



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



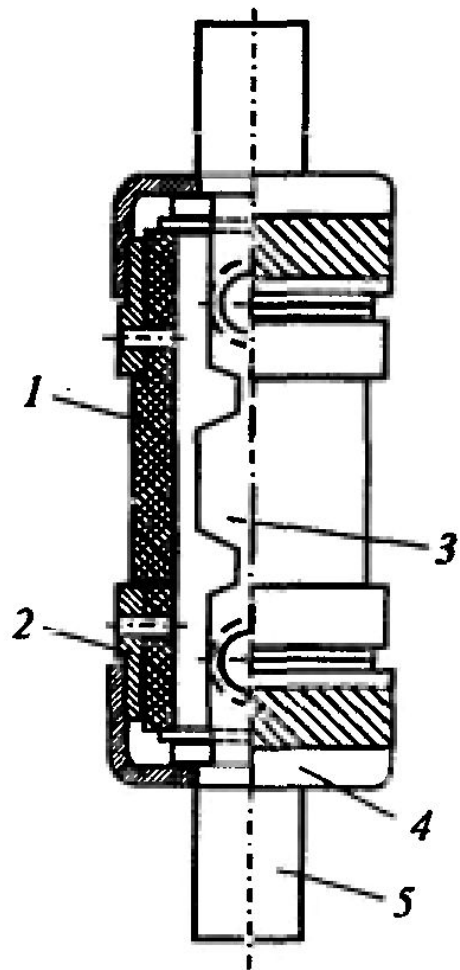
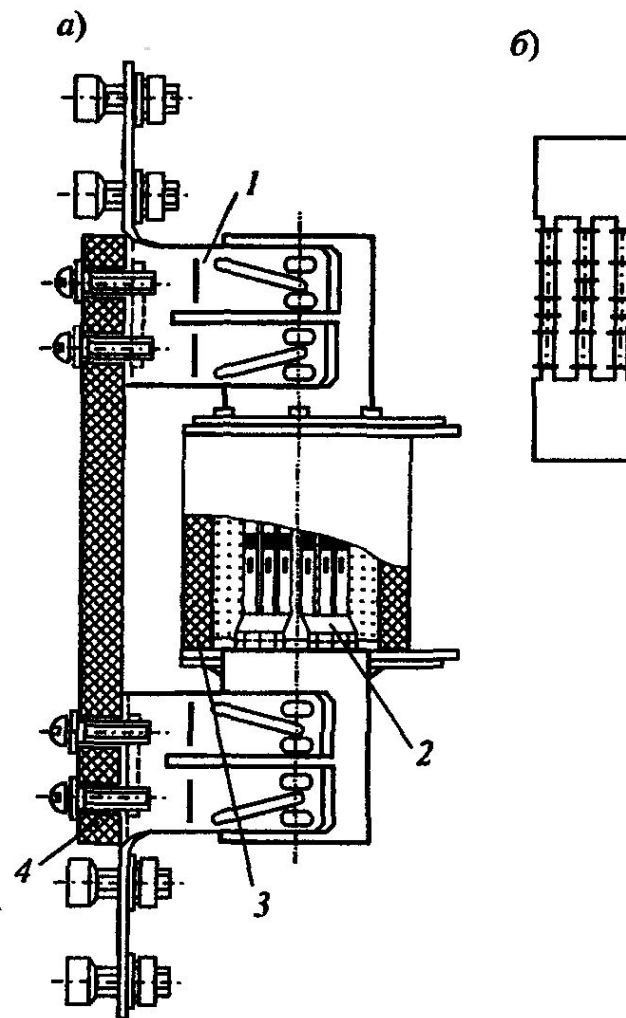


Рис. 4.1. Предохранитель серии ПР-2



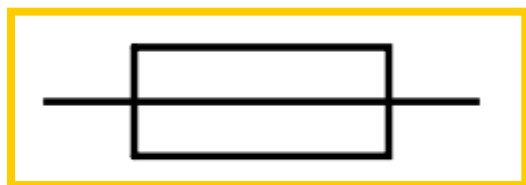
Предохранитель серии ПН-2

Обозначение плавких предохранителей на принципиальных электрических схемах

Обозначение плавких предохранителей на принципиальных электрических схемах в разных стандартах оформления



IEC



IEEE/ANSI



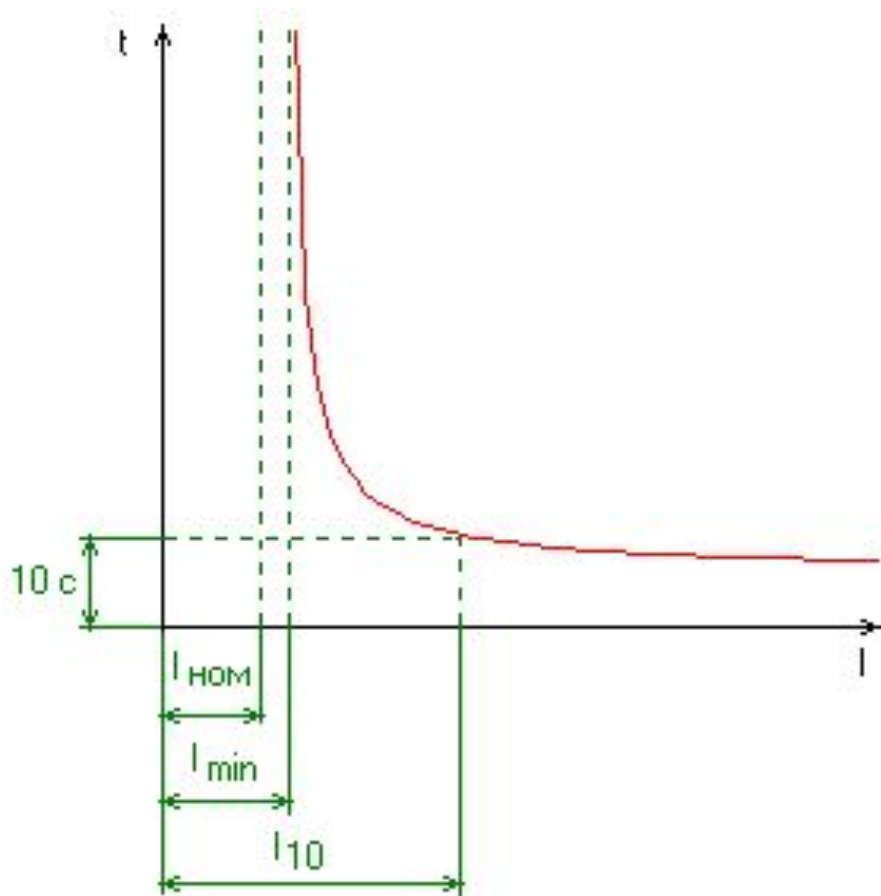
IEEE/ANSI

F, FA, FU - плавкий предохранитель

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

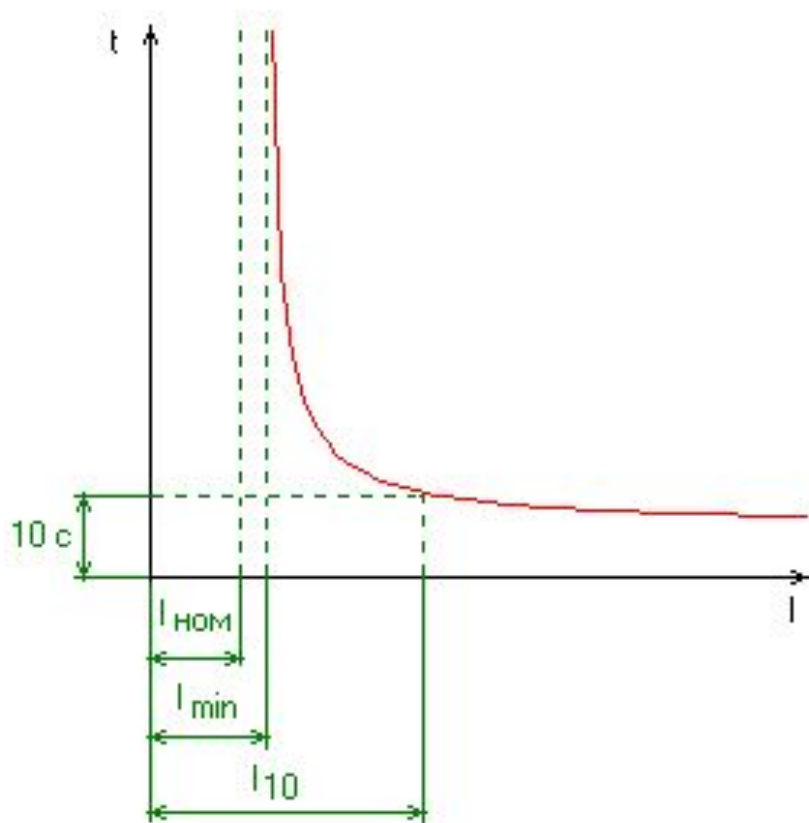
Институт инженеров электротехники и электроники – **IEEE** (англ. **Institute of Electrical and Electronics Engineers**), международная некоммерческая ассоциация специалистов в области техники

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:



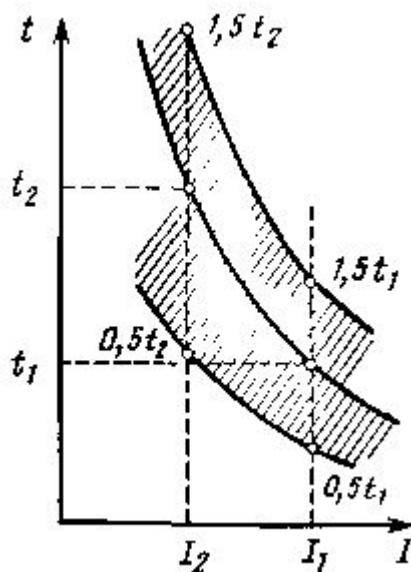
I_{ном} - номинальный ток вставки, т.е. ток, при котором вставка длительно работает, не нагреваясь выше допустимой температуры.

I_{min} - 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);

I₁₀ - ток, при котором плавление вставки и отключение сети происходит через 10 с после установления тока;

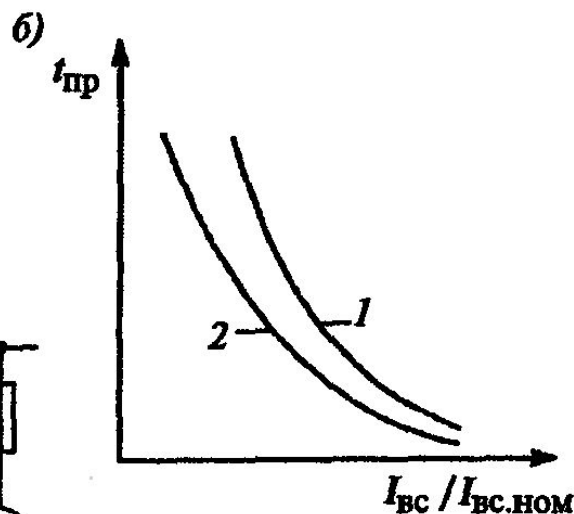
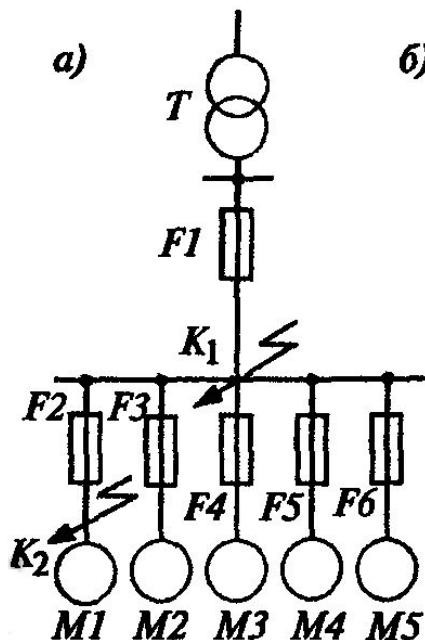
Токи связаны простым соотношением: $I_{ном} = I_{10} / 2.5$.

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



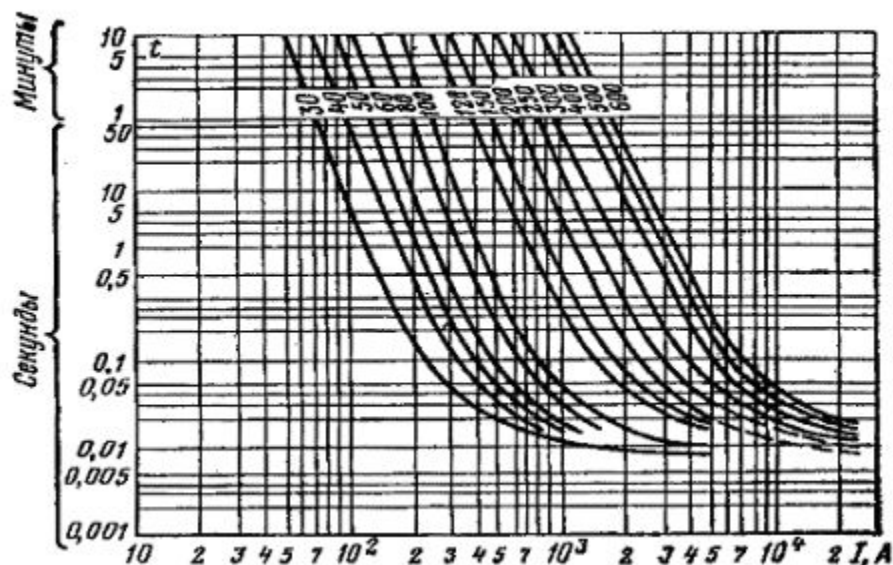
Выбор предохранителя:

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

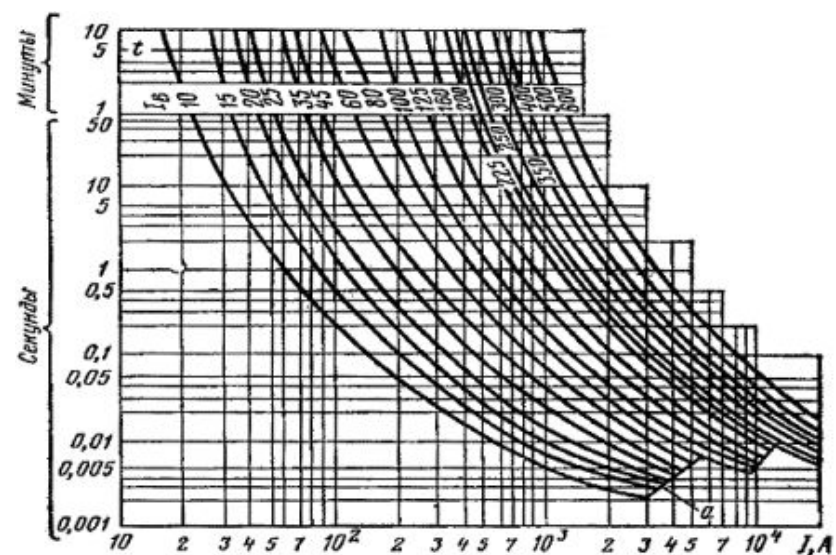
Выбор плавкой вставки:

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

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



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**

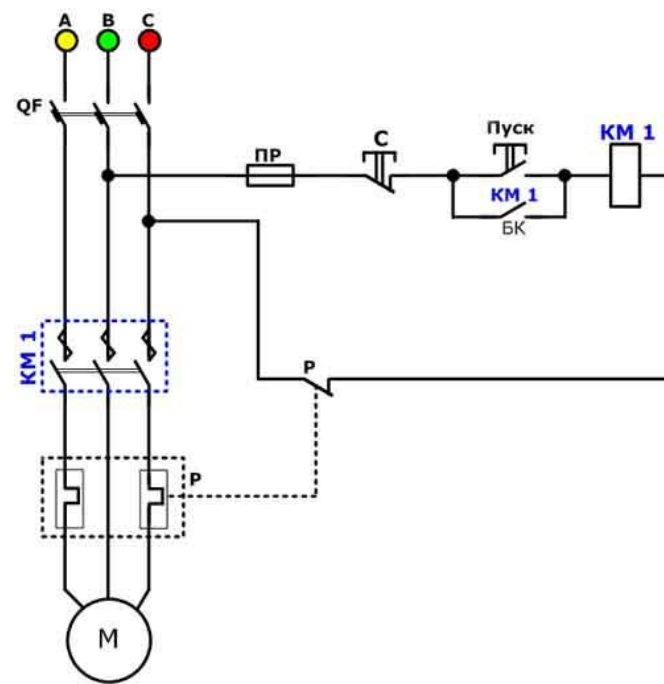
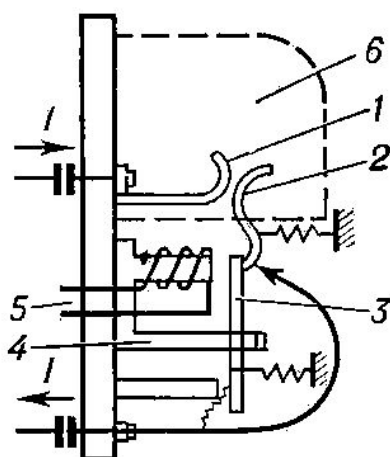
ПРЕДОХРАНИТЕЛИ ПЛАВКИЕ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ

ЧАСТЬ 1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Номинальный ток плавкой вставки следует выбирать из следующих значений:

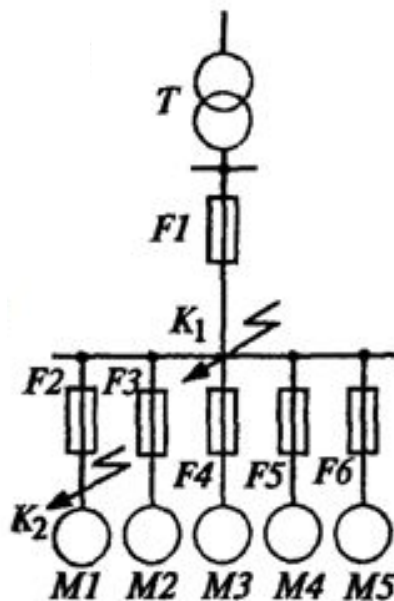
**2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200,
250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 А.**

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:

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



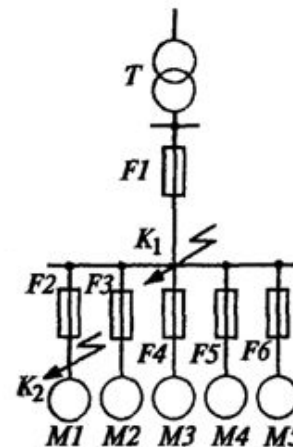
Ток перегрузки во втором условии принимается бóльшим из двух значений:

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

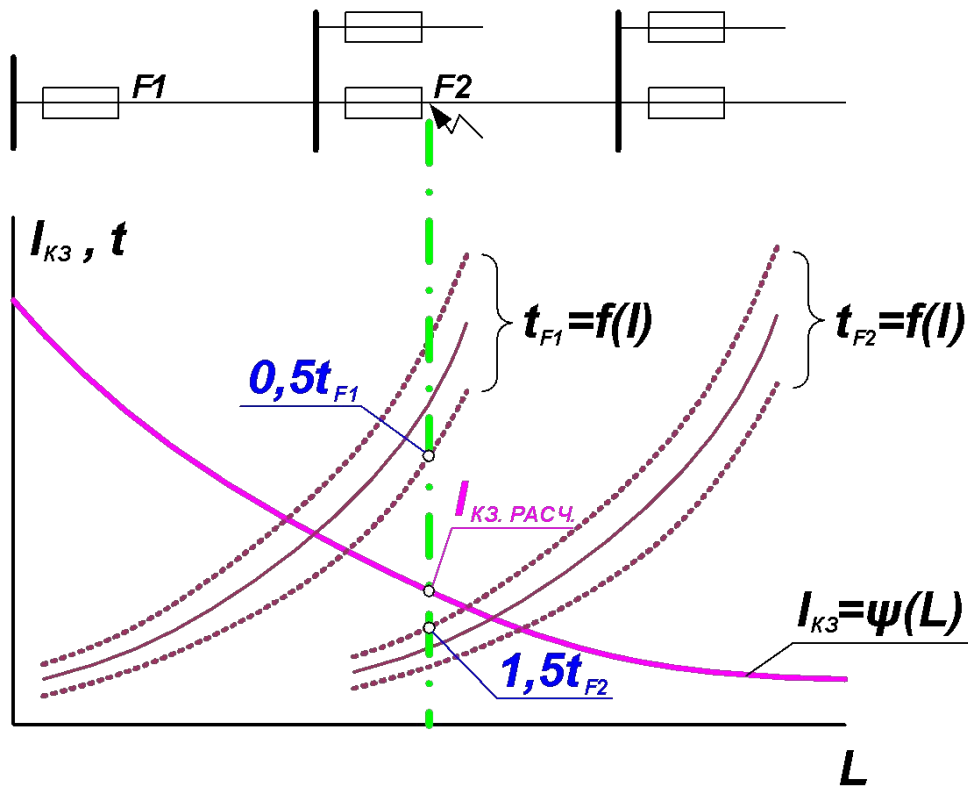
$$I_{\text{пер.}} = k_{\text{отс.}} \sum_{i=1}^{n-1} I_{\text{раб.макс.}i} + I_{\text{пуск.макс.}};$$

- 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:

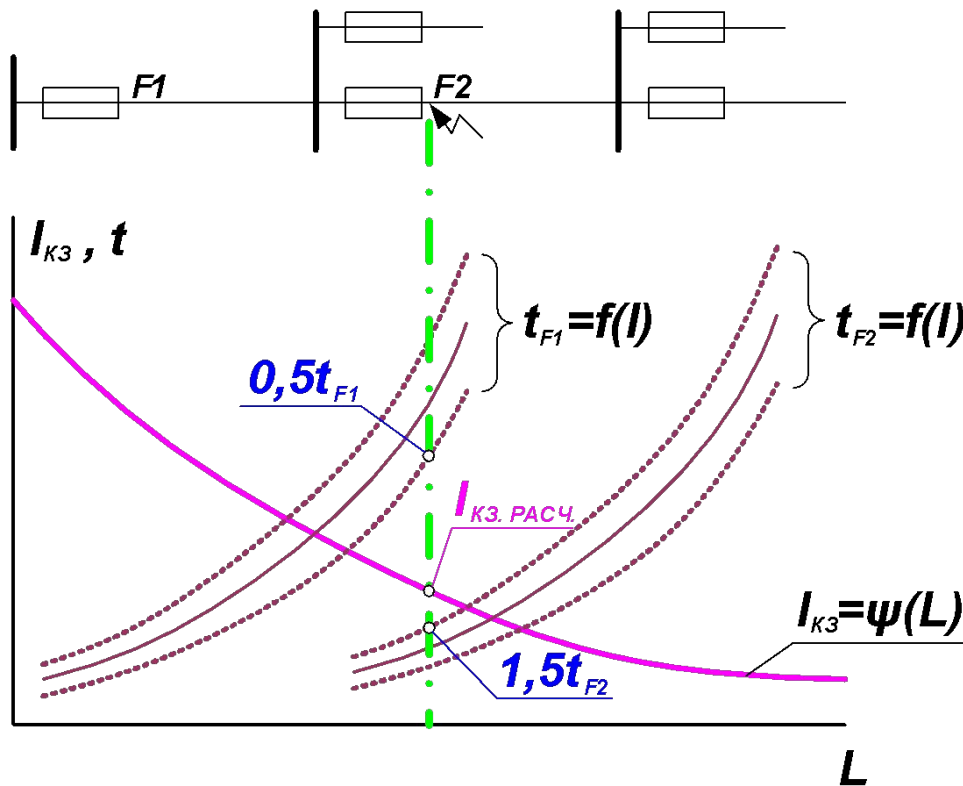
$$0,5t_{F1} \geq 1,5t_{F2}$$

Или:

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

Проверка плавких вставок последовательно установленных предохранителей по селективности и чувствительности

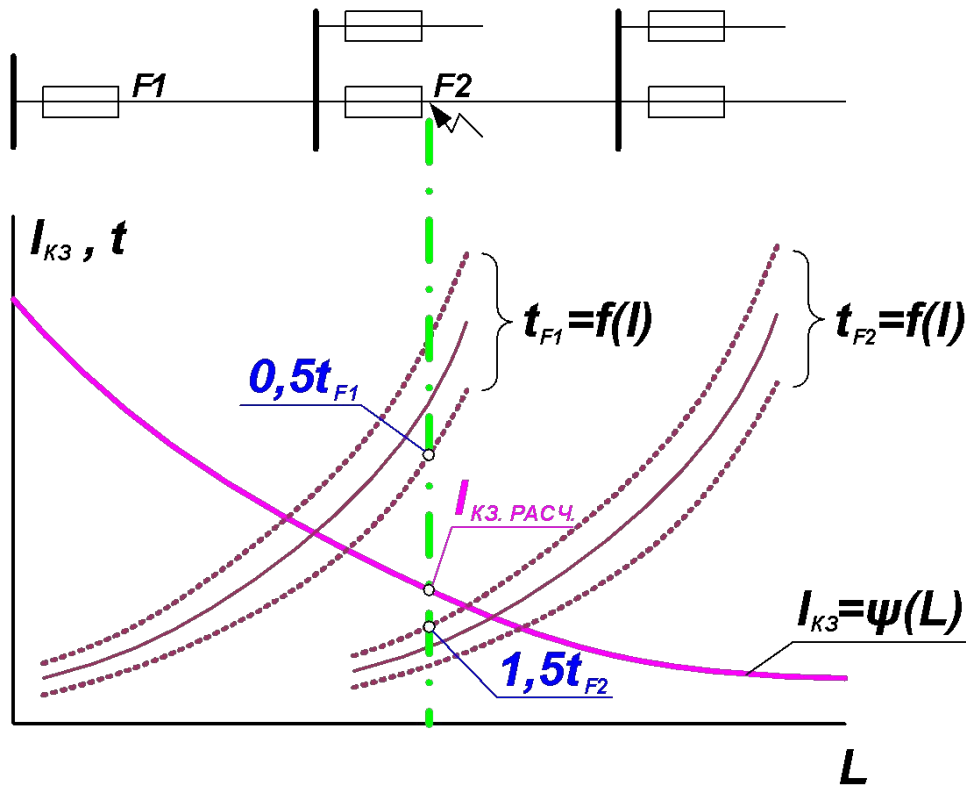
$$t_{F1} \geq 3t_{F2}$$



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:

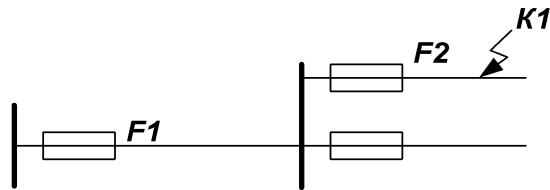
$$k_{ч} = (I_{к3.МИН} / I_{ВС.НОМ}) \geq 3$$

$I_{к3.МИН}$ – 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;

$I_{ВС.НОМ}$ – 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:

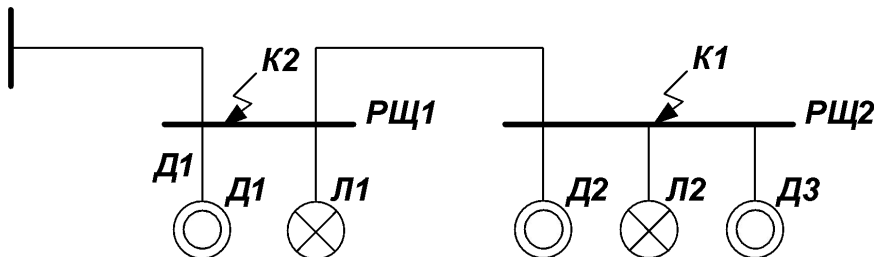


$I_{КЗ.МАКС.} = 650$ А. Исходя из требований селективности определить наименьшее значение номинального тока плавкой вставки предохранителя F1, используемого для защиты основной линии. Погрешность предохранителей по времени отключения $\pm 50\%$. Для защиты используются предохранители ПН-2.

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.

380/220 В



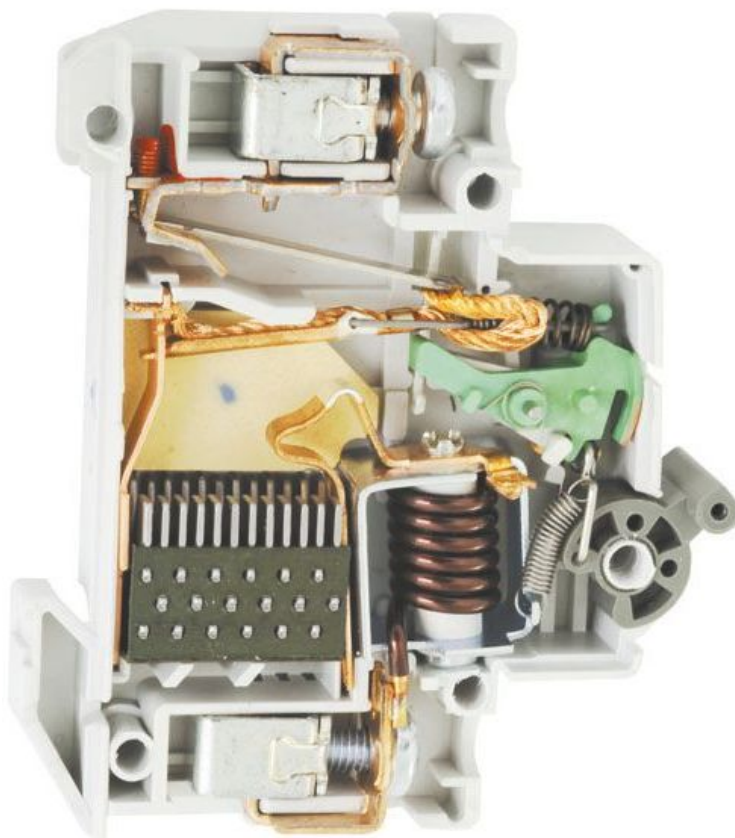
При повреждении в точке K1 ток КЗ $I_{K1} = 450$ А, при повреждении в точке K2 $I_{K2} = 600$ А.

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.

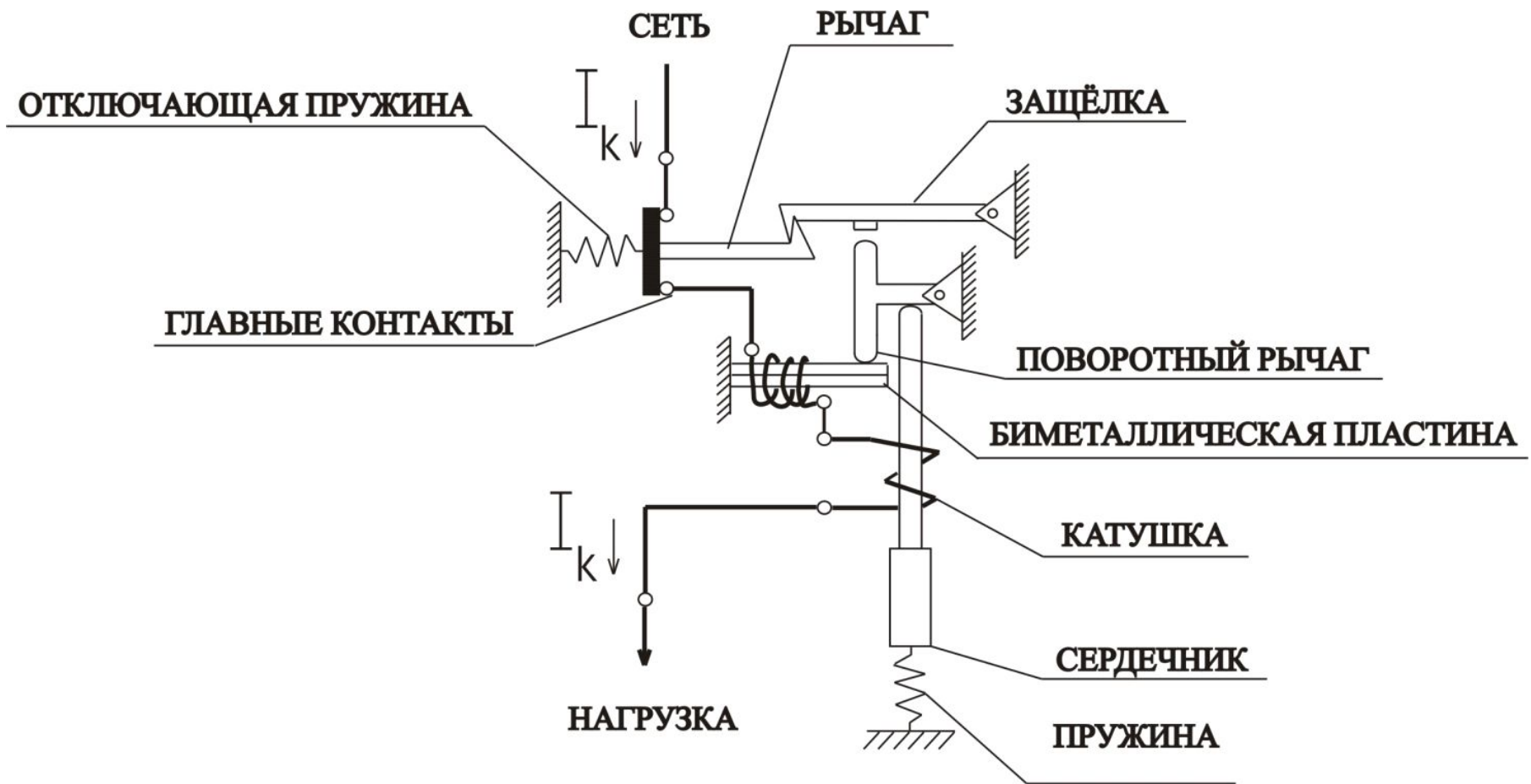
Автоматический выключатель (автомат) – это устройство, которое предназначено для отключения электроустановок в случае возникновения токов короткого замыкания и перегрузок электрических цепей. Для использования в быту и для общественных зданий сегодня самыми распространенными являются автоматические выключатели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



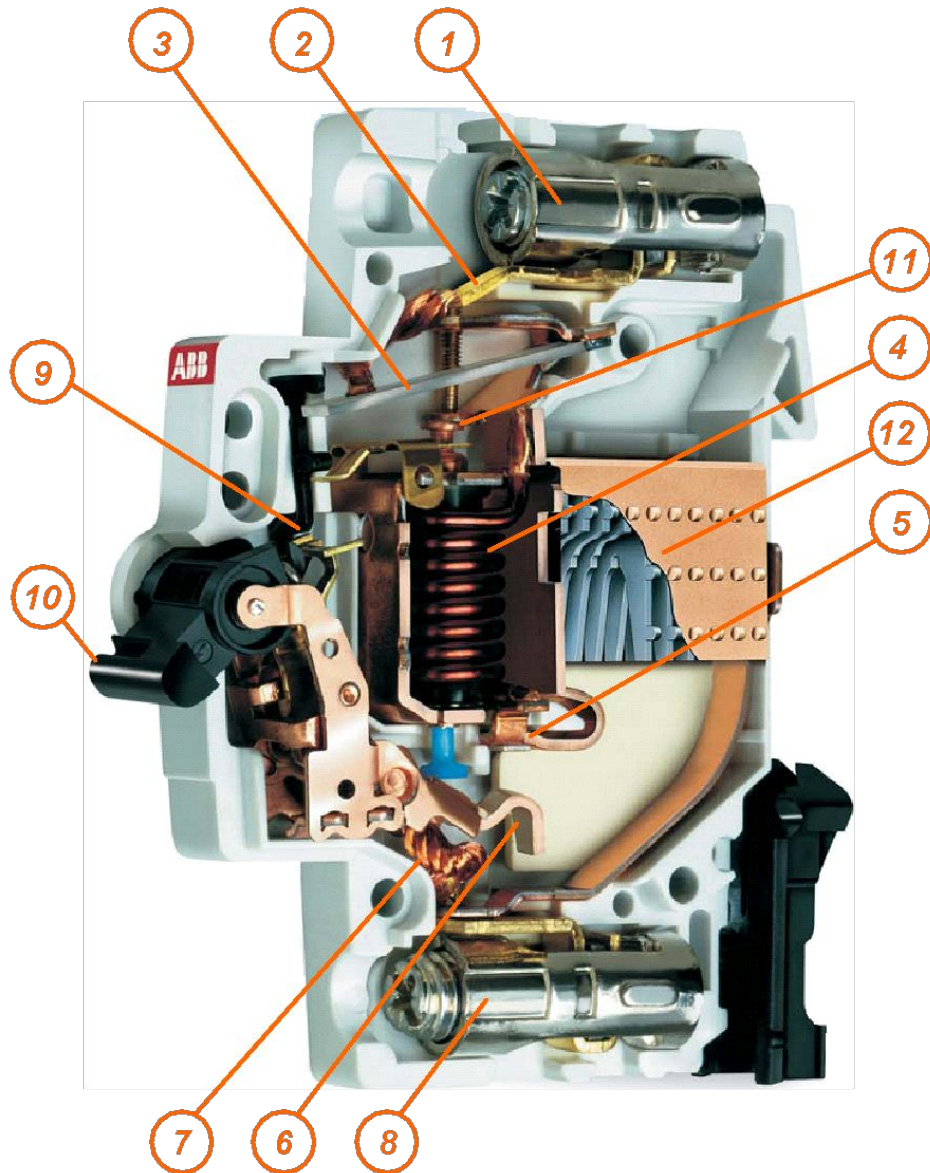
При перегрузках защитным элементом является **биметаллическая пластина**. Она нагревается и изгибается, что приводит к срабатыванию механизма расцепителя. В случае короткого замыкания срабатывает другой механизм – **магнитная катушка**. Токи короткого замыкания намного выше, чем при перегрузках, в катушке 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.

Принцип работы автомата



Работа автомата



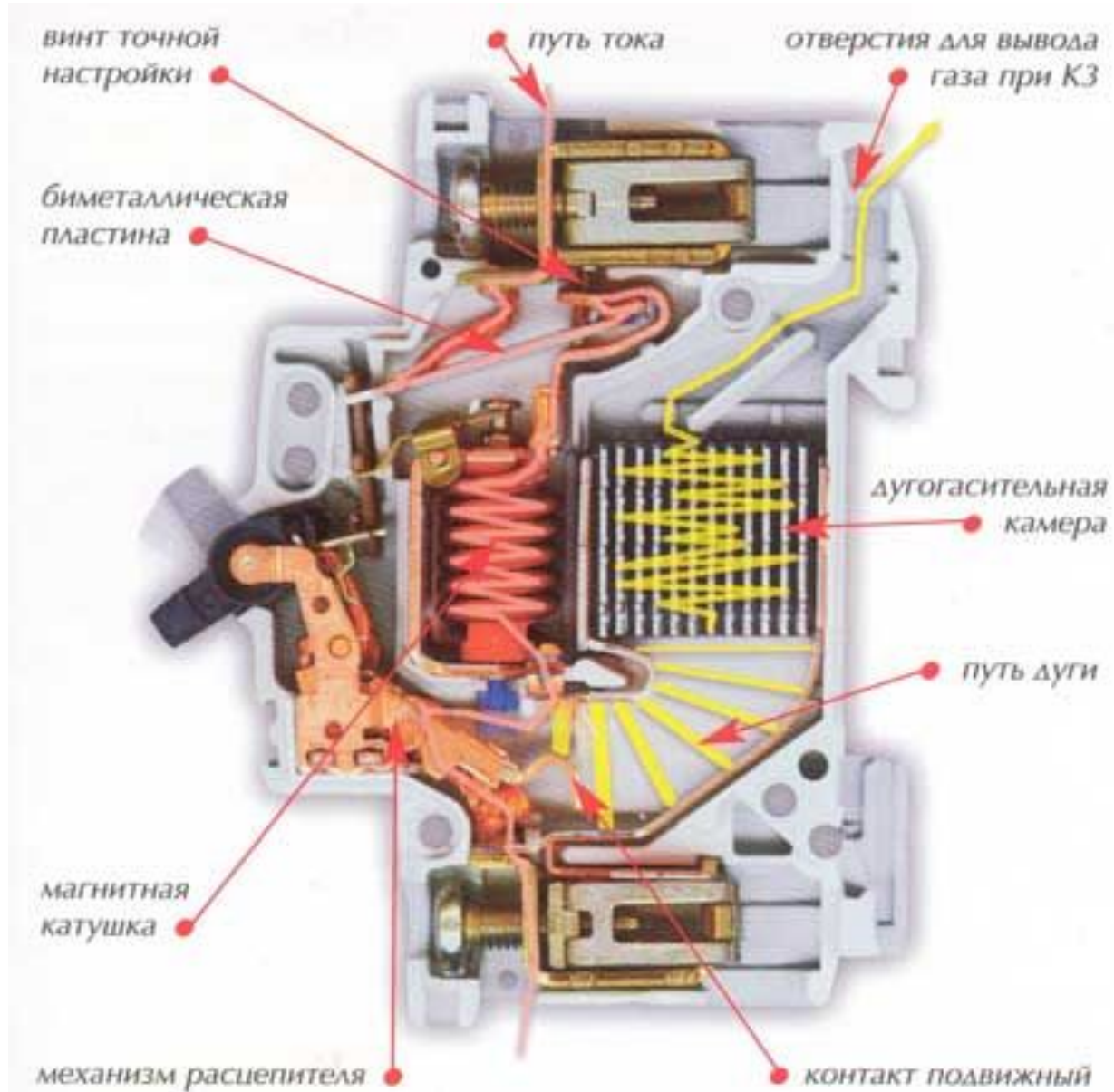
Напряжение к автомату АВВ подводится через питающий кабель, подключаемый сверху к винтовому зажиму 1.

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.

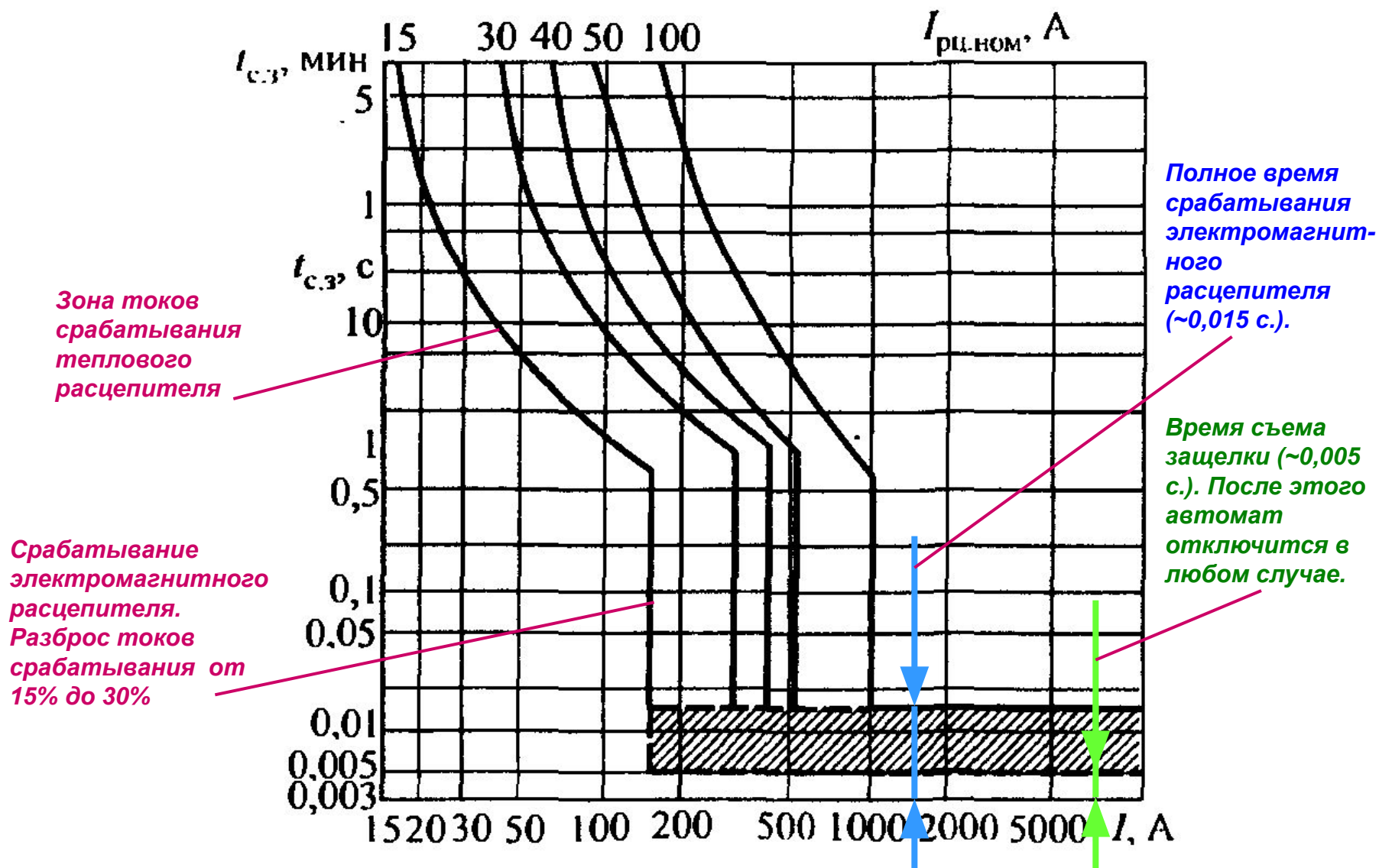
При протекании тока перегрузки, превышающего номинальное значение автоматического выключателя, биметаллическая пластина выгибается вверх (из-за разности коэффициентов расширения различных металлов при нагреве), приводя в действие механизм расцепления 9, при этом подвижный контакт 6 отходит от неподвижного 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:

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

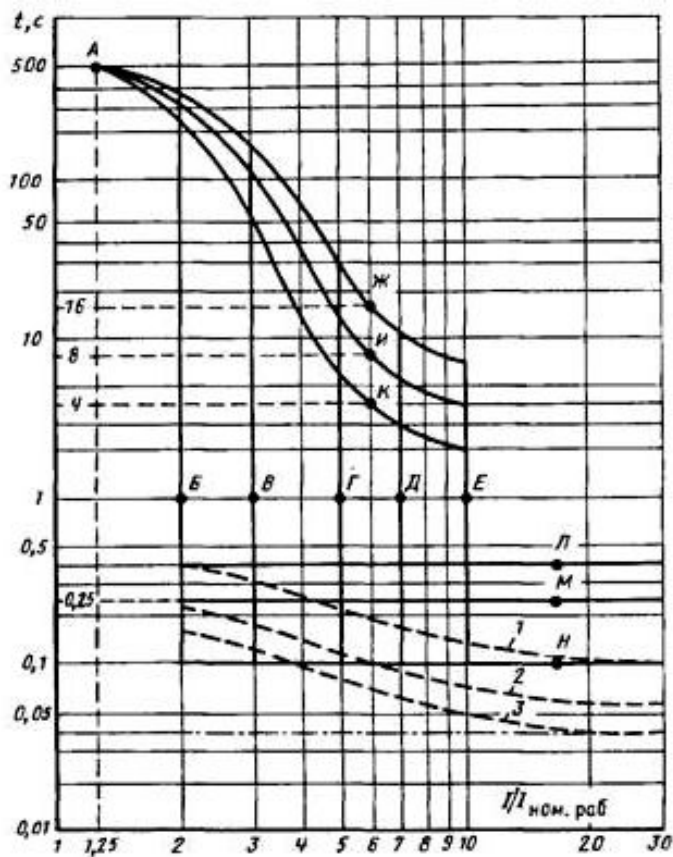
электромагнитный расцепитель:

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

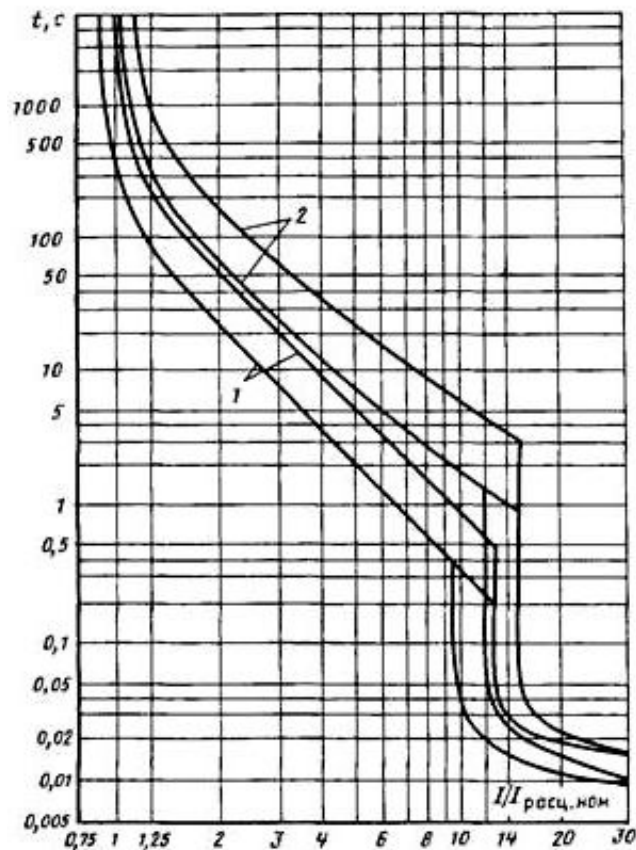
Проверка автомата (электромагнитного расцепителя)
по чувствительности:

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

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.

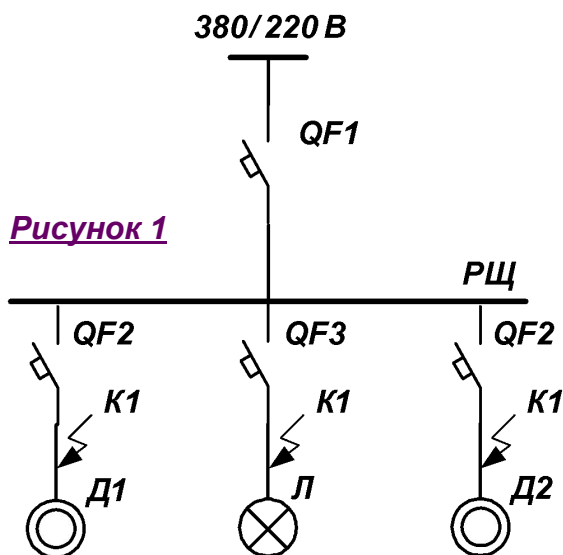
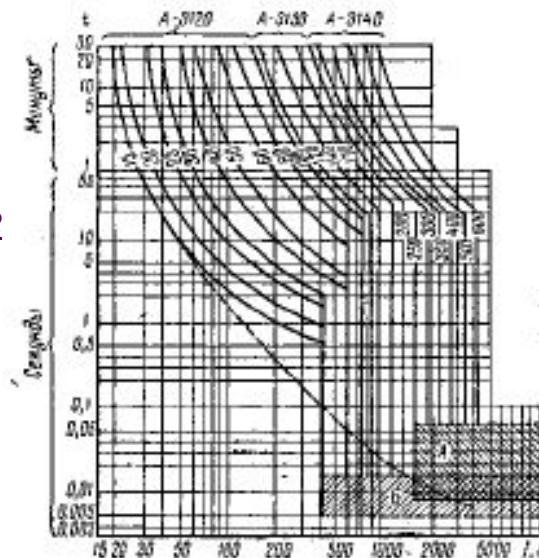


Рисунок 1

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

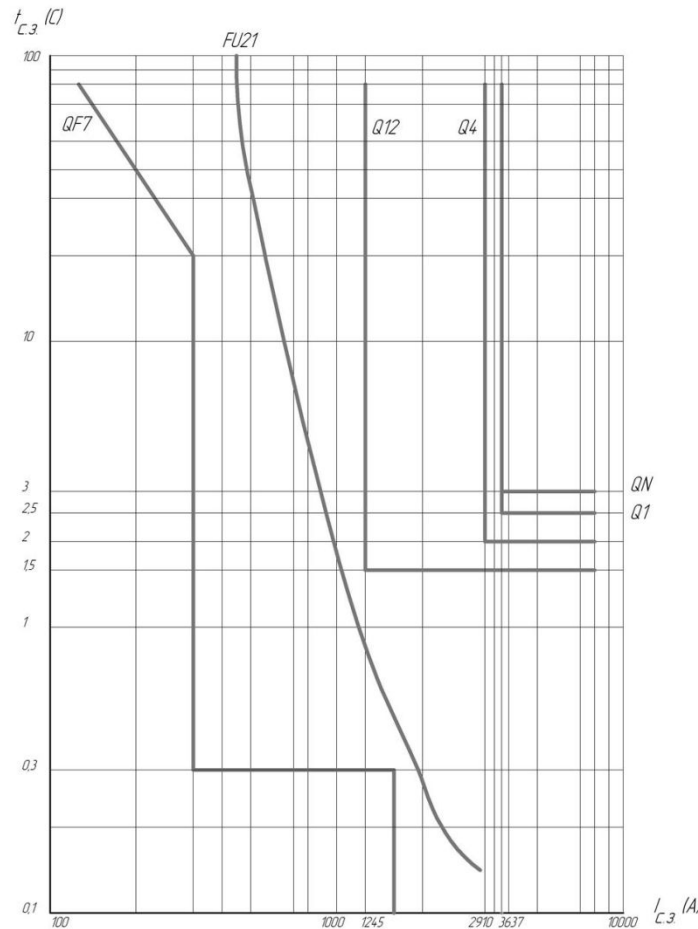
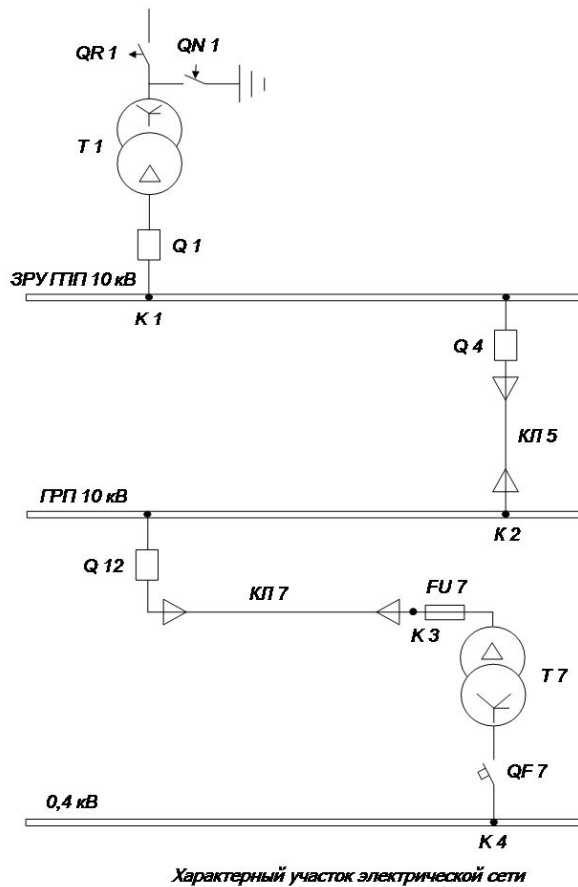
Рисунок 2



| 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., η , % | | |
| 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



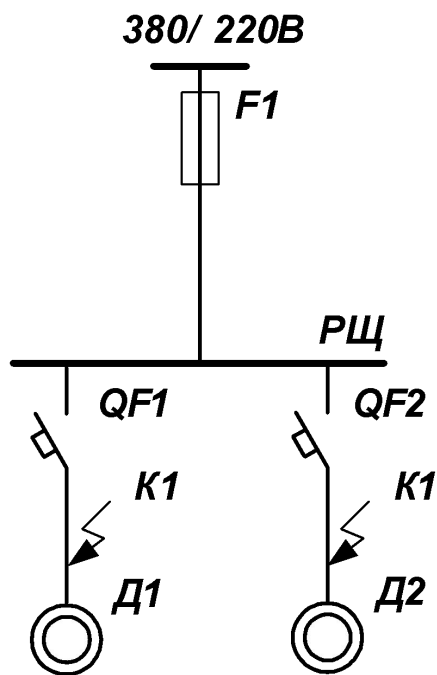
Согласование обеспечивается при построении карты селективности.

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 $I_{РАСЦ.НОМ.}$

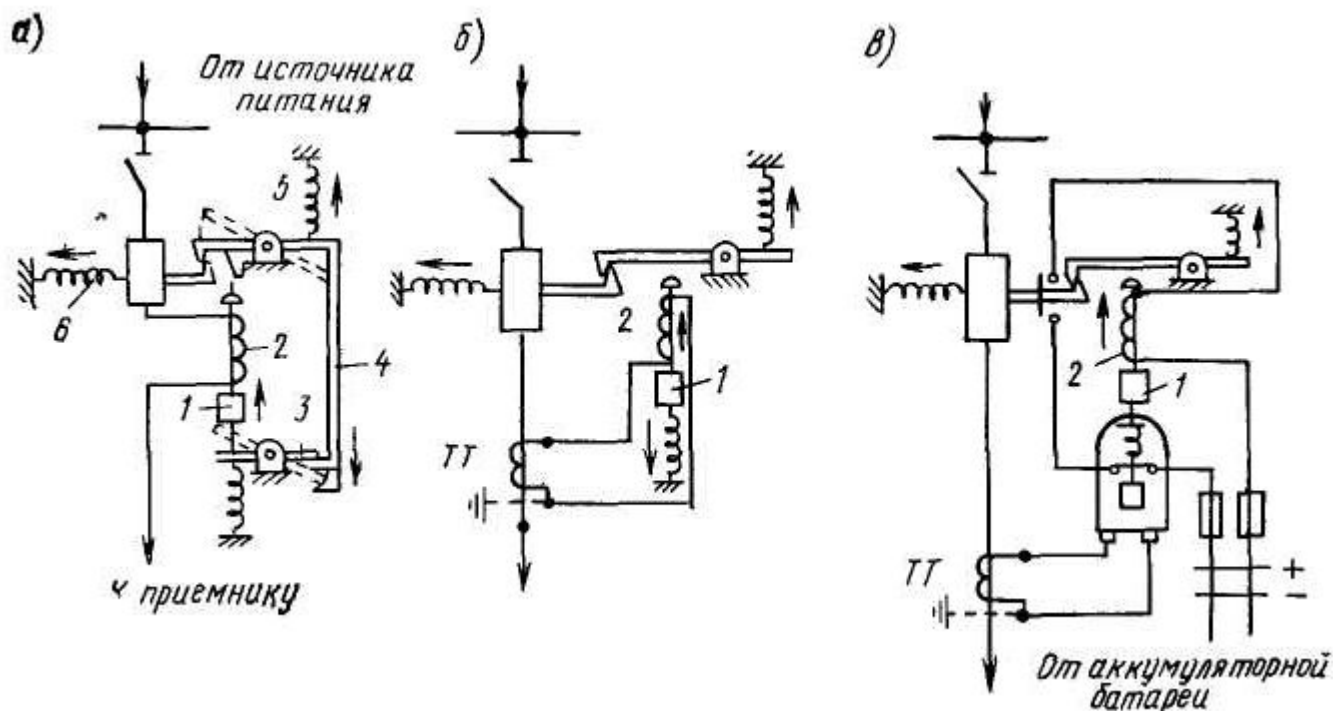
и номинальный ток плавкой вставки предохранителя $I_{ВС.НОМ.}$

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.

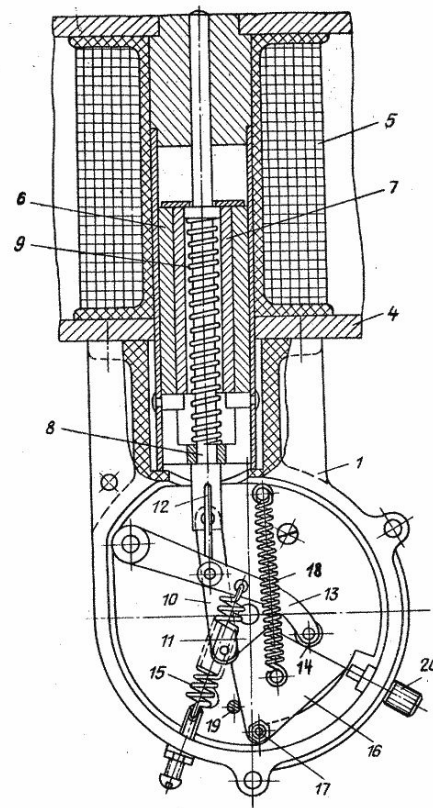
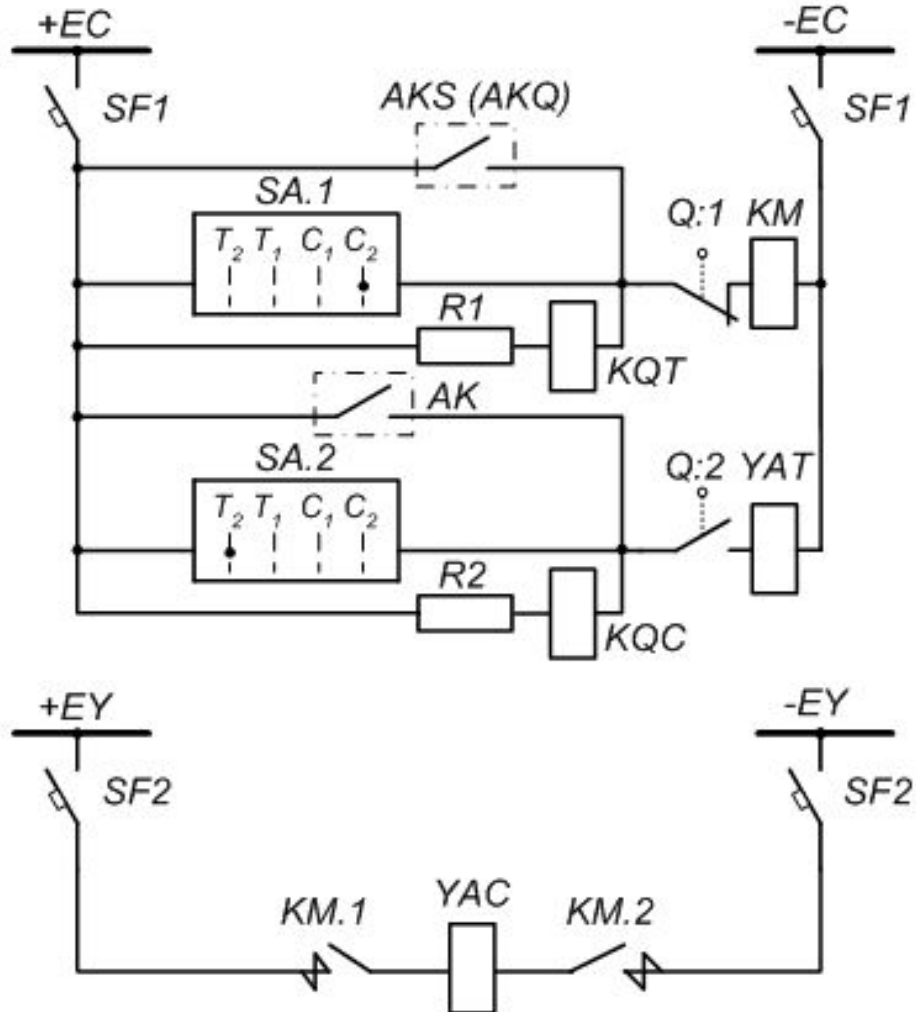
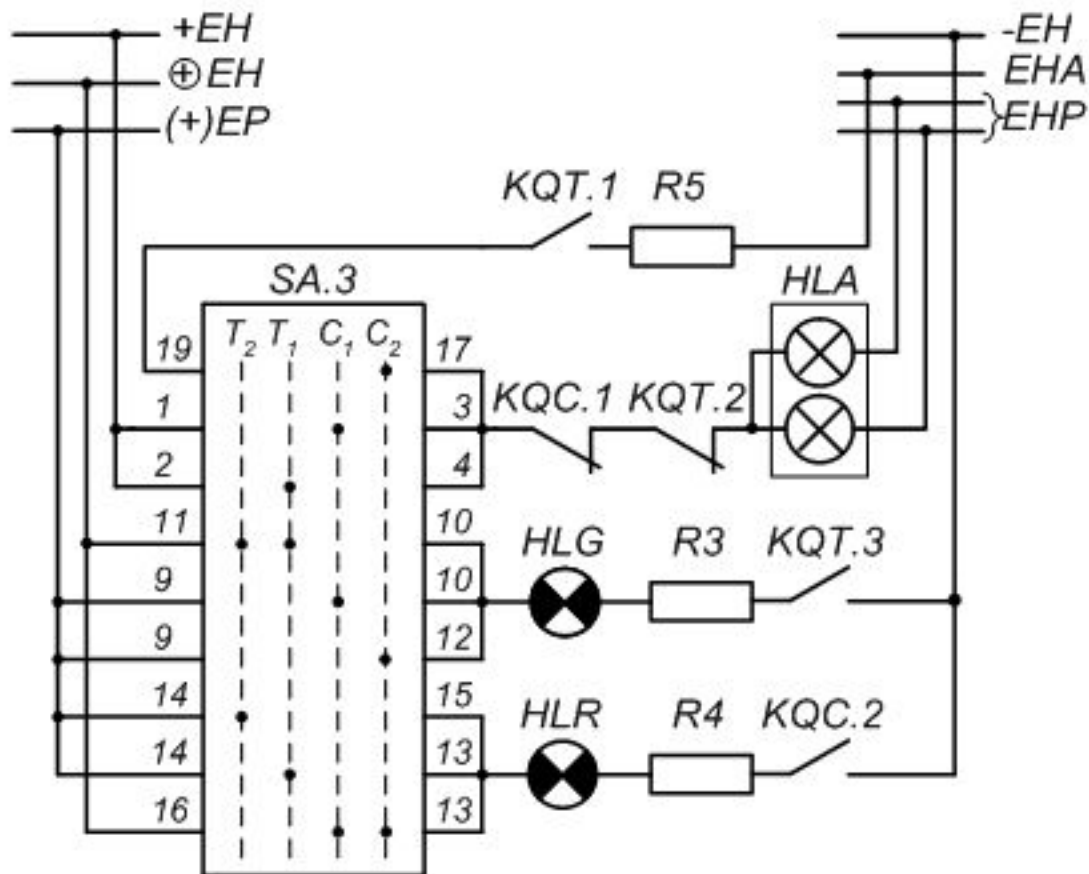


Схема дистанционного управления выключателем

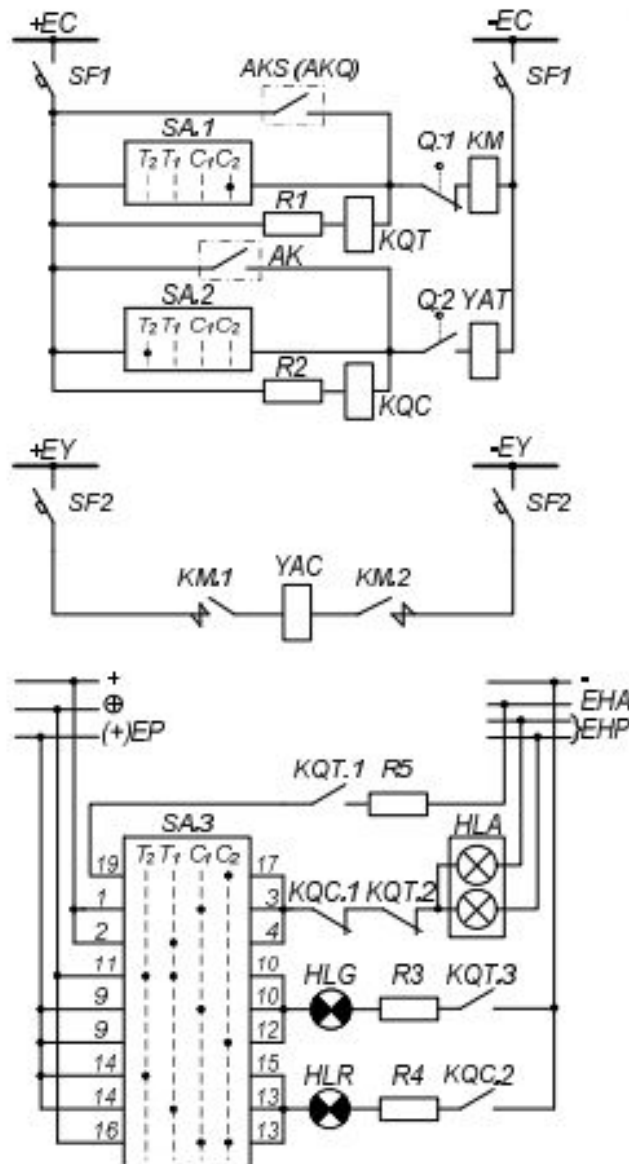


| | |
|-------------------------------|-----------------|
| Шинки управления | |
| Автоматы | |
| От автоматики | Цепи включения |
| От ключа | |
| Реле контроля цепи включения | |
| От защиты | Цепи отключения |
| От ключа | |
| Реле контроля цепи отключения | |
| Шинки включения | |
| Автоматы | |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