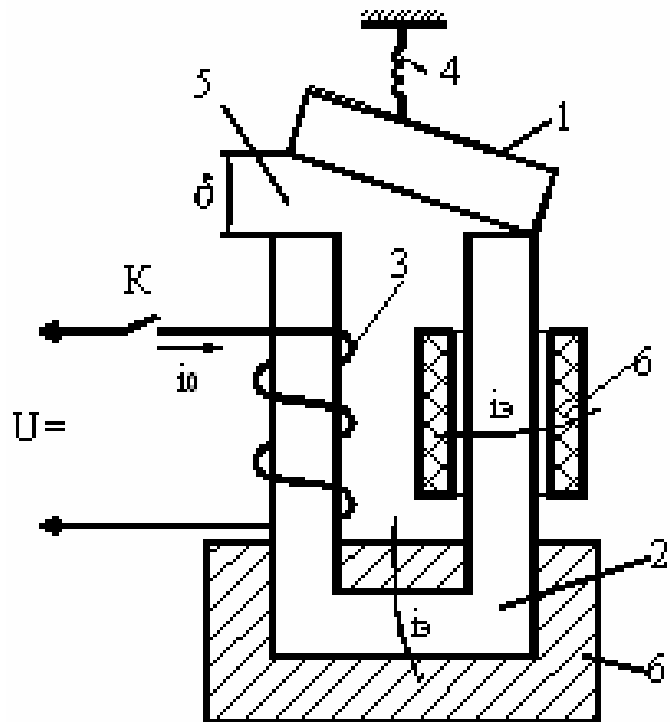
$t_{\text{ДВ}}$  – время движения якоря.

Для ускорения срабатывания электромагнита стараются уменьшить время движения якоря. Это достигается за счёт уменьшения вихревых токов, которые индуцируются в магнитной системе в переходном режиме. Вихревые токи всегда создают магнитный поток, который, согласно правилу Ленца, направлен встречно основному магнитному потоку.

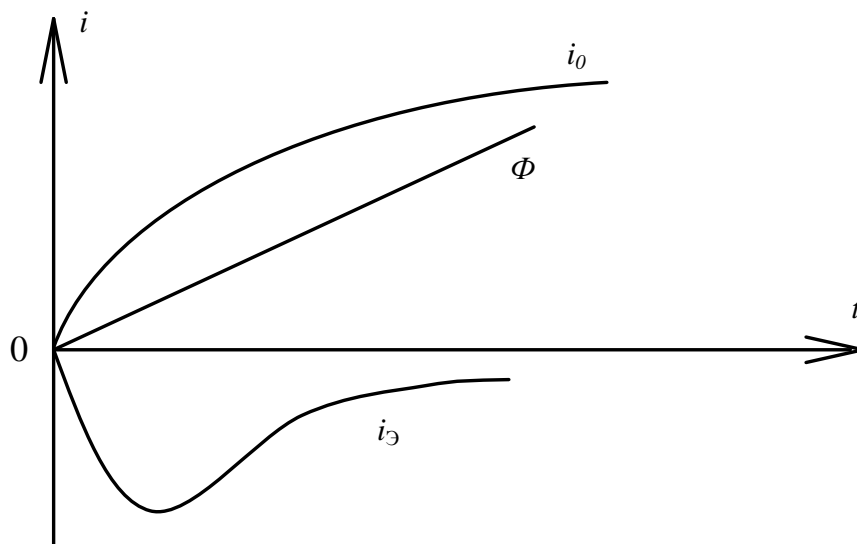
В некоторых случаях необходимо сделать замедление срабатывания (реле времени). Тогда используются все факторы, которые увеличивают время трогания и время движения якоря. Наибольшее распространение получило использование короткозамкнутых обмоток, надеваемых на полюса сердечника, из материалов с малым удельным электрическим сопротивлением. Такая обмотка может иметь всего один виток в виде медной или алюминиевой гильзы. Электромагнит с короткозамкнутой обмоткой показан на рис. 4.54.

При включении катушки (питающей обмотки) и нарастании создаваемого ею магнитного потока, в короткозамкнутой обмотке наводится ЭДС. ЭДС вызывает ток такого направления, при котором магнитный поток короткозамкнутой обмотки направлен встречно потоку питающей обмотки. Результирующий поток равен разности этих потоков. Скорость нарастания потока в электромагните уменьшается, время трогания увеличивается и тем самым создается замедление при срабатывании якоря.

При отключении катушки электромагнита происходит спадание магнитного потока системы. Характер уменьшения потока определяется процессом затухания тока катушки (согласно закону полного тока), но так как в системе присутствуют короткозамкнутые обмотки, то в них наводится ЭДС (согласно закону электромагнитной индукции) и возникает ток (согласно закону Ома). Направление тока подчинено правилу Ленца, а именно: поток, создаваемый током, протекающим в короткозамкнутых витках, препятствует уменьшению потока в системе. Замедление спадания потока создает выдержку времени при отпуске и тем самым создается замедление при отпуске якоря.



**Рис. 4.54.** Принцип замедления срабатывания и возврата электромагнитного реле  
 1 – якорь; 2 – сердечник; 3 – катушка; 4 – возвратная пружина; 5 – воздушный зазор;  
 6 – короткозамкнутая гильза; 6' – корпус из силумина, в котором находится сердечник,  
 поэтому данная конструкция представляет собой короткозамкнутый виток, «намотанный»  
 вокруг магнитопровода



**Рис. 4.55.** Характеристики при срабатывании реле  
 $i_0$  – ток, протекающий по основной обмотке;  $i_{\Delta}$  – вихревой ток, протекающий  
 по короткозамкнутым виткам

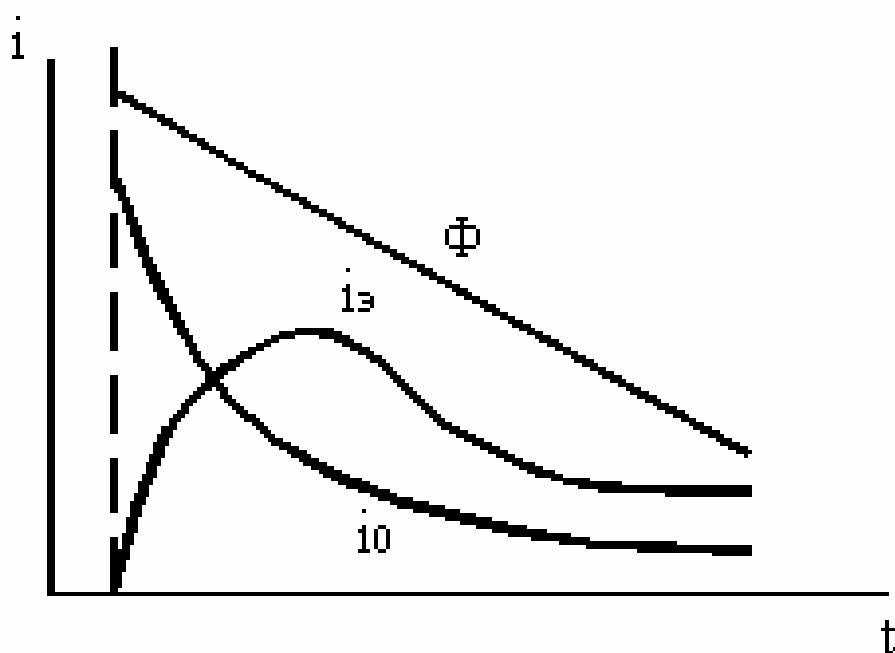


Рис. 4.56. Характеристики при отпускании якоря

*Вывод:* поток, создаваемый токами, возникающими в короткозамкнутых витках, и основной магнитный поток геометрически складываются. Поэтому результирующий магнитный поток нарастает (спадает) более медленно, чем это было бы без короткозамкнутых витков. В результате время срабатывания и время отпускания увеличиваются. При отпускании якоря замедляющие токи выше в 8-12 раз, чем при срабатывании, так как индуктивность замкнутой системы больше, чем разомкнутой.

### Электромагниты переменного тока

Наименования параметров и характеристик электромагнитов переменного тока аналогичны, как и для электромагнитов постоянного тока. Основное отличие состоит в характере силы тяги электромагнитов переменного тока. Так как ток, протекающий в катушке, изменяется по синусоидальному закону, то и магнитный поток синусоидален. Поэтому  $P_{\text{ЭМ}}$  изменяется также по гармоническому закону:

$$P_{\text{ЭМ}} = \frac{\Phi^2}{\mu_0 \cdot S}, \quad (4.82)$$

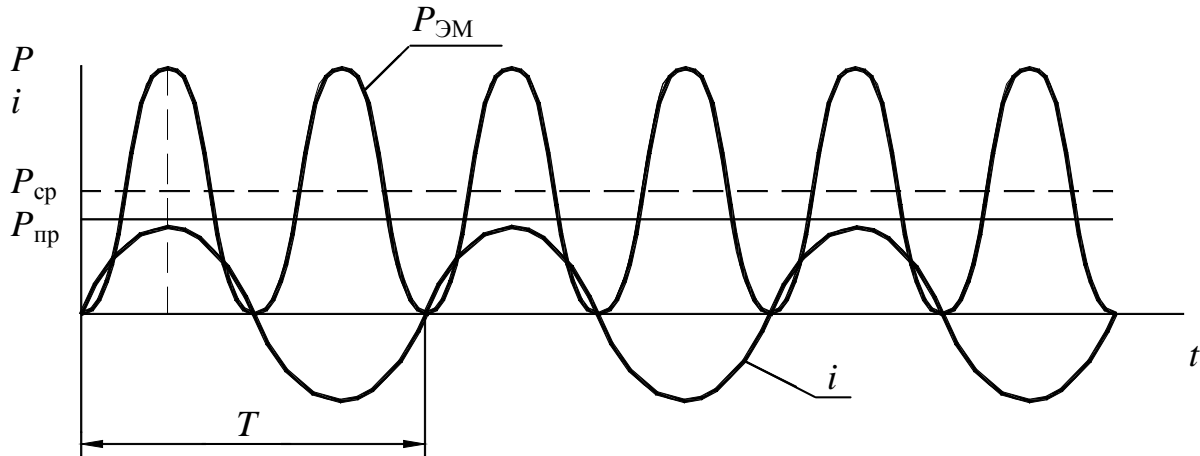
$$\Phi = \Phi_m \sin(\omega t), \quad (4.83)$$

$$P_{\text{ЭМ}} = \frac{\Phi^2}{\mu_0 \cdot S} \cdot \sin^2 \omega t = P_m \cdot \left( \frac{1}{2} - \frac{\cos 2\omega t}{2} \right) = \frac{P_m}{2} - \frac{P_m}{2} \cdot \cos 2\omega t, \quad (4.84)$$

т.е. мгновенное значение силы пульсирует с двойной частотой.

Среднее значение силы равняется половине амплитудного значения:

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T P_{\text{ЭМ}} dt = \frac{P_{\text{м}}}{2}. \quad (4.85)$$



**Рис. 4.57.** Сила, притягивающая якорь к сердечнику ЭММ при переменном токе

Чтобы якорь надёжно притянулся к сердечнику, необходимо, чтобы среднее значение силы  $P_{\text{ср}}$  было больше силы противодействующей пружины  $P_{\text{пр}}$ . Но существуют моменты времени, когда  $P_{\text{пр}} > P_{\text{ЭМ}}$ . Тогда якорь старается оторваться от сердечника, но не успевает в силу своей инерции. Таким образом, якорь в течение одного периода дважды стремится оторваться от сердечника и снова притянуться к нему, т.е. при переменном токе с частотой 50 Гц якорь имеет 100 колебаний в секунду. Каждое приближение якоря будет вызывать удар его о сердечник, что приводит к износу магнитной системы и подгоранию контактов. В результате наблюдается вибрация якоря и шум при работе электромагнита переменного тока.

#### *Меры по устранению вибрации якоря*

1. Создание массивного якоря. Недостаток этого мероприятия заключается в том, что увеличивается время срабатывания ЭММ.

2. Использование короткозамкнутых витков, расщепляющих полюс якоря. Рассмотрим это подробно. На большую часть полюса насаживается короткозамкнутый виток. Поток  $\Phi_2$ , проходящий под этой частью полюса, будет отставать от  $\Phi_1$  на  $60 \div 65^\circ$ . Под действием этих потоков возникают силы  $P_{\text{ЭМ1}}$  и  $P_{\text{ЭМ2}}$ , также сдвинутые по фазе. Сумма этих двух сил создает суммарную силу  $P$ . Средняя сила становится на всем протяжении больше силы противодействующей пружины, и вибрации не происходит (подробнее см. [1, с.221]). На рис. 4.58 приведено построение для идеального случая, когда угол между потоками составляет 90 градусов.

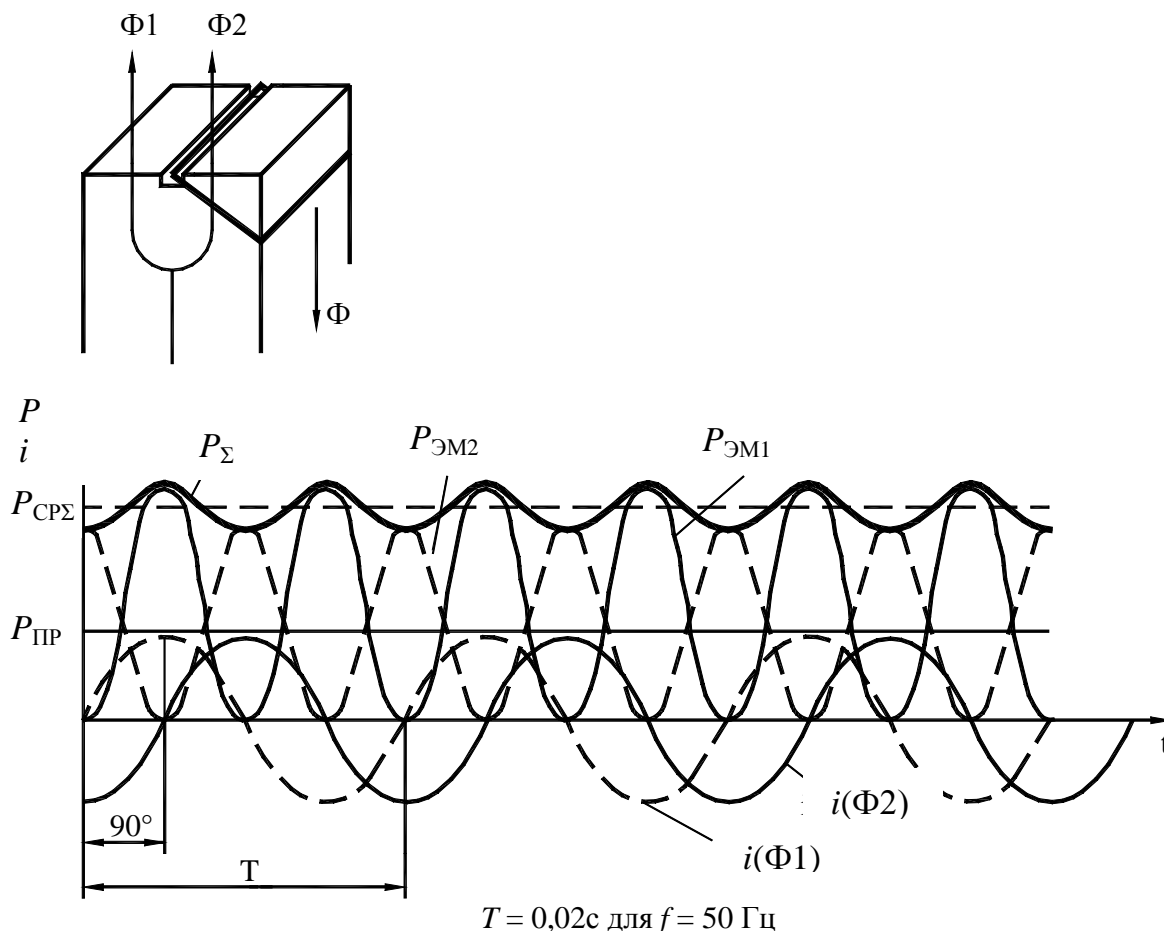
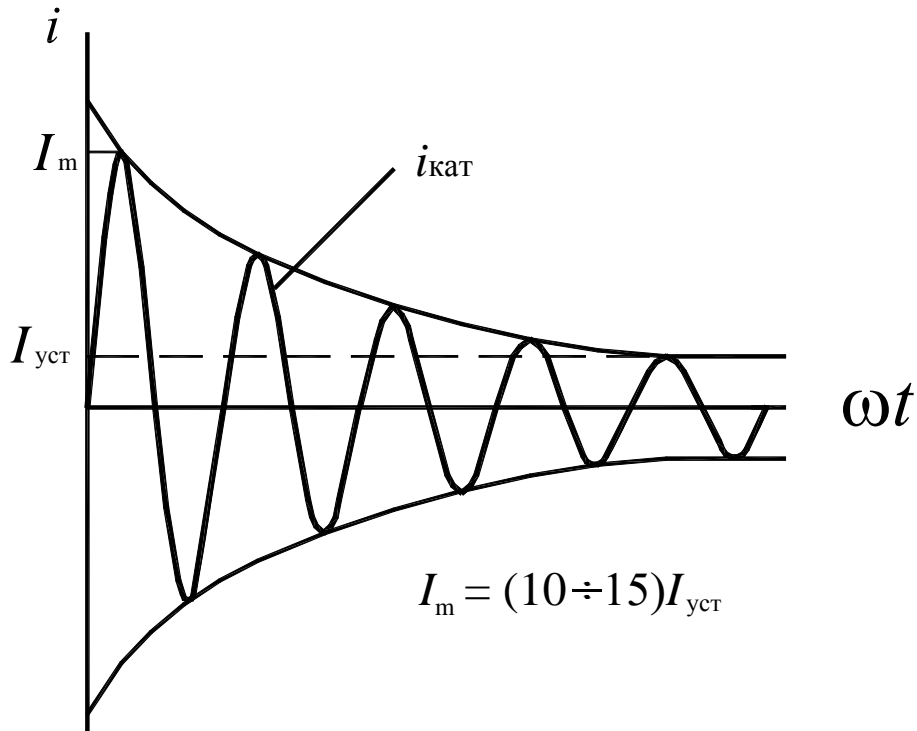


Рис. 4.58. К понятию об устранении вибрации якоря

### ***Сравнение тяговых статических характеристик электромагнитов постоянного и переменного тока***

1. Так как среднее значение силы ЭММ переменного тока равно  $\frac{P_m}{2}$ , то при тех же затратах электромагниты постоянного тока развивают усилия в два раза выше, чем электромагниты переменного тока.
2. При движении якоря с уменьшением зазора наблюдается два явления:
  - а) уменьшается магнитное сопротивление;
  - б) уменьшается значение тока в катушке якоря вследствие резкого возрастания индуктивного сопротивления.

При заданном напряжении сети в начальный момент времени в катушке протекает большой ток вследствие малого индуктивного сопротивления катушки, а значит возникает большое значение МДС, то есть наблюдается форсировочная способность электромагнита переменного тока. Поэтому они могут работать при больших зазорах, чем электромагниты постоянного тока.



**Рис. 4.59.** Уменьшение тока в катушке в результате увеличения индуктивного сопротивления катушки ЭММ после притяжения якоря к сердечнику

3. Электромагнитная сила ЭММ переменного тока лишь незначительно увеличивается с уменьшением зазора  $\delta$ , вследствие уменьшения потоков рассеивания:

Закон Ома для электрической цепи:

$$i = \frac{U}{x} = \frac{U}{\omega \cdot L} \approx \frac{U}{\omega \cdot \frac{w^2 \cdot S}{\delta}} \quad (4.86)$$

Закон Ома для магнитной цепи:

$$\Phi = \frac{F}{R_M} = \frac{i \cdot w}{R_M} \quad (4.87)$$

Преобразуем формулу Максвелла, используя закон Ома для магнитной цепи и закон Ома для электрической цепи:

$$P_{ЭМ} = \frac{\Phi^2}{\mu_0 \cdot S} = \frac{i^2 \cdot w^2}{R_M^2 \cdot \mu_0 \cdot S} = \frac{U^2}{\mu_0 \cdot w^2 \cdot \omega^2} \quad (4.88)$$

Электромагнитная сила  $P_{ЭМ}$  теоретически не зависит от величины воздушного зазора  $\delta$ , но зависит от частоты переменного тока.

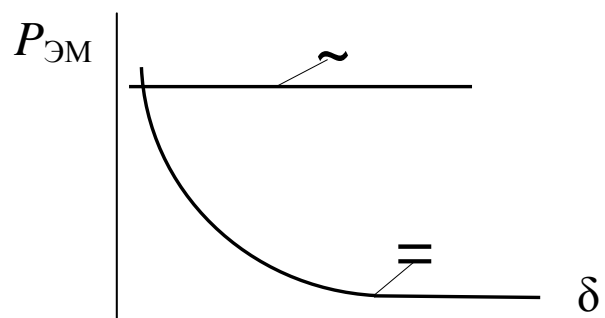


Рис. 4.60. Зависимость электромагнитной силы от величины зазора

#### *Недостатки электромагнитов переменного тока*

1. При заданной площади полюсов средняя сила тяги в два раза меньше, чем у электромагнитов постоянного тока.
2. В системе присутствует реактивная мощность.
3. Электромагнитная сила зависит от частоты сети.
4. Магнитопровод в ЭММ переменного тока обязательно выполняется шихтованным, то есть выполненным из пластин электротехнической стали, изолированных друг от друга.
5. Возникают дополнительные потери в магнитопроводе и короткозамкнутом витке.

Поэтому там, где необходимо совместить достоинства электромагнитов постоянного тока и имеющиеся в наличии источники переменного тока, используют электромагниты, работающие на выпрямленном токе.

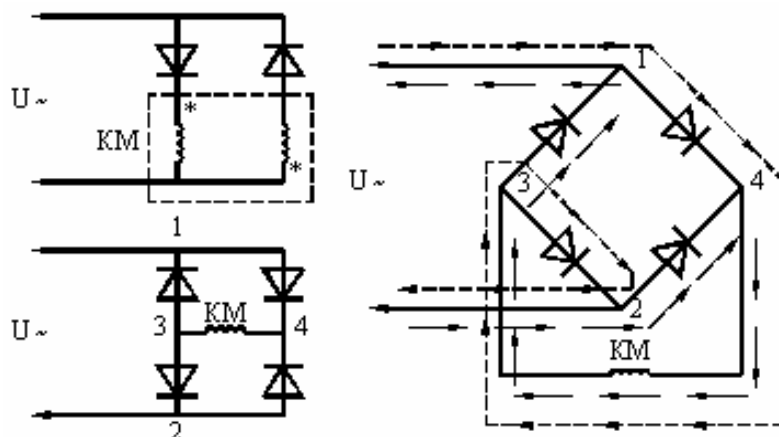


Рис. 4.61. Использование полупроводниковых выпрямителей для выпрямления переменного тока:  
*KM* – катушка ЭММ постоянного тока

Пунктирной линией показан путь прохождения тока при положительной полуволне напряжения, а стрелками - при отрицательной полуволне напряжения.

#### ***Пересчёт катушек магнитных пускателей параллельного включения при переходе на новое напряжение***

В период наладки и эксплуатации электрооборудования иногда приходится пересчитывать катушки аппаратов на другие параметры. Пересчет

обмоточных данных катушек (при сохранении нормального объема) основан на следующих данных:

1. Магнитный поток, создаваемый катушкой, и ее МДС должны оставаться неизменными:

$$F_1 = F_2 = \dots = F = I \cdot w = \text{const} . \quad (4.89)$$

2. Тепловые потери в катушке должны остаться неизменными:

$$R_1 \cdot I_1^2 = R_2 \cdot I_2^2 = \dots = R \cdot I^2 = \text{const} . \quad (4.90)$$

Из электротехники известна связь между действующим значением синусоидального изменяющегося напряжения и вектором магнитной индукции:

$$E = \frac{d\Phi}{dt} , \quad (4.91)$$

$$U = 4,44 \cdot f \cdot w \cdot S \cdot B_m , \quad (4.92)$$

где  $f$  – частота, Гц;

$w$  – количество витков;

$S$  – площадь полюсов электромагнита;

$B_m$  – максимальное (амплитудное) значение вектора магнитной индукции.

Так как при переходе на новое напряжение  $B_m$  необходимо оставить неизменным, то для сохранения равенства (4.92) следует уменьшить число витков обмотки:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot S \cdot B_m}{4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot S \cdot B_m} = \frac{w_1}{w_2} , \quad (4.93)$$

$$w_2 = w_1 \cdot \frac{U_2}{U_1} . \quad (4.94)$$

Постоянство  $B_m$  требует, чтобы и МДС оставалась неизменной, так как напряженность магнитного поля жестко связана с магнитной индукцией характеристикой намагничивания ферромагнитного материала.

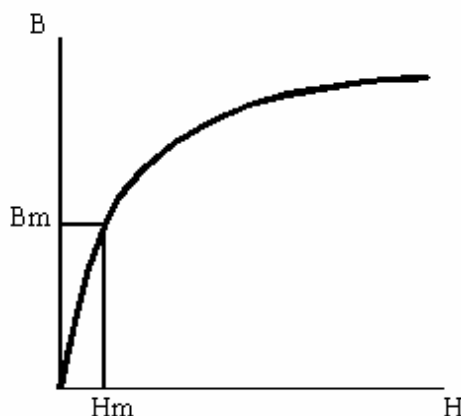


Рис. 4.62. Кривая намагничивания для ферромагнитного материала



Так как  $H \cdot 2 \cdot \delta = I \cdot w = F$ , то

$$F = I_1 \cdot w_1 = I_2 \uparrow w_2 \downarrow. \quad (4.95)$$

Уменьшение числа витков должно компенсироваться увеличением тока:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{I_2}{I_1}. \quad (4.96)$$

Объединяем (4.94) и (4.96):

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2, \quad (4.97)$$

т.е. полная мощность должна быть неизменной. При переходе на другое напряжение соотношение между активным и индуктивным сопротивлением изменяется незначительно. Поэтому принимают, что активная мощность изменяется незначительно:

$$P_1 = P_2, \quad (4.98)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = 1 = \frac{U_1^2}{R_1} \cdot \frac{R_2}{U_2^2}, \quad (4.99)$$

где  $R_1, R_2$  – активное сопротивление провода катушки:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \rho \frac{l_1 \cdot w}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}}, \quad (4.100)$$

где  $l_1$  – длина одного витка;  
 $w$  – количество витков.

$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$  – площадь провода круглого сечения.

После преобразования получим:

$$\frac{U_1^2}{U_2^2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{w_1 \cdot d_2^2}{w_2 \cdot d_1^2}. \quad (4.101)$$

Подставив в (4.101) значение  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$  из (4.94):

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}, \quad d_2 = d_1 \cdot \sqrt{\frac{U_1}{U_2}}. \quad (4.102)$$

#### Пример расчета

Дано:  $U_1 = 220$  В,  $w_1 = 2700$ ,  $d_1 = 0,2$  мм.

Пересчитать катушку на напряжение  $U_2 = 380$  В, т.е. определить  $w_2$  и  $d_2$ .

По формуле (4.94)  $w_2 = w_1 \frac{U_2}{U_1} = 2700 \cdot \frac{380}{220} = 4700$  витков.

По формуле (4.103)  $d_2 = 0,2 \sqrt{\frac{220}{380}} \cong 0,15$  мм.

## 5. Контроль знаний.

### 5.1. Задание на контрольную работу

Вариант задается преподавателем по табл. 5.1-5.5.

**Задание 1.** Выбрать аппараты защиты и управления для двух групп асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (АД). Схема электроснабжения задана на рис.5.1, исходные данные - в табл. 5.1.

*Для первой группы АД* выбрать низковольтное комплектное устройство (НКУ) на основе блоков серий Б5130. Выписать технические характеристики аппаратов блока. Изобразить все возможные принципиальные электрические схемы управления АД от командоаппарата с кнопками "Пуск" и "Стоп".

*Для второй группы АД* предусмотреть два варианта защиты от коротких замыканий: автоматическими выключателями и предохранителями. Выбрать тип и количество силовых распределительных пунктов с автоматическими выключателями и распределительных шкафов с предохранителями. Для управления АД и защиты их от перегрузки выбрать магнитные пускатели (контакторы и тепловые реле) со встроенными кнопками "Пуск" и "Стоп".

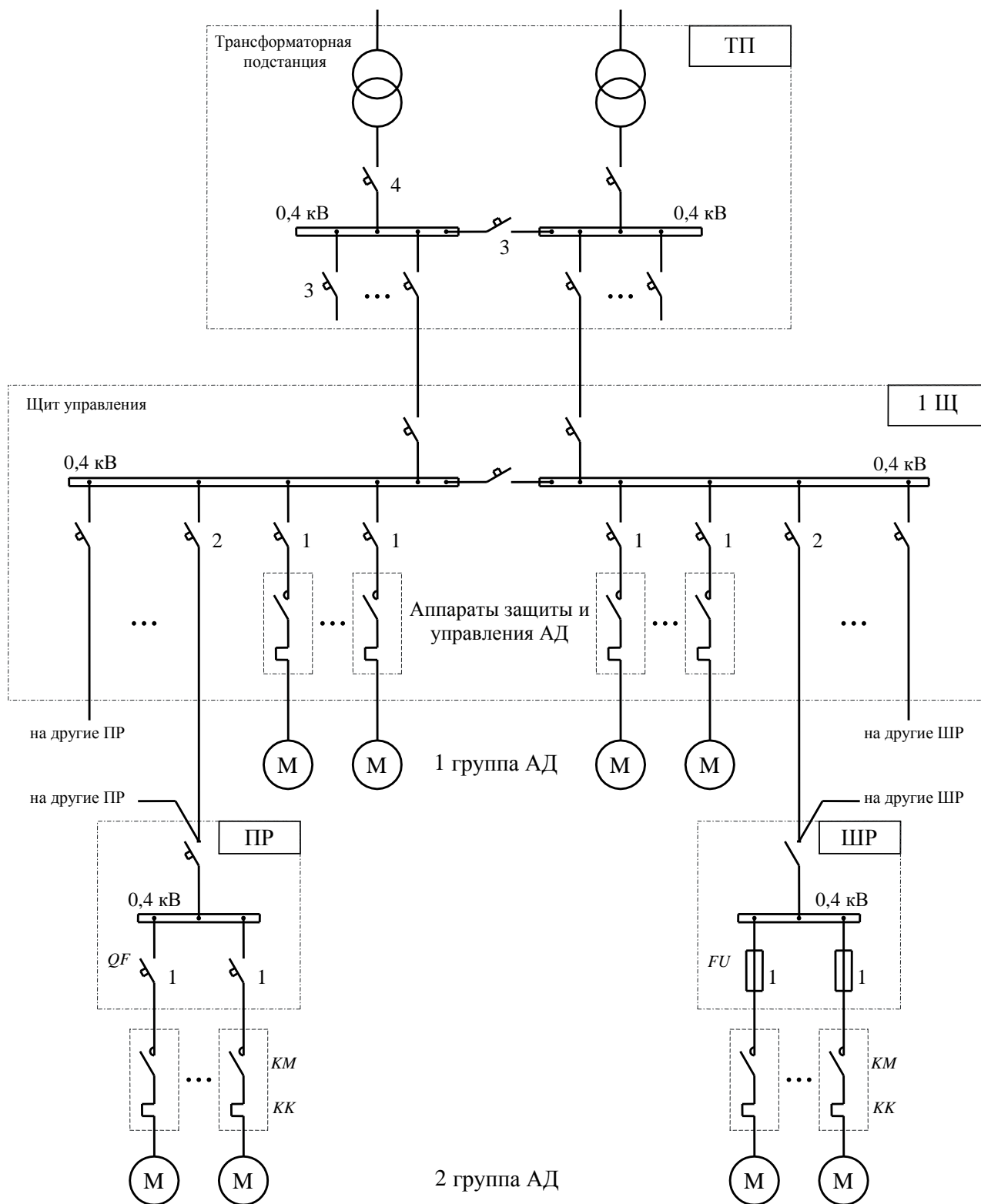
Нарисовать схему электроснабжения подобную рис. 5.1 с оборудованием, которое выбрано на основе исходных данных варианта задания. Записать технические характеристики оборудования в виде спецификации.

**Задание 2.** Изобразить в рукописном виде принципиальную схему управления АД, обеспечивающую ручной (от кнопок "Пуск" и "Стоп") и автоматический режим работы на основе принципиальной схемы цепи управления блока Б5134 с ключом управления. В автоматическом режиме управление АД (пуск и останов) осуществляется от контактов сторонних электрических аппаратов (концевые выключатели, датчики, реле управления и защиты и т.п.): *A, B, C, D, E, F, G*. Схема их соединения задается логическим уравнением по табл. 5.4. Составить таблицу истинности, дать словесное описание работы принципиальной схемы управления в режимах пуска и останова АД.

**Задание 3.** Выбрать аппараты защиты от ненормальных режимов работы для двух АД заданной мощности (см. табл. 5.1) и попарно согласовать зоны действия защит: автоматический выключатель и тепловое реле, предохранитель и тепловое реле. Время - токовые (защитные) характеристики аппаратов в количестве шести штук построить на одном бланке карты селективности.

**Задание 4.** Построить на бланке карты селективности время-токовые (защитные) характеристики для автоматического выключателя типа ВА с полупроводниковым максимальным расцепителем тока (МРТ): по минимально возможным уставкам тока и времени, по максимально возможным уставкам тока и времени и по заданным уставками тока и времени (см. табл. 5.1).

**Задание 5.** Ответить письменно на вопросы по перечню, приведенному в табл. 5.5.



**Рис. 5.1. Радиальная трехступенчатая схема электроснабжения:**

1, 2, 3, 4 – аппараты защиты электрической сети и электроприемников от аварийных режимов (перегрузки и коротких замыканий) (*QF* - автоматический выключатель, *FU* - предохранитель); ПР – пункт распределительный с автоматическими выключателями; ШР – шкаф распределительный с предохранителями; *КМ*, *КК* – магнитный пускатель (*КМ* – контактор, *КК* – воспринимающая часть электротеплового реле)

Таблица 5.1

**Исходные данные для расчета**

Наименование исходных данных		Значения исходных данных для номера, соответствующие первой цифре заданного варианта									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вид помещения по ПУЭ для второй группы АД		1	2	3	1	2	4	1	2	3	4
Наличие вводного выключателя на ПР		да	нет	да	нет	да	нет	да	нет	да	нет
Синхронная частота вращения для АД, мин <sup>-1</sup>		3000	1500	1000	750	3000	1500	1000	750	3000	1500
$I_{НР} / I_{НВ}$		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Наименование исходных данных		Значения исходных данных для номера, соответствующего второй цифре заданного варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Количество и мощность АД		Согласно табл. 5.2, 5.3									
Режим работы АД		Д	ПКР1	ПКР2	Д	ПКР1	ПКР2	Д	ПКР1	ПКР2	Д
$I_{СО} / I_{НР}$		2	3	5	7	2	3	5	7	2	3
$t_6$ , с		4	8	12	16	4	8	12	16	4	8
$t_{СО}, t_{СЗ1}$ , с		мгн. 0,04	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,2	0,3
$I_{СЗ1} / I_{НР}$		0,4	0,6	0,8	1	0,4	0,6	0,8	1	0,4	0,6
Мощность АД для задания 3, кВт	а	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0	5,5	7,5	11	15	18,5
	б	15	18,5	22	30	37	45	55	75	90	110

*Примечание:*

- 1) вид помещения по ПУЭ (Правила устройства электроустановок):  
 1 - нормальное,  
 2 - сырое,  
 3 - пыльное,  
 4 - влажное;
- 2) режим работы АД: Д - длительный, ПКР1 - повторно-кратковременный режим работы с частотой включений и отключений (ВО) до 60 в час, ПКР2 - повторно-кратковременный режим работы с частотой ВО более 60 включений в час.

Таблица 5.2

## Задание количества и мощности электродвигателей

Мощность АД, кВт	Количество АД по вариантам: N - для первой группы АД; N* - количество второй группы АД на каждой секции сборных шин									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
0,09	1		2*			1	2*			
0,12		1		2*			1	2*		
0,18			1		2*			1	2*	
0,25	2*			1		2*			1	2*
0,37		2*			1		1*			1
0,55	2		2*			1		1*		
0,75		2		2*			1		1*	
1,1	3*		2		2*			1		1*
1,5		3*		2		2*			1	
2,2			3*		2		2*			3
3,0	3			3*		2		2*		
4,0		3			3*		2		2*	
5,5	1*		1			3*		2		2*
7,5	1	1*		2			3*		2	
11	2*	1	1*		3			3*		2
15	1	2*	1	1*		3			3*	
18,5	1*	1	2*	1	1*	1*	3			3*
22		1*	4	1*	2	1*	1*	3		
30			1*	4	2*	3	1*	2*	3	1*
37	2*			1*	2	2*	2	1*	2*	3
45	2	2*		1*	1*	2	1*	2	1*	2*
55		2					2		3	
75		1	2					2		1
90		1		2					1	
110			1		2			2		1
132	1					2			2	
160		1					2			2
200	2		1			1				
250				1						
315					1					

Таблица 5.3

**Некоторые технические данные электродвигателей серии 4А**

Мощность, кВт	Ток статора, А, при синхронной частоте вращения, мин <sup>-1</sup>				Отношение начального пускового тока к номинальному току при синхронной частоте вращения, мин <sup>-1</sup>			
	3000	1500	1000	750	3000	1500	1000	750
0,09	0,32	0,42	-	-	4	2,5	-	-
0,12	0,32	0,44	-	-	4	3,5	-	-
0,18	0,54	0,66	0,78	-	4	3,5	3	-
0,25	0,74	0,85	1,04	1,05	4	4,0	3	3
0,37	0,93	1,2	1,26	1,4	4,5	4,0	4	3,5
0,55	1,33	1,7	1,74	2,0	4,5	4,5	4	3,5
0,75	1,7	2,17	2,24	2,7	5,5	4,5	4	3,5
1,1	2,5	2,76	3,05	3,5	5,5	5,0	4	3,5
1,5	3,3	3,57	4,1	4,7	6,5	5,0	4,5	4
2,2	4,7	5,02	5,65	6,18	6,5	6,0	5	5
3,0	6,1	6,7	7,4	7,8	6,5	6,0	6	5
4,0	7,8	8,6	9,13	10,3	7,5	6,0	6	5,5
5,5	10,5	11,5	12,2	13,6	7,5	7,0	6,5	5,5
7,5	14,9	15,1	16,5	17,7	7,5	7,5	6,5	6
11	21,2	22	22,6	25,6	7,5	7,5	6	6
15	28,5	29,3	30	32	7,0	7,0	6	6
18,5	34,5	35,7	36,6	37,8	7,0	7,0	5	5,5
22	41,6	41,3	41,3	45	7,5	6,5	6,5	5,5
30	56	56	56,0	62,4	7,5	6,5	6,5	6
37	70	68,8	69,4	75	7,5	7	6,5	6
45	83,8	82,6	84	89,6	7,5	7	6,5	6
55	100	100	103	108	7,5	7	6,5	5,5
75	140	136	139	146	7,5	7	5,5	5,5
90	165	162	165	173	7,5	7	5,5	6,5
110	206	201	199	211	7,0	5,5	6,5	6,5
132	247	240	239	253	7,0	5,5	6,5	6,5
160	294	285	291	306	6,5	6,0	6,5	6,5
200	365	351	362	-	7,0	6,0	6,5	-
250	459	438	-	-	7,0	7,0	-	-
315	565	549	-	-	7,0	7,0	-	-

Таблица 5.4

Варианты логических уравнений

№ варианта	Логическое уравнение	№ варианта	Логическое уравнение
X1	$KC = (A + B + C + D) \cdot E + F \cdot G$	X6	$KC = (\overline{A \cdot B} + \overline{C} + \overline{D \cdot E}) \cdot F \cdot \overline{G}$
X2	$KC = (A + B \cdot C + D) \cdot \overline{E} + \overline{F} \cdot G$	X7	$KC = (\overline{A} + \overline{B \cdot C} + D \cdot \overline{E}) \cdot F + \overline{G}$
X3	$KC = (A + \overline{B \cdot C + D}) \cdot E + \overline{F \cdot G}$	X8	$KC = (A \cdot \overline{B} + C \cdot \overline{D} + E \cdot \overline{F}) \cdot G$
X4	$KC = (A + B \cdot C \cdot \overline{D}) \cdot E + \overline{F \cdot G}$	X9	$KC = ((\overline{A \cdot B + C}) \cdot D + E \cdot F) \cdot G$
X5	$KC = (A + \overline{B \cdot C \cdot D \cdot E}) \cdot \overline{F \cdot G}$	X0	$KC = (((\overline{A + B}) \cdot \overline{C} + D) \cdot E + F) \cdot G$

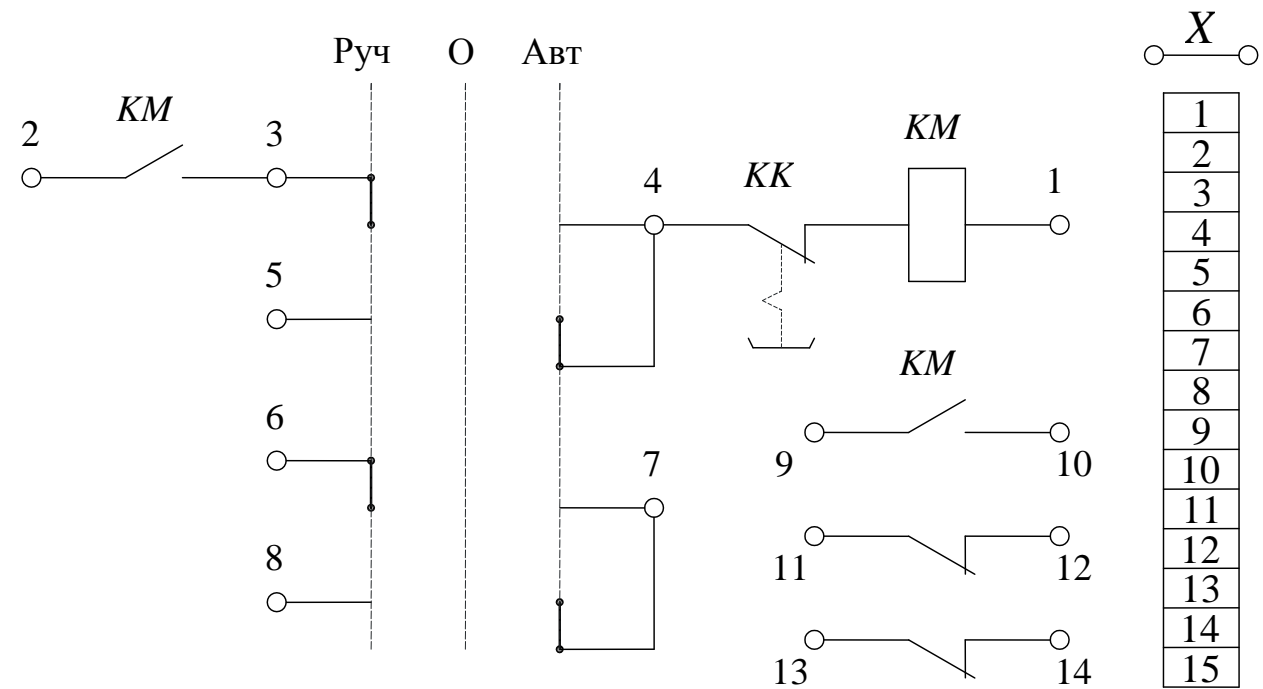
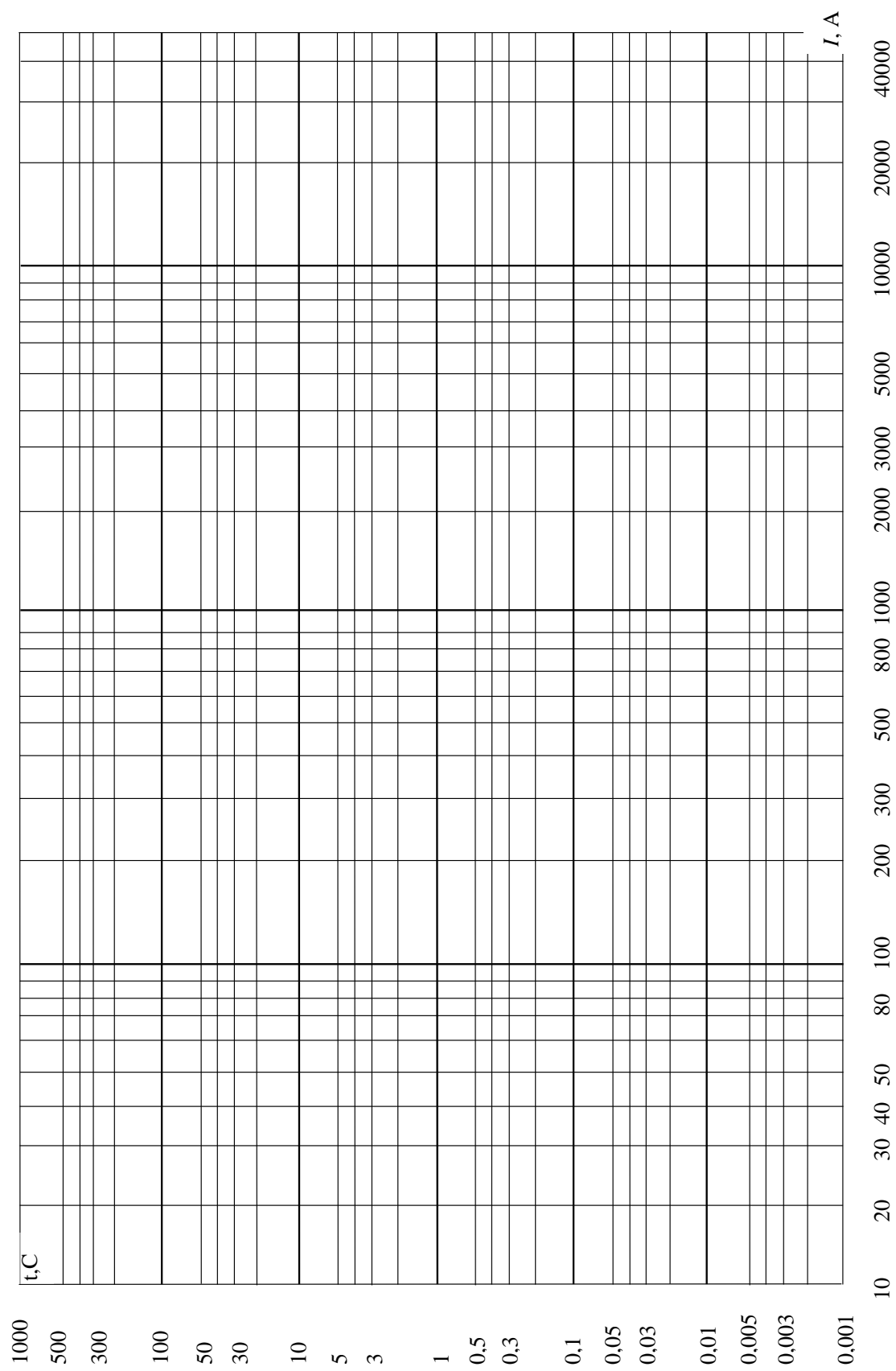


Рис. 5.2. Принципиальная схема цепи управления блока Б5134



**Рис. 5.3. Бланк для построения карты селективности**



Таблица 5.5

**Перечень вопросов для задания 5**

Номер темы и раздел в рабочей учебной программе	Номера вопросов для первой цифры номера варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тема 1	2	3	4	5	6	7	9	10	8	11
Тема 4, раздел 4.1.	11	10	9	8	7	6	5	4	3	1, 2
Тема 4, раздел 4.2.	1	2	3	4	5	6	7	8	4	5
Тема 4, раздел 4.3.	6	7	11	12	13	14, 15	19, 20	21, 22	1, 2	3, 4
Тема 4, раздел 4.4.	12, 13	10, 11	3, 9	6, 7	1, 2	3, 4	3, 5	14	16	17
Тема 4, раздел 4.5.	5	4	6	1, 2	7	9	10	11	4	5
Номер темы и раздел в рабочей учебной программе	Номера вопросов для второй цифры номера варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тема 5, раздел 5.1	1	2, 3	4, 5	1	6, 7	8, 9	10	11	2, 3	4, 5
Тема 5, раздел 5.2.	1, 2	3	4	5, 6	7	8	9	10	1, 2	8
Тема 5, раздел 5.3.	3	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Тема 5, раздел 5.4.	1	2	3	6	7	9	10	12	13, 14	8
Тема 5, раздел 5.5.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**5.2. Методические указания к выполнению контрольной работы****Методические указания к выполнению п. 1 задания****Общие пояснения, запись исходных данных**

Имеется участок цеха промышленного предприятия, состоящий из двух помещений. В помещении 1 (с нормальной средой по ПУЭ) располагаются электродвигатели приводов 1 группы, участвующие в технологическом процессе, и за сетчатой перегородкой – комплектная трансформаторная подстанция (КТП) и щит (1Щ), где размещены блоки управления электродвигателями. Командоаппараты в виде кнопок управления и ключей управления располагаются на пульте управления или непосредственно около соответствующего технологического механизма.

В помещении 2 располагаются электродвигатели 2 группы (приводы насосов и вентиляторов), а также их аппараты защиты и управления. Аппараты защиты электрической сети (автоматические выключатели и предохранители) размещены в шкафах, аппараты управления и защиты электродвигателей – непосредственно около них на стойке или на стене. Для всех аппаратов следует предусмотреть соответствующие защитные оболочки.

Необходимо выписать данные из табл. 5.1 – 5.3 согласно заданному варианту и заполнить начальные столбцы в табл. 5.6 и табл. 5.7.

Таблица 5.6

**Технические данные выбранных аппаратов блоков Б5130 для АД группы 1**

Технические параметры АД		Кол	Индекс блока	Ток блока, А	Выключатель		Тип пускателя (контактора)	Тепловое реле, трансформатор тока	
Мощность, кВт	Ток, А $I_{НД}$				Тип	Ток расцепителя, А		Тип	Пределы регулирования тока, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,1	2,76	2	2674Г УХЛ4Б	4	АЕ2026-10НУЗ-Б	5	ПМЛ 1100 - О4Б	РТЛ 1007-О4	2,4 - 4,0
160	294	1	4574 УХЛ4Б	320	А3736 ФУЗ	320	КТ 6043С - УЗ	РТЛ 1010-О4, ТК20 400/5	304 -5- 400

*Примечание:* реле РТЛ поставляются и заказываются заводами отдельно от пускателя ПМЛ, реле РТТ входят в комплект поставки пускателей ПМА.

Таблица 5.7

**Выбор пусковых и защитных аппаратов для АД группы 2 (1часть табл. 5.7)**

Мощность, кВт	Кол	Ном. ток АД, А $I_{НД}$	Пускатель		Тепловое реле		
			Тип	Ном. ток, А	Тип	Ном. ток, А	Диапазон регулирования ном. тока, А
1	2	3	4	5	6	7	8
1,1	4	2,76	ПМЛ - 1220 - О4В	10	РТЛ-1007	25	2,4 ÷ 4.0
...	...	...	...	...	...	...	...
45	2	83,8	ПМА-5242-УХЛ4В	95	РТТ-32	100	85,0 ÷ 115

**Выбор защитных аппаратов для электрической сети (2часть табл. 5.7)**

Ном. ток АД, А $I_{НД}$	Пусковой ток, А $I_{п}$	Автоматический выключатель			Пусковой ток / 2,5, А	Предохранитель		
		Тип	Ном. ток, А	$I_{нр}, I_{со}^*, А$		Тип	Ном. ток, А	Номинальный ток плавкой вставки, А
3	9	10	11	12	13	149	15	16
2,76	13,8	АЕ2046Б	63	10, 120	5,52	НПН2	60	6
...	...	...	...	...	...	...	...	...
83,8	628,5	АЕ2066Б	160	100, 1200	251,4	ПН2	250	250

\* - Номинальный ток теплового расцепителя, ток срабатывания электромагнитного расцепителя

**Выбор блоков управления для первой группы электродвигателей**

На основе технических данных (табл. П 1.1) выбирается типовой индекс блока управления по току таким образом, чтобы величина номинального тока двигателя ( $I_{НД}$ ) была близка к номинальному току блока ( $I_{НБлока}$ ), но не превосходила его.

*Пример.* Задано два нереверсивных АД мощностью 1,1 кВт с синхронной частотой вращения  $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ , которые работают в повторно-кратковременном режиме с частотой включения более 60 в час, категория по степени бесперебойности электроснабжения – 2.

### ***Этапы работы при выборе аппаратов для первой группы АД***

1. Номинальный ток двигателя мощностью 1,1 кВт при частоте вращения  $1500 \text{ мин}^{-1}$  составляет 2,76 А (табл. 5.3)

2. По табл. П 1.1 для тока 2,76А подходит блок с типовым индексом по току 2674 ( $I_{\text{НБлока}} = 4А$ ) с пределами регулирования тока несрабатывания теплового реле 2,4 – 4,0А. Номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя 5А также больше чем номинальный ток двигателя.

3. Так как управление АД осуществляется от кнопочного поста, то достаточно двухконтактной приставки ПКЛ к пускателю – выбирается индекс Г (см. П 1.1)

4. Климатическое исполнение выбираем УХЛ – для умеренного климата, категорию размещения 4 – для отапливаемых помещений.

5. Для блока с индексом 2674 соответствует магнитный пускатель ПМЛ 1100 с номинальным током 10 А (см. П 4). Номинальный ток двигателя 2,76 А составляет 27,6 % от номинального тока пускателя, что менее 60 % допускаемого по условиям износостойкости контактов (см. П 1.1), поэтому выбираем исполнение Б.

6. Формируем полное обозначение блока управления – Б 5130-2674ГУХЛ4Б (см. П 1.1).

7. Индекс блока и технические характеристики аппаратов, записываем в табл. 5.6.

8. На основе рис. П 1.2 составляются схемы управления АД для соответствующих блоков. Во всех случаях принять управление от кнопочного поста с кнопками "ПУСК", "СТОП", расположенного непосредственно около двигателя. Изображается силовая цепь питания АД и схема его управления в зависимости от схемы блока. Например, блок с индексом 2674 имеет схему, изображенную на рис П 1.2, а, где защита силовой цепи и цепи управления осуществляется одним автоматическим выключателем. Блоки с индексом 30ХХ и более имеют в цепи управления отдельный аппарат защиты в виде предохранителя, а в блоках с индексом 42ХХ и более тепловые реле включены во вторичные цепи трансформаторов тока.

Следует изобразить все три схемы. Применять условные графические обозначения (УГО) и буквенно-цифровые обозначения (БЦО) аппаратов и элементов электрической цепи, предусмотренные действующими стандартами. В качестве примера для изображения силовой цепи можно использовать рис. 5.4. Обязательно предусмотреть электрическое соединение металлического корпуса электродвигателя с нулевым проводником (зануление).

### ***Выбор аппаратов для второй группы электродвигателей***

Выбор аппаратов производится на основе технических характеристик, приведенных в прил. П 2–П 10 и условий (5.1), (5.2) последовательно для каждого из двух вариантов схемы электроснабжения АД (с автоматическими выключателями и предохранителями). Следует обосновать выбранные типы аппаратов, типовые индексы и количество силовых распределительных пунктов ПР (ШР). При выборе считать, что аппаратура заказывается для поставок в зоны с умеренным климатом.

Магнитные пускатели *КМ* выбираются в соответствующих защитных оболочках со встроенными кнопками управления таким образом, чтобы номинальный ток двигателя ( $I_{\text{нд}}$ ) не превосходил номинального тока пускателя.

Электротепловые реле *КК* выбираются в соответствии с выбранными магнитными пускателями таким образом, чтобы номинальный ток двигателя ( $I_{\text{нд}}$ ) находился в пределах регулирования тока несрабатывания теплового реле ( $I_{\text{нтр}}$ ). Для АД мощностью более 20 кВт выбрать пускатели серии ПМА.

Итоговые результаты выбора следует записать в первую часть табл. 5.7.

Автоматические выключатели (АВ) выбираются из числа тех, которыми комплектуются распределительные пункты таким образом, чтобы номинальный ток двигателя ( $I_{\text{нд}}$ ) не превосходил номинального тока расцепителя АВ ( $I_{\text{нр}}$ ):

$$I_{\text{нр}} \geq I_{\text{нд}} . \quad (5.1)$$

Также проверяется, чтобы при пуске не происходило срабатывания электромагнитного расцепителя АВ ( $I_{\text{со}}$ ) по условию:

$$K_{\text{н}} \cdot I_{\text{п}} < I_{\text{со}} , \quad (5.2)$$

где  $K_{\text{н}}$  – коэффициент надёжности,  $K_{\text{н}} = 1,8 \div 2$ , таким образом учитывается неточность в определении пускового тока электродвигателя;  
 $I_{\text{п}}$  – пусковой ток электродвигателя, А.

Предохранители *FU* выбираются из числа тех, которыми комплектуются распределительные шкафы таким образом, чтобы номинальный ток двигателя ( $I_{\text{нд}}$ ) не превосходил номинального тока предохранителя, а при пуске АД не происходило "старения" плавкой вставки. Поэтому ток плавкой вставки выбирается из условия:

$$I_{\text{в}} \geq \frac{I_{\text{п}}}{2,5} , \quad (5.3)$$

где  $I_{\text{в}}$  – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А;  
 $I_{\text{п}}$  – пусковой ток электродвигателя, А.

Итоговые результаты выбора следует записать во вторую часть табл. 5.7.

*Пример.* Задан нереверсивный АД мощностью 5,5 кВт с синхронной частотой вращения  $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ .

### **Этапы работы при выборе аппаратов для второй группы АД**

1. Номинальный ток двигателя мощностью 5,5 кВт при частоте вращения 1500 мин<sup>-1</sup> составляет 10,5 А, пусковой ток составляет  $10,5 \times 7 = 73,5 \text{ А}$  (табл. 5.3).

2. Формирование типового индекса магнитного пускателя производим по П 4 и П 5. Выбираем магнитный пускатель типа ПМЛ второй величины (первый индекс-2) на номинальный ток 25А, нереверсивный с тепловым реле (второй индекс-2), с защитной оболочкой IP54 (подходит для всех видов помещений) с кнопками и сигнальной лампой (третий индекс-3), с числом контактов вспомогательной цепи в количестве одного (четвертый индекс-0), не сейсмостойкого исполнения (пятый индекс отсутствует), общеклиматического исполнения—О и категории размещения-4 для работы в закрытых помещениях с отоплением (шестой индекс-О4), исполнение по износостойкости контактов принимаем для длительного режима работы с числом срабатывания менее 120 циклов включения-отключения в сутки (седьмой индекс-В). Формируем итоговый типовой индекс магнитного пускателя – ПМЛ-2230О4В.

3. Формирование типового индекса теплового реле производим по П 2 и П 3. Выбираем тепловое реле серии РТЛ (втычные контакты этого реле приспособлены для клемм контактора ПМЛ) с номинальным током на 25А (первый индекс-1). Исполнение по номинальному току теплового элемента реле (ток несрабатывания) выбираем по табл. П 2.1 таким образом, чтобы номинальный ток двигателя находился в пределах диапазона регулирования номинального тока несрабатывания теплового реле: для  $I_{\text{нд}} = 10,5 \text{ А}$  подходит диапазон 9,5-14А (второй индекс-016). Климатическое исполнение—О и категория размещения-4 (третий индекс-О4). Формируем итоговый типовой индекс теплового реле – РТЛ-1016О4.

4. Выбор автоматического выключателя производим по П 9 и П 6. Так как шкафы серии ПР11 комплектуются линейными выключателями АЕ 2046Б и АЕ2066, то для  $I_{\text{нд}} = 10,5 \text{ А}$  подходит выключатель АЕ 2046Б с номинальным током 63А и номинальным током максимального расцепителя  $I_{\text{нр}} = 12,5 \text{ А}$ , ток электромагнитного расцепителя равен (12-14)  $I_{\text{нр}}$  - минимальное значение составляет  $I_{\text{со}} = 12 \times 12,5 \text{ А} = 150 \text{ А}$ . Проверяем, чтобы при пуске не происходило срабатывания электромагнитного расцепителя АВ ( $I_{\text{со}}$ ) по условию (5.2):  $2 \times 73,5 \text{ А} = 147 \text{ А} < I_{\text{со}} = 150 \text{ А}$ . Условие выполняется, в противном случае выбирается АВ с увеличением номинальным тока максимального расцепителя на одну ступень (например, 16А).

Формируем итоговый типовой индекс АВ – АЕ 2046Б, 12,5А.

5. Выбор предохранителя производим по П 10. Так как шкафы серии ШР-11 комплектуются предохранителями серии НПН2 и ПН2, то ориентируемся только на эти типы. Выбираем ток плавкой вставки по условию (5.3):  $73,5 \text{ А} / 2,5 = 29,4 \text{ А}$  - выбираем  $I_{\text{в}} = 30 \text{ А}$ . Плавкая вставка с номинальным током 30А может быть в составе двух типов НПН2 - 60 и ПН2-100. Окончательный выбор типа сделаем, когда будем формировать количество шкафов с определенным количеством трехфазных групп на отходящие линии к

АД (например, для шкафа типа ШР11-73505 существует 8 групп предохранителей с номинальным током по 100А, поэтому выберем предохранитель типа ПН2-100,30).

6. Технические характеристики аппаратов записываем в табл. 5.7.

#### ***Составление схемы электроснабжения***

Так как в итоге необходимо скомплектовать определенное количество силовых распределительных пунктов, то при выборе аппаратов, необходимо ориентироваться на автоматические выключатели и предохранители, которыми комплектуются эти пункты (шкафы) (см. Приложения П 9, П 10). Возможно выбрать шкафы других типов с приложением информации о них. Количество силовых пунктов зависит от количества АД. Количество АД заданное вариантом следует распределить по указанным шкафам (пунктам) в зависимости от выбранной комплектации шкафов (пунктов). Допускается иметь резерв автоматических выключателей (предохранителей) в пределах каждого распределительного пункта (шкафа) не более трех.

Все выбранные распределительные пункты и шкафы следует показать на принципиальной схеме электроснабжения.

Распределительные пункты (шкафы), соединяются «шлейфом» (цепочкой, но не более трех) от вводного аппарата с большим номинальным током к вводному аппарату с меньшим номинальным током или (при отсутствии вводного автоматического выключателя) подключаются с шин 1Ш.

В учебных целях следует изобразить АД запитанные от первой секции подстанции (щита управления 1Ш) с использованием распределительных пунктов с автоматическими выключателями, а от второй секции - с использованием распределительных шкафов с предохранителями. Применять УГО и БЦО аппаратов и элементов электрической цепи предусмотренные действующими стандартами, допускается контакторы и тепловые реле магнитных пускателей изображать одним условным символом в виде квадрата 10 x 10 мм.

#### ***Составление спецификации на выбранное оборудование***

Спецификация составляется на основе схемы электроснабжения с указанием всего выбранного оборудования, которое подлежит заказу (включая резервное).

Для первой группы АД это блоки управления с указанием полного индекса блока. Для второй группы АД это силовые пункты ПР и ШР, магнитные пускатели и тепловые реле, если они не входят в состав магнитного пускателя. В спецификации указывается полный индекс аппаратов.

Пример (фрагмент) спецификации приведен в табл.5.8

**Спецификация на выбранное оборудование**

Поз.	Обознач.	Наименование	Тип	Колич.	Примечание
Оборудование для первой группы АД					
1	1 Щ 1	Блоки управления	Б5130-2674ГУХЛ4Б	2	$I_H = 2,5 \text{ A}$
2	1 Щ 2		Б5130-4574УХЛ4Б	1	$I_H = 320 \text{ A}$
Оборудование для второй группы АД					
3	ПР	Пункт распределительный	ПР11-3048-54УЗ	2	$I_H = 100 \text{ A}$
4	ШР	Шкаф распределительный	ШР11-73701-IP54У2	3	5 x 60 A
5	КМ1	Пускатель	ПМЛ-2220-04В	8	$I_H = 25 \text{ A}$
6	КМ12	Пускатель	ПМА-5240-УХЛ4В	2	$I_H = 100 \text{ A}$
7	КК1*	Тепловое реле	РТЛ-1022-04	3	$I_H = 25 \text{ A}$
8	КК6*	Тепловое реле	РТТ-32-УХЛ4	4	$I_H = 160 \text{ A}$

\* - Тепловые реле вносятся в спецификацию только в случае, если они заказываются отдельно от магнитных пускателей.

**Методические указания к выполнению п. 2 задания****Общие сведения**

При составлении, анализе, упрощении логических уравнений используют аппарат математической логики (булевой алгебры– выражение, производное от фамилии английского математика Джордж Буль (Boole), 1815-64г.). Логические переменные  $X$ , входящие в логические уравнения, могут принимать только два значения: 0 и 1.

Основными элементарными операциями булевой алгебры являются:

- дизъюнкция (функция "ИЛИ") - логическое сложение

$$Y = X_1 + X_2 + X_3 + \dots = \sum X_i,$$

- конъюнкция (функция "И") -логическое умножение

$$Y = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot \dots = \prod X_i,$$

- инверсия (функция "НЕ") - логическое отрицание

$$Y = \overline{X},$$

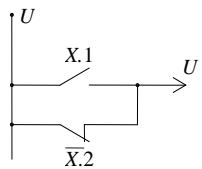
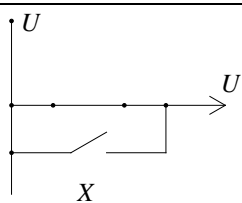
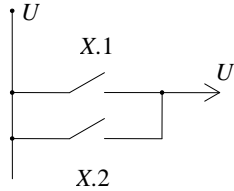
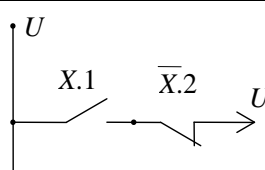
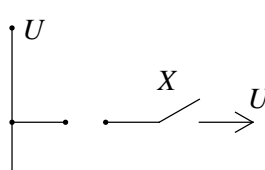
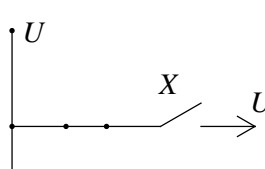
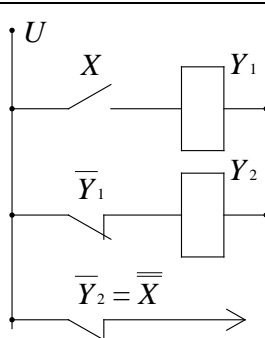
где  $X_i$  - входные переменные;  $Y$  - выходная переменная или функция.

В контактном исполнении переменной  $X$  соответствует нормально разомкнутый контакт, а переменной  $\bar{x}$  -нормально замкнутый контакт.

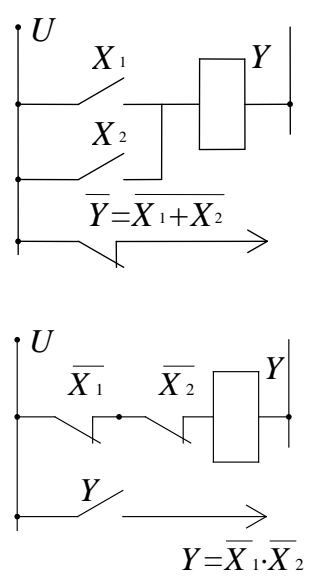
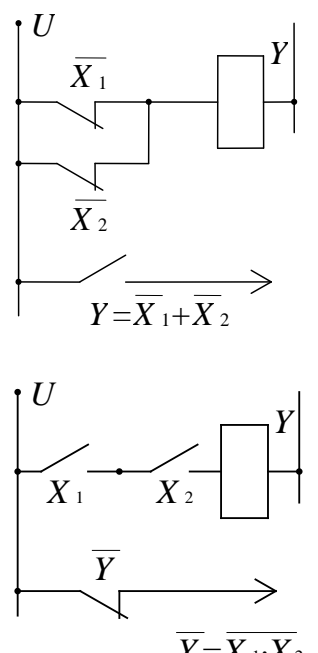
При составлении электрических схем по логическим уравнениям используют законы и тождества алгебры логики. В табл. 5.9 приведены контактные аналоги тождеств и законов алгебры логики.

Таблица 5.9

## Логические уравнения и их контактные аналоги

Математическая запись	Контактный аналог	Примечание
1. Тожества		
1. $X.1 + \overline{X.2} = 1$		X.1, X.2 – контакты одного реле
2. $X + 1 = 1$		•—• – перемычка
3. $X.1 + X.2 = X$		X.1, X.2 – контакты одного реле
4. $X.1 \cdot \overline{X.2} = 0$		X.1, X.2 – контакты одного реле
5. $X \cdot 0 = 0$		→ • – разрыв
6. $X \cdot 1 = X$		•—• – перемычка
7. $\overline{\overline{X}} = X$		



Математическая запись	Контактный аналог	Примечание
2. Законы		
1. $\overline{\sum_i X_i} = \prod_i \overline{X_i}$ $\overline{X_1 + X_2} = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2}$		«ИЛИ–НЕ» = «НЕ–И»  $X_1, X_2, \dots X_i$ - контакты разных реле
2. $\sum_i \overline{X_i} = \overline{\prod_i X_i}$ $\overline{X_1} + \overline{X_2} = \overline{X_1 \cdot X_2}$		«НЕ–ИЛИ» = «И–НЕ»  $X_1, X_2, \dots X_i$ - контакты разных реле

Тождества в табл. 5.9 очевидны, а законы доказываются подстановкой. Так, если в выражении  $\overline{X_1 + X_2} = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2}$  положить  $X_1 = 1, X_2 = 0$ , то получим для правой и левой частей:

$$Y = \overline{X_1 + X_2} = \overline{1 + 0} = \overline{1} = 0,$$

$$Y = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2} = \overline{1} \cdot \overline{0} = 0 \cdot 1 = 0.$$

Аналогично можно убедиться, что контактные аналоги  $\overline{X_1 + X_2}$  и  $\overline{X_1} \cdot \overline{X_2}$  выполняют одинаковую функцию.

В контактных аналогах значение функции  $Y = 1$  (или  $Y = 0$ ) соответствует замыканию (размыканию) контакта реле  $Y$ , а не его срабатыванию (при срабатывании реле  $Y$  контакты его могут, как размыкаться, так и замыкаться, т.е. возникает неопределенность).

### ***Составление электрических схем по логическим уравнениям***

Логическое уравнение полностью задает вид электрической схемы, т.е. последовательность соединения контактов и количество реле. Однако может существовать несколько различных схем, реализующих данное уравнение. Поэтому перед составлением схемы рекомендуется по возможности упростить уравнения, используя для этого законы алгебры логики.

Составленную схему следует непосредственно включить в цепь питания пускателя блока Б5134.

В любом случае схема должна быть построена таким образом, чтобы ключ управления в левом положении обеспечивал ручной режим управления, в правом – автоматический. Необходимо предусмотреть в схеме лампы сигнализации режимов работы АД.

Контакты на схеме изображаются для случая обесточенного состояния всей схемы.

### ***Составление таблицы истинности***

Таблица истинности - это матрица, в которой столбцы соответствуют состоянию контактов схемы (1 - контакты замкнуты, 0 - разомкнуты), а строки частной реализации схемы (исходное состояние, пуск, останов). Допускается в соответствующей графе таблицы указывать знак \*, если состояние контакта не влияет на состояние схемы.

### ***Словесное описание работы схемы***

Необходимо дать подробное описание последовательности замыкания (размыкания) контактов, которая приводит к включению (отключению) электродвигателя.

Пример: Задано логическое уравнение:

$$KC = \overline{(\overline{A + B}) \cdot (\overline{C + D}) \cdot \overline{E} \cdot \overline{F} \cdot \overline{G}}.$$

Используя законы алгебры логики, можно исходное уравнение упростить:

$$\overline{\overline{A + B}} = \overline{\overline{A} \cdot \overline{B}} = A \cdot B;$$

$$\overline{\overline{C + D}} = \overline{\overline{C} \cdot \overline{D}} = C \cdot D;$$

$$\overline{A \cdot B \cdot C \cdot D} = \overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \overline{D};$$

$$KC = (\overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \overline{D}) \cdot \overline{E} \cdot \overline{F} \cdot \overline{G}$$

Полная принципиальная схема управления АД приведена на рис. 5.4.

### ***Описание работы схемы в ручном режиме***

Ключ управления SAC переводится в положение - "Руч.". Пуск и останов двигателя осуществляется кнопками  $SB1$  и  $SB2$ . При нажатии на кнопку  $SB2$  получает питание катушка пускателя  $KM$  и под действием электромагнитной силы якорь притягивается к сердечнику. При этом механически связанные с

якорем подвижные контакты *КМ* замыкаются с неподвижными контактами. В силовой цепи замыкаются главные контакты и напряжение сети поступает на зажимы электродвигателя, ротор которого под действием электромагнитного поля начинает вращаться. В цепи управления замыкаются вспомогательные контакты пускателя *КМ* и электрически закорачивают (блокируют) кнопку *SB2*, которую можно отпустить, т.к. питание катушки *КМ* будет осуществляться через них.

Останов электродвигателя осуществляется либо нажатием кнопки *SBI*, либо при размыкании контактов теплового реле *КК*, либо при размыкании цепи ключа управления *SAC* (перевод в положении "0"). При этом катушка пускателя *КМ* "теряет питание", якорь под действием отключающих и контактных пружин "отпадает от сердечника", разрываются главные контакты в силовой цепи, двигатель останавливается под действием тормозного момента нагрузки. В цепи управления размыкаются вспомогательные контакты пускателя *КМ*, кнопка *SB2* разблокируется и запуск электродвигателя возможен только при повторном нажатии кнопки *SB2* (исключается самозапуск двигателя при исчезновении напряжения в сети).

### **Описание работы схемы в автоматическом режиме**

Ключ управления *SAC* переводится в положение - "Авт.". Пуск и останов двигателя осуществляется контактами реле управления *КС*, включенными в цепь катушки пускателя *КМ*. Катушка реле *КС* получает питание также только в положении ключа управления *SAC* "Авт." в зависимости от состояния контактов *A, B, C, D, E, F, G*.

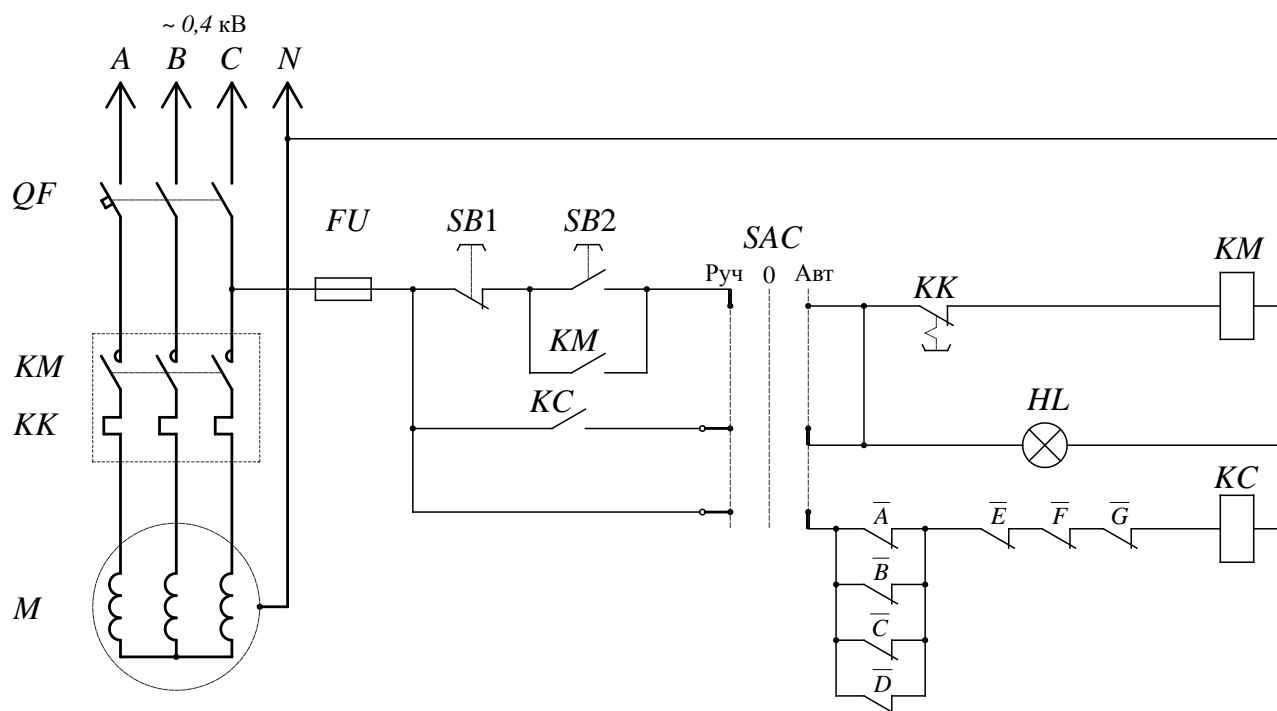
Пуск двигателя может быть осуществлен при включенном реле *КС*, когда его контакты замкнуты. Это возможно только при замкнутых контактах *E, F, G* и любого из *A – D* (или всех одновременно). Во всех других вариантах контакты *КС* разомкнуты (реле отключено).

Таблица 5.10

**Таблица истинности для схемы, изображенной на рис. 5.4 (фрагмент)**

№	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>КС</i>	Примечание
1	1	*	*	*	1	1	1	1	Пуск
2	*	*	*	*	0	*	*	0	Останов
3	0	0	0	0	*	*	*	0	Останов

Останов двигателя произойдет либо при размыкании любого из контактов *E, F, G* или всех *A, B, C, D* одновременно, при этом состояние контактов *E, F, G* безразлично, либо при размыкании цепи ключа управления *SAC* (перевод в положении "0").



**Рис. 5.4. Принципиальная схема подключения электродвигателя к силовой цепи и схема его управления и защиты**

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

Выбрать аппараты защиты для АД заданной мощности аналогично как для второй группы АД п.1 задания. Время-токовые (защитные) характеристики аппаратов защиты следует изучить по приложениям П 2, П 3, П 6, П 7, П 9. Построить их на специальном бланке, который получил название «Карта селективности» (см. рис. 5.3). Ось абсцисс в паспортных защитных характеристиках градуированы в кратностях к номинальному току расцепителя ( $K = I/I_{НР}$ ) - для АВ, к номинальному току плавкой вставки ( $K = I/I_B$ ) - для предохранителя, к номинальному току нагревательного элемента ( $K = I/I_{НТР}$ ) - для электротеплового реле. Чтобы перенести эти характеристики на карту селективности, следует переградуировать ось абсцисс из относительных единиц в именованные единицы электрического тока (Амперы) по формулам:

$$I = K \cdot I_{НР}, \quad I = K \cdot I_B, \quad I = K \cdot I_{НТР} \quad (5.4)$$

Характеристики подписать по образцу: Тип АВ; величина номинального тока расцепителя; Тип теплового реле, диапазон регулирования номинального тока реле; Тип предохранителя, номинальный ток плавкой вставки.

Пунктирной линией восстановить перпендикуляры: а) из значения номинального тока АД ( $I_{н.д.}$ ) до верхней границы карты, б) из значения пускового тока АД ( $I_{п.д.}$ ) до пунктирной горизонтали идущей от оси ординат из значения  $1с$ , в) из значения номинального тока теплового расцепителя автоматического выключателя ( $I_{НР}$ ) до верхней границы карты, г) из значения тока уставки срабатывания электромагнитного расцепителя автоматического выключателя ( $I_{с0}$ ) до вертикали срабатывания расцепителя, д) из значения тока плавкой

вставки предохранителя ( $I_B$ ), до верхней границы карты. Обозначения указанных токов подписать на оси абсцисс под пунктирными линиями, численные значения – разместить на свободном поле карты в порядке возрастания величин ( $I_{нд}$ ,  $I_{нр}$ ,  $I_B$ ,  $I_{п}$ ,  $I_{со}$ ).

Для оценки селективности действия защит необходимо восстановить два перпендикуляра от оси тока: один в зоне действия теплового расцепителя АВ, другой – в зоне действия электромагнитного расцепителя. Далее необходимо проверить, чтобы в зоне защиты от перегрузки АД раньше срабатывало тепловое реле и посредством контактора отключало АД от сети. При коротких замыканиях в сети отключение должны производить только АВ или предохранитель.

#### **Методические указания к выполнению п. 4 задания**

Для всех вариантов задается выключатель серии ВА 55-41 на номинальный ток ( $I_{нв}$ ) 1000 А. Необходимо построить возможную область расположения защитных (время-токовых) характеристик на бланке карты селективности (см. рис. 5.3) на основе двух граничных защитных характеристик выключателя. Нижняя граница области защитных характеристик строится путем построения конкретной защитной характеристики выключателя путем задания минимальных величин уставок тока и времени, а верхняя граница – путем задания их максимальных величин.

За основу построения берется номинальный ток выключателя ( $I_{нв}$ ), который одновременно является и базовым током полупроводникового расцепителя. Характеристика строится на основе паспортной защитной характеристики (см. рис. 5.5) по шести опорным точкам.

*Первая точка* – пересечение вертикали, соответствующей току срабатывания выключателя в зоне перегрузки ( $I_{сп}$ ) и горизонтали, соответствующей времени срабатывания при данном токе (согласно защитной характеристике - 100 ÷ 400с, в зависимости от выбранной уставки времени срабатывания защиты при шестикратном токе перегрузки):

$$I_{сп} = 1,25 \cdot I_{нр} = 1,25 \cdot K_{нр} \cdot I_{нв}, A,$$

где  $I_{нр}$  - номинальный ток максимального расцепителя тока (МРТ), А;

$K_{нр}$  - заданное калиброванное значение кратности номинального тока расцепителя (0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1). Для левой граничной характеристики берется  $K_{нр}=0,4$ ; для правой граничной характеристики -  $K_{нр}=1,1$ .

*Вторая точка* - пересечение вертикали, соответствующей шестикратному току уставки ( $I_6$ ) и горизонтали, соответствующей заданному калиброванному значению времени срабатывания при данном токе ( $t_6 = 4; 8; 12; 16$  с):

$$I_6 = 6 \cdot I_{нр} = 6 \cdot K_{нр} \cdot I_{нв}, A.$$

Для левой граничной характеристики следует использовать:  $t_6 = 4$  с,  $I_6=6 \cdot 0,4 \cdot I_{нв}$ , для правой граничной характеристики -  $t_6 = 16$  с,  $I_6=6 \cdot 1,1 \cdot I_{нв}$ .

*Третья точка* - пересечение вертикали, соответствующей току срабатывания защиты в зоне отсечки и прямой, соединяющей первую и вторую точку. Если  $I_{CO} < I_6$ , то третья точка оказывается между точками 1 и 2:

$$I_{CO} = I_{HP} \cdot K_{CO} = K_{HP} \cdot K_{CO} \cdot I_{HB}, A,$$

где  $K_{CO}$  - заданное калиброванное значение кратности тока срабатывания защиты в зоне отсечки (2; 3; 5; 7; 10). Для левой граничной характеристики берется  $I_{CO}=2 \cdot 0,4 \cdot I_{HB}$ , для правой граничной характеристики -  $I_{CO}=7 \cdot 1,1 \cdot I_{HB}$ .

*Четвертая точка* - пересечение вертикали, соответствующей  $I_{CO}$  и горизонтали, соответствующей заданному калиброванному значению времени срабатывания защиты в зоне отсечки ( $t_{CO} = \text{мгн.}; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4$ ). Для левой граничной характеристики берется  $t_{CO} = \text{мгн.}$  (0,02-0,04 с), для правой граничной характеристики -  $t_{CO} = 0,4$  с (для ВА55-41).

*Пятая точка* - пересечение горизонтали, соответствующей  $t_{CO}$  и вертикали, соответствующей току срабатывания третьей ступени защиты  $I_{C.MГH}$  (мгновенного срабатывания).  $I_{C.MГH} = 20 \pm 2,0 \text{ кА}$  для всех характеристик ВА 55.

*Шестая точка* - пересечение вертикали, соответствующей току мгновенного срабатывания  $I_{C.MГH}$  и горизонтали, соответствующей собственному времени отключения выключателя. Для ВА 55-41 - 0,02 с.

*Седьмая точка.* Выключатели могут комплектоваться защитой от однофазных токов К.З. (МРТ1), срабатывающей при токе однофазного К.З.  $I_{C31}$  не менее  $0,4 I_{HP}$  и не более  $1,0 I_{HP}$ , с установленной выдержкой как и в точке 4. Характеристика защиты от однофазных К.З. является ограниченно зависимой от тока и строится согласно паспортной характеристике, приведенной на рис. П 8.2.

Построенная характеристика подписывается следующим образом:

$$\text{ВАХХ} - \text{ХХ}, \frac{I_{HB}}{I_{HP}} \frac{I_{СП}, I_6 / t_6}{I_{C31}, I_{CO} / t_{CO}}.$$

Следует подписать три характеристики: две граничных и характеристику с заданными по варианту уставками тока и времени.

*Пример 1.* Построить защитную характеристику выключателя ВА 55-41, заданы следующие уставки тока и времени:  $I_{HB} = 1000 \text{ А}$ ,  $I_{C.MГH} = 20 \text{ кА}$ ,

$$\frac{I_{HP}}{I_{HB}} = 1, \quad \frac{I_{СП}}{I_{HP}} = 1,25, \quad t_6 = 8 \text{ с}, \quad \frac{I_{CO}}{I_{HP}} = 3, \quad t_{CO} = 0,2 \text{ с}, \quad \frac{I_{C31}}{I_{HP}} = 0,6, \quad t_{C31} = 0,1 \text{ с}.$$

### **Порядок построения:**

1. Подготовим координатные оси.
2. Выполним предварительный расчет.
  - а) номинальный ток расцепителя:  $I_{HP} = K_{HP} \cdot I_{HB} = 1 \cdot 1000 = 1000 \text{ А}$ ,
  - б) ток срабатывания при перегрузке:  $I_{СП} = 1,25 \cdot 1000 = 1250 \text{ А}$ ,
  - в) ток срабатывания отсечки:  $I_{CO} = 3 \cdot 1000 = 3000 \text{ А}$ ,
  - г) шестикратный ток:  $I_6 = 6 \cdot 1000 = 6000 \text{ А}$ ,
  - д) ток срабатывания защиты при однофазном КЗ:  $I_{C31} = 0,6 \cdot 1000 = 600 \text{ А}$ .

Таблица для выполнения построения

Ток, А		Время, с		Точки
Обозначение	Значение	Обозначение	Значение	
$I_{СП}$	1250	$t_{СП}$	200	1
$I_6$	6000	$t_6$	8	2
$I_{CO}$	3000	$t_{CO}$	0,2	3, 4, 5
$I_{С.МГН}$	20 кА	$t_{МГН}$	0,02-0,04	6
$I_{СЗ1}$	600	$t_{СЗ1}$	0,1	7

## 3. Построение.

Точка 1 образована пересечением прямых: тока срабатывания при перегрузке (1250 А) и времени срабатывания при перегрузке (200 с), определяется в соответствии с паспортной защитной характеристикой.

Точка 2 образована пересечением прямых: шестикратного тока (6000 А) и времени срабатывания при этом токе (8 с). Далее проводится тонкая пунктирная прямая между точками 1 и 2.

Точка 4 образована пересечением прямых: тока срабатывания отсечки (3000 А) и времени срабатывания отсечки (0,2 с).

Точка 6 образована пересечением прямых: тока мгновенного срабатывания (20кА) и собственного полного времени отключения данного выключателя (0,02).

Точки 3 и 5 образуются в результате пересечения прямых, полученных при построении точек 1, 2, 4 и 4, 6 соответственно.

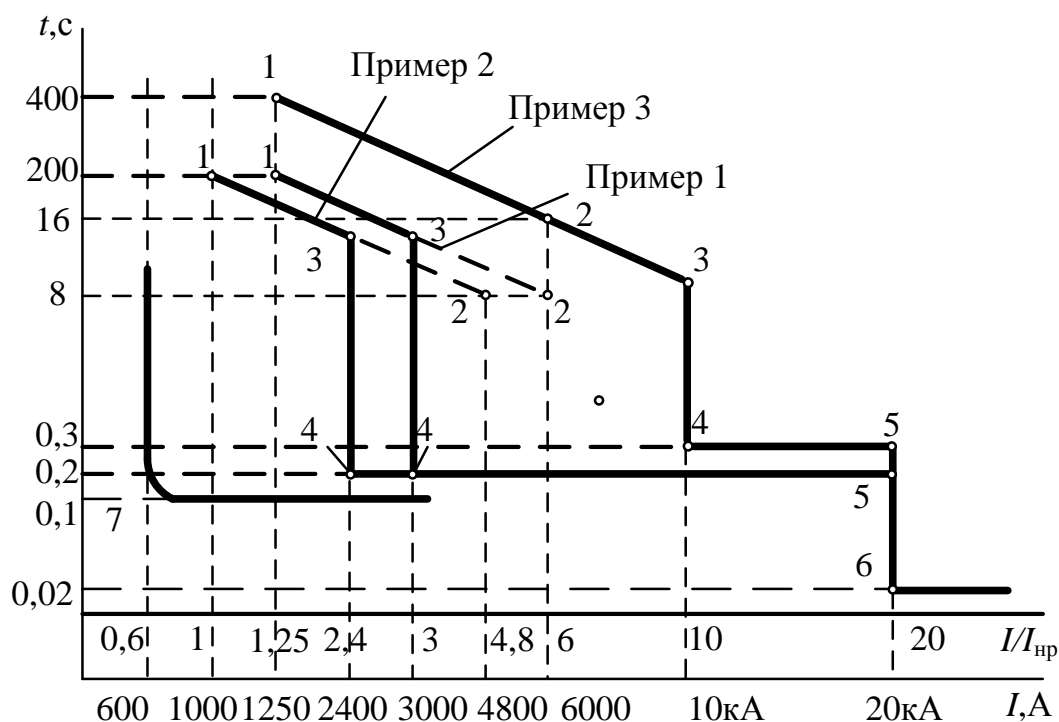


Рис. 5.5. Примеры построения времятоковых характеристик выключателя

*Примечание.* Если кратность  $\frac{I_{\text{НР}}}{I_{\text{НВ}}} = 1$ , то построенная кривая является точным отображением паспортной защитной характеристики, построенной в осях кратности тока.

*Пример 2.*

Изменим кратность  $\frac{I_{\text{НР}}}{I_{\text{НВ}}} = 0,8$ , остальные данные из примера 1:

- а) номинальный ток расцепителя:  $I_{\text{НР}} = K_{\text{НР}} \cdot I_{\text{НВ}} = 0,8 \cdot 1000 = 800 \text{ А}$ ,
- б) ток срабатывания при перегрузке:  $I_{\text{СП}} = 1,25 \cdot 800 = 1000 \text{ А}$ ,
- в) ток срабатывания отсечки:  $I_{\text{СО}} = 3 \cdot 800 = 2400 \text{ А}$ ,
- г) шестикратный ток :  $I_6 = 6 \cdot 800 = 4800 \text{ А}$ ,
- д) ток срабатывания защиты при однофазном КЗ:  $I_{\text{СЗ1}} = 0,6 \cdot 800 = 480 \text{ А}$ .

Таблица 5.12

**Таблица для выполнения построения**

Ток, А		Время, с		Точки
Обозначение	Значение	Обозначение	Значение	
$I_{\text{СП}}$	1000	$t_{\text{СП}}$	200	1
$I_6$	4800	$t_6$	8	2
$I_{\text{СО}}$	2400	$t_{\text{СО}}$	0,2	3, 4, 5
$I_{\text{С.МГН}}$	20 кА	$t_{\text{МГН}}$	0,02-0,04	6
$I_{\text{СЗ1}}$	480	$t_{\text{СЗ1}}$	0,1	7

Кривая в области перегрузок сдвинулась влево.

*Пример 3.* Изменим следующие уставки, остальные данные из примера 1:

$$\frac{I_{\text{СО}}}{I_{\text{НР}}} = 10, \quad t_{\text{СО}} = 0,3 \text{ с}; \quad t_6 = 16 \text{ с}, \quad \frac{I_{\text{СЗ1}}}{I_{\text{НР1}}} = 1;$$

Таблица 5.13

**Таблица для выполнения построения**

Ток, А		Время, с		Точки
Обозначение	Значение	Обозначение	Значение	
$I_{\text{СП}}$	1250	$t_{\text{СП}}$	400	1
$I_6$	6000	$t_6$	16	2
$I_{\text{СО}}$	10000	$t_{\text{СО}}$	0,3	3,4,5
$I_{\text{С.МГН}}$	20 кА	$t_{\text{МГН}}$	0,02-0,04	6
$I_{\text{СЗ1}}$	600	$t_{\text{СЗ1}}$	0,1	7

Точка 3 образована продолжением кривой перегрузки (1-2) и вертикали, соответствующей заданному десятикратному току.

### **Методические указания к выполнению п. 5 задания**

Кратко в письменной форме ответить на поставленные вопросы из



программы курса (см. п. 2.2).

### 5.3. Описание лабораторных работ

По курсу предусмотрено восемь лабораторных работ, по которым имеются отдельные методические указания в виде брошюр и (или) электронных файлов. Далее приводится перечень лабораторных работ.

#### **Работа 1. Анализ режимов работы электроприемников**

##### 1. Цели работы:

- а) закрепить знания, полученные при изучении курса "Электрические аппараты", по теме "Режимы работы электроприемников и электрической сети";
- б) изучить системы электрических сетей типа  $TN$ ;
- в) изучить схемы замещения электроприемников;
- г) получить навыки в расчете токов при нормальных режимах работы электрической сети для последующего выбора защитных электрических аппаратов;
- д) получить навыки в расчете токов при аварийных режимах работы электрической сети для последующей оценки действия защитных электрических аппаратов.

##### 2. Указания к составлению отчета

Отчет должен содержать:

- а) титульный лист с индивидуальными данными исполнителя;
- б) рассчитанные сопротивление и ток ЭП, а также потери в подводящей сети при различных схемах присоединения нагрузки к цеховой сети, полученные по заданной мощности нагрузки ( $P, \cos \phi$ );
- в) рассчитанные ток, мощность нагрузки и потери в подводящей сети при различных схемах соединения заданного сопротивления  $Z e^{j\varphi}$ . Для одной из схем построить треугольник падения напряжения мощности, полного сопротивления;
- г) выполненную компенсацию реактивной мощности. Определить мощность компенсирующих устройств, рассчитать их сопротивление и емкость. Произвести расчеты, аналогичные заданию пункта в). Для всех режимов построить векторные диаграммы токов и напряжений;
- д) рассчитанные токи в аварийных режимах. Для всех режимов построить векторные диаграммы токов и напряжений.

Исходные и расчетные данные следует занести в таблицу установленного образца.

**Работа 2. Изучение условных графических и буквенно-цифровых обозначений (УГО и БЦО) электрических аппаратов в электрических схемах, схемы лабораторного стенда для испытания электрических аппаратов, схемы подключения асинхронного электродвигателя к цеховой сети**

**1. Цели работы:**

- а) изучение условных графических и буквенно-цифровых обозначений (УГО и БЦО) электрических аппаратов в электрических схемах;
- б) изучение лабораторного стенда по испытанию электрических аппаратов;
- в) ознакомление с оборудованием стенда;
- г) изучение схемы управления асинхронного двигателя и порядка ее работы.

**2. Указания к составлению отчета**

Отчет должен содержать:

- а) титульный лист с индивидуальными данными исполнителя;
- б) УГО и БЦО электрических аппаратов, согласно заданному варианту;
- в) схему лабораторного стенда для испытания электрических аппаратов и назначение каждой электрической цепи;
- г) схему подключения асинхронного электродвигателя к цеховой сети совместно с принципиальной схемой управления двигателем.
- д) оформленные результаты лабораторных исследований.

**Работа 3. Изучение контакторов и магнитных пускателей**

**1. Цели работы:**

- а) изучение конструкции и принципа действия магнитных пускателей;
- б) изучение технических характеристик контакторов;
- в) изучение защитных характеристик магнитных пускателей;
- г) изучение схемы включения магнитных пускателей.

**2. Указания к составлению отчета**

Отчет должен содержать:

- а) титульный лист с индивидуальными данными исполнителя;
- б) технические характеристики (ток, напряжение, мощность) для электрической цепи:
  - главных контактов;
  - катушки управления;
  - вспомогательных контактов
- в) техническое описание контактора;
- г) принципиальную электрическую схему контактора;
- д) характеристики электрической цепи катушки управления в режиме срабатывания и в режиме удержания якоря (полное сопротивление,

- ток, активное сопротивление, индуктивное сопротивление, коэффициент мощности, угол сдвига фаз между током и напряжением, тангенс угла сдвига фаз между током и напряжением);
- е) осциллограмму тока в электрической цепи катушки управления, построенную по заданному времени срабатывания электромагнитного механизма (ЭММ) контактора;
  - ж) характеристики контактора как релейного элемента: коэффициент возврата ЭММ, коэффициент усиления контактора, коэффициент запаса, коэффициент защиты минимального напряжения.
  - з) оформленные результаты лабораторных исследований.

#### ***Работа 4. Изучение тепловых реле и трансформаторов тока***

##### ***1. Цели работы:***

- а) изучение конструкции и принципа действия тепловых реле;
- б) изучение технических характеристик тепловых реле;
- в) изучение защитных характеристик тепловых реле;
- г) изучение способности согласования защитных характеристик тепловых реле и защищаемого объекта, выбор тепловых реле.;
- д) изучение схем включения тепловых реле.

##### ***2. Указания к составлению отчета***

Отчет должен содержать:

- а) титульный лист с индивидуальными данными исполнителя;
- б) УГО и БЦО автоматического выключателя, предохранителя, контактора, электротеплового реле, трансформатора тока, кнопки управления;
- в) назначение электротеплового реле РТИ и трансформаторов тока ТТИ, принцип работы, технические характеристики, особенности конструкции, пределы допускаемых погрешностей вторичных обмоток для измерений и учета (только для ТТИ);
- г) электротепловое реле, которое можно применять совместно с контактором, использовавшимся в работе 3 и их технические характеристики;
- д) электротепловые реле, предназначенные для защиты заданного электродвигателя, включаемые непосредственно в силовую цепь (вариант *а*), а также посредством трансформаторов тока (вариант *б*);
- е) схему пуска асинхронного электродвигателя с подключением электротеплового реле посредством трансформатора тока;
- ж) защитные характеристики теплового реле на бланке карты селективности.
- з) оформленные результаты лабораторных исследований.

### ***Работа 5. Изучение автоматических выключателей с тепловым и электромагнитным расцепителем***

#### ***1. Цели работы:***

- а) изучение назначения, принципа действия, конструктивных исполнений, время-токовых защитных характеристик автоматических выключателей с комбинированным (тепловым и электромагнитным) расцепителем;
- б) изучение способов построения время-токовых характеристик АВ по их паспортным данным.

#### ***2. Указания к составлению отчета***

Отчет должен содержать:

- а) титульный лист с индивидуальными данными исполнителя;
- б) технические характеристики, техническое описание, электрические схемы исследуемых автоматических выключателей;
- в) защиту от перегрузки (резервная защита) и коротких замыканий трехфазных асинхронных электродвигателей, выполненную при помощи автоматических выключателей типа ВА47-29 (вариант а), ВА47-100 или ВА88 (вариант б);
- г) защитные характеристики выбранных автоматических выключателей, построенные время-токовые характеристики типа D;
- д) карту селективности с нанесенными на нее защитными характеристиками тепловых реле для защиты от перегрузки электродвигателя (выбранных по индивидуальному заданию в лабораторной работе 4), защитные характеристики автоматических выключателей построенные в п.г;
- е) проверку очередности срабатывания защит в области перегрузок и в области коротких замыканий для теплового реле и автоматического выключателя.
- ж) оформленные результаты лабораторных исследований.

### ***Работа 6. Изучение автоматических выключателей с микропроцессорным (полупроводниковым) расцепителем***

#### ***1. Цели работы:***

- а) изучение автоматических выключателей типа ВА50 с полупроводниковым максимальным расцепителем тока (МРТ);
- б) изучение назначения, принципа действия, конструктивных исполнений, время-токовых защитных характеристик автоматических выключателей с полупроводниковым расцепителем;
- в) изучение способов построения время-токовых характеристик АВ по их паспортным данным.

2. *Указания к составлению отчета.*

Отчет должен содержать:

- а) титульный лист с индивидуальными данными исполнителя;
- б) область возможных время-токовых (защитных) характеристик автоматического выключателя типа ВА55-41 для номинального тока выключателя  $I_{\text{нв}} = 1000\text{А}$  на бланке карты селективности;
- в) построить защитную характеристику выключателя типа ВА55-41 по заданным уставкам тока и времени МРТ;
- г) оформленные результаты лабораторных исследований.

***Работа 7. Изучение реле времени***

1. *Цели работы:*

- а) изучение принципа действия, назначения и конструкции реле времени, использующих различные способы замедления;
- б) изучение технических характеристик реле времени.

2. *Указания к составлению отчета*

Отчет должен содержать:

- а) титульный лист с индивидуальными данными исполнителя;
- б) принципиальную схему подключения асинхронного двигателя к электрической силовой сети со всеми видами аппаратов защиты и управления
- в) схему управления асинхронным двигателем:
  - в ручном режиме от кнопок управления «Пуск», «Стоп»;
  - в автоматическом режиме от реле времени КТ и от реле управления КС (использовать замыкающие контакты).
- г) таблицы истинности с указанием в них режима пуска и останова;
- д) выбранные электрические аппараты для заданной схемы;
  - для защиты от токов короткого замыкания - автоматический выключатель;
  - для управления асинхронным двигателем - силовой контактор типа КМИ, записать его технические характеристики;
  - для защиты двигателя от перегрузки - тепловые реле типа РТИ, записать их технические характеристики;
  - кнопки управления «Пуск», «Стоп»;
  - реле времени, при этом использовать контактор типа КМИ с приставкой ПВИ, записать их технические характеристики;
  - реле управления, при этом использовать промежуточное реле типа РЭК77, РЭК78, записать его технические характеристики.

## ***Работа 8. Изучение устройств защитного отключения***

### ***1. Цели работы:***

- а) изучение конструкции и принципа действия устройств защитного отключения;
- б) изучение видов и типов устройств защитного отключения;
- в) изучение технических параметров устройств защитного отключения;
- г) изучение маркировки и условного графического обозначения устройств защитного отключения в электрических схемах;
- д) изучение особенностей применения устройств защитного отключения при различных системах заземления нейтрали источников и корпусов электроприемников.

### ***2. Указания к составлению отчета***

Отчет должен содержать:

- а) титульный лист с индивидуальными данными исполнителя;
- б) принципиальную схему подключения однофазной и трехфазной электрической нагрузки посредством дифференциальных выключателей и дифференциальных автоматических выключателей в однолинейном и многолинейном исполнении;
- в) условное обозначение (в соответствии с общепринятой структурой) и технические характеристики заданных дифференциальных выключателей и дифференциальных автоматических выключателей в соответствии с индивидуальным вариантом для двухполюсного и четырехполюсного исполнения;
- г) паспортные защитные характеристики выбранных дифференциальных выключателей и дифференциальных автоматических выключателей;
- д) выбранный дифференциальный автоматический выключатель для защиты электроустановки от токов перегрузки и короткого замыкания и защиты обслуживающего персонала от поражений электрическим током;
- е) построенную на бланке карты селективности время-токовую характеристику для выбранного дифференциального автомата. Характеристику подписать в соответствии с принятой структурой условного обозначения;
- ж) оформленные результаты лабораторных испытаний.

## ГЛОССАРИЙ

**Аппарат** – (от лат. *apparatus*) техническое устройство, прибор, приспособление.

**Аппарат электрический (электрический аппарат, ЭА)** – электротехническое устройство, предназначенное для различных целей: включение и отключение электрических цепей, контроль их состояния, управление, измерение и защита электрических и неэлектрических объектов.

**Автоматический выключатель** (автоматический воздушный выключатель, "автомат") (**АВ**) – электрический аппарат, предназначенный для проведения тока в нормальном режиме и отключения электрической цепи при перегрузках, коротких замыканиях (у некоторых - при недопустимых снижениях напряжения питания), а также для редких (от 3 до 30 в час) оперативных включений и отключений номинальных токов нагрузки.

**Бесконтактный коммутационный аппарат** – устройство для включения, отключения или переключения тока в электрической цепи не механическим замыканием (размыканием) контактов, а скачкообразным изменением сопротивления управляемого элемента (полупроводникового прибора, магнитного усилителя и т.п.), включенного в цепь последовательно с нагрузкой.

**Биметаллический расцепитель (тепловой расцепитель)** – расцепитель инерционного типа, предназначенный для защитного отключения электрической цепи при перегрузке. Используется в защитных аппаратах и включается в защищаемую цепь последовательно. Выполнен в виде биметаллической пластины, на которую намотана спираль. При увеличении тока нагрузки сверх номинального значения спираль нагревает биметаллическую пластину, которая при определенной температуре изгибается, воздействуя на фиксатор, освобождающий механизм автомата защиты, и этот автомат отключает электрическую цепь.

**Варистор** – (англ. *vari(able) (resi)stor* — переменный резистор) — полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление которого нелинейно зависит от приложенного напряжения, т. е. обладающий нелинейной симметричной вольт-амперной характеристикой и имеющий два вывода.

**Вводно-распределительное устройство (ВРУ)** – совокупность конструкций, аппаратов и приборов, предназначенных для приема, распределения и учета электрической энергии, размещенных в шкафу, устанавливаемом на вводе питающей линии в здание или в его обособленную часть.

**Включающая (отключающая) катушка** – катушка контактного электрического аппарата, предназначенная для создания магнитного поля, обеспечивающего срабатывание привода этого аппарата.



**Вольт-амперная характеристика** – зависимость электрического напряжения от силы тока в электрической цепи или ее отдельном элементе (резисторе, дуге и др.).

**Выключатель** – коммутационный электрический аппарат, имеющий два коммутационных положения или состояния и предназначенный для включения и отключения тока.

**Габарит** – предельные внешние очертания предметов, сооружений, устройств.

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

**Диаграмма переключений** – последовательность включения и отключения нескольких электрических цепей, реализуемая коммутационным аппаратом.

**Дугогасительный контакт** – контакт электрической цепи, разрывающий электрическую дугу для защиты от повреждения ею других, параллельно включенных контактов-деталей.

**Защитное отключение** – быстродействующая защита, выполняющая автоматическое отключение всех фаз сети электроустановки, обеспечивающее безопасные для человека сочетания тока и времени его прохождения при замыканиях на корпус или снижение изоляции ниже определенного значения.

**Изолированная нейтраль** - нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление приборов сигнализации, измерения, защиты и других аналогичных им устройств.

**Изоляция электрическая** – способ предотвращения образования электрического контакта между частями электротехнического устройства, а также диэлектрические материалы и изделия из них цепи, применяемые для этой цели.

**Источник электрической энергии** - *электротехническое устройство*, преобразующее различные виды энергии в электрическую энергию.

**Кабель электрический** – одна или более изолированных жил (проводников), заключенных, как правило, в металлическую или неметаллическую оболочку, поверх которой в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может иметься соответствующий защитный покров, содержащий в отдельных случаях и броню.

**Класс нагревостойкости изоляции** – группа электроизоляционных материалов, обладающих одинаковой термической стойкостью. Классы нагревостойкости изоляции обозначают прописными буквами латинского алфавита, причем каждому классу соответствует предельная допустимая

температура (градус Цельсия):  $Y - 90$ ,  $A - 105$ ,  $E - 120$ ,  $B - 130$ ,  $A - 155$ ,  $H - 180$ .

**Класс напряжения электрооборудования** – уровень напряжения электрической системы, для работы в которой предназначено данное электрооборудование.

**Кнопка управления** – электрический аппарат с одним или несколькими группами контактов для замыкания и размыкания цепей управления; монтируется на щитах или пультах управления.

**Коммутация** – (от лат. *commutatio*) процесс переключения электрических цепей, который, как правило, сопровождается переходными процессами, возникающими вследствие перераспределения токов и напряжений.

**Комплектное электротехническое устройство** – электротехническое устройство заводского изготовления. Представляет собой совокупность электрических аппаратов, приборов и другого электрооборудования, которое смонтировано на единой конструктивной основе и предназначено для выполнения одной или нескольких из следующих функций: управления, распределения, трансформации, защиты, измерения, сигнализации.

**Контакт электрический** – поверхность соприкосновения составных частей электрической цепи, обладающая электрической проводимостью.

**Контактное соединение** – контактный узел электрической цепи, предназначенный только для проведения электрического тока и непредназначенный для коммутации электрической цепи

**Контактор** – электрический аппарат, предназначенный для проведения электрического тока и дистанционной коммутации силовых электрических цепей низкого (до 1000В) напряжения.

**Контроллер** – многопозиционный электрический аппарат, предназначенный для коммутации силовых цепей электрооборудования.

**Короткое замыкание** – преднамеренное или случайное соединение двух точек электрической цепи через пренебрежимо малое сопротивление.

**Материал проводниковый** – материал, обладающий свойствами проводника и предназначенный для изготовления проводов, кабельных изделий и токоведущих деталей.

**Материал проводниковый биметаллический** - многослойный проводниковый материал, состоящий из двух слоев металлов, поверхности которых находятся в состоянии молекулярно-атомного сцепления.

**Материал проводниковый высокого сопротивления** – проводниковый материал с удельным электрическим сопротивлением при нормальных условиях не менее 0,3 мкОм·м.

**Материал проводниковый высокой проводимости** - проводниковый

материал с удельным электрическим сопротивлением при нормальных условиях не более 0,1 мкОм·м.

**Нагрузка электрическая** – любой приемник (потребитель) электрической энергии в электрической цепи.

**Нейтраль** - общая точка соединенных в звезду обмоток (элементов) электрооборудования.

**Отказ** – нарушение работоспособности изделия.

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

**Перегрузка** – нагрузка (или вырабатываемая электрическая мощность), превосходящая номинальную мощность электроустановки или одного из ее элементов.

**Перенапряжение** – ненормальное напряжение между двумя точками электроустановки, превосходящее самое высокое рабочее напряжение.

**Приемник электрической энергии** (электроприемник) - аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

**Резистор** – (от лат. *resisto* – сопротивляюсь) электротехническое изделие, основное функциональное назначение которого оказывать известное активное сопротивление электрическому току.

**Реле электрическое** – (от фр. *relayer* - сменить, заменить) устройство для автоматической коммутации электрических цепей по сигналу извне, аппарат для скачкообразных изменений значений параметров в выходных цепях при заданных значениях возмущающих величин.

**Реле электромагнитное** – электромеханическое реле, работа которого основана на воздействии магнитного поля неподвижной обмотки на подвижный ферромагнитный элемент.

**Силовая электрическая цепь** - электрическая цепь, содержащая элементы, функциональное назначение которых состоит в производстве или передаче основной части электрической энергии, ее распределении, преобразовании в другой вид энергии или в электрическую энергию с другими значениями параметров.

**Схема принципиальная (полная)** – схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципе действия изделия, установки.

**Схема электрической цепи** – графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения элементов, и показывающее их соединение.

**Ток утечки** – электрический ток, протекающий по изоляции сети.

**Фаза** – (в электротехнике) одна из электрических цепей, входящая в состав многофазной цепи, характеризующаяся сдвинутой по времени ЭДС (напряжением) по отношению к другим цепям (фазам).

**Щит** – низковольтное защищенное комплектное устройство, состоящее из нескольких шкафов.

**Электрическая цепь** – совокупность устройств, предназначенных для прохождения электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об ЭДС, силе тока и напряжении.

**Электрическое соединение** – соединение участков электрической цепи в узел.

**Электродвижущая сила (ЭДС)** – разность потенциалов на концах проводника, возникающая вследствие его перемещения в магнитном поле (например, в генераторах) или нахождения в переменном магнитном поле (например, в трансформаторах).

**Электротехническое устройство (ЭУ)** – промышленное изделие, предназначенное для выполнения определенной функции при решении комплексной задачи производства, распределения и использования электрической энергии.

**Электрооборудование** - совокупность электрических устройств, объединенных общими признаками. Признаками объединения в зависимости от задач могут быть: назначения, например, технологическое; условия применения, например, в тропиках; принадлежность объекту, например, станку, цеху.

**Электроустановка** – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другие виды энергии.

**Энергоустановка** - Комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для производства или преобразования, передачи, накопления, распределения или потребления энергии [ГОСТ 19431, статья 24].

**Электроустановка** - Энергоустановка, предназначенная для производства или преобразования, передачи, распределения или потребления электрической энергии [ГОСТ 19431, статья 25].

**Ящик электротехнический** – защищенное низковольтное *электротехническое устройство*, предназначенное для соединения или разветвления проводов, кабелей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Чунихин, А.А.** Электрические аппараты / А.А. Чунихин. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
2. **Беляев, А.В.** Выбор аппаратуры, защиты и кабелей в сетях 0,4 кВ / А.В. Беляев. – Л.: Энергоатом. издат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 176 с.
3. **Штейнике, Г.А.** Электрические аппараты автоматических устройств: учебное пособие / Г.А. Штейнике. – ГПИ им. А.А. Жданова. Горький. Ч.1 – 1967; Ч.2 – 1975. – 165 с.
4. **Родштейн, Л.А.** Электрические аппараты: учебник для техникумов / Л.А. Родштейн. – 4-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 420 с.
5. **Могилевский, Г.В.** Гибридные электрические аппараты низкого напряжения / Г.В. Могилевский. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 232 с.
6. Основы теории электрических аппаратов: учеб. для вузов по спец. «Электрические аппараты» / под ред. И.С. Таева. – М.: Высш. шк., 1987. – 352 с.

### *Интернет сайты ведущих производителей электрооборудования и электротехнических фирм, осуществляющих комплексные поставки*

1. ЗАО “Контактор”, г.Ульяновск, <http://www.kontaktor.ru>
2. ОАО “Сигнал”, г.Ставрополь, <http://www.signalrp.ru>
3. ОАО “Чебоксарский электроаппаратный завод” (ОАО “ЧЭАЗ”), г.Чебоксары (ЧЭАЗ&BENEDIKT), <http://www.cheaz.ru>
4. ОАО “Электроаппарат”, г.Курск, <http://www.kear.ru>
5. ОАО Кашинский завод электроаппаратуры, <http://www.kzepusk.chat.ru>
6. Представительство Шнейдер электрик, <http://www.schneider-electric.ru>,  
быстрый доступ <http://www.se.com.ru>
7. Представительство SIEMENS, <http://www.siemens.ru/ad/cd>,  
<http://www.salonrofi.nnov.ru>
8. Представительство АБВ, <http://www.abb.ru/ibs>, <http://www.ntknn.ru>
9. Представительство Моэллер, <http://www.moeller.ru>
10. Представительство Легран, <http://www.legrand.ru>
11. Электрощитовое оборудование <http://www.uzola.ru> и <http://konti.nnov.ru>
12. Компания ЭТМ, <http://www.etm.ru>
13. Корпорация ДЭК, <http://www.dek.ru>
14. Интерэлектрокомплект, <http://www.iek.ru>
15. ПО Элтехника, <http://www.elteh.ru>
16. Журнал “Новости электротехники”, <http://www.news.elteh.ru>
17. Группа компаний «ЭЛЕКТРО-ПРОФИ»: <http://www.electroprofi.ru>
18. Компания “Балтэнерго”, <http://www.baltenergo.spb.ru>
19. ЗАО “АСТРО-УЗО” (ЗАО создано на базе Московского Энергетического института (МЭИ), <http://www.uzo.ru>

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Нормализованная серия блоков управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором

##### П 1.1. Общая техническая характеристика

Серии блоков управления БОУ5030, Б5030, БМ5030 являются основой для составления комплектных низковольтных распределительных устройств (НКУ).

Структура условного обозначения:

$X_1 5 X_2 3 X_3 - XX_4 XX_5 X_6 X_7 X_8$

- $X_1$  – вид НКУ по конструкции: *Б* - блок, *М* - модульная конструкция; *БОУ* - блоки одностороннего обслуживания, унифицированные;
- 5 – класс НКУ по назначению - управление асинхронными двигателями (АД);
- $X_2$  – группа в классе 5 (1 - управление нереверсивным АД, 4 - управление реверсивным АД);
- $X_3$  – порядковый номер в пределах групп 1 и 4 класса 5 (см. рис. П 1.1);
- $XX_4$  – исполнение по току (см. рис. П 1.2);
- $XX_5$  – исполнение по напряжению силовой цепи и цепи управления;
- $X_6$  – модификация по аппаратному составу (*Г* - исполнение с двух контактной приставкой ПКЛ, без буквы – с четырех контактной);
- $X_7$  – климатическое исполнение и категория размещения (УХЛ4 – для умеренного климата, О4 - для тропического климата);
- $X_8$  – исполнение по износостойкости - А, Б, В.

По износостойкости электрических контактов для более рационального расхода серебра во всех случаях применяется исполнение «В», рассчитанное на меньшее чем у исполнения «А» количество циклов срабатывания пускателя.

Типоисполнение «А» применяется в следующих случаях:

- а) двигатель работает в повторно-кратковременном режиме (ПКР) с частотой включения в час - 60 и выше, с током большим, чем 60% от номинального тока пускателя;
- б) для электрических цепей, которые в соответствии с § 1.2.18.ПУЭ относятся к первой категории в отношении надежности электроснабжения.

Если двигатель работает в повторно-кратковременном режиме (ПКР) с частотой 60 циклов ВО в час и выше с током меньшим, чем 60% от номинального тока пускателя, применяется исполнение «Б».

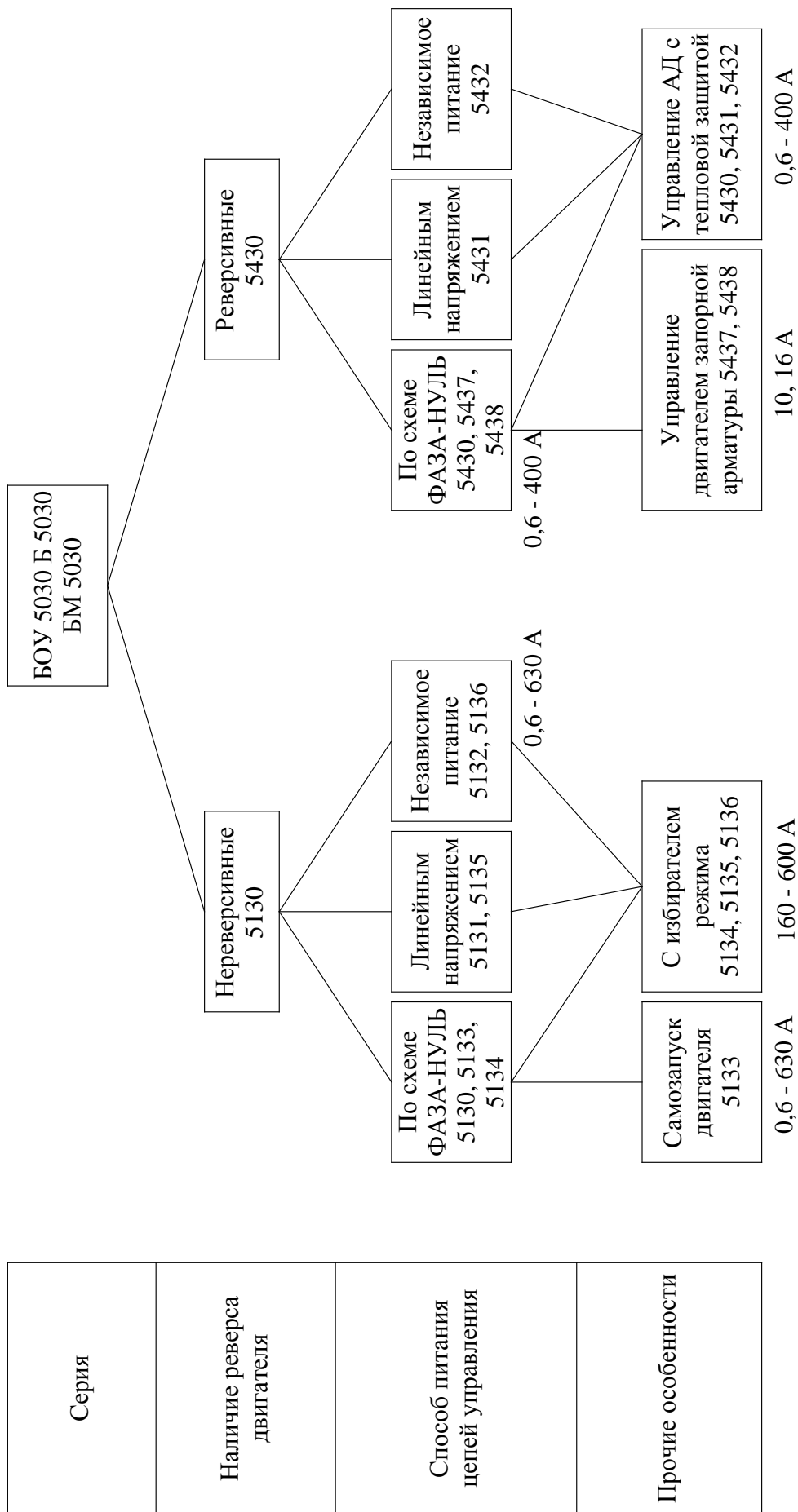


Рис. П 1.1. Классификационная структура серии блоков БОУ 5030, Б 5030, БМ 5030

## ***П 1.2. Аппаратура***

**Аппаратура управления.** В качестве коммутирующего аппарата в сериях применены следующие аппараты: на ток 6-25А - пускатели ПМЛ, на ток 25-160А - пускатели ПМА, на ток 160 – 630А - контакторы КТ6000 С.

**Аппаратура защиты.** В данных сериях предусмотрены следующие виды защит: защита силовой цепи от коротких замыканий и перегрузки, защита двигателя от перегрузки, защита двигателя от обрыва фаз, защита цепей управления от коротких замыканий:

- а) защита силовой цепи от коротких замыканий осуществляется автоматическими выключателями с комбинированными расцепителями (применение одного электромагнитного расцепителя потребует завышения сечения проводов в цепи выключатель-двигатель по § 3.1.8 ПУЭ) на ток до 100А - АЕ2000, на ток до 630А – АЗ700 и ВА;
- б) защита двигателя от перегрузки осуществляется тепловыми реле серий РТЛ в блоках с пускателями ПМЛ и РТТ - в блоках с пускателями ПМА. В блоках (панелях) на большие токи применяется реле РТЛ с включением его через отдельные трансформаторы тока;
- в) защита двигателя от обрыва фазы обеспечивается теми же тепловыми реле РТЛ, РТТ, поскольку они имеют специальный механизм для ускоренного срабатывания при обрыве фазы;
- г) защита цепей управления от коротких замыканий предусмотрена плавкими малогабаритными предохранителями ППТ-10, ПРС-6. При этом в блоках на ток не более 10А защита цепи управления обеспечивается автоматическим выключателем силовой цепи.

**Дополнительные аппараты.** В соответствующие блоки (см. рис. П 1.1) устанавливается переключатель ПКУЗ, ПКУ-16С-2001. В качестве выходных клеммников применены блоки зажимов БЗ24 на ток до 16А для подсоединения проводников сечением 0,5х4 мм<sup>2</sup> не более 2-х проводов под зажим. Они имеют порядковую маркировку зажимов от 1 до 10 или от 1 до 15, которая соответствует маркировке проводов по принципиальной схеме, выведенных на данный блок зажимов.

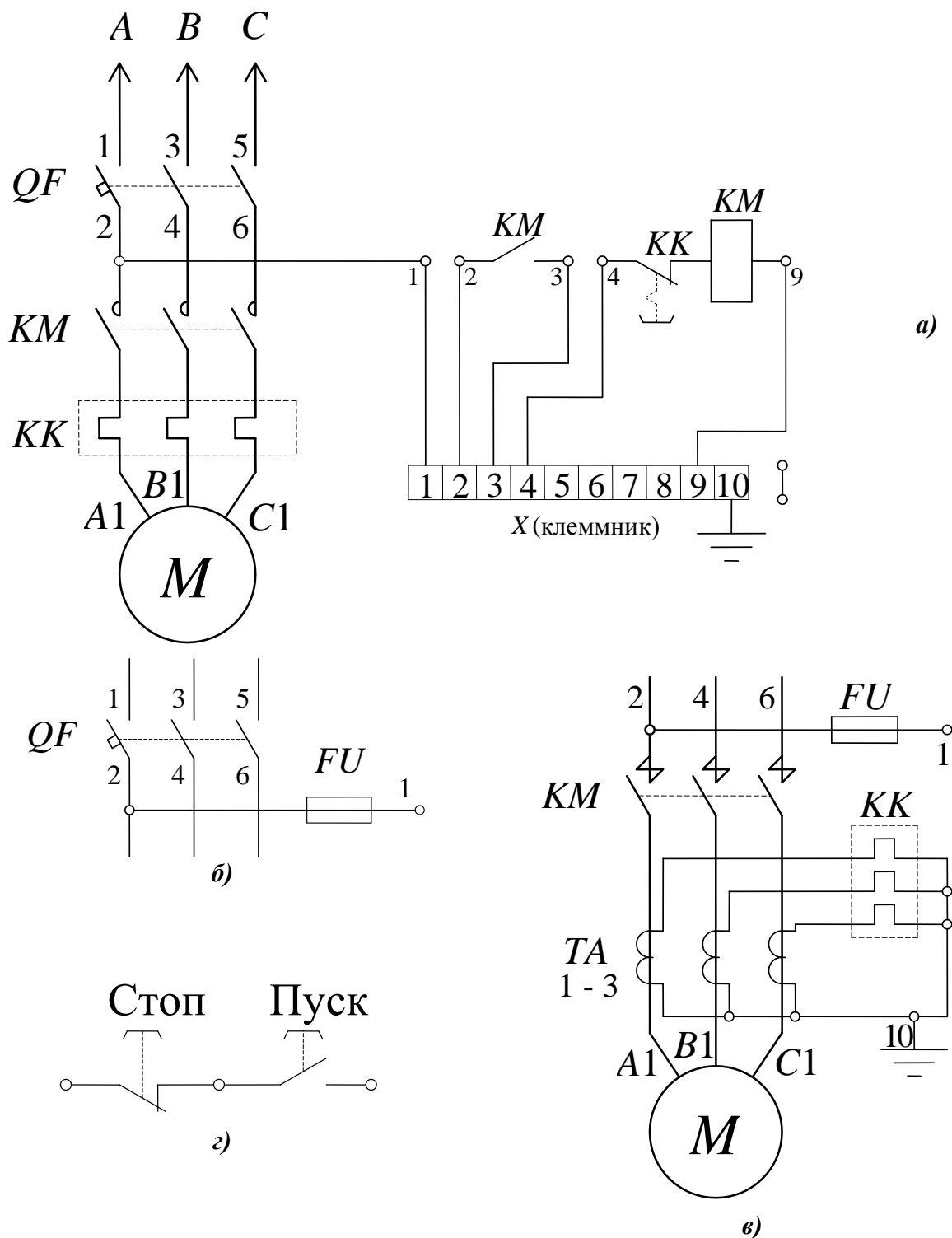
На рис. П 1.2 приведены технические данные и электрическая принципиальная схема управления блоков БОУ 5130, Б5130. Технические данные блока типа Б приведены в табл. П 1.1.

## ***П 1.3. Конструкция***

НКУ серий БОУ5030, Б5030 представляют собой открытые блоки и панели одностороннего обслуживания с передним монтажом проводов и предназначены для комплектования реечных щитов открытого исполнения на каркасах и щитов защищенного исполнения в шкафах. В блоках с пускателями аппаратура устанавливается на металлических плитах, которые затем устанавливаются на С-образные рейки щита. На блоках предусмотрен болт



заземления. В панелях и блоках с контакторами аппаратура устанавливается непосредственно на рейках.



**Рис. П 1.2. Схемы электрические принципиальные:**

*а* – схема для всех блоков; *б* - для блоков с индексами 30XX – 41XX (остальная часть схемы см. *а*); *в* - для блоков с индексами 42XX – 48XX (остальная часть схемы см. *а*); *г* - командоаппарат с двумя кнопками; *а*, *б*, *в* - блоки управления нереверсивным двигателем с питанием цепей управления от силовой цепи 380В фазным напряжением 220В – БОУ5130, Б5130; *г* - кнопочный пост

## Технические данные аппаратуры блока Б5130

Типо- вой индекс	Ном. ток $I_{\text{Н.БЛОКА}},$ А	Пределы регулиру- ния тока не- срабаты- вания тепло- вого реле $I_{\text{НТР}}, \text{А}$	Аппаратный состав				
			Выключатель $QF$		Пускатель КМ	Реле электро- тепловые $KK,$ трансформа- торы тока $TA$	
			Тип	Ном. ток расцепит. $I_{\text{НР}}, \text{А}$			
1874	0,6	0,38 – 0,65	AE2026-10HY3-B $I_{\text{CO}}=12 \cdot I_{\text{НР}}$	1,6	ПМЛ1100-04	РТЛ-1004-04	
2074	1,0	0,61 – 1,0		1,6		РТЛ-1005-04	
2274	1,6	0,95 – 1,6		2		РТЛ-1006-04	
2474	2,5	1,5 – 2,6		3,2		РТЛ-1007-04	
2674	4,0	2,4 – 4,0		5		РТЛ-1008-04	
2874	6,0	3,8 – 6,0		8		РТЛ-1010-04	
2974	8,0	5,5 – 8,0		10		РТЛ-1012-04	
3074	10,0	7,0 – 10		12,5		РТЛ-1014-04	
3174	12,5	9,5 – 14	AE2046M-10PY3-B $I_{\text{CO}}=12 \cdot I_{\text{НР}}$	16	ПМЛ2100-04	РТЛ-1015-04	
3274	16	13 – 19		20			
3474	25	18 – 25		32			
3574	32	27,2 – 36,8	AE2056M-100Y3-B $I_{\text{CO}}=12 \cdot I_{\text{НР}}$	40	ПМА3202- УХЛ4	РТТ-2	
3674	40	34 – 46		50			
3774	50	42,5 – 57,5		63	ПМА4200- УХЛ4		
3874	63	53,5 – 63		80			
3974	80	68 – 92	AE2066-100Y3-B $I_{\text{CO}}=12 \cdot I_{\text{НР}}$	100	ПМА5202- УХЛ4	РТТ-3	
4074	100	85 – 115		125			
4174	125	106 – 143	A3716Ф $I_{\text{CO}}=1600\text{А}$	160	ПМА6202- УХЛ4		
4274	160	144 – 200	A3726Ф $I_{\text{CO}}=2500\text{А}$	200	КТ6033С	РТЛ-1008-04	
4374	200	144 – 240		250		ТК-20-300/5	
4474	250	228 – 320	A3736Ф	320	КТ6043С	РТЛ-1010-04 ТК-20-400/5	
4574	320	304 – 400		400			
4674	400	304 – 480		500			
4774	630	384 – 630			630	КТ6053С	РТЛ-1008-04 ТК-20-800/5
4874							

**Примечания:** 1. Предохранитель в цепях управления: ППТ-10 ( $I_B=6A$ ) для блоков 3174÷4174, ПРС-25 ( $I_B=16A$ ) для блоков 4274÷4874,  $I_B$  - ток плавкой вставки

2. Блок зажимов Б324 (клеммник): 10 зажимов для блоков 1874÷4174; 15 зажимов для блоков 4274÷4874.

НКУ модульной конструкции позволяет спроектировать щиты распределения и управления с любым набором токоприемников, в том числе с подключением шкафов ввода непосредственно к силовым трансформаторам мощностью до 1000 кВА. При этом, в случае необходимости, в щиты могут быть включены блоки и панели с индивидуальным набором аппаратов.

Само конструктивное построение НКУ модульной конструкции аналогично щитам распределения и управления, изготавливаемым на базе стационарных блоков такими иностранными фирмами, как «Moeller», «ABB Stromberg», «Schneider Electric».

Основные преимущества модульной конструкции НКУ:

- удобный съем блоков при ремонте в условиях эксплуатации может быть осуществлен без разрыва питания при подключении блоков «шлейфом»;
- наличие кабельного канала и вертикальной нулевой шины позволяет обеспечить удобную прокладку и разделку отходящих кабелей у потребителя;
- установка блочных клеммников цепей управления на всех блоках сбоку позволяет подключать внешние провода цепей управления непосредственно к выходным зажимам клеммников блоков управления;
- использование шкафных каркасов для открытых щитов позволяет, при необходимости, аппаратуру ручного оперативного управления, измерительные приборы и сигнальную аппаратуру размещать на дверях, устанавливаемых на каркасе (вместо поворотных листов);
- наличие в блоках управления двигателями БМ 5030 дополнительного клеммника X2 позволяет обеспечить компактное подключение всех внешних цепей, входящих в цепь управления конкретного электродвигателя;
- упрощается и уменьшается объем документации, передаваемой заказчиком заводу-изготовителю НКУ. Общие виды любых НКУ (щитов, шкафов и панелей) оформляются в виде опросных листов; исключаются схемы соединений; на нетиповые блоки и панели заводу передается электрическая принципиальная схема (вместо схемы соединений);
- за счет плотной установки блоков и наличия кабельного канала обеспечивается более высокий уровень дизайна комплектных устройств.

ОАО "ЧЭАЗ" без ограничений продолжает изготавливать и НКУ речной конструкции, в том числе с блоками Б 5000.

## Приложение 2

### Реле электротепловые токовые серии РТЛ

#### *П 2.1. Общие сведения*

Реле серии РТЛ предназначены для защиты трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором от перегрузок недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз. Реле применяется в схемах управления электроприводами индивидуально, а также крепятся к пускателям серии ПМЛ. Реле имеют: три полюса, температурный компенсатор, механизм для ускоренного срабатывания при обрыве фазы, регулятор тока несрабатывания, ручной возврат, один размыкающий и один замыкающий (или один размыкающий) для реле РТЛ-1000, 2000; один размыкающий контакт для реле РТЛ-3000, несменные нагревательные элементы.

Структура условного обозначения:

РТЛ - X<sub>1</sub>XXX<sub>2</sub> - О4

- РТЛ – серия;  
 $X_1$  – исполнение по номинальному току реле (1 - на 25А, 2 - на 80А, 3 - на 200А);  
 $XXX_2$  – исполнение по току несрабатывания (табл. П 2.1);  
О4 – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150 - 69;

Таблица П 2.1

**Основные технические данные реле РТЛ**

Типоисполнение	Номинальный ток, А	Диапазон регулирования номинального тока несрабатывания, $I_{НР}$ , А	Мощность, потребляемая одним полюсом реле, Вт
РТЛ – 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1010 1012 1014 1016 1021 1022	25	0,1 - 0,17* 0,16 - 0,26 0,24 - 0,4 0,38 - 0,65 0,61 - 1,0 0,95 - 1,6 1,5 - 2,6 2,4 - 4,0 3,8 - 6,0 5,5 - 8,0 7,0 - 10,0 9,5 - 14,0 13 - 19 18-25	1,7 - 2,8
РТЛ – 2053 2055 2057 2059 2061 2063	80	23 - 32 30 - 41 38 - 52 47 - 64 54 - 74 63 - 86	3,6 - 12,3
РТЛ – 3105 3125 3160 3200	200	75 - 105 90 - 126 115 - 160 145 - 200	5,4 - 12,3

\* - последняя цифра диапазона регулирования тока есть значение максимального тока продолжительного режима при температуре окружающего воздуха 40°C.

## **П 2.2. Технические данные**

Номинальное напряжение переменного тока - 660В, постоянного - 440В.

Реле не срабатывает при протекании по полюсам тока  $1,0 \cdot I_{НР}$

Время срабатывания при токе  $1,2 \cdot I_{НР}$  - 20 мин.

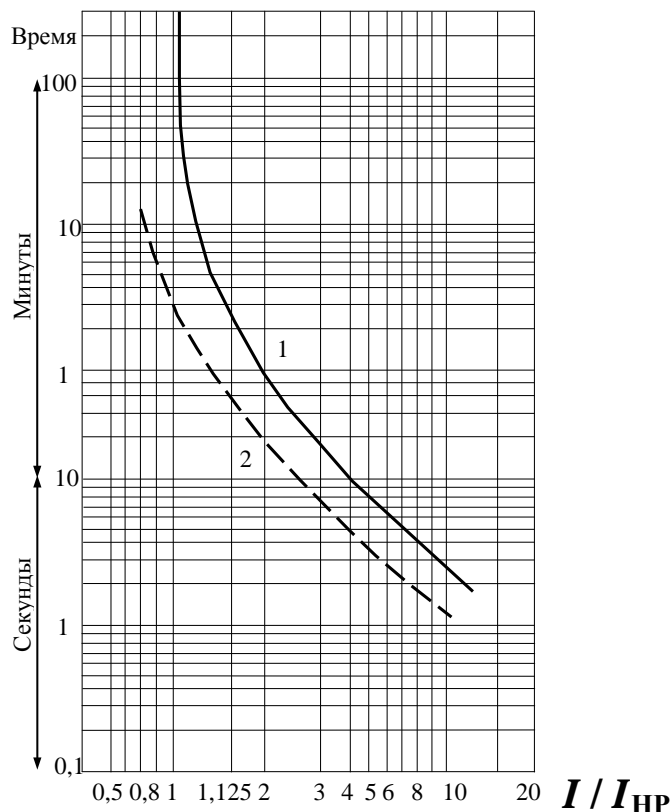
Время возврата не менее 1,5 мин.

Время срабатывания при нагрузке током  $6 I_{НР}$  для реле РТЛ-1000 – 4,5-9с, для реле РТЛ-2000, 3000 - 4,5–12с. Термическая стойкость реле при

однократной нагрузке  $18 \cdot I_{\text{НР}}$  для реле до 10А - 0,5с для реле свыше 10А - 1,0с. Основные технические данные приведены в табл. П 2.1,

Время - токовые характеристики изображены на рис. П 2.1.

Пример заказа реле с номинальным током несрабатывания 2,4-4,0А для установки с пускателями ПМЛ - "Реле электротепловое токовое РТЛ-1008О4".



**Рис. П 2.1. Время - токовые характеристики реле типов РТЛ-1000 и РТЛ-2000:**  
1 – при трехполюсной работе; 2 – при двухполюсной работе

## Приложение 3

### Реле электротепловые токовые серии РТТ

#### П 3.1. Общие сведения

Реле РТТ предназначены для защиты трехфазных электродвигателей с короткозамкнутым ротором от длительных перегрузок, а также от перегрузок, возникающих при обрыве одной из фаз.

Структура условного обозначения:

$$\text{РТТ} - X_1 X_2 X_3 X_4 X_5$$

РТТ – реле электротепловое токовое;

$X_1$  – исполнение по величине номинального тока (0 - на 10А, 1 - на 25А, 2 - на 63А, 3 - на 160А, 4 - на 630А);

$X_2$  – способ установки (1 - индивидуальная, 2,4 - для комплектации с пускателями ПМА, 2 - крепление скобами, 4 - втычное подсоединение);

$X_3$  – род контактов вспомогательной цепи (1 - 1 размыкающий контакт,

- отсутствие цифры – переключающий контакт);
- X<sub>4</sub> – исполнение по чувствительности к обрыву фазы (5 - без ускоренного срабатывания, отсутствие буквы – с ускоренным срабатыванием);
- X4 – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

### П 3.2. Технические данные

Номинальное напряжение переменного тока 50, 60 Гц – 660В, постоянного–440В.

Время срабатывания при токе  $1,2 \cdot I_{\text{НР}}$  – 20 мин.

Время срабатывания при токе  $6 \cdot I_{\text{НР}}$  – 4 – 18с.

Термостойкость реле при  $18 \cdot I_{\text{НР}}$  – 0,5 - 1,0с.

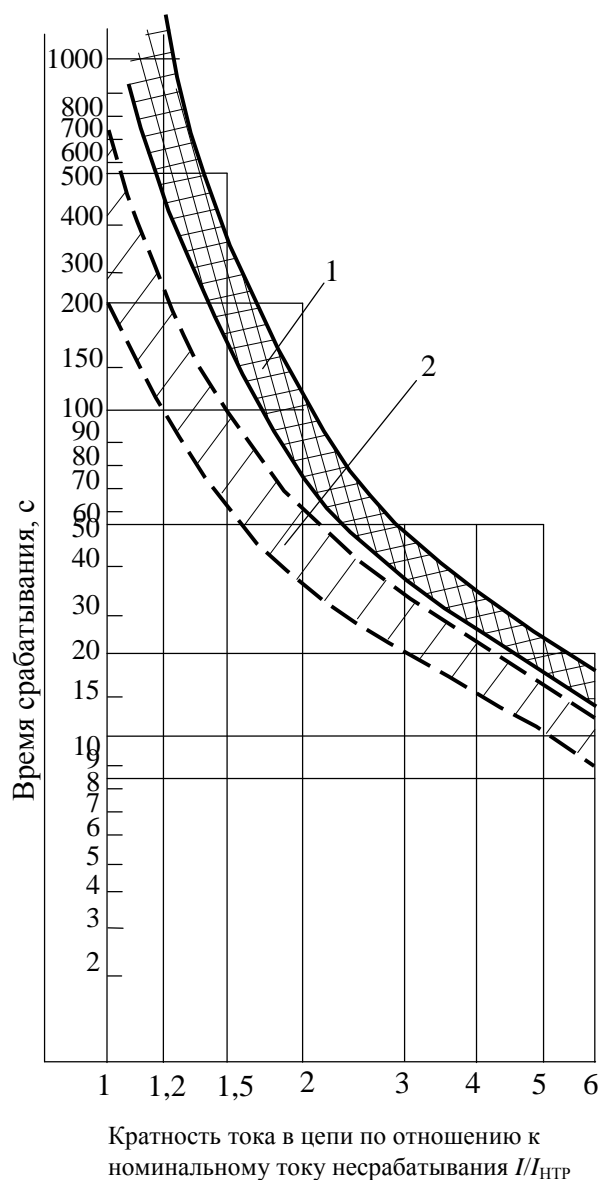
Основные технические данные приведены в табл. П 3.1 Защитные время – токовые характеристики приведены на рис. П 3.1.

Пример заказа реле совместно с пускателями ПМА с переключающим контактом с ускоренным срабатыванием при обрыве фазы – "реле РТТ - 32УХЛ4; 160А".

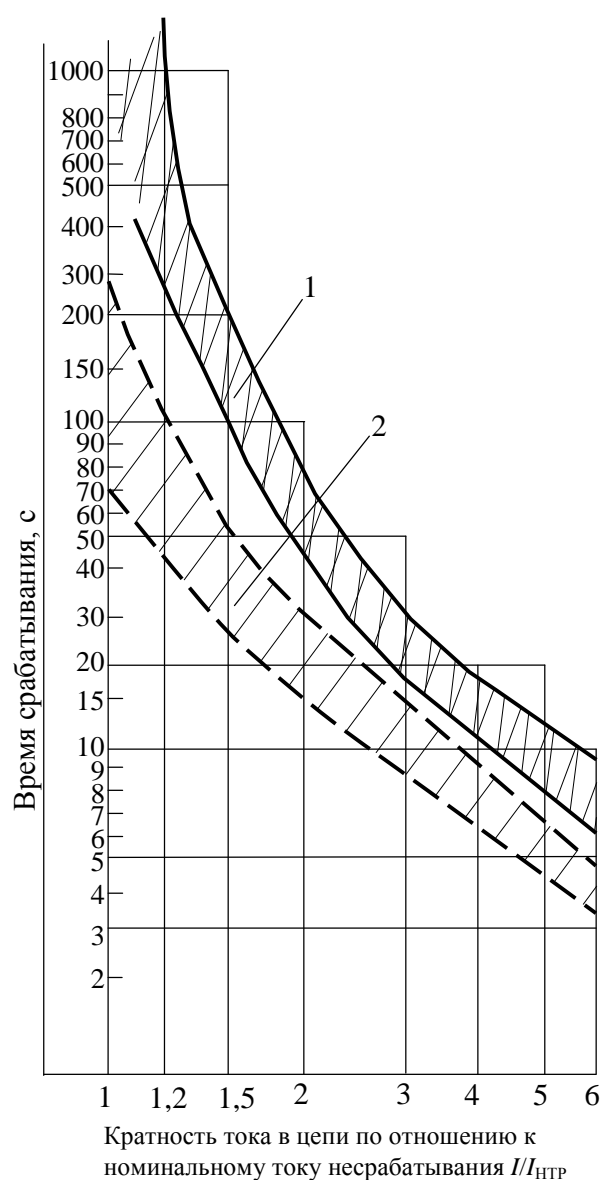
Таблица П 3.1

Основные технические данные реле РТТ

Номинальный ток теплового элемента, А	Диапазон регулирования номинального тока несрабатывания $I_{\text{НР}}$ при 40°C, А	Номинальный ток теплового элемента, А	Диапазон регулирования номинального тока несрабатывания $I_{\text{НР}}$ при 40°C, А
РТТ – 0; $I_{\text{НОМ}} = 10\text{А}$		РТТ – 2; $I_{\text{НОМ}} = 63\text{А}$	
0,2	0,17 – 0,23	10,0 – 20,0 25	аналогично РТТ–1
0,25	0,21 – 0,29	32	21,2 – 28,7
0,32	0,27 – 0,37	40	27,2 – 36,8
0,4	0,34 – 0,46	50	34,0 – 46,0
0,5	0,43 – 0,58	63	42,5 – 57,5
0,63	0,54 – 0,72		53,5 – 63,0
0,8	0,68 – 0,92	РТТ – 3; $I_{\text{НОМ}} = 160\text{А}$	
1	0,85 – 1,15	50	42,5 – 57,5
1,25	1,1 – 1,4	63	53,5 – 72,3
1,6	1,36 – 1,8	80	68,0 – 92,0
2,0	1,7 – 2,3	100	85,0 – 115
2,5	2,1 – 2,9	125	106 – 143
3,2	2,7 – 3,7	160	136 – 160
4,0	3,4 – 4,6	РТТ – 4; $I_{\text{НОМ}} = 630\text{А}$	
5,0	4,25 – 5,75	125	106 – 143,5
6,3	5,35 – 7,23	160	136 – 184
8,0	6,8 – 9,2	200	170 – 230
10,0	8,5 – 10,0	250	212 – 287
РТТ – 1; $I_{\text{НОМ}} = 25\text{А}$		320	272 – 368
0,2 – 8,0	аналогично РТТ – 0	400	340 – 460
10,0	8,5 – 11,5	500	425 – 575
12,5	10,6 – 14,3	630	535 – 630
16,0	13,6 – 18,4		
20,0	17,0 – 23,0		
25,0	21,0 – 25,0		



а)



б)

**Рис. П 3.1. Время - токовые характеристики:**

а - реле типов РТТ-1, РТТ-2, повышенной инерционности; б - реле типов РТТ-31, РТТ-311, РТТ-32, РТТ-321; 1 - зона время - токовых характеристик при трехполюсной работе реле; 2 - зона время - токовых характеристик реле при двухполюсной работе реле

## Приложение 4

### Пускатели электромагнитные серии ПМЛ

Пускатели предназначены для дистанционного пуска непосредственно подключением к сети, для остановки и реверсирования трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, а в исполнении с реле РТЛ – для защиты АД от перегрузок и от токов возникающих при обрыве одной из фаз.

Структура условного обозначения:

ПМЛ –  $X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X X_6 X_7$

- ПМЛ – серия;
- $X_1$  – величина пускателя по номинальному току (1 - 10А, 2 - 25А, 3 - 40А, 4 - 63А, 5 - 80А, 6 - 125А, 7 - 200А);
- $X_2$  – исполнение по назначению и наличию теплового реле (1 - нереверсивный без РТЛ, 2 - нереверсивный с РТЛ, 5 - реверсивный без РТЛ, 6 - реверсивный с РТЛ и с электрической и механической блокировками, 7 – пускатель звезда–треугольник);
- $X_3$  – исполнение по степени защиты ГОСТ 14254–80 и наличию кнопок (0 – IP00 без кнопок, 1 – IP54 без кнопок; 2 – IP54 с кнопками, 3 – IP54 с кнопками и сигнальной лампой, 4 – IP40 без кнопок);
- $X_4$  – число контактов вспомогательной цепи.  
 0 – 1з (10 – 25 А); 1з + 1р (40 – 200 А) переменный ток;  
 1 – 1р (10 – 25 А); 2з + 2р (80–200 А);      з – замыкающий контакт;  
 2 – 3з + 3р (80 – 200);      р – размыкающий контакт  
 3 – 3з + 1р (80 – 200);  
 4 – 5з + 1р (80 – 200);  
 5 – 1з (10 – 25), 1з + 1р (40 – 63 А) постоянный ток;  
 6 – 1р (10 – 25) постоянный ток;
- $X_5$  – сейсмостойкое исполнение;
- $XX_6$  – климатическое исполнение (0, ТВ) и категория размещения (2, 4) по ГОСТ 15150 – 69, 15543 – 70;
- $X_7$  – исполнение по износостойкости контактов-Б.  
 Частота включений в час для коммутационной износостойкости при напряжении 230 В для пускателей с номинальным током: (10 - 63 А) – 1200, (80 - 200 А) – 600.

Максимальный ток продолжительного режим при 40°С для пускателей с номинальным током:

10А – 0,17; 0,26; 0,4; 0,65; 1,0; 1,6; 2,6; 4,0; 6,0; 8,0; 10 А.

26А – 10, 14, 19, 25 А.

40А – 30, 40 А.

63А – 40, 50, 57, 66 А.

80А – 66, 80 А.

126А– 105, 125 А.

200А– 125, 160, 200 А.

Пределы регулирования тока несрабатывания РТЛ см. в табл. П .2.

Пример заказа пускателя с тепловым реле в районы с умеренным климатом для установки в электрошкафах с катушкой, работающей на фазном напряжении 220 В – "Пускатель ПМЛ – 520104Б, 220 В".



## Пускатели электромагнитные серии ПМА

### П 5.1. Общие сведения

Пускатели ПМА предназначены для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных двигателей мощностью до 75 кВт при напряжениях до 660В частотой 50, 60 и 100 Гц.

При наличии тепловых реле и аппаратов позисторной защиты пускатели защищают управляемые электродвигатели от перегрузок.

Структура условного обозначения:

ПМА – X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>X<sub>3</sub>X<sub>4</sub>X<sub>5</sub>X<sub>6</sub>X<sub>7</sub>XX<sub>8</sub>X<sub>9</sub>

ПМА – серия пускателей магнитных;

X<sub>1</sub> – величина пускателя в зависимости от номинального тока (3 - 40А, 4 - 63А, 80А, 5 - 100А, 6 - 160А);

X<sub>2</sub> – назначение и наличие теплового реле и аппарата позисторной защиты (1 – без реле, нереверсивные; 2 – с реле, нереверсивные; 3 – без реле, реверсивные и эл. блокировкой; 4 – с реле реверсивные с эл. блокировкой; 5 – без реле, реверсивные с электрической и механической блокировками; 6 – с реле, реверсивные с электрической и механической блокировками; 7 – с аппаратом позисторной защиты АЗП, нереверсивные; 8 – с АЗП реверсивные с механической блокировкой; 9 – с аппаратом позисторной защиты УАТЗ – 1 М, нереверсивные; 0 – с УВТЗ–1М, реверсивные);

X<sub>3</sub> – степень защиты и наличие кнопок (0 – IP00, 1 – IP40 без кнопок, 2 – IP54, без кнопок, 3 – IP40 с кнопками, 4 – IP54 с кнопками и сигнальной лампой);

X<sub>4</sub> – род тока цепи управления, напряжение главной цепи и число контактов вспомогательной цепи (0 – переменный, 380 В, 2з + 2р для 3–6 величин, 2 - переменный, 660 В, 2з + 2р для 5 и 6 величин); 4 - переменный, 380 В, 4з + 2р для 4 - 6 величин, 6 - переменный, 660 В, 4з + 2р для 4 - 6 величин, 8 - переменный, 380 В, 2з для 3 - 6 величин, 9 - переменный, 660 В, 2з для 3 - 6 величин

X<sub>5</sub> – буква Д, обозначающая пускатели с номинальным током на 80А;

X<sub>6</sub> – буква П, обозначающая пускатели с встроенным тепловым реле малой инерционности;

X<sub>7</sub> – буква С, обозначающая пускатели сейсмостойкого исполнения;

XX<sub>8</sub> – климатическое исполнение (У, Т, УХЛ, 0) и категория размещения (2,3,4) по ГОСТ 15150–69, 15543–70;

X<sub>9</sub> – износостойкость (А, Б, В).

Исполнения пускателей по износостойкости выбираются в зависимости

от требуемого срока службы (6–10 лет) и частоты срабатывания пускателя в категории применения АС–3: более 400 циклов в сутки – выбирается исполнение А; от 120 до 400 циклов – Б; менее 120 циклов – В.

Для пускателей открытого исполнения степени защиты *IP00* предусматривается установка по категории размещения 4 в отопляемых помещениях на панелях, в закрытых шкафах, нишах станков и других местах, защищенных от попадания воды, пыли и посторонних предметов.

Для пускателей защищенного исполнения степени защиты *IP40* – категория размещения 3, в не отопляемых помещениях, не содержащих значительного количества пыли и исключающих попадание воды на оболочку пускателя; для пускателей исполнения *IP54* – категория размещения 2, для внутренних и наружных установок в местах, защищенных от непосредственного воздействия солнечной радиации.

## **П 5.2. Технические данные**

Номинальный рабочий ток контактов главной цепи пускателя в продолжительном режиме работы (категория применения АС – 3) приведена в табл. П 5.1.

Таблица П 5.1

**Номинальный рабочий ток контактов главной цепи**

Величина пускателя	Номинальный ток, А	Номинальный рабочий ток, А, при напряжении		
		380, 500В		660 В
		<i>IP00</i>	<i>IP40, IP54</i>	<i>IP00, IP40, IP54</i>
3	40	40	36	25
4	63	63	60	40
4	80	80	72	50
5	100	100	95	63
6	160	150	150	100

Номинальное напряжение включающих катушек, В – для переменного тока: 24, 36, 40, 48, 110, 127, 220, 230, 240, 380, 400, 415, 500, 600; для постоянного тока: 24, 48, 110, 220.

Технические характеристики магнитных пускателей с тепловыми элементами приведены в табл. П 5.2.

Пределы регулирования тока несрабатывания реле РТТ см. табл. П 3.1

Пример записи обозначения пускателя для исполнения по износостойкости на номинальный ток 63А, нереверсивного, с тепловым элементом на номинальный ток 40А, степени защиты *IP00*, напряжением главной цепи 380В, с включающей катушкой на напряжение 220В, с двумя замыкающими и двумя размыкающими контактами для поставок в районы с умеренным климатом – "Пускатель ПМА – 4200ПУХЛ4А, 220В, (2з + 2р), 40А,".

Основные технические данные пускателей ПМА

Номинальный ток пускателя, А, тип реле	Среднее значение тока теплового элемента, А	Максимальные токи продолжительного режима работы пускателя, А	
		IP00	IP40, IP54
40, РТТ-2П	12,5	14,3	14,3
	16,0	18,4	18,4
	20,0	23,0	23,0
	25,0	28,7	28,7
	32,0	36,8	34,0
	40,0	40,0	36,0
63, РТТ-2П	32,0	36,8	36,8
	40,0	46,0	46,0
	50,0	57,5	55,0
	60,0	63,0	60,0
80, РТТ-2П	40,0	46,0	46,0
	50,0	57,5	55,0
	63,0	63,0	60,0
	80,0	80,0	76,0
100, РТГ-3П	50,0	57,5	57,5
	63,0	73,3	72,3
	80,0	92,0	88,0
	100	100	95
160, РТТ-3П	80,0	92,0	92,0
	100	115	115
	125	143	140
	160	160	150

## Приложение 6

## Выключатели автоматические серий АЕ20 и АЕ20М

## П 6.1. Общие сведения

Выключатели предназначены для защиты электрических цепей от токов перегрузки и токов короткого замыкания (КЗ), а также для оперативных включений и отключений цепей (с частотой до 30 включений в час) напряжением до 660 В переменного тока частотой 50, 60 Гц, до 380 В частотой 400 Гц.

Структура условного обозначения:

$$AE20 X_1 X_2 X_3 - X_4 X_5 X_6 - XX_7 X_8 X_9$$

$X_1$  – величина выключателя в зависимости от номинального тока (2 - 16 А, 4 - 63А, 5 - 100А, 6 - 160А);

$X_2$  – число полюсов в комбинации с максимальными расцепителями тока (3 - трехполюсные с электромагнитными расцепителями, 4 - однополюсные с электромагнитными и тепловыми расцепителями, 6 - трехполюсные с электромагнитными и тепловыми расцепителями);

- $X_3$  – наличие буквы М – для модернизированных выключателей на номинальный ток 63 и 100А;
- $X_4$  – наличие свободных контактов (1 – без контактов, 2 – один замыкающий контакт (1з), 3 – один размыкающий контакт (1р), 4 – 1з + 1р контакт;
- $X_5$  – дополнительные расцепители (0 - без дополнительных расцепителей, 1 - независимый разделитель);
- $X_6$  – температурная компенсация и регулировка номинального тока теплового расцепителя (Р – регулировка и компенсация есть; Н - регулировка есть, компенсации нет; Б – регулировки и компенсации нет, для распределительных пунктов с уменьшенными габаритными размерами; 0 – регулировки и компенсации нет);
- XX – степень защиты (00 – IP00, 20 – IP20, 54 – IP54 (для АЕ20М);
- <sup>7</sup>  
 $X_{38}$  – климатическое исполнение (У, Т) и категория размещения (3) по ГОСТ 15150–69;
- $X_9$  – класс износостойкости (А – первый, Б – второй).

### ***П 6.2. Технические данные для построения защитной характеристики***

Номинальный ток максимальных расцепителей тока ( $I_{НР}$ ) для выключателей, А.

АЕ 2020 - 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16А.

АЕ 2040 - 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63 А.

АЕ2040М - 0,6; 0,8; 1,0 А и далее аналогично АЕ2020, АЕ2040, 50; 63 А.

АЕ2050М - 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100 А.

АЕ 2060 - 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160 А.

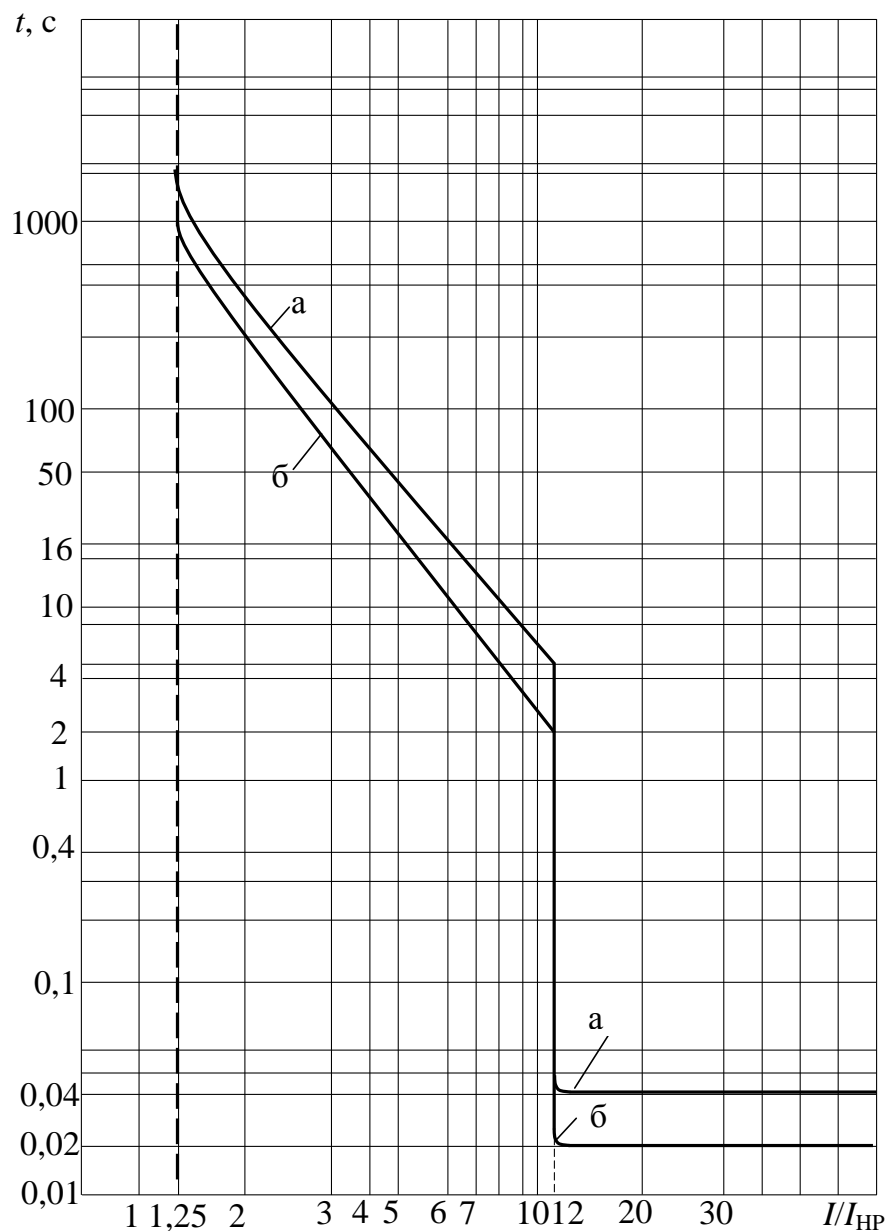
Уставка по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания кратная номинальному току расцепителя (ток отсечки) равна 12.

Выключатели при одновременной нагрузке всех полюсов с холодного состояния при окружающей температуре 20 – 40°С не срабатывают при токе  $1,05 \cdot I_{НР}$  в течение не менее 2 часов и срабатывают при токе  $1,25 \cdot I_{НР}$  в течение не более 20 мин. Срабатывают при семикратном токе  $7 \cdot I_{НР}$  в течение 3-15с. Уставки по току срабатывания тепловых расцепителей регулируются в пределах от  $0,9 \cdot I_{НР}$  до  $1,15 \cdot I_{НР}$ ; а для тепловых расцепителей, ток которых равен номинальному току выключателей, – в пределах от  $0,9 \cdot I_{НР}$  до  $1,0 \cdot I_{НР}$ .

Электромагнитные максимальные расцепители тока не срабатывают при токе равном или меньше 0,8 уставки по току ( $12 \cdot I_{НР}$ ) за время 0,1с и срабатывают при токе (12 - 14)  $I_{НР}$  в течение 0,04с.

Обобщенные защитные характеристики выключателей показаны на рис. П 6.1.

Примеры заказа выключателя для поставок по России: "Выключатель АЕ 2056М – 120 – 00УЗ – А; 660 В, 50 и 60 Гц; 110А; независимый расцепитель 127 В; "Выключатель АЕ 2026 – 10Н – 20УЗ – А; 660 В, 50 и 60 Гц; 2,5А".



**Рис. П 6.1. Время - токовая защитная характеристика выключателей:**  
*a* – AE20; *б* – AE – 20M при температуре 20°C

## Приложение 7

### Выключатели автоматические серии А3700

#### П 7.1. Общие сведения

Выключатели предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузках и недопустимых снижениях напряжения, а также для нечастых (до трех включений в час) оперативных включений и отключений электрических цепей. В зависимости от исполнения рассчитаны для эксплуатации в электроустановках с номинальным напряжением до 440 В постоянного тока, до 660 В переменного тока частоты 60 и 60 Гц и до 380 В переменного тока частоты 400 Гц.

Структура условного обозначения:

А 37Х<sub>1</sub> ХХ<sub>2</sub>ХЗ<sub>3</sub>

- А – выключатель автоматический;  
 37 – номер разработки;  
 Х<sub>1</sub> – величина выключателя: 1 – 160 А, 2 – 250 А, 3 – 630 А, 9 – 630 А (модификация выключателей до 630 А в габарите А3730Б, А3730С); 0 проставляется, если не требуется конкретное обозначение величины;  
 ХХ<sub>2</sub> – исполнение выключателя по числу полюсов, виду установки максимальных расцепителей тока и максимально-токовой защите (МТЗ) (табл. П 7.1.);  
 ХЗ<sub>3</sub> – климатическое исполнение (У, Т, ХЛ – для А3700Б, А3700С, А3790Н, У – для А3700Ф) и категория размещения (3) по ГОСТ 15150–69.

Таблица П 7.1

#### Исполнение выключателей по МТЗ

Вид исполнения выключателя по МТЗ	Вид расцепителей тока	Кол. полюсов	Обозначение ХХ <sub>2</sub>
Без выдержки времени в зоне к.з. (неселективные) Б – токоограничивающие (быстродействующие) Ф – общего исполнения Н – исполнение до 660В	электромагнитные	2	1Б, 1Ф
		3	2Б, 2Ф
	электромагнитные и полупроводниковые	2	3Б
		3	4Б
	электромагнитные и тепловые	2	5Б, 5Ф, 5Н
		3	6Б, 6Ф, 6Н
	без МТЗ	2	7Б, 7Ф
		3	8Б, 8Ф
С – с выдержкой времени в зоне токов к.з. (селективные)	полупроводниковые	2	3С
		3	4С
	без МТЗ	2	7С
		3	8С

Выключатели без МТЗ – 7, 8, (Б, Ф, С) используются только как коммутационные аппараты.

#### П 7.2. Технические данные

Типы и основные параметры выключателей переменного тока приведены в табл. П 7.2, П 7.3. В таблицах приняты следующие обозначения:  $I_N$  – номинальный ток выключателя;  $I_{НВ}$  – базовый номинальный ток расцепителя;  $I_{НР}$  – калибруемые значения номинального тока расцепителя; калибруемые значения уставок тока и времени: в области перегрузки –  $I_{СП}$  (уставка тока),  $t_6$  (уставка времени при токе  $6 \cdot I_{НР}$ ); в области отсечки –  $I_{СО}$  (уставка тока),  $t_{СО}$  (уставка времени).

Тепловые расцепители при температуре 40°C и одновременном протекании тока по всем фазам не вызывают срабатывания при токе  $1 \cdot I_{\text{НР}}$ , а при токе  $1,05 \cdot I_{\text{НР}}$  срабатывают за время большее, чем 2 часа с начала отсчета.

Таблица П 7.2

**Основные технические характеристики выключателей серии АЗ700**

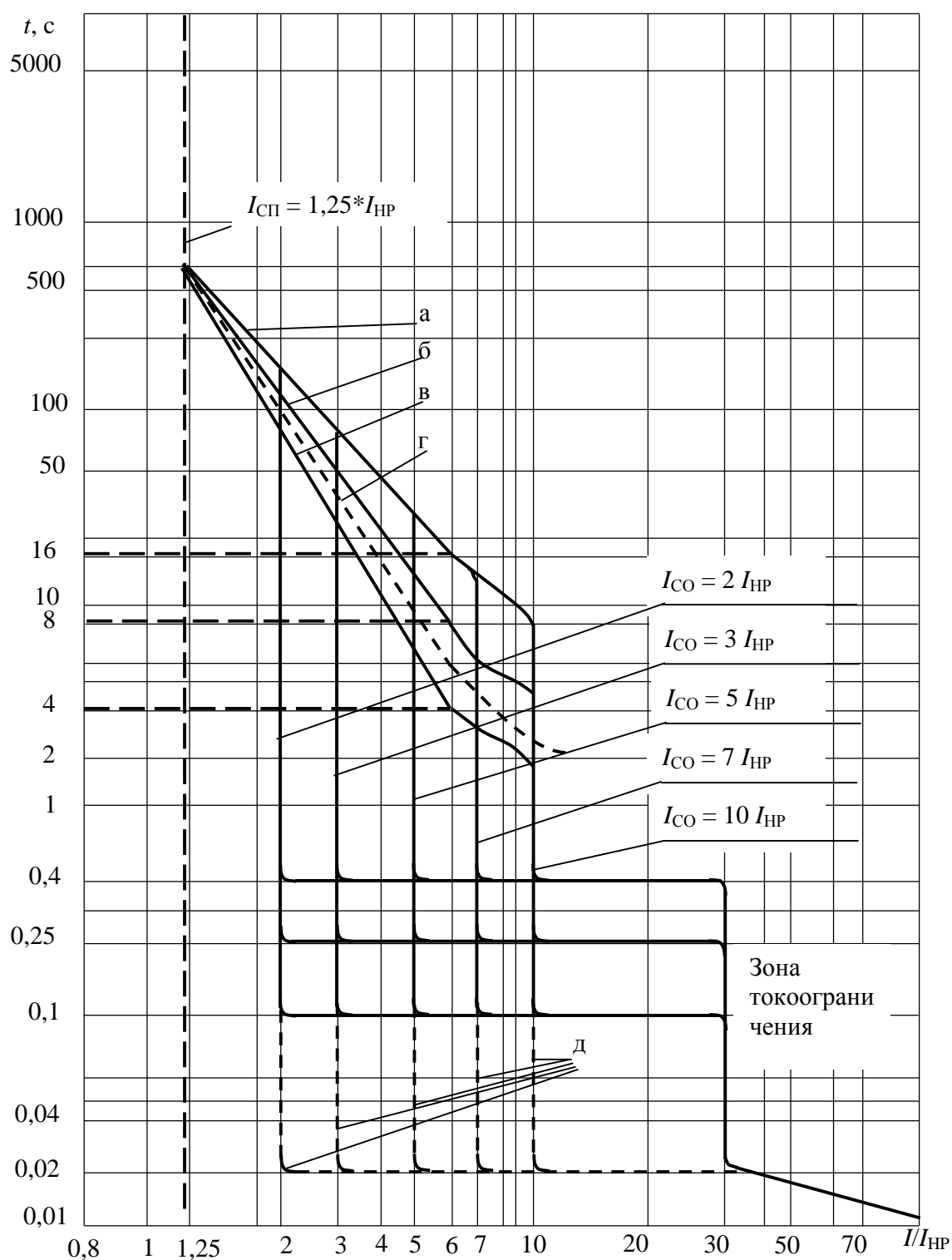
Тип выключателя	$I_{\text{Н}}, \text{А}$	$I_{\text{НВ}}, \text{А}$	Уставки электромагнитного и полупроводникового расцепителя тока					
			Эл. магнитный $I_{\text{СО}}, \text{А}$	Полупроводниковый				
				$I_{\text{НР}}, \text{А} (0,8 \cdot I_{\text{НВ}} ; 1,0 \cdot I_{\text{НВ}} ; 1,25 \cdot I_{\text{НВ}})$	$I_{\text{СП}}, \text{А}$	$t_6, \text{с}$	$I_{\text{СО}}, \text{А}$	$t_{\text{СО}}, \text{С}$
АЗ793С АЗ794С	250 400 630	200 320 500	—	160; 200; 250 250; 320; 400 400; 500; 630	$1,25 \cdot I_{\text{НР}}$	4, 8, 16	$(2, 3, 5, 7, 10) \cdot I_{\text{НР}}$	0,1; 0,25; 0,4
АЗ713Б АЗ714Б	160	32 63 125	1600	10; 25; 32; 40 50; 63 80; 100; 125; 160				—
АЗ723Б,24Б	250	200	2500	160; 20; 250				
АЗ793Б АЗ794Б	250 400 630	200 320 500	6300	160, 200, 250 250, 320, 400 400, 500, 630				

Полупроводниковые расцепители допускают регулировку параметров, указанных в табл. П 7.2. Полупроводниковые и тепловые расцепители вызывают срабатывание выключателей в зоне токов перегрузки с выдержкой времени, обратно зависимой от тока в защищаемой цепи. Максимальная выдержка времени находится в пределах 200 – 800с. Уставки по току электромагнитных расцепителей при протекании тока по одному двум и трем его полюсам соответствует указанным в табл. П 7.2, П 7.3.

Полное время отключения цепи всеми выключателями в зоне токов к.з. не превышает 0,04с, а селективными – находятся в пределах – 0,1; 0,25; 0,4 с.

На рис. П 7.1 приведены усредненные защитные характеристики выключателей с полупроводниковым расцепителем при различных уставках тока и времени и время - токовая защитная характеристика теплового расцепителя.

Пример заказа выключателя для поставок в районы с умеренным климатом – "Выключатель АЗ794СУ3 стационарный, 380 В, 50 Гц, 400 А, независимый расцепитель 50 Гц".



**Рис. П 7.1. Время - токовая характеристика выключателя серии А3700 с полупроводниковым расцепителем:**

*а* – уставка времени при  $6 I_{НР}$ , равная 16 с; *б* – уставка времени при  $6 I_{НР}$ , равная 8 с; *в* – уставка времени при  $6 I_{НР}$ , равная 4 с; *г* – время – токовая характеристика теплового расцепителя; *д* – при отсутствии (выведенной) уставки времени в зоне отсечки и для выключателя с индексом Б



**Основные технические характеристики выключателей серии АЗ700 с тепловыми и электромагнитными расцепителями**

Тип выключателя	$I_H, A$	Расцепители тока		
		Тепловой		Эл. магнитный
		$I_{HP}, A$	$I_{СП}, A$	$I_{CO}, A$
АЗ715Б, 16Б АЗ715Ф, 16Ф	160	16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	18, 23, 29, 37, 46, 57 72, 92, 115, 145, 185	630
				630, 1600
АЗ725Б (Ф), 26Б (Ф)	250	200, 250	230, 290	2500
АЗ711Б(Ф), 12Б(Ф)	160	–	–	630, 1000, 1600
АЗ721Б(Ф), 22Б(Ф)	250			1600, 2000, 2500
АЗ791Б, 92Б	630			2500, 3200, 4000, 5000, 6300
АЗ735Ф, 36Ф АЗ795Н, 96Н	630	250, 320, 400, 500, 630	290, 370, 460, 575, 725	2400 $10 \cdot I_{HP}$
АЗ731Ф, 32Ф	630	–	–	4000, 5000, 6300
АЗ717, 18 (Б,Ф) АЗ727, 28 (Б,Ф) АЗ797, 98 (С)	160 250 630	Без расцепителей тока		–

## Приложение 8

### Выключатели автоматические серии ВА-50

Выключатели предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузках и недопустимых снижениях напряжения, а также для нечастых (до 6 в час) оперативных включений и отключений электрических цепей и рассчитаны для эксплуатации в электроустановках с номинальным напряжением до 440 В постоянного тока, до 660 В переменного тока частоты 50 и 60 Гц. Допускается использовать выключатели для нечастых прямых пусков асинхронных электродвигателей.

Структура условного обозначения:

$$BA5X_1 - XX_2 - XX_3XX_4X_5X_6 - 20X_3$$

ВА – выключатель автоматический;

$5X_1$  – номер серии (51 - с тепловыми и электромагнитными расцепителями, 52 – то же, но с повышенной коммутационной, способностью; 53 - с полупроводниковыми разделителями, токоограничивающие; 55 - с полупроводниковыми расцепителями, с выдержкой времени в зоне токов короткого замыкания, селективные; 56 - без максимальных расцепителей тока);

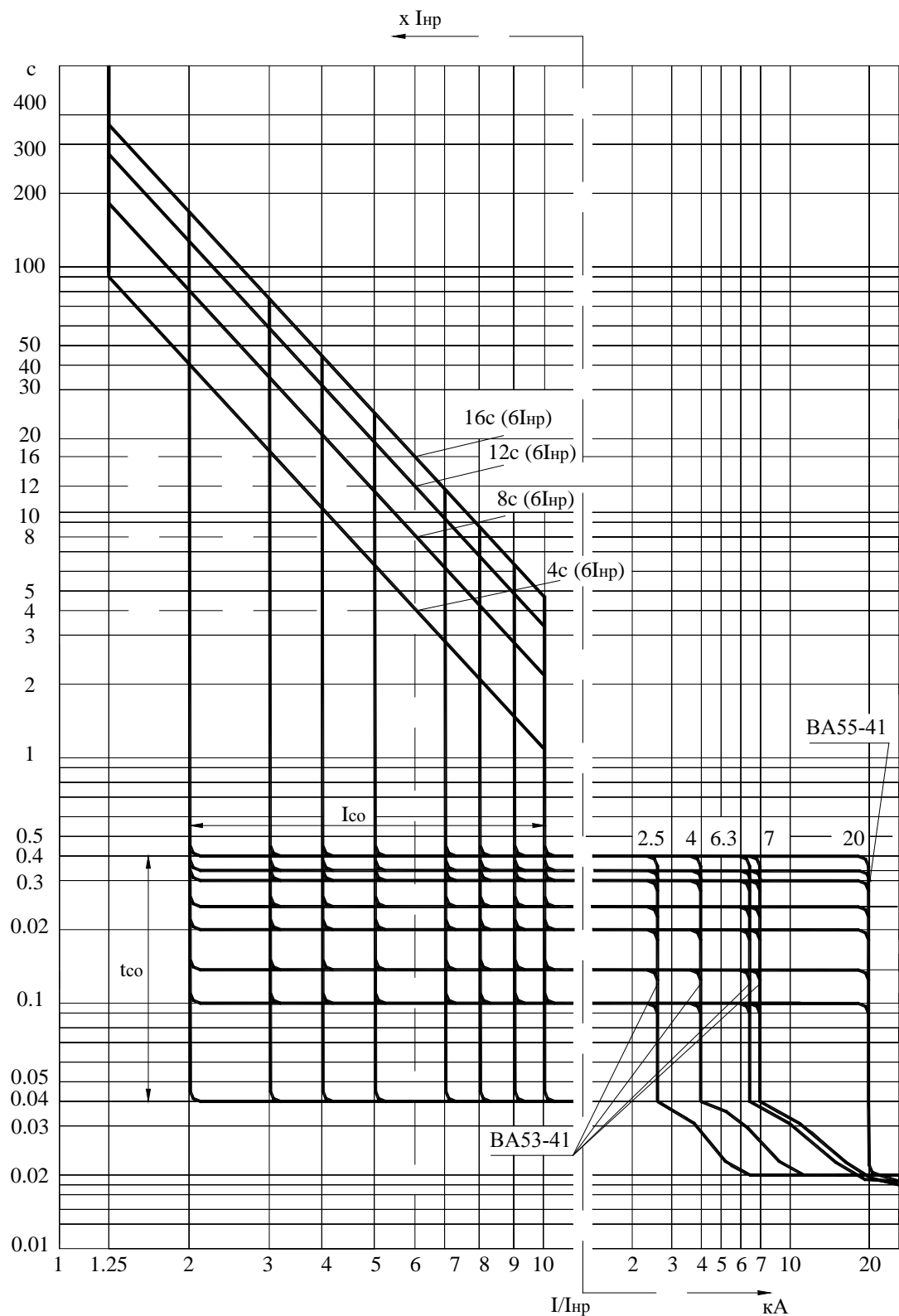
$XX_2$  – 39 - на номинальный ток 630 А, 41 - на номинальный ток 1000 А, 43 - на номинальный ток 1500 А;

$XX_3$  – число полюсов и количество максимальных расцепителей тока в комбинации с исполнением максимальных расцепителей тока по зоне защиты 3Х - 3 полюса с расцепителями тока в 3-х полюсном

- конструктивном исполнении выключателя; 3(8)3 - расцепитель в зоне токов к.з., 3(8)4 - расцепитель в зоне токов перегрузки и к.з., 3(8)5 - расцепитель в зонах перегрузки и к.з. с выдержкой времени только для ВА55; 3(8)8 - расцепитель в зонах токов к.з., для защиты от однофазных замыканий для ВА53, 3(8)9 - расцепитель в зоне токов к.з. с выдержкой времени, для защиты от однофазных замыканий;
- XX<sub>4</sub> – исполнение по дополнительным расцепителям и вспомогательным контактам (количество замыкающихся и размыкающихся вспомогательных контактов; наличие независимого расцепителя, нулевого (отключение при  $(0,35 \div 0,1) \cdot U_N$ ) и минимального (отключение при  $(0,70 \div 0,35) \cdot U_N$ ) расцепителя напряжения;
- X<sub>5</sub> – вид привода и способ установки выключателя (1 - ручной привод, стационарное исполнение, 3 - электромагнитный привод, стационарное исполнение; 5 - ручной дистанционный привод, выдвижное исполнение, 7 - электромагнитный привод, выдвижное исполнение);
- X<sub>6</sub> – исполнение по дополнительным механизмам (0 - отсутствуют; 5 - механизм для оперирования выключателем стационарного исполнения с ручным приводом через дверь распределительного устройства; 6 - устройство для блокировки положений "включено" и "отключено");
- 20 – степень защиты выключателя по ГОСТ 15150-69, *IP* - 20, выводов - *IP*-00;
- X3 – климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70 (У, УХЛ, Т) и категория размещения 3.

Выключатели с комбинированными тепловыми и электромагнитными расцепителями допускают повторное включение после отключения токов перегрузки через время не более 3 мин, токов короткого замыкания (КЗ) - не более 2 мин. Выключатели не срабатывают в течение времени менее 2 ч при начале отсчета с холодного состояния при токе  $1,05 \cdot I_{НР}$  и срабатывают при токе  $1,25 \cdot I_{НР}$  менее 2 ч при начале отсчета с нагретого, состояния (током  $1,05 \cdot I_{НР}$  в течении 2 ч).

Выключатели с полупроводниковыми максимальными расцепителями тока допускают ступенчатую регулировку следующих параметров: номинального тока расцепителя ( $I_{НР}$ ), уставки по току срабатывания в зоне токов к.з. ( $I_{CO}$ ), уставки по времени срабатывания в зоне токов перегрузки при  $6 \cdot I_{НР}$  для переменного тока ( $t_6$ ) и  $5 \cdot I_{НР}$  для постоянного тока, уставки по времени срабатывания в зоне токов к.з. ( $t_{CO}$ ). Уставки по току и времени срабатывания приведены в табл. П 8.1. Отклонения фактических значений тока и времени не превышают 20% от установленных. Время-токовые характеристики выключателей приведены на рис. П 8.1.



**Рис. П 8.1. Время-токовые характеристики выключателей переменного тока BA53-41 и BA 55-41**

**Технические характеристики выключателей с полупроводниковым расцепителем**

Тип	$I_{НВ}, A$	$I_{CO}/ I_{НР}$	$I_{С.МГН}, \kappa A$ (3ступень)	ПКС, $\kappa A^*$	ОПКС, $\kappa A^*$
BA53-37	160,250,400	2,3,5, 7,10**	2.5;4;6.3;7	47.5	53
BA53-39	160,250,400,630			55	60
BA53-41	1000	2,3,5,7**		135	140
BA53-43	1600			135	140
BA54-37	160,250,400	2,3,5, 7,10**		87	—
BA54-39	400,500,630			100	—
BA54-41	1000			150	160
BA55-37	160,250,400	2,3,5, 7,10	20	32/5	38
BA55-39	160,250,400,630			47.5	53
BA55-41	1000	2,3,5,7		55	60
BA55-43	1600			80	85
BA75-45	2500	2,3,5	30	60	65
BA75-47	2500,4000			70	75

*Примечание:*

1. \* - действующее значение тока;
2. \*\* - ток срабатывания электромагнитного расцепителя равен 120% наибольшей уставки отсечки полупроводникового расцепителя;

Для всех модификаций выключателя серии ВА общими являются следующие уставки тока и времени:

- кратность уставки номинального тока расцепителя ( $I_{НР}$ ) по отношению к номинальному току выключателя (номинальному базовому току расцепителя) ( $I_{НВ}$ ) регулируется в следующем диапазоне:

$$I_{НР} / I_{НВ} = 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1$$

- кратность уставки тока срабатывания при перегрузке ( $I_{СП}$ ) не регулируется и составляет по отношению к номинальному току расцепителя ( $I_{НР}$ ):

$$I_{СП} / I_{НР} = 1,25$$

- кратность уставки тока срабатывания отсечки ( $I_{CO}$ ) по отношению к номинальному току расцепителя ( $I_{НР}$ ) регулируется в следующем диапазоне:

$$I_{CO} / I_{НР} = 2; 3; 5; 7; 10 \text{ (см.табл. П 8.1)}$$

- уставка времени срабатывания отсечки ( $t_{CO}$ ) регулируется в следующем диапазоне:

$$\text{мгн. (0,02÷0,04с), 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4с}$$

- уставка времени срабатывания при перегрузке ( $t_6$ ), равной шестикратному току ( $I_6$ ) по отношению к номинальному току расцепителя регулируется в следующем диапазоне:

4; 8; 12; 16с

- кратность уставки тока срабатывания защиты при однофазном коротком по отношению к номинальному току расцепителя ( $I_{НР}$ ) регулируется в следующем диапазоне:

$$I_{СЗ1} / I_{НР} = 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$$

- уставка тока срабатывания защиты третьей ступени защитной характеристики ( $I_{С.МГН}$ ) обеспечивается для некоторых выключателей встроенным электромагнитным расцепителем (см. \*\* примечание к табл. П 8.1).

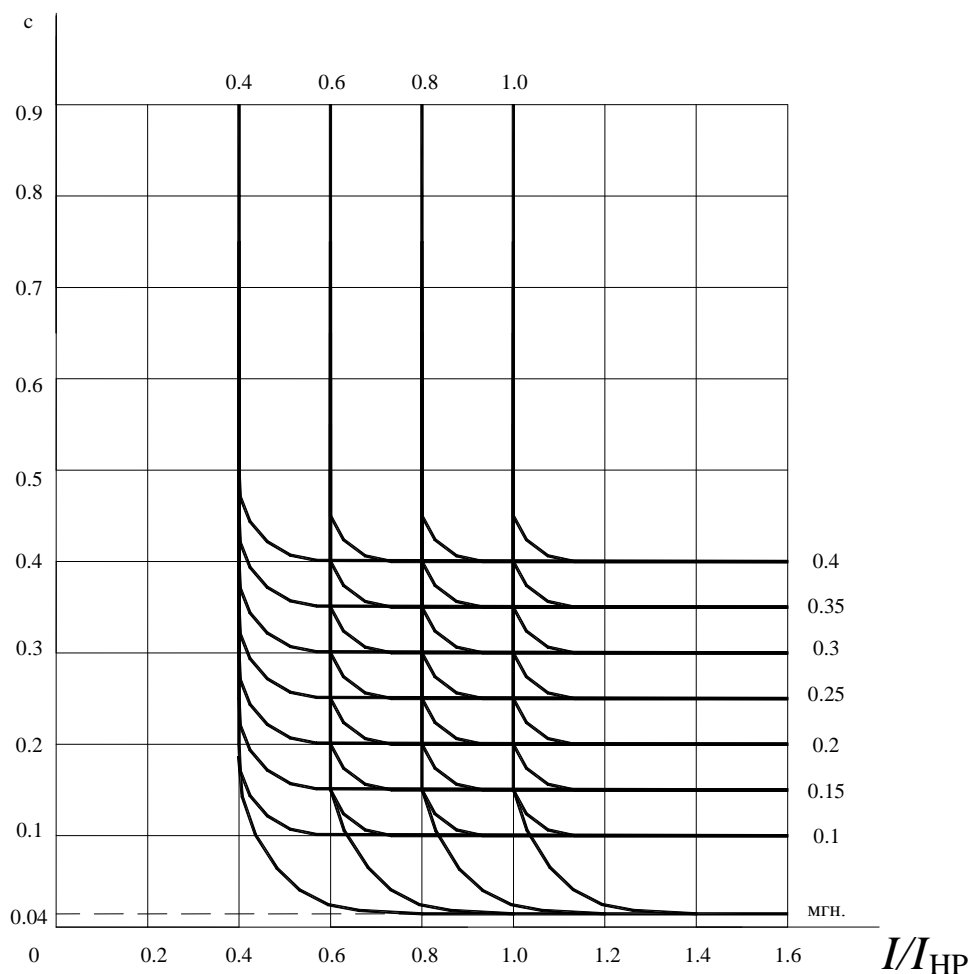
Пояснения для построения защитной характеристики автоматического выключателя для заданных уставок тока и времени:

- при построении защитной характеристики необходимо учитывать, что время срабатывания при токе перегрузки  $I_{НР} = 1,25 \cdot I_{НР}$  составляют около 100; 200; 300; 400 с; в зависимости от заданной по варианту (или выбранной при проектировании) уставки времени срабатывания при шестикратном токе (см. рис. П 8.1);

- ток срабатывания  $I_{С.МГН}$  задаётся в кА в зависимости от типа выключателя;

- номинальный ток расцепителя может регулироваться. При этом вся область характеристик, построенная для именованных единиц тока, будет сдвигаться влево относительно характеристики, построенной при кратности  $I_{НР} / I_{НВ} = 1$ ;

- автоматические выключатели серии ВА имеют специальную защиту от однофазных КЗ, когда током будет нагружен только один полюс выключателя. В этом случае срабатывание выключателя произойдет при токе, меньшем, чем номинальный ток расцепителя. При этом обеспечивается защита трансформатора от несимметричной нагрузки и увеличивается чувствительность при минимальных токах короткого замыкания. Время-токовые характеристики выключателей с защитой от однофазных КЗ приведены на рис. П 8.2.



**Рис. П 8.2. Время – токовые характеристики выключателей переменного тока ВА53-41 и ВА55-41 с защитой от однофазных замыканий**

## Приложение 9

### Пункты распределительные серии ПР–11

Шкафы серии ПР–11 предназначены для распределения электрической энергии, для защиты электрических установок напряжением до 660 В переменного тока частоты 50 и 60 Гц при перегрузках и коротких замыканиях, для нечастых включений и отключений электрических цепей и пусков асинхронных двигателей, а также обеспечения защиты людей и сельскохозяйственных животных от поражения электрическим током и предотвращения пожаров от электрического тока.

Структура условного обозначения:

$$\text{ПР } 11 - X_1 - XXX_2 - XX_3 - XX_4$$

- ПР – шкаф (пункт) распределительный;
- 11 – номер серии шкафов с выключателями АЕ20;
- $X_1$  – вид установки (1 – утопленное, 3 – навесное, 7 – напольное);
- $XXX_2$  – номер схемы распределительного шкафа;
- $XX_3$  – степень защиты по ГОСТ 14255–69 (21–IP21,54–IP54);

ХХ<sub>4</sub> – климатическое исполнение и категории размещения по ГОСТ 15150-69 (У1, У3, Т1, Т3, УХЛ3).

Шкафы комплектуются: вводными выключателями серии А3700, или выключателями типа АЕ2060, или без выключателей на вводе; выключателями на отходящих линиях серии АЕ20 с тепловыми и электромагнитными расцепителями на номинальные токи от 10 до 63 А – АЕ2040, от 16 до 100 А – АЕ2060.

Номинальный ток шкафа и выключателей на отходящих линиях снижается на: 10% – в шкафах со степенью защиты оболочки *IP2I*; 15 % – *IP54*; 20% – *IP54* тропического исполнения.

Механическая износостойкость ручного привода вводного выключателя шкафа допускает не менее 25000 циклов включения–отключения (ВО). Сборные силовые шины допускают наибольший ударный ток КЗ при номинальном токе шкафов: 100А – 10кА; 160, 250, 400А – 25кА; 630А – 50кА.

В табл. П 9.1 приведены некоторые типоразмеры шкафов с трех полюсными автоматическими выключателями.

При заказе необходимо указать: обозначение шкафа в соответствии со структурой условного обозначения; номинальный ток, номинальное напряжение согласно табл. П 9.1, номинальные токи максимальных расцепителей тока выключателей серии АЕ20; для шкафов с вводным выключателем его тип и номинальный ток максимального расцепителя, расположение вводного выключателя или вводных зажимов (внизу или сверху); необходимость параллельного присоединения шкафов с вводными выключателями на токи до 250 А включительно; типоразмер сальников и их количество для шкафов степени защиты *IP54*; номер технических условий.

Пример заказа шкафа со степенью защиты *IP54*, навесного исполнения, на 380 В переменного тока, номинальный ток шкафа 250А:

Вводной выключатель А3726 номинальный ток теплового расцепителя 250А, уставка по току срабатывания электромагнитных расцепителей 2500А, вводной выключатель внизу; шесть выключателей на отходящих линиях АЕ2044 (однополюсных), номинальный ток тепловых и электромагнитных расцепителей 10 А; восемь выключателей на отходящих линиях АЕ2046, номинальный ток тепловых и электромагнитных расцепителей 20А; с сальниками для уплотнения кабеля с сечением 120 мм<sup>2</sup> и кабелем с сечением 10 мм<sup>2</sup>.

Заказ записывается в виде следующего текста: "Шкаф распределительный ПР11–3086–54У3, 250 А, 380 В переменного тока, с выключателями на отходящих линиях АЕ2046 с тепловыми и электромагнитными расцепителями на 20 А и АЕ2044 с тепловыми и электромагнитными разделителями на 10А, вводной выключатель А3726Ф внизу. Комплектно поставить сальники СК–43–1 шт., СК–24–11 шт.; ТУ 16–536.610.82.

Линейные выключатели в шкафах могут быть в любом сочетании по номинальному току расцепителей. При этом одновременная суммарная

нагрузка выключателей не должна превышать допустимый ток шкафа.

Шкафы по заказу могут изготавливаться с неполным количеством выключателей. Шкафы могут комплектоваться вводными селективными выключателями АЗ700С.

Таблица П 9.1

### Технические характеристики шкафов ПР-11

Тип шкафа при исполнении		Ном. ток шкафа, <i>A</i>	Тип выключателя на вводе	Количество линейных выключателей АЕ2046Б 10–63 <i>A</i>
Навесном	Напольном			
ПР11–3047	–	100	–	2
ПР11–3048	–		АЕ2066	2
ПР11–3053	–	250	–	4
ПР11–3054	–		АЕ3726 ФУЗ или БУЗ	4
ПР11–3059	–	250	то же	6
ПР11–3060	–			6
ПР11–3067	–	250	–"–	8
ПР11–3068	–			8
ПР11–3077	ПР11–7077	250	–"–	10
ПР11–3078	ПР11–7070			10
ПР11–3089	–	400	–	6
ПР11–3090	–		А3726ФУЗ или А3796НУЗ	6
ПР11–3097	–	400	то же	8
ПР11–3098	–			8
ПР11–3107	–	400	–"–	10
ПР11–3108	–			10
Шкафы с линейными выключателями АЕ2066 16 – 100А				
ПР11–3117	–	250	–	4
ПР11–3118	–		А3726ФУЗ или БУЗ	4
ПР11–3119	ПР11–7119	400	–	6
ПР11–3120	ПР11–7120		А3736ФУЗ, А3796НУЗ	6
ПР11–3121	ПР11–7121	630	то же	8
ПР11–3122	ПР11–7122			8
–	ПР11–7123	630	–"–	12
	ПР11–7124			12

*Примечание:* все шкафы выпускаются с защитными оболочками IP21 и IP54 для различных климатических условий (полный индекс шкафа, например: – ПР11–7124–21УЗ, ПР11-3047-54УЗ)

## Приложение 10

### Шкафы распределительные серии ШР11

Шкафы с трехфазными группами плавких предохранителей ПН2 и (или) НПН2 для защиты отходящих линий и с рубильниками или рубильниками плюс предохранителями на вводе применяются для распределения электрической энергии напряжением трехфазного тока до 500В.



Время–токовая защитная характеристика предохранителя является обратно зависимой от тока и обладает достаточно большим разбросом времени срабатывания. Упрощенно ее среднюю характеристику можно изобразить следующим образом: при токе  $(1,6-1,7) I_B$  отключение цепи происходит за время не более 10 мин, при токе  $6 I_B$  – не более 0,2с, а при токе  $10 I_B$  – не более 0,05с и далее характеристика стремительно приближается к времени 0,01–0,015с. Более подробная информация для предохранителей типа ППН приведена ниже.

При заказе шкафа необходимо указать: а) тип и исполнение шкафа согласно табл. П.10.1; б) номинальное напряжение и ток; в) число трехфазных групп и номинальные токи предохранителей отходящих линий; г) номинальный ток плавких вставок и их количество; д) для шкафов с предохранителем на вводе – номинальный ток плавкой вставки.

Таблица П 10.1

**Основные технические данные**

Тип шкафа	Аппараты ввода			Число трехфазных групп и номинальные токи предохранителей отходящих линий, А
	Тип рубильника	Номинальные токи, А		
		рубильника	предохранителя	
ШР11 – 73701 73702 73703	P16–353	250	–	5X60 5X100 2x60 + 3x100
ШР11 – 73504 73505 73506 73507 73508 73509 73510 73511	P16–373	400	–	8x60 8x100 8x250 3x100 + 2x250 5x250 4x60 + 4x100 2x60+4x100+2x250 6x100 + 2x250
ШР11 – 73512 73013 73314 73515 73316 73517	P16–373	400	400	8x100 8x100 8x250 4x60 + 4x100 2x60+4x100+2x250 6x100 + 2x250

**Примечание:** все шкафы выпускаются с защитными оболочками *IP22*, *IP54* по ГОСТ 14254–69 для климатического исполнения соответственно УЗ, У2 по ГОСТ 15150–69. Поэтому полное обозначение шкафа, например: ШР11– 73701–*IP54*У2, ШР11–73517–*IP22*У2

Технические данные предохранителей НПН2, ПН2

Тип	Номинальный ток, А		Предельный отключаем. ток, кА, напряж. 380 В
	Предохранителей	Плавкой вставки, $I_B$ , А	
НПН2 – 60	60	6,10,16,20,25,30,40,60	10
ПН2 – 100	100	30,40,50,60,80,100	100
ПН2 – 250	250	80, 100, 120, 150, 200 ,250	100
ПН2 – 600	600	300,400,500,600	25
ПН2 – 400	400	200,250,300,400	40

### Предохранители типа ППН, ППНИ\*

#### 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.

### ***Преимущества***

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

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

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

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.

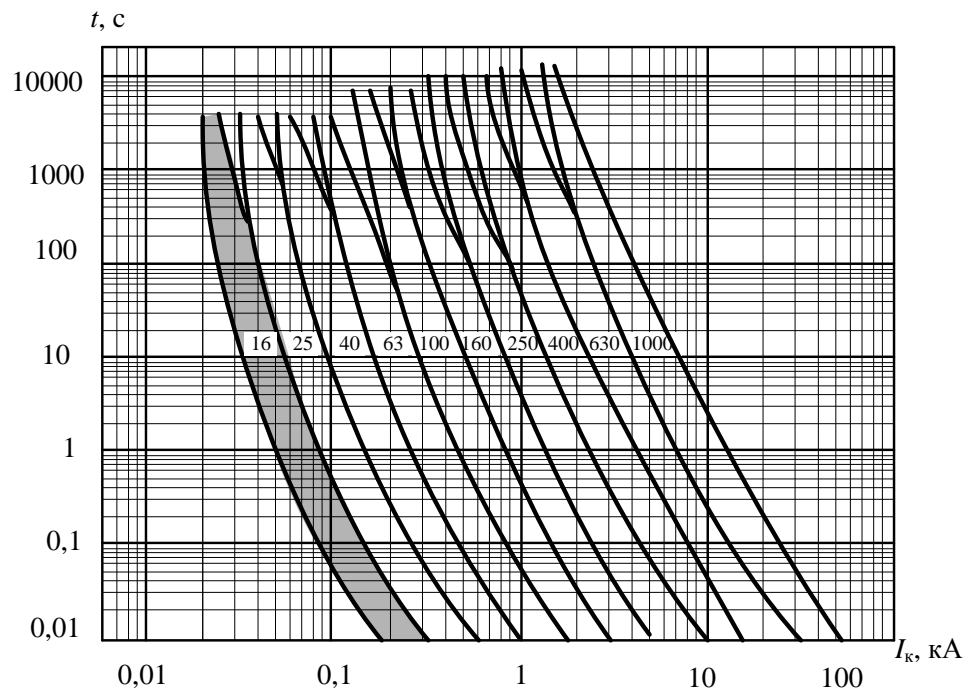
7. Высокая отключающая способность: при 660 В – 50 кА, а при 500 В – 120 кА.

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.

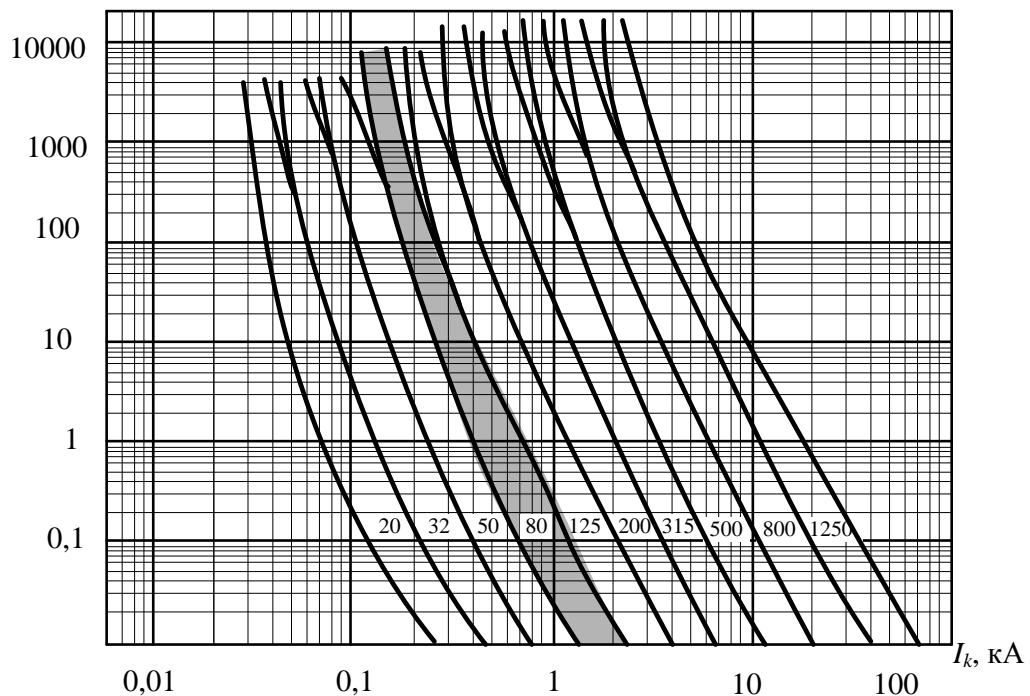
2. При использовании плавких вставок не требуется дополнительного пространства для гашения дуги, не происходит эмиссии металла с плавкого элемента.

## П 1.4. Защитные характеристики



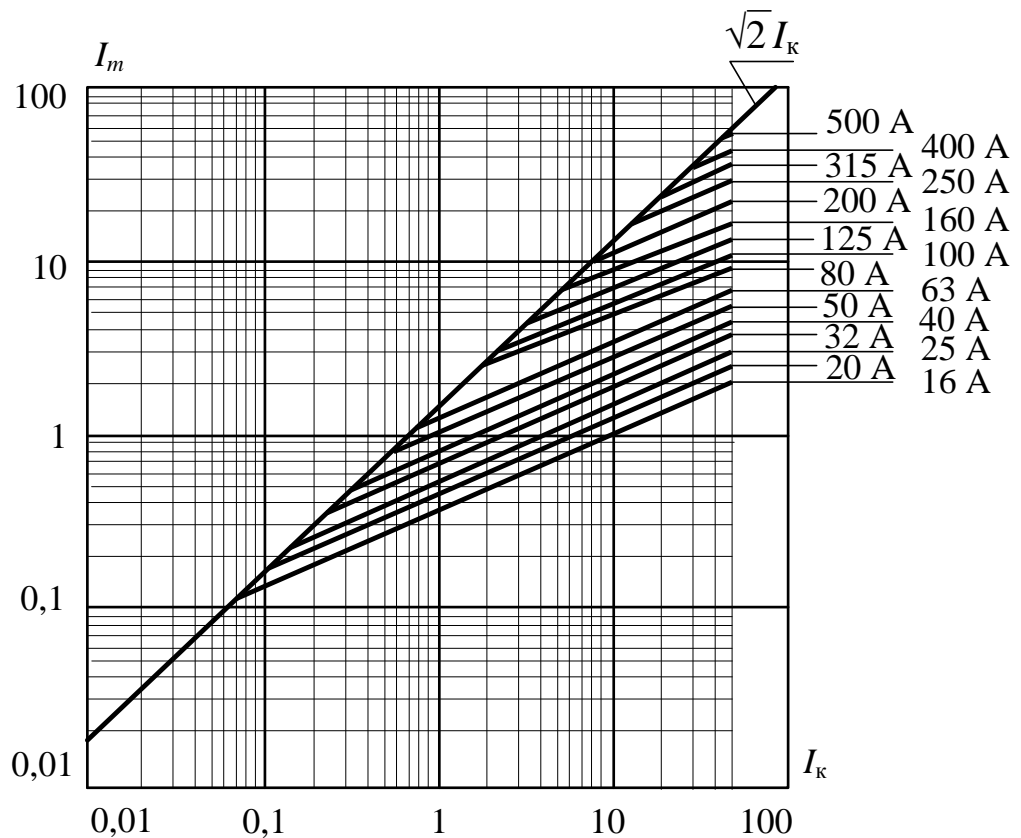
**Рис. П 1.1. Зона времятоковых характеристик:**

Выделена область действия плавкой вставки на номинальный ток 16А;  
 $I_k$  – действующее значение ожидаемого тока короткого замыкания, кА  
 $t, \text{с}$



**Рис. П 1.2. Зона времятоковых характеристик:**

выделена область действия плавкой вставки на номинальный ток 80А



**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.

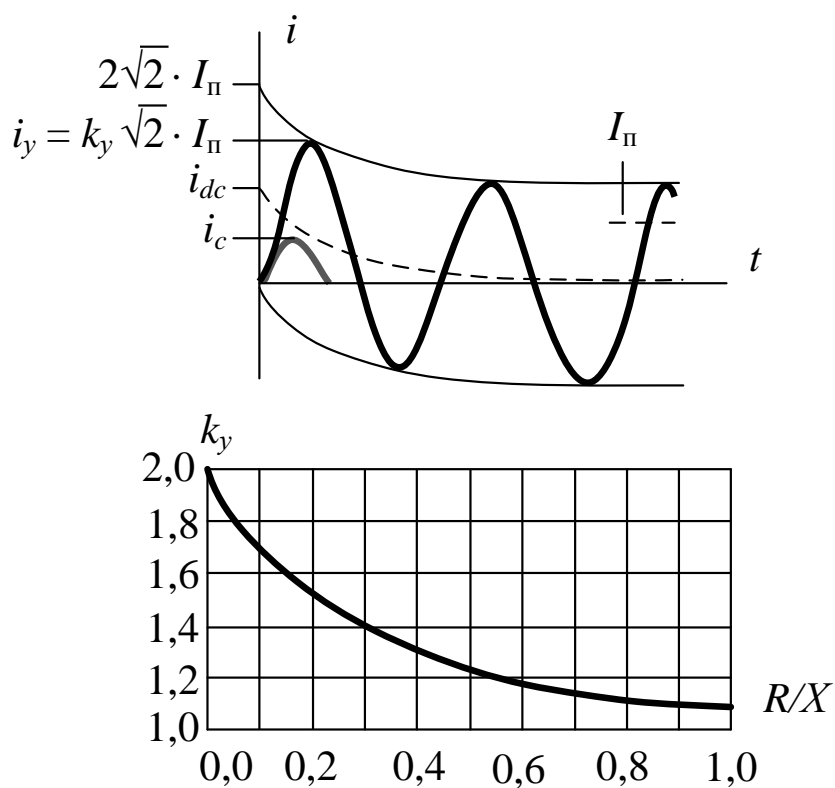


Рис. П 1.4. Характер изменения тока КЗ и величины ударного коэффициента