



## Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем



*Направление подготовки  
140400.62 «Электроэнергетика и электротехника»*

*Квалификация выпускника: бакалавр*



Презентации разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области»



## Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем



Тема лекции:

### *Токовые защиты*

Канд. техн. наук КОЗЛОВ А.Н.



Презентации разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области»



## Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем



Презентации по курсу лекций обсуждены на заседании кафедры энергетики

«15» 11 2013 г., протокол № 4

Заведующий кафедрой Н.В. Савина

Презентации по курсу лекций одобрены на заседании учебно-методического совета направления подготовки 140400.62 – «Электроэнергетика и электротехника»

«16» 12 2013 г., протокол № 5

Председатель Ю.В. Мясоедов

Рецензент: А.А. Андро, директор по информационно-технологическому сопровождению филиала ОАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» (ОАО «ФСК ЕЭС») – Магистральные электрические сети Востока (МЭС Востока)

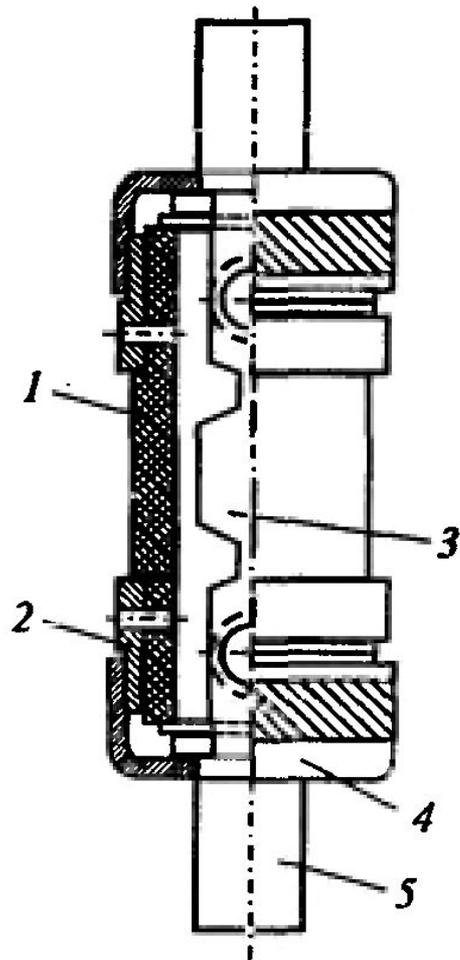


Презентации разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области»

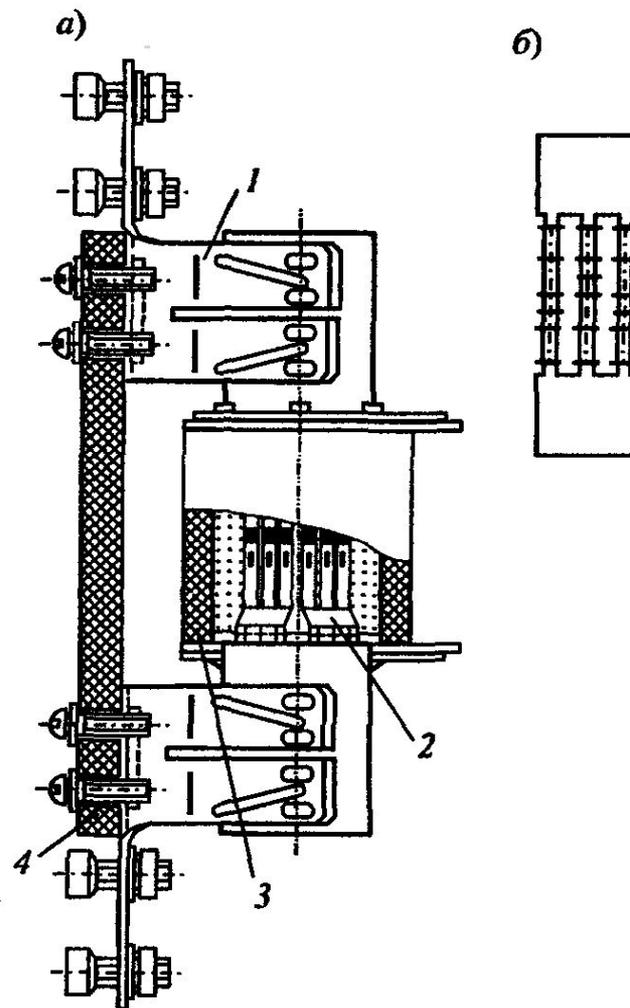
## Токовые защиты

### Защита электроустановок плавкими предохранителями





**Рис. 4.1.** Предохранитель серии ПР-2



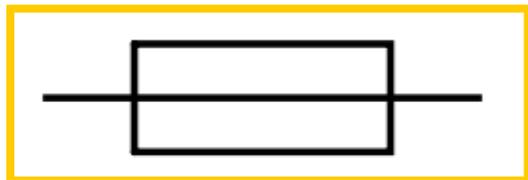
**Предохранитель серии ПН-2**

Обозначение плавких предохранителей на принципиальных электрических схемах

Обозначение плавких предохранителей на принципиальных электрических схемах в разных стандартах оформления



IEC



IEEE/ANSI



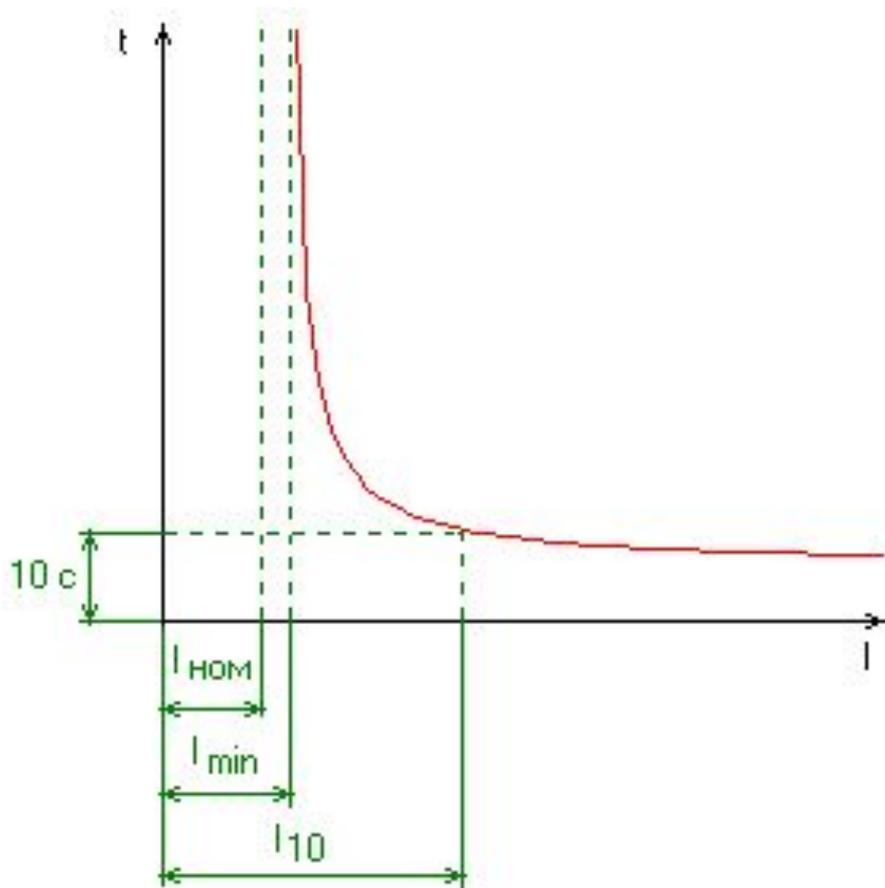
IEEE/ANSI

*F, FA, FU* - плавкий предохранитель

Международная электротехническая комиссия (**МЭК**; англ. International Electrotechnical Commission - **IEC**)

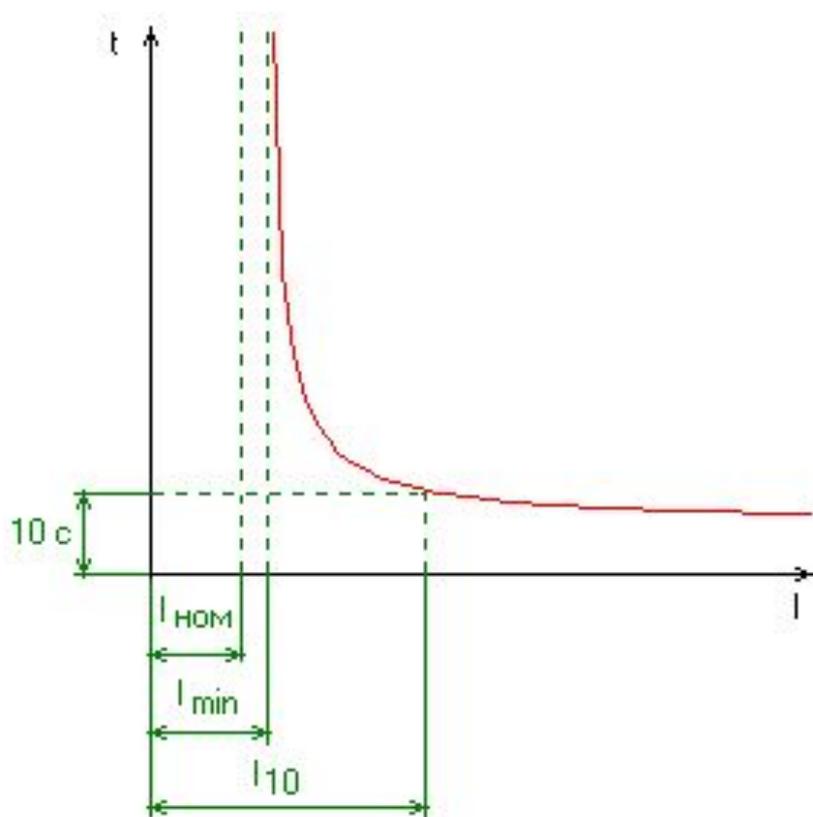
Институт инженеров электротехники и электроники – **IEEE** (англ. **Institute of Electrical and Electronics Engineers**), международная некоммерческая ассоциация специалистов в области техники

Американский национальный институт стандартов (англ. **American national standards institute, ANSI**)



Основной характеристикой плавкой вставки является зависимость времени ее перегорания от тока (рисунок). Эта кривая снимается экспериментально: берется партия одинаковых предохранителей, которые последовательно пережигаются при разных токах. Замеряются время, по истечении которого вставка перегорает, и ток, проходящий через вставку. Каждому току соответствует определенное время перегорания вставки. По этим данным и строится временная (ампер-секундная) характеристика.

На этой кривой особо выделяются следующие токи, которые используются для выбора плавких вставок:



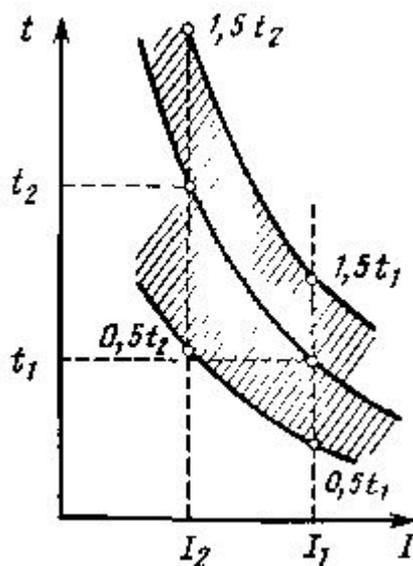
**$I_{ном}$**  - номинальный ток вставки, т.е. ток, при котором вставка длительно работает, не нагреваясь выше допустимой температуры.

**$I_{мин}$**  - наименьший из токов, расплавляющих вставку (при этом токе вставка плавится, но в течение неопределенно продолжительного времени (1-2 ч); при меньших токах вставка уже не расплавляется);

**$I_{10}$**  - ток, при котором плавление вставки и отключение сети происходит через 10 с после установления тока;

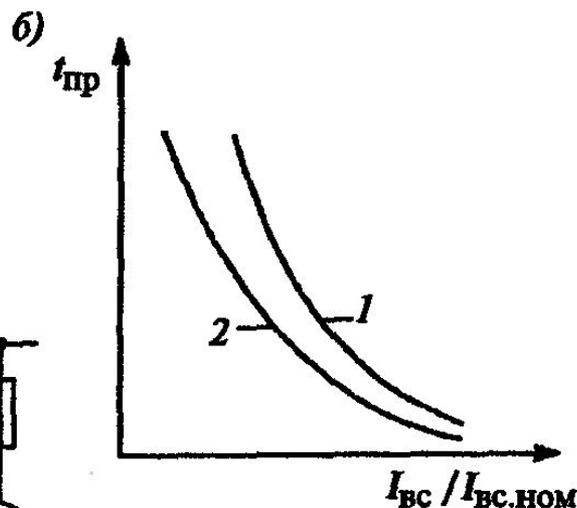
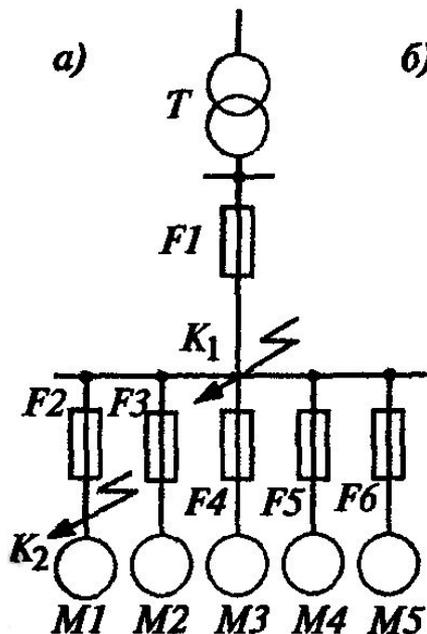
Токи связаны простым соотношением:  $I_{ном} = I_{10} / 2.5$ .

Опытным путем установлено, что в крайних случаях при совпадении всех неблагоприятных факторов, влияющих на время отключения, *отклонение действительного времени отключения от заводских данных предохранителей до 1 кВ может достигать до  $\pm 50\%$* . Такой разброс принимается при проверке селективности в особо ответственных цепях, где неселективная работа предохранителей недопустима.



В наиболее распространенных случаях обычно принимается разброс в значениях времени отключения  $\pm 25\%$ . При этом допускается в редких случаях возможность неселективной работы предохранителей.

## Защитная характеристика предохранителя, условия выбора



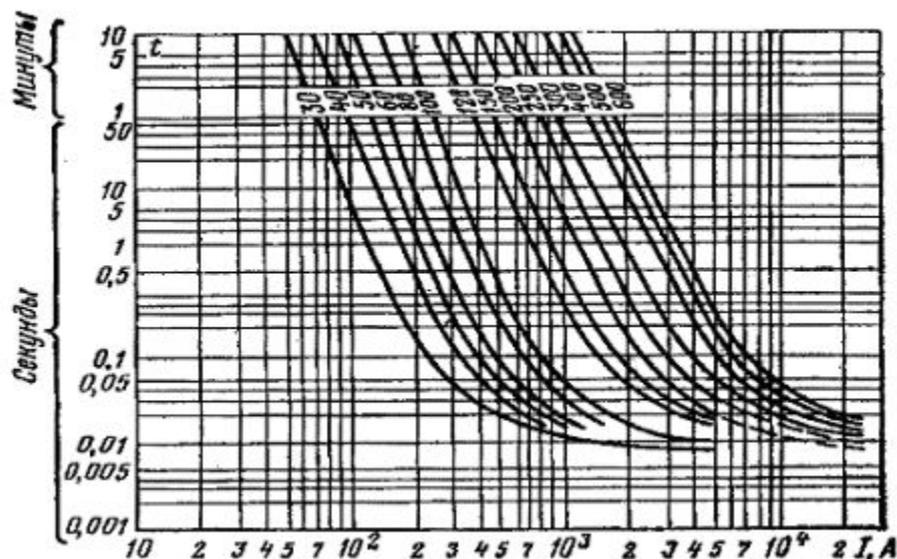
Выбор предохранителя:

$$U_{\text{пр.ном}} = U_c \text{ И } I_{\text{пр.отк}} \geq I_{\text{к.макс}}$$

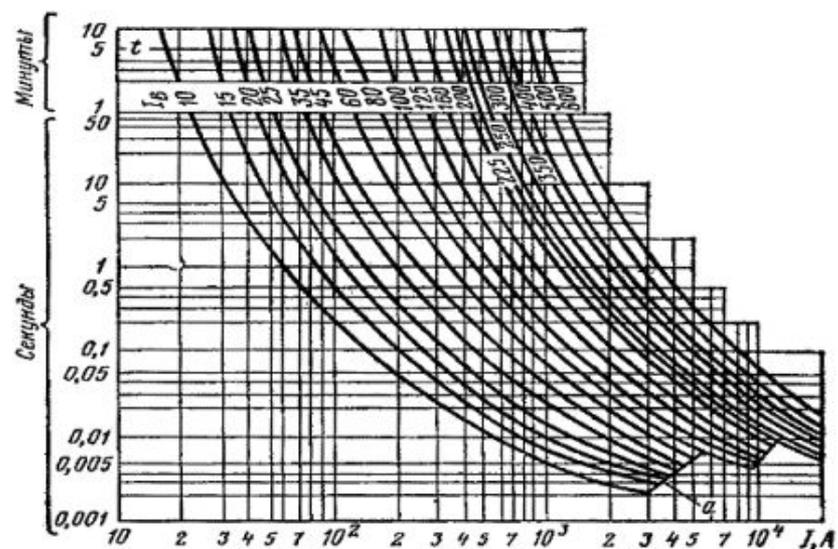
Выбор плавкой вставки:

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{вс.ном}} &\geq k_{\text{отс.}} I_{\text{раб.макс.}} \quad (\text{первое условие}), \\ I_{\text{вс.ном}} &\geq I_{\text{пер.}} / k_{\text{пер.}} \quad (\text{второе условие}), \\ I_{\text{вс.ном}} &\leq I_{\text{к.мин}} / (10 \div 15) \quad (\text{третье условие}), \end{aligned} \right\}$$

## Примеры защитных характеристик предохранителей



Защитные (время-токовые) характеристики плавких предохранителей типа ПН-2



Защитные (время-токовые) характеристики плавких предохранителей типа НПР и НПН



[www.bilmax.com.ua](http://www.bilmax.com.ua)



Первое условие используется, если предохранитель установлен в цепи, питающей постоянную (слабо изменяющуюся) нагрузку.

$$I_{\text{вс.ном}} \geq k_{\text{отс.}} I_{\text{раб.макс.}}$$

$k_{\text{отс.}} = 1,1 \div 1,25$  - коэффициент отстройки (коэффициент запаса).

Если предохранитель установлен в цепи, питающей переменную нагрузку (типичный пример - электродвигатель), то кроме первого условия используется и второе.

$$I_{\text{вс.ном}} \geq I_{\text{пер.}} / k_{\text{пер.}}$$

$I_{\text{пер.}}$  – ток перегрузки. Для электродвигателя – пусковой ток;

$k_{\text{пер.}}$  - коэффициент, величина которого зависит от условий пуска:

Если время пуска  $t_{\text{пуск}} \leq 2 \div 3$  с., пуск – легкий, и  $k_{\text{пер.}} \approx 2,5$ ;

Если  $t_{\text{пуск}}$  - от 3 до 10 с., пуск – тяжелый,  $k_{\text{пер.}} = 2 \div 1,5$ .

Шкала номинальных токов плавких вставок  
предохранителей

**ГОСТ Р 50339.0-2003 (МЭК 60269-1-98)**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

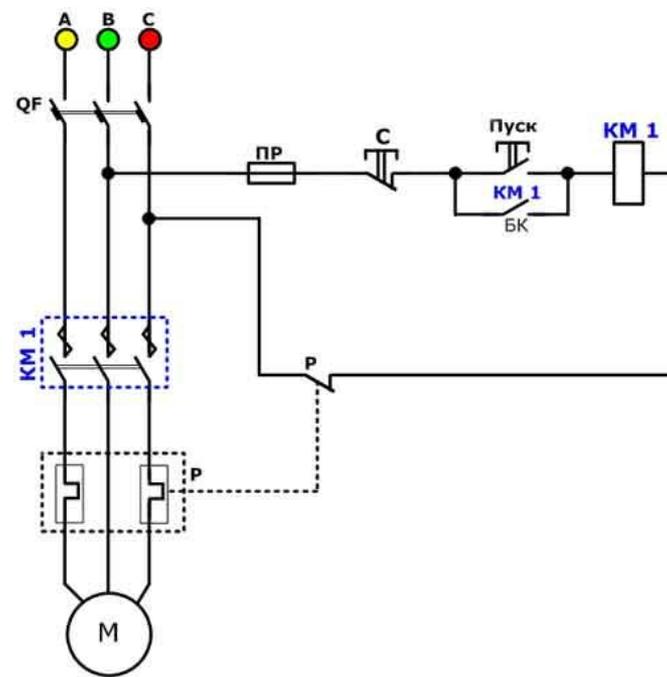
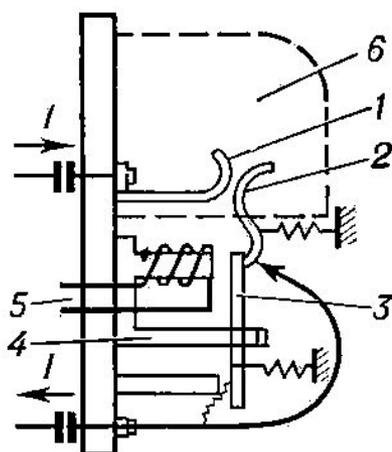
**ПРЕДОХРАНИТЕЛИ ПЛАВКИЕ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ**

**ЧАСТЬ 1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Номинальный ток плавкой вставки следует выбирать из следующих значений:

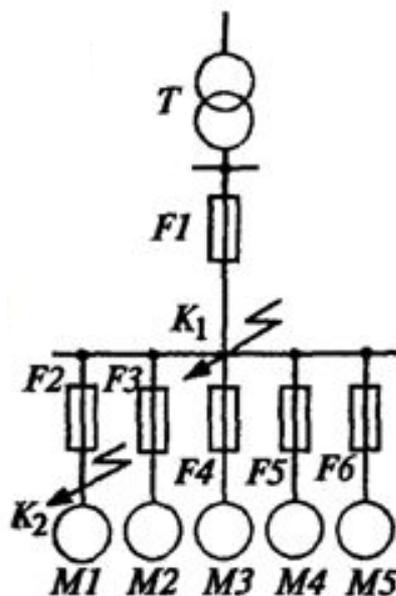
**2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200,  
250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 А.**

В зависимости от характера нагрузки и необходимости самозапуска номинальный ток плавкой вставки выбирают по первому или второму условию, принимают ближайшим большим по шкале стандартных токов и проверяют по третьему условию при наличии в защищаемой сети магнитных пускателей или контакторов. Выбранные предохранители должны удовлетворять требованиям чувствительности и по возможности действовать селективно.



Для предохранителя  $F1$ , установленного в цепи, питающей группу нагрузок, первое условие – следующее:

$$I_{\text{вс.ном}} \geq k_{\text{отс.}} \sum_{i=1}^n I_{\text{раб.макс.}i}$$



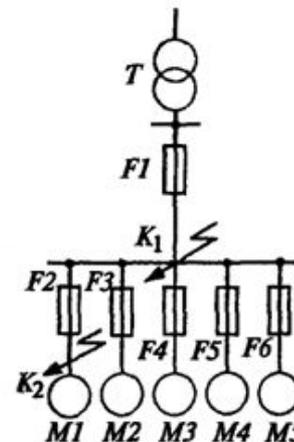
## Ток перегрузки во втором условии принимается бóльшим из двух значений:

- для случая пуска наиболее мощного электродвигателя и режима нормальной работы всех остальных потребителей, питание которых осуществляется через выбираемый предохранитель:

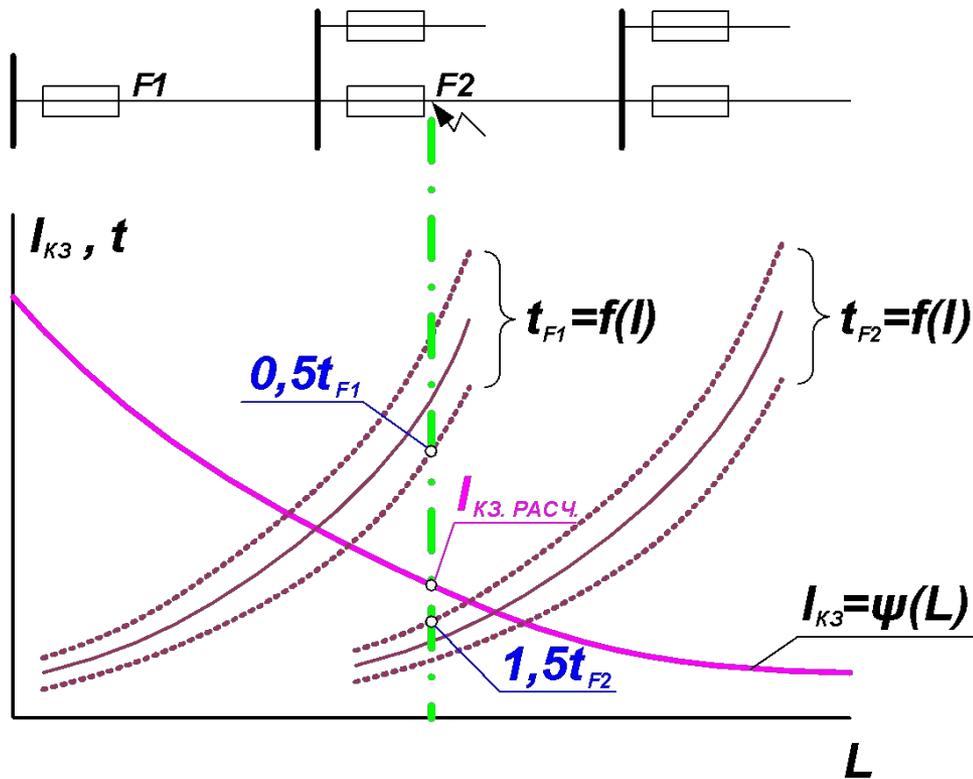
$$I_{\text{пер.}} = k_{\text{отс.}} \sum_{i=1}^{n-1} I_{\text{раб.макс.}i} + I_{\text{пуск.макс.}};$$

- для режима самозапуска оставшихся в работе электродвигателей, возникающего после отключения поврежденного потребителя, например – после отключения электродвигателя *M1* предохранителем *F2*:

$$I_{\text{пер.}} = \sum_{j=1}^m I_{\text{пуск.}j}$$



## Проверка плавких вставок последовательно установленных предохранителей по селективности и чувствительности



При КЗ в расчетной точке, в соответствии с требованием селективности, предохранитель F2 должен разорвать цепь раньше, чем предохранитель F1, для чего необходимо выполнение условия:

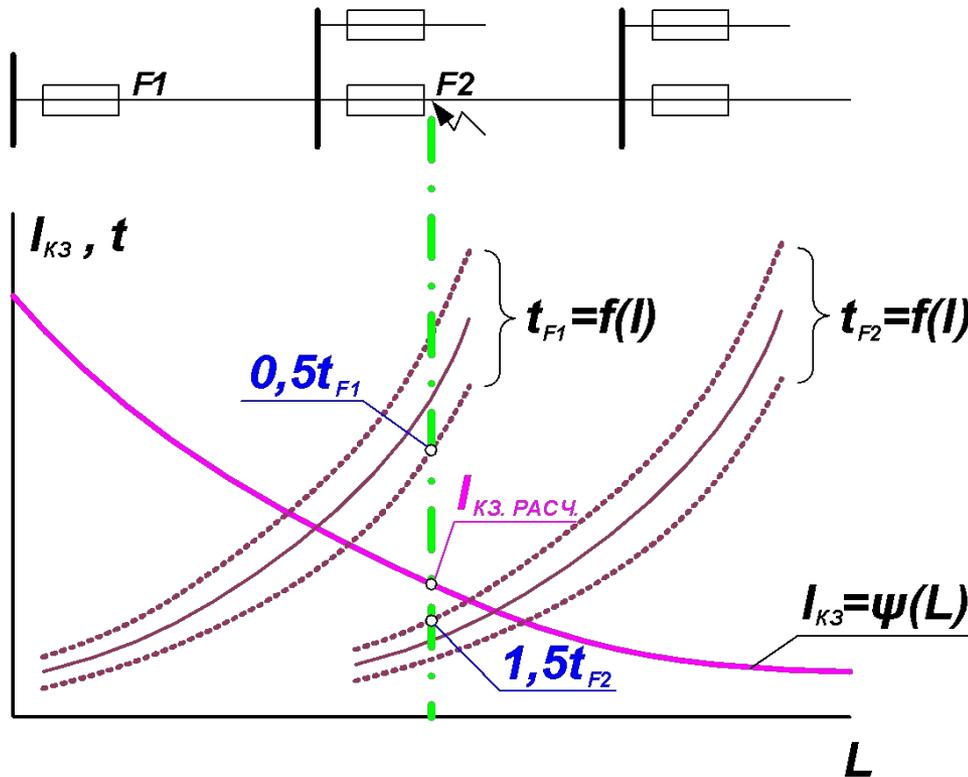
$$0,5t_{F1} \geq 1,5t_{F2}$$

Или:

$$t_{F1} \geq 3t_{F2}$$

## Проверка плавких вставок последовательно установленных предохранителей по селективности и чувствительности

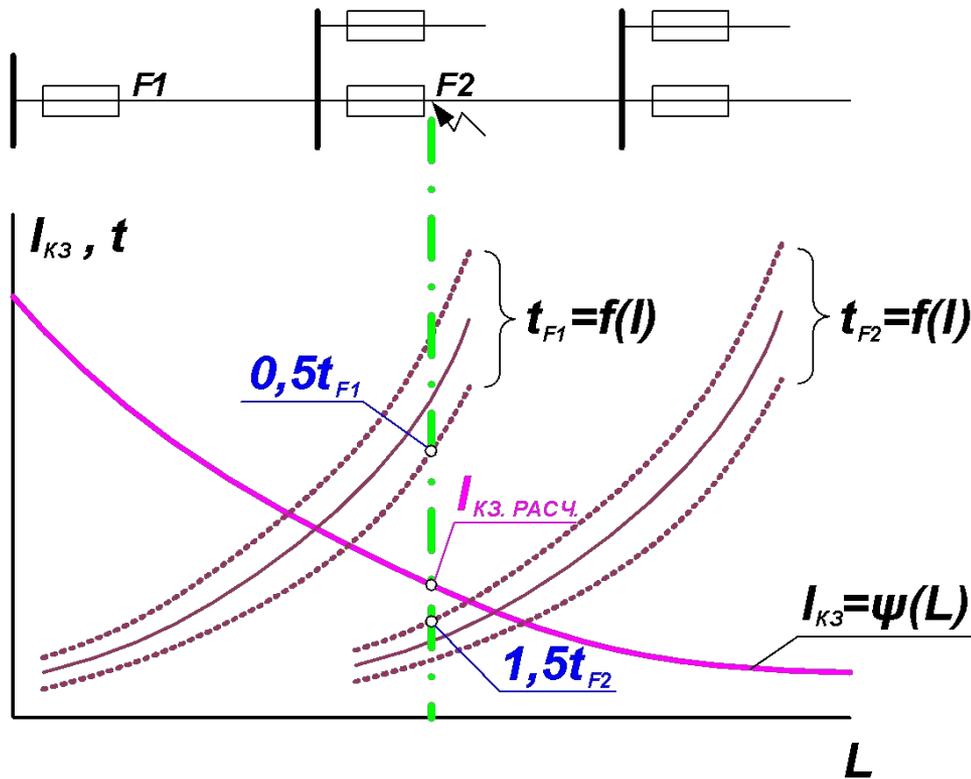
$$t_{F1} \geq 3t_{F2}$$



Этому условию отвечают следующие правила:

1. При последовательной установке однотипных низковольтных предохранителей  $I_{BC.НОМ}$  должны отличаться на две ступени шкалы.
2. При последовательной установке разнотипных низковольтных предохранителей  $I_{BC.НОМ}$  должны отличаться более чем на две ступени шкалы.
3. При последовательной установке высоковольтных предохранителей  $I_{BC.НОМ}$  должны отличаться на одну ступень шкалы.

## Проверка плавких вставок последовательно установленных предохранителей по селективности и чувствительности



Проверка по чувствительности заключается в расчете соответствующего коэффициента:

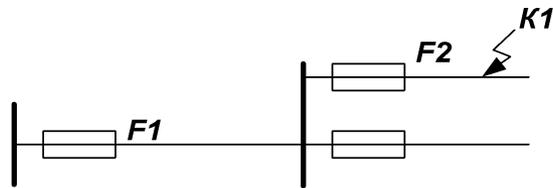
$$k_{\text{ч}} = (I_{\text{КЗ.МИН}} / I_{\text{ВС.НОМ}}) \geq 3$$

$I_{\text{КЗ.МИН}}$  – ток КЗ в наиболее удаленной точке защищаемой цепи. В сети с заземленной нейтралью расчетным является ток однофазного КЗ, в сети с изолированной нейтралью – двухфазного КЗ;

$I_{\text{ВС.НОМ}}$  – номинальный ток проверяемой по чувствительности плавкой вставки.

## Проверка плавких вставок последовательно установленных предохранителей по селективности и чувствительности

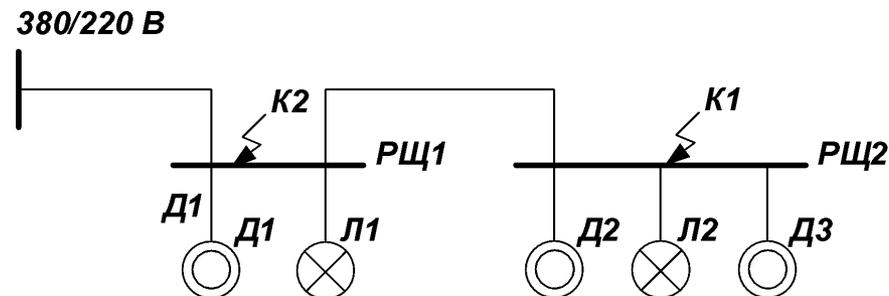
**Задача 1.** Отделение от основной линии защищено предохранителем F2 с номинальным током плавкой вставки  $I_{BC.NOM.F2} = 40$  А. Максимальный ток КЗ в точке K1:



$I_{КЗ.МАКС.} = 650$  А. Исходя из требований селективности определить наименьшее значение номинального тока плавкой вставки предохранителя F1, используемого для защиты основной линии. Погрешность предохранителей по времени отключения  $\pm 50\%$ . Для защиты используются предохранители ПН-2.

**Задача 2.** Сеть промышленного предприятия выполнена по схеме, приведенной на рисунке. Асинхронные двигатели включены на напряжение 380 В, осветительная нагрузка – на 220 В. Нагрузка осветительной линии Л1 – 5 кВт, а Л2 – 20 кВт. Характеристики электродвигателей приведены в таблице.

таблице.



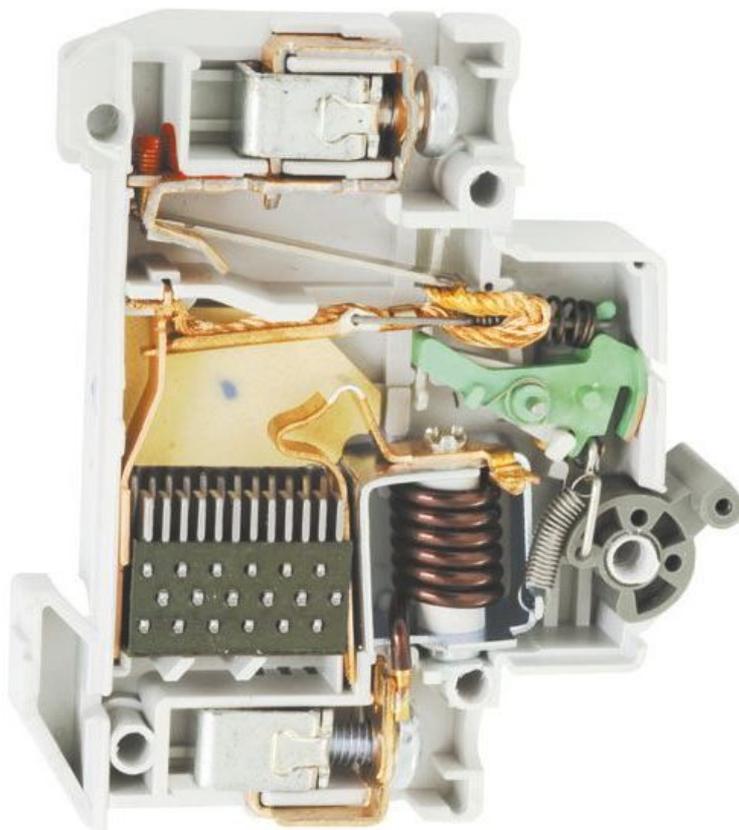
При повреждении в точке K1 ток КЗ  $I_{K1} = 450$  А, при повреждении в точке K2  $I_{K2} = 600$  А.

Расставить в схеме предохранители типа ПН-2 и выбрать для них плавкие вставки. Принять  $k_{отс} = 1,2$ . Пуск двигателей – легкий.

Номер двигателя	$S_{ном},$ кВт	$k_{пуск} = I_{пуск} / I_{ном}$	Коэффициент мощности $\cos \varphi$	К.п.д., $\eta, \%$	$k_{пер}$
Д1	20	5	0,88	89	2,5
Д2	10	5	0,88	87,5	2,5
Д3	14	5,5	0,88	88,5	2,5

**Решение задач - в презентации для практических занятий.**

## Защита низковольтных электроустановок автоматическими выключателями



*Первый малогабаритный автоматический выключатель (автомат) был запатентован еще в 1923 году его изобретателем – немецкой компанией АВВ.*

**Автоматический выключатель (автомат)** – это устройство, которое предназначено для отключения электроустановок в случае возникновения токов короткого замыкания и перегрузок электрических цепей. Для использования в быту и для общественных зданий сегодня самыми распространенными являются автоматические выключатели с компактными размерами, которые устанавливаются на 35-мм монтажную рейку (**DIN-рейку**) в распределительный щиток.

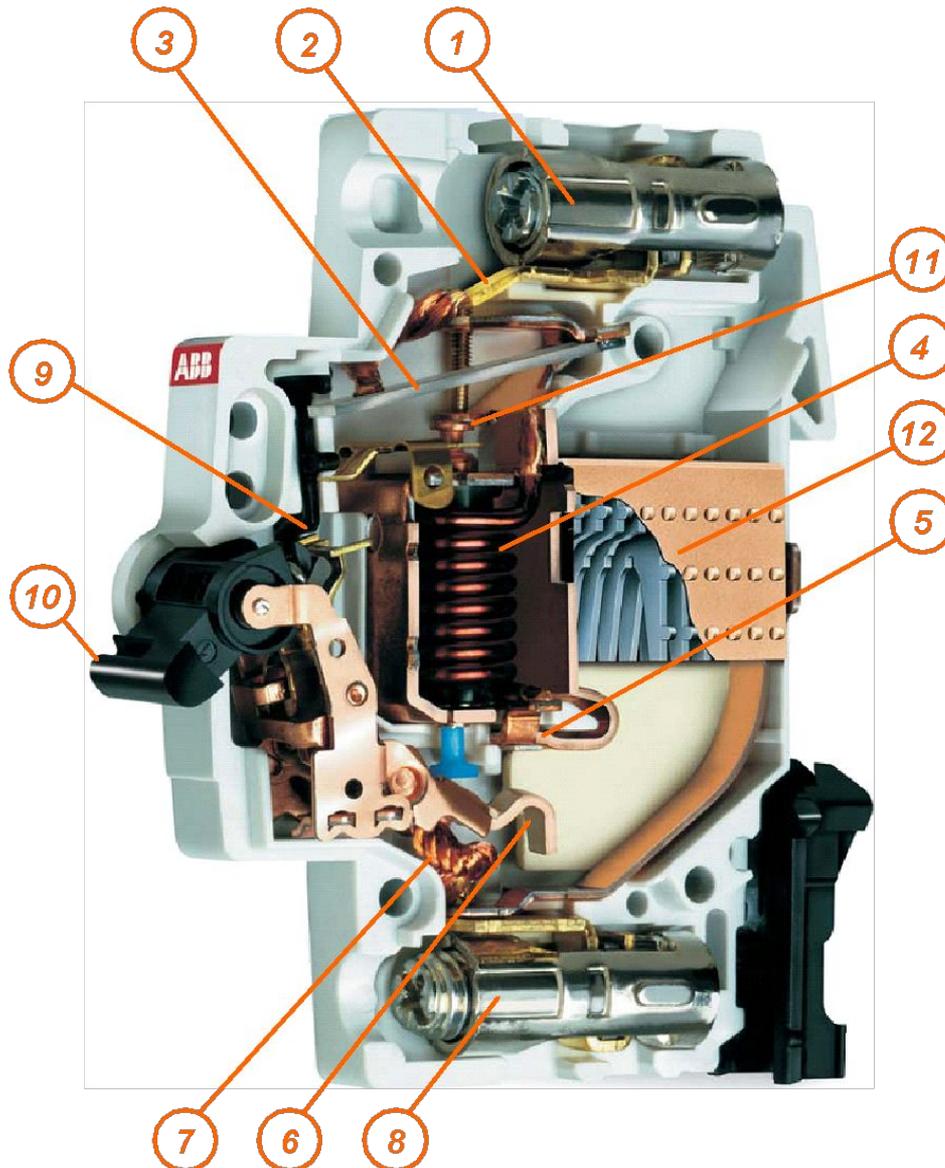


При перегрузках защитным элементом является **биметаллическая пластина**. Она нагревается и изгибается, что приводит к срабатыванию механизма расцепителя. В случае короткого замыкания срабатывает другой механизм – **магнитная катушка**. Токи короткого замыкания намного выше, чем при перегрузках, в катушке резко возрастает магнитный поток, что и обеспечивает срабатывание механизма расцепителя. При размыкании контактов возникает электрическая дуга, которая гасится с помощью дугогасительной камеры, и электрическая цепь разрывается.

**Автоматы не предназначены для частой коммутации.**

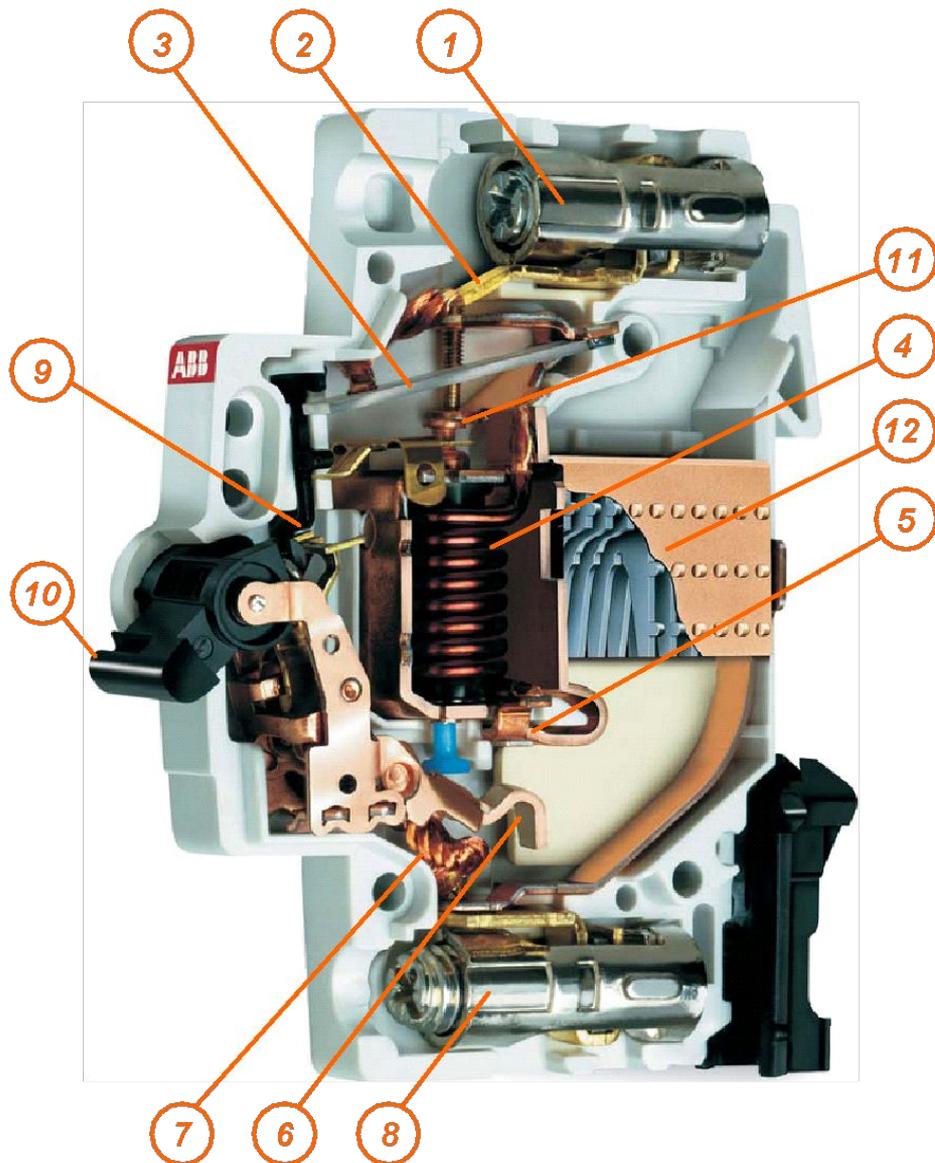


## Устройство автомата



- 1 - винтовой зажим (верхний);
- 2 - гибкая связь;
- 3 - биметаллическая пластина;
- 4 - катушка соленоида;
- 5 - неподвижный контакт;
- 6 - подвижный контакт;
- 7 - гибкая связь;
- 8 - нижний винтовой зажим;
- 9 - механизм расцепления;
- 10 - пластиковый язычок;
- 11 – шток;
- 12 - дугогасящая камера.

## Работа автомата



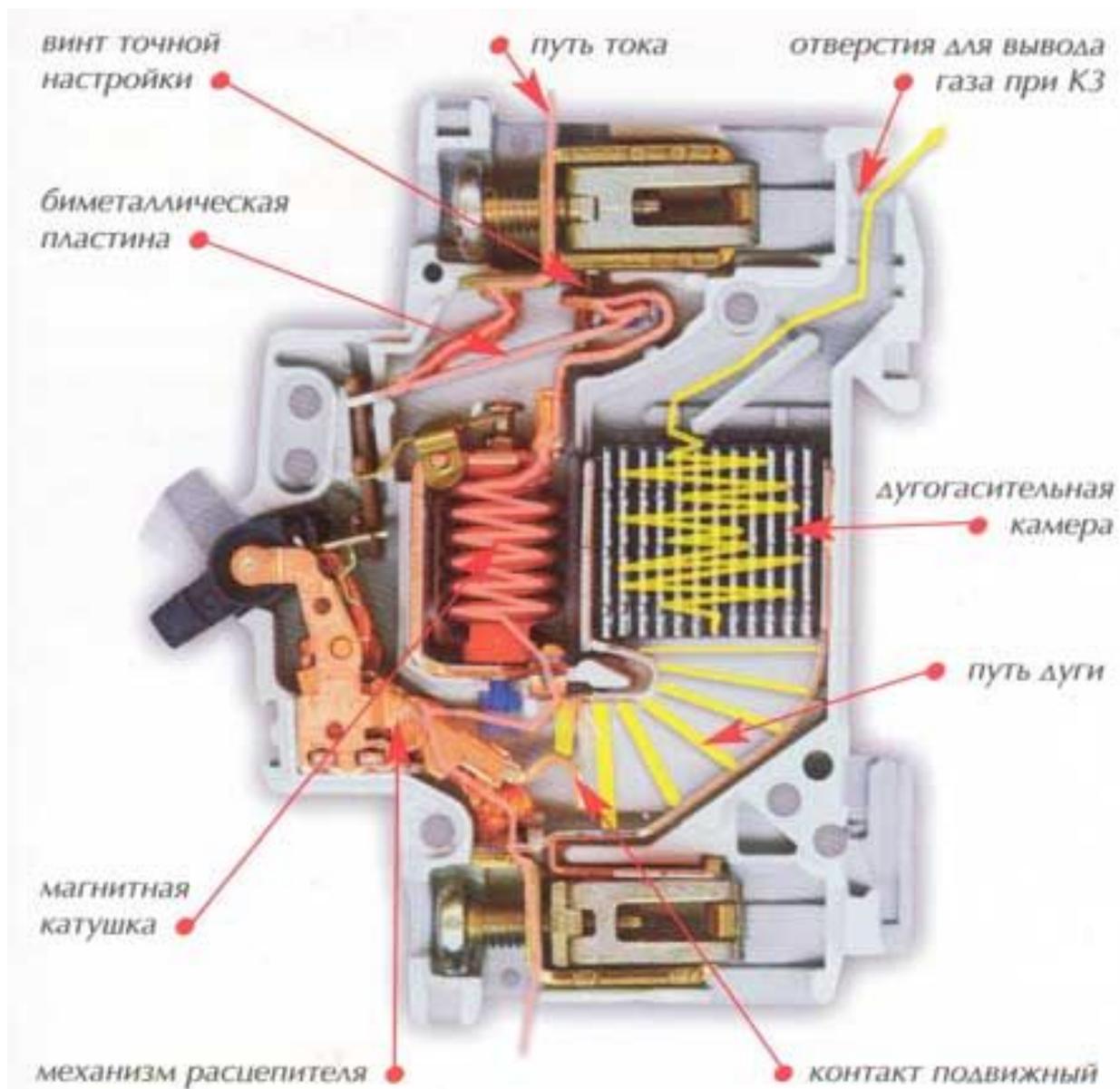
Напряжение к автомату АВВ подводится через питающий кабель, подключаемый сверху к винтовому зажиму 1.

Когда автомат включен, ток от винтового зажима 1, через гибкую связь 2, биметаллическую пластину 3, катушку соленоида 4, неподвижный контакт 5, подвижный контакт 6, через гибкую связь 7 и нижний винтовой зажим 8 протекает в отходящую линию на нагрузку.

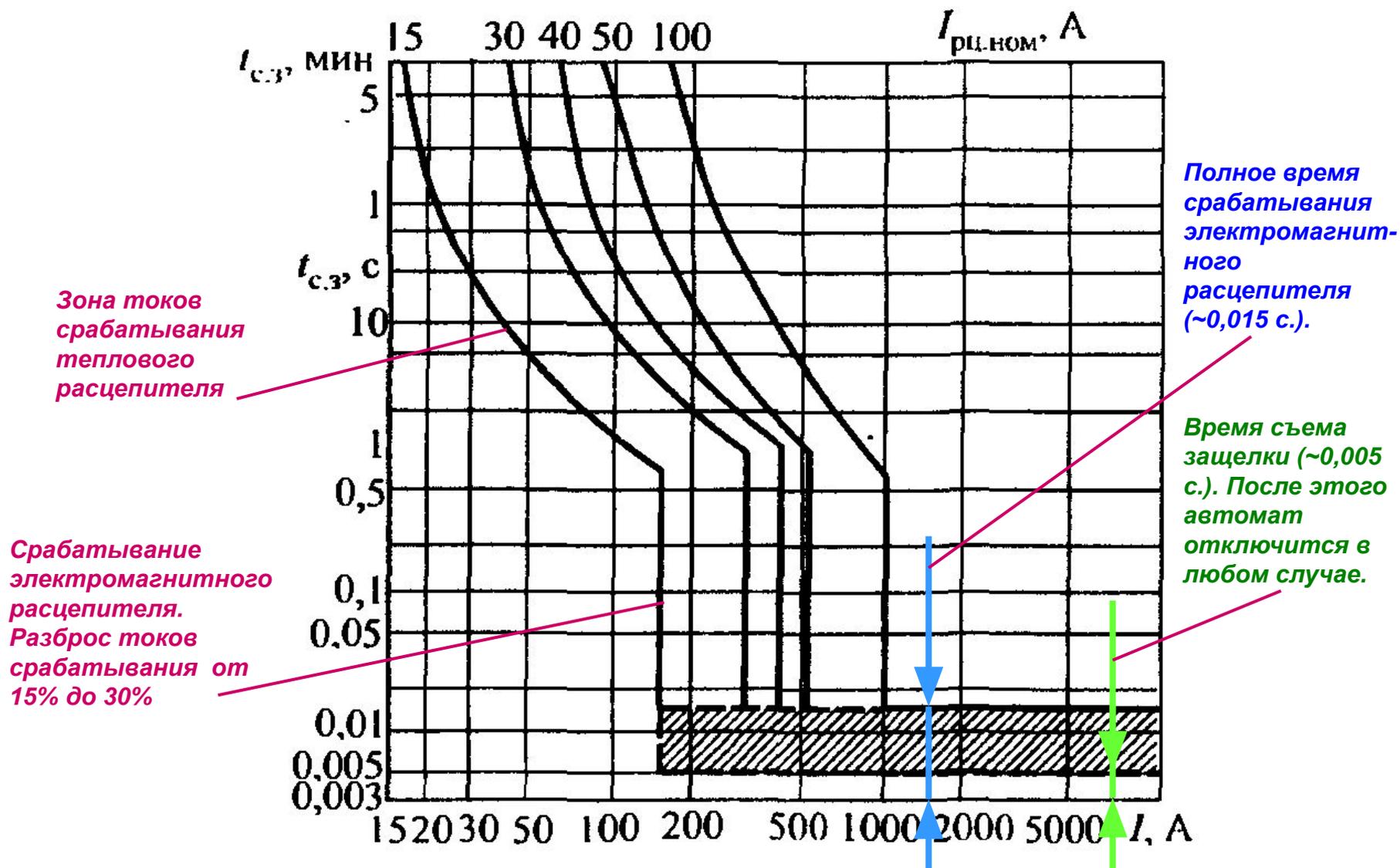
При протекании тока перегрузки, превышающего номинальное значение автоматического выключателя, биметаллическая пластина выгибается вверх (из-за разности коэффициентов расширения различных металлов при нагреве), приводя в действие механизм расцепления 9, при этом подвижный контакт 6 отходит от неподвижного контакта 5, цепь разрывается. Пластиковый язычок 10 опускается вниз.

При протекании через автомат тока короткого замыкания величина электромагнитного поля катушки соленоида 4 возрастает и достаточна для втягивания в катушку (на рисунке – вниз) штока 11. Шток 11 приводит в действие механизм расцепления 9, при этом подвижный контакт 6 отходит от неподвижного контакта 5. Цепь разрывается, образуется электрическая дуга, которая изгибается и рассеивается в дугогасящей камере 12 специальной формы, состоящей из набора параллельных пластин.

## Работа автомата



## Защитная характеристика автомата



## Условия выбора автомата

$$U_{\text{ав.ном}} \geq U_c \quad I_{\text{ав.пред.}} \geq I_{\text{к.макс}}$$

тепловой расцепитель:

$$I_{\text{уст.1}} \geq (1,3 \div 1,5) I_{\text{раб.макс.}}$$

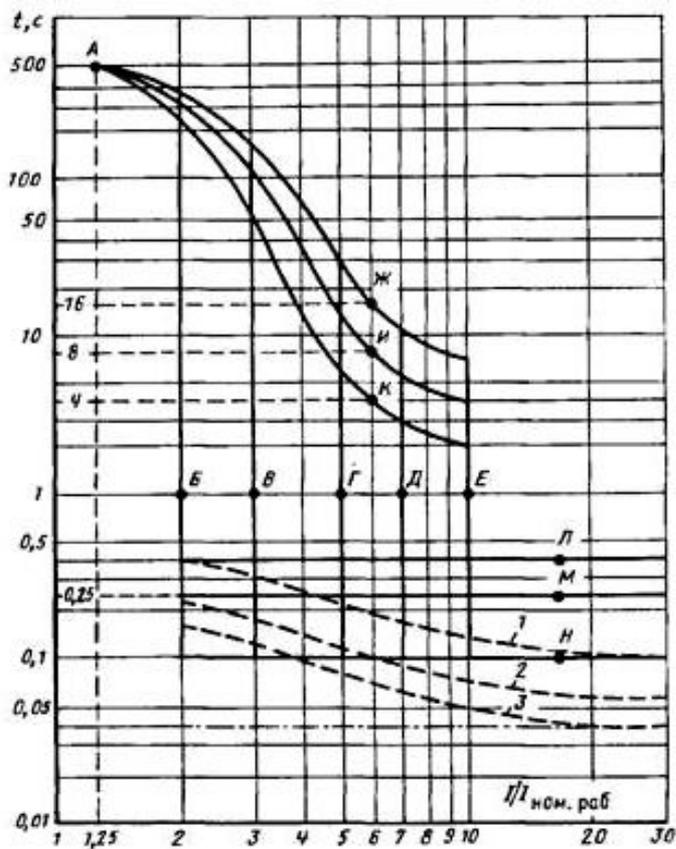
электромагнитный расцепитель:

$$I_{\text{уст.2}} \geq (1,5 \div 1,8) I_{\text{перезр.}}$$

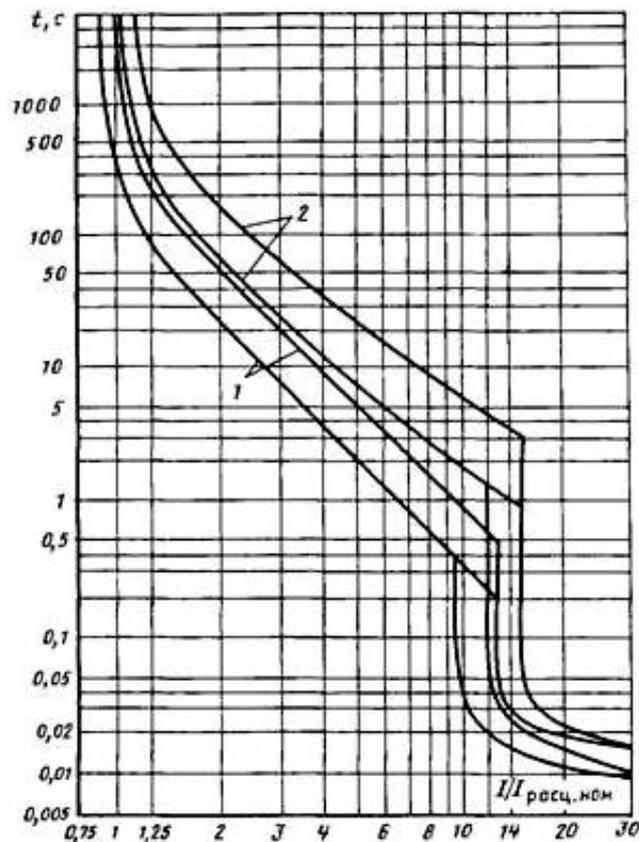
Проверка автомата (электромагнитного расцепителя)  
по чувствительности:

$$k_{\text{ч}} = (I_{\text{кз.МИН}} / I_{\text{уст.2}}) \geq 1,4$$

## Защитные (время-токовые) характеристики автоматических выключателей



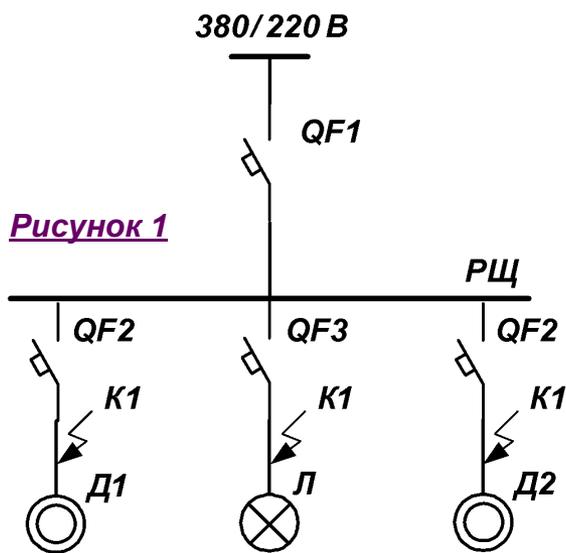
**Защитные характеристики автоматических выключателей переменного тока серий ВА53. ВА55. ВА75 с полупроводниковым расцепителем. Наличие регулировки в точках Г, Д, К, Л, М зависит от типа и номинального тока выключателя**



**Защитные характеристики автоматических выключателей АЕ2046М (температурная компенсация + 69°) — кривая 1 и ВА52Г25 (плюс 45°) — кривая 2**

## Выбор уставок расцепителей автоматов, при которых обеспечивается длительная работа сети в нормальном режиме и селективное действие при перегрузках и КЗ

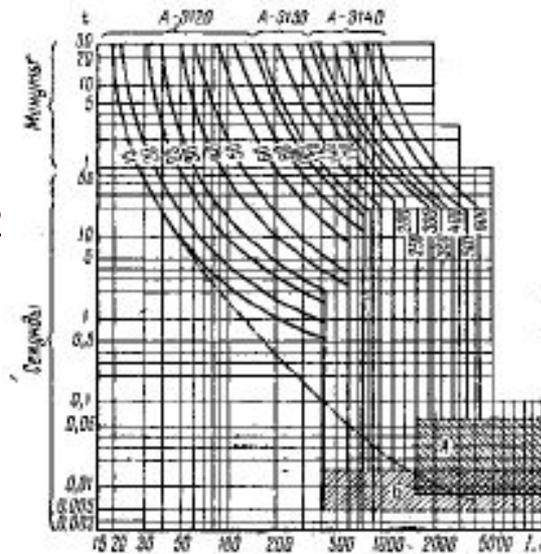
**Задача 3.** На рисунке 1 показан участок электрической сети промышленного предприятия. В схеме используются автоматы А-3000. Определить номинальные токи их расцепителей, при которых обеспечивается длительная надежная работа сети в нормальном режиме и селективное действие при перегрузках и коротких замыканиях.



**Рисунок 1**

Погрешность автоматов по величине тока мгновенного срабатывания составляет  $\pm 15\%$ . Данные для расчета приведены в таблице. Характеристики автомата представлены на рисунке 2.

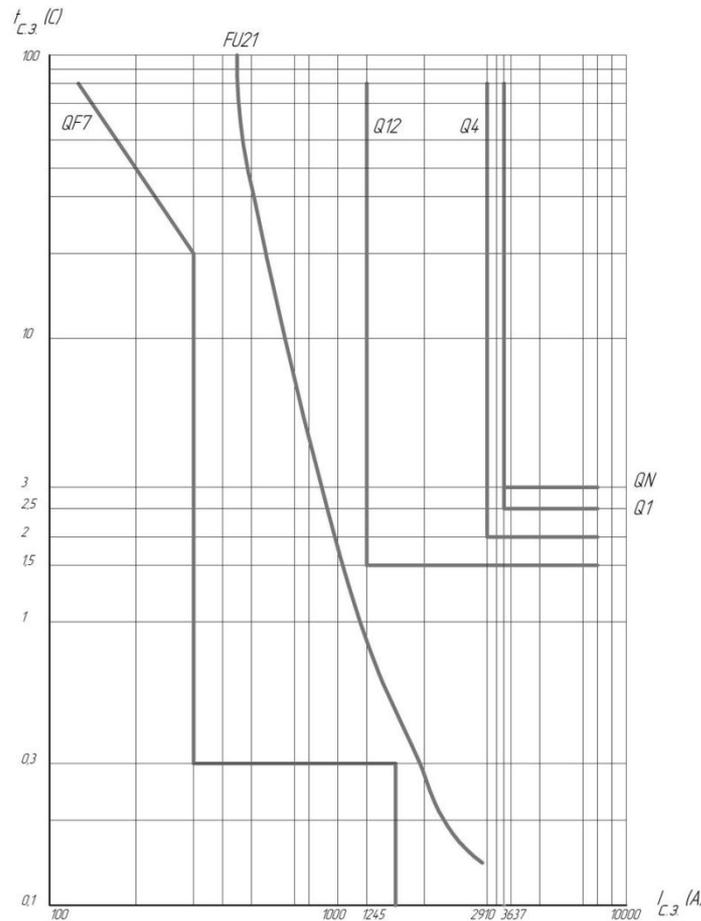
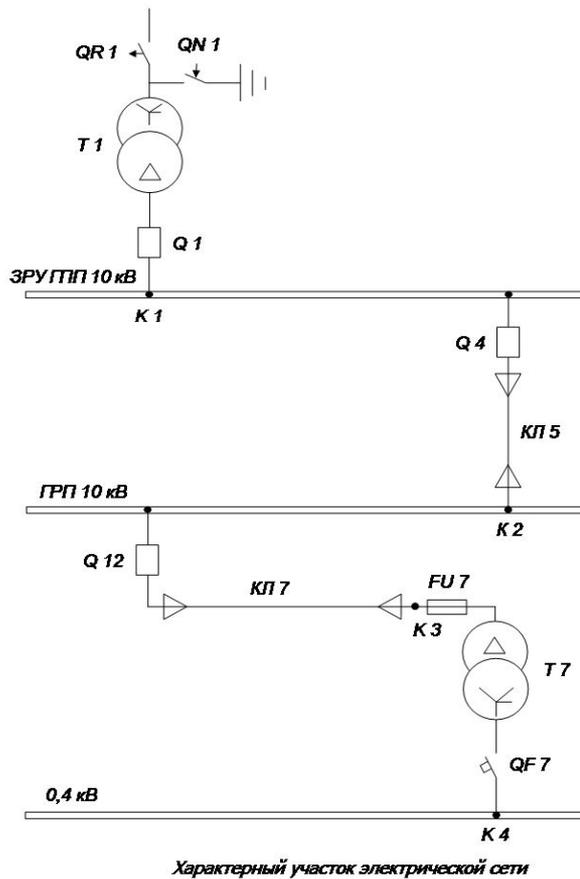
**Рисунок 2**



Характеристики электродвигателей					Осветит. нагрузка, $S_{НАГР}$ , кВт	Ток КЗ в точке К1, А
Номер двигателя	$S_{НОМ}$ , кВт	$k_{ПУСК} = I_{ПУСК} / I_{НОМ}$	$\cos \phi$	К.п. д., $\eta$ , %		
Д1	10	5	0,88	87,5	25	700
Д2	14	5,5	0,88	88,5		

**Решение задачи - в презентации для практических занятий.**

# Согласование работы автоматов и предохранителей



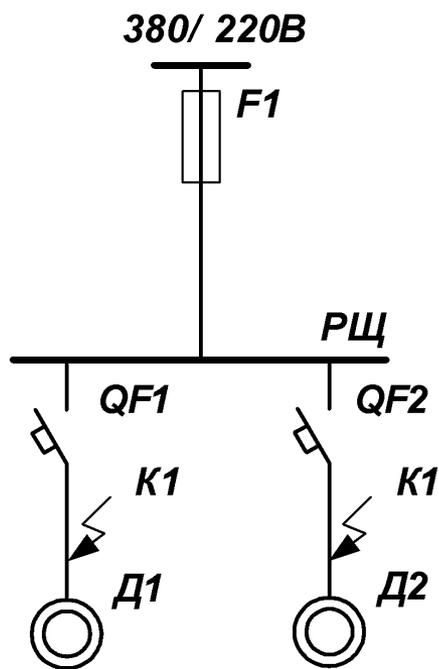
Согласование обеспечивается при построении карты селективности.

Если расчет ведется для нескольких ступеней напряжения, какое-то одно принимается за основное. Карта селективности строится в логарифмическом масштабе.

Защитные характеристики автоматических выключателей и предохранителей приводятся к основной стороне напряжения

## Составление карты селективности при согласовании работы автоматов и предохранителей

**Задача 4.** На рисунке показана схема силовой сети промышленного предприятия. Двигатели защищаются автоматами А-3000, питающая линия – предохранителем ПН-2



Определить номинальные токи расцепителей автоматов  $I_{РАСЦ.НОМ.}$

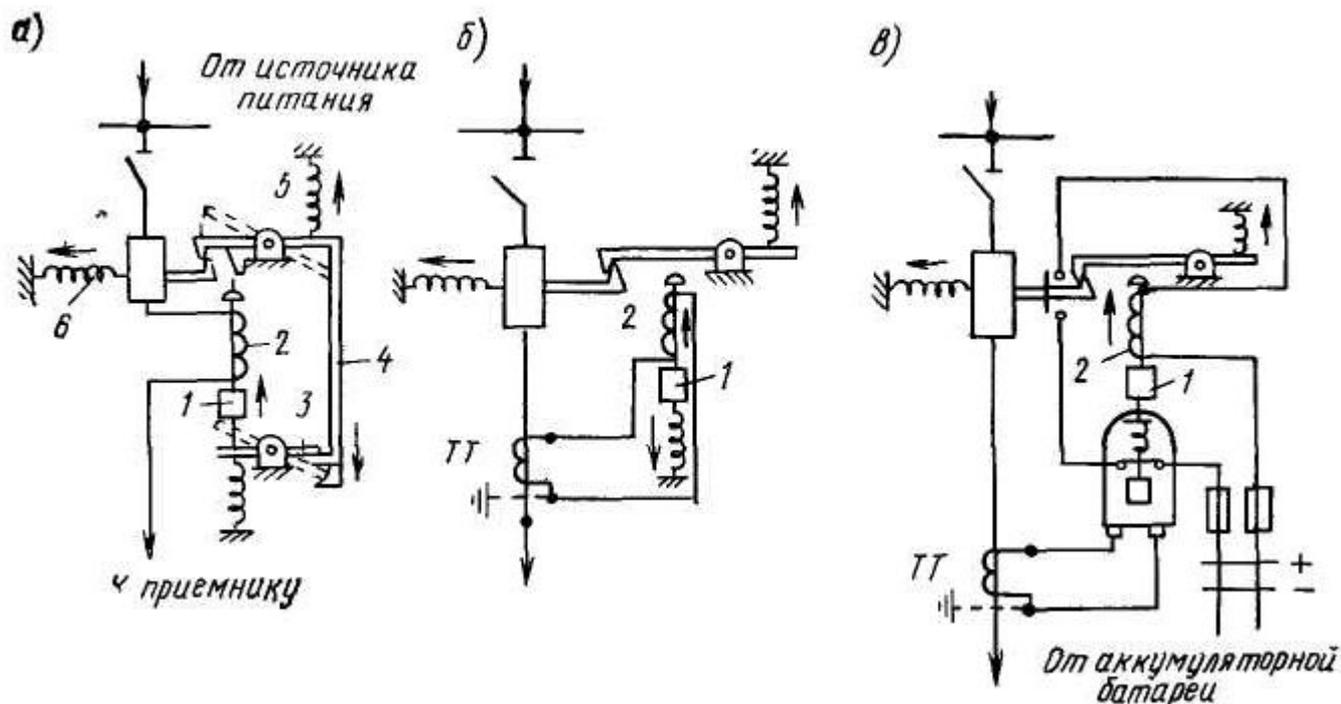
и номинальный ток плавкой вставки предохранителя  $I_{ВС.НОМ.}$

В расчете учесть погрешность в токе срабатывания предохранителей  $\pm 50\%$  и автоматов  $\pm 15\%$ . Коэффициент перегрузки принять  $k_{ПЕР} = 2,5$ ; коэффициент надежности (отстройки)  $k_{ОТС} = 1,2$ . Защитные характеристики автоматов и предохранителей взять из предыдущих задач. Данные для расчета приведены в таблице.

Характеристики электродвигателей				Ток КЗ в точке К1, А
Номер двигателя	$S_{НОМ}$ , кВт	Номинальный ток $I_{НОМ}$ , А	Пусковой ток $I_{ПУСК}$ , А	
Д1	40	75	450	2000
Д2	55	100	600	

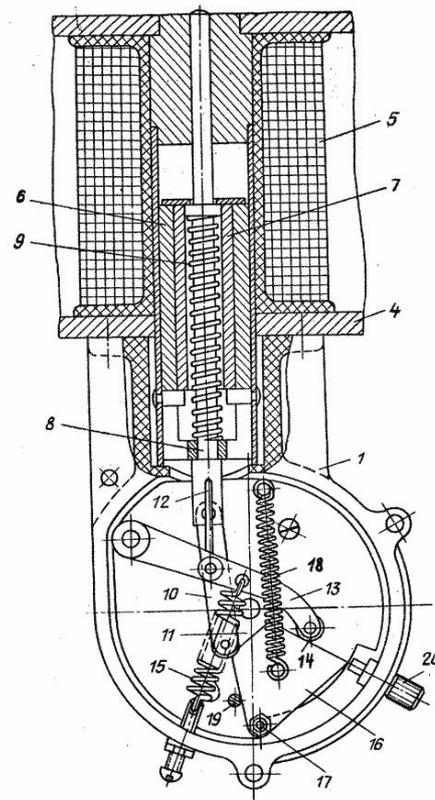
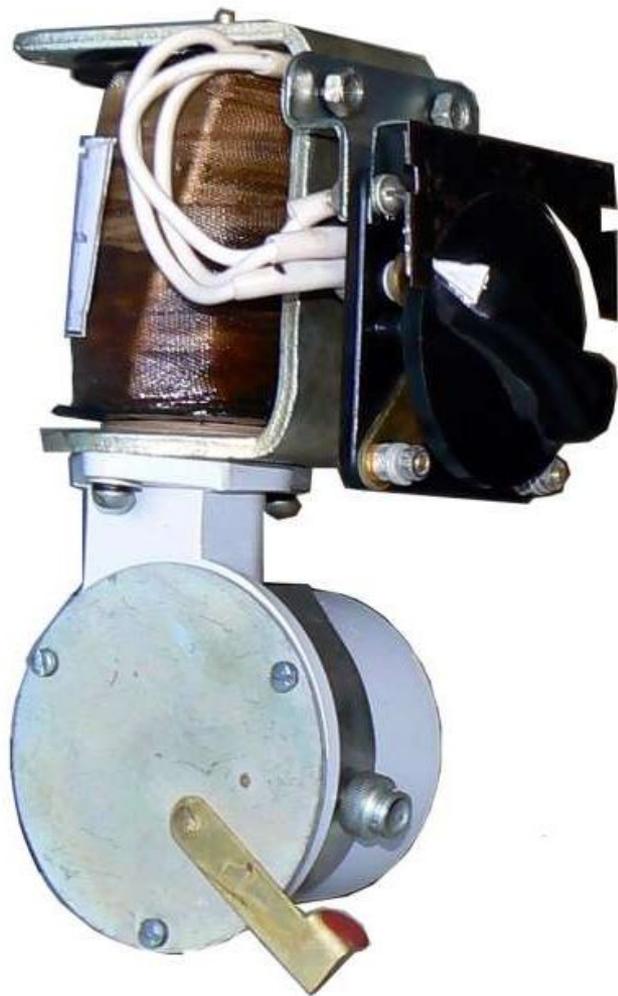
**Решение задачи - в презентации для практических занятий.**

Предохранители и автоматы можно назвать первичными реле прямого действия. Так называются защитные аппараты, включаемые непосредственно в защищаемую цепь и разрывающие ток повреждения при срабатывании. На рисунке приведены и другие варианты выполнения защиты:

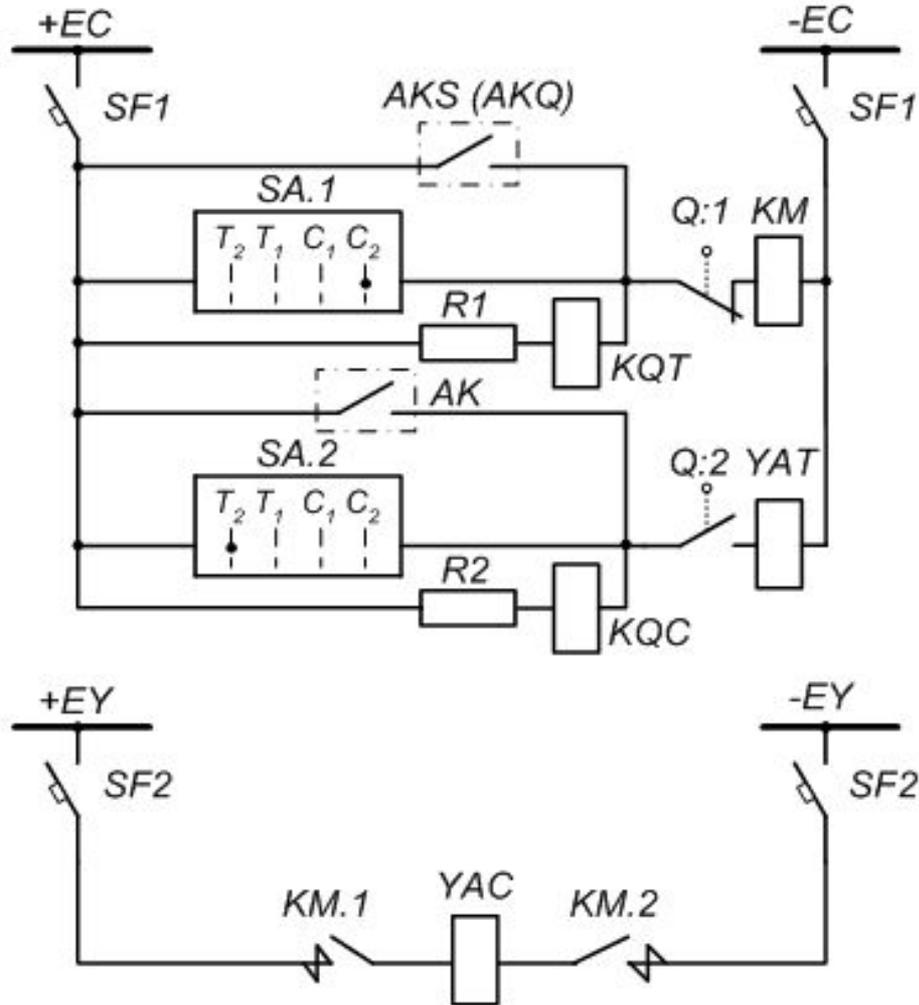


**а — с первичным реле прямого действия;**  
**б — со вторичным реле прямого действия,**  
**в — со вторичным реле косвенного действия**

Пример: токовое реле прямого действия типа РТВ, отключающее цепь с выдержкой времени. Производство - Свободненского электроаппаратного завода.

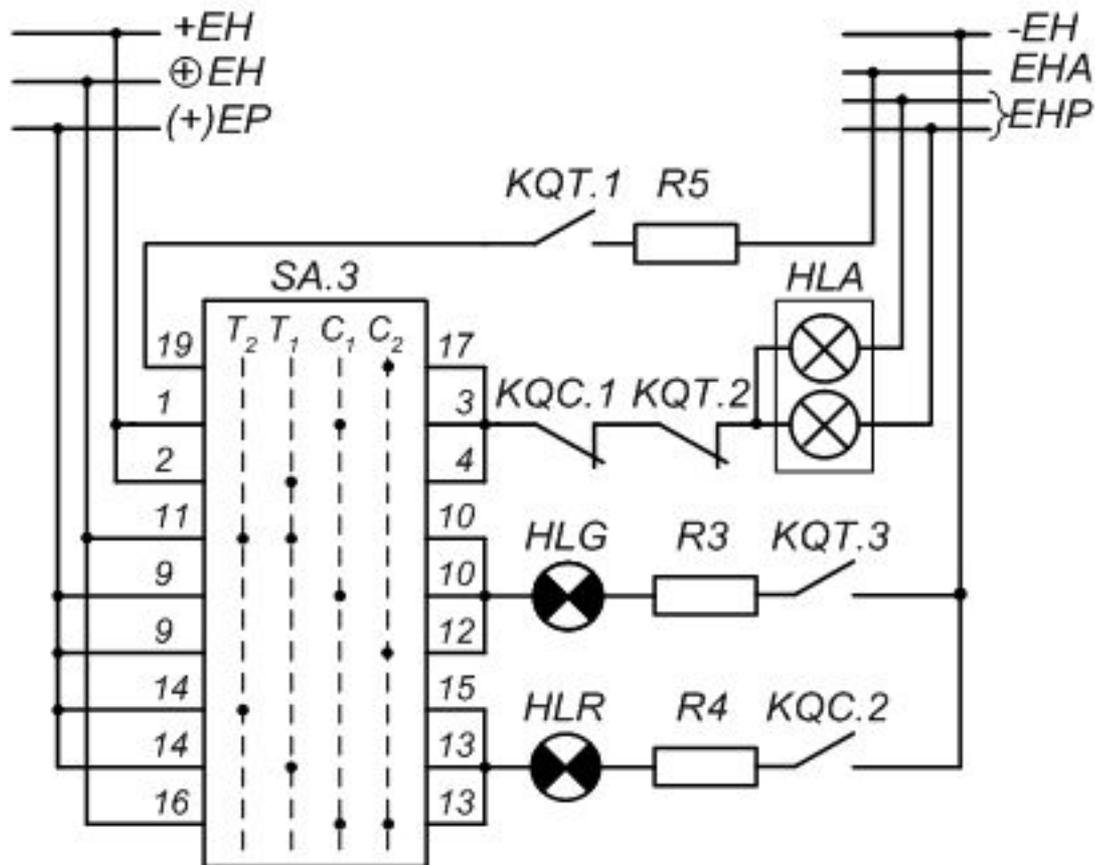


## Схема дистанционного управления выключателем

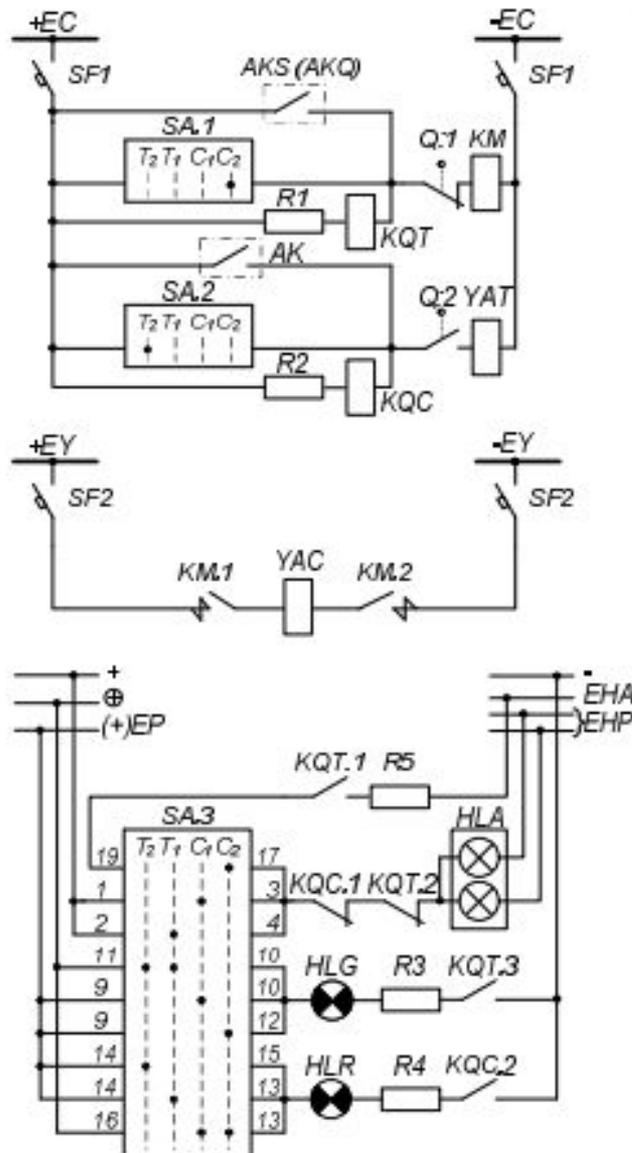


Шинки управления	
Автоматы	
От автоматики	Цепи включения
От ключа	
Реле контроля цепи включения	
От защиты	Цепи отключения
От ключа	
Реле контроля цепи отключения	
Шинки включения	
Автоматы	
Цепь электромагнита включения	

## Сигнализация состояния выключателя при дистанционном управлении



Шинки сигнализации
Цепь звукового сигнала аварийного отключения
Цепь звукового и светового сигналов обрыва цепи управления
Цепь сигнализации положения «отключено»
Цепь сигнализации положения «включено»



Шинки управления	
Автоматы	
От автоматики	Цепи включения
От ключа	
Реле контроля цепи включения	
От защиты	Цепи отключения
От ключа	
Реле контроля цепи отключения	
Шинки включения	
Автоматы	
Цель электромагнита включения	
Шинки сигнализации	
Цепь звукового сигнала аварийного отключения	
Цепь звукового и светового сигналов обрыва цепи управления	
Цепь сигнализации положения «отключено»	
Цепь сигнализации положения «включено»	

Рис. 88. Схема дистанционного управлением выключателем с электромагнитным приводом.  
 Положения ключа SA: C1 – предварительно включено, включено; C2 – включить;  
 T1 – предварительно отключено, отключено; T2 – отключить.