# 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

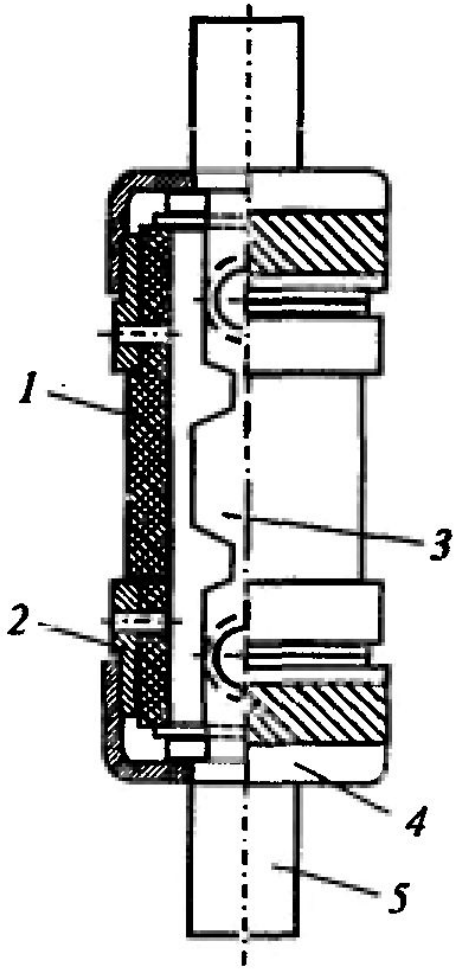
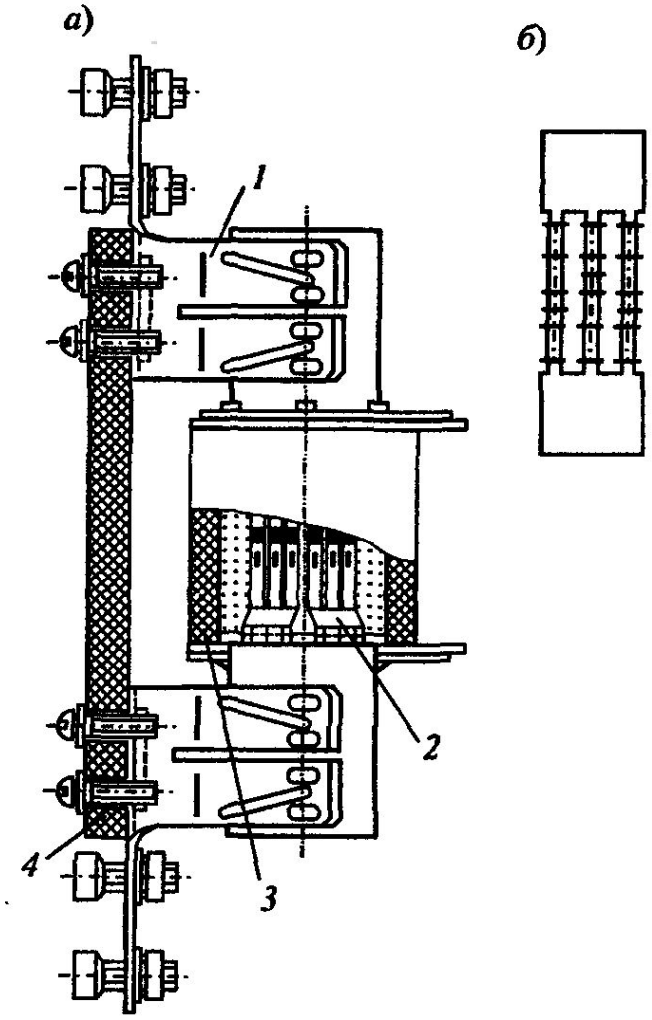
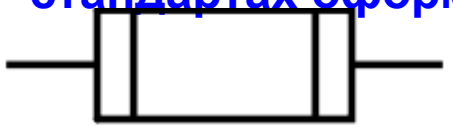



**Рис. 4.1.** Предохранитель серии ПР-2

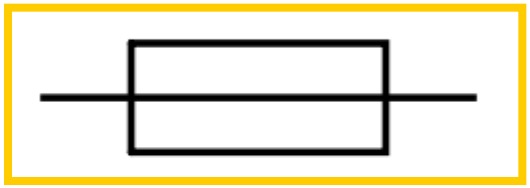



**Предохранитель серии ПН-2**

# Обозначение плавких предохранителей на принципиальных электрических схемахОбозначение плавких предохранителей на принципиальных электрических схемах в разных стандартах оформления конструкторской документации.



IEC



IEEE/ANSI

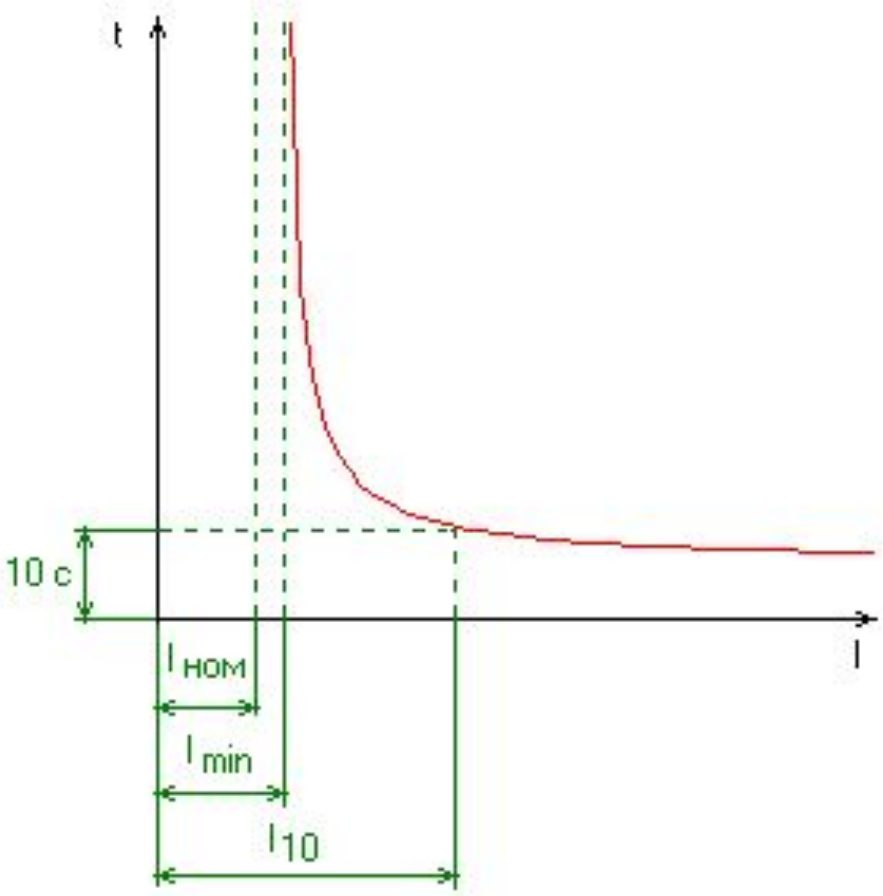
IEEE/ANSI

***F, FA, FU*** **- плавкий предохранитель**

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

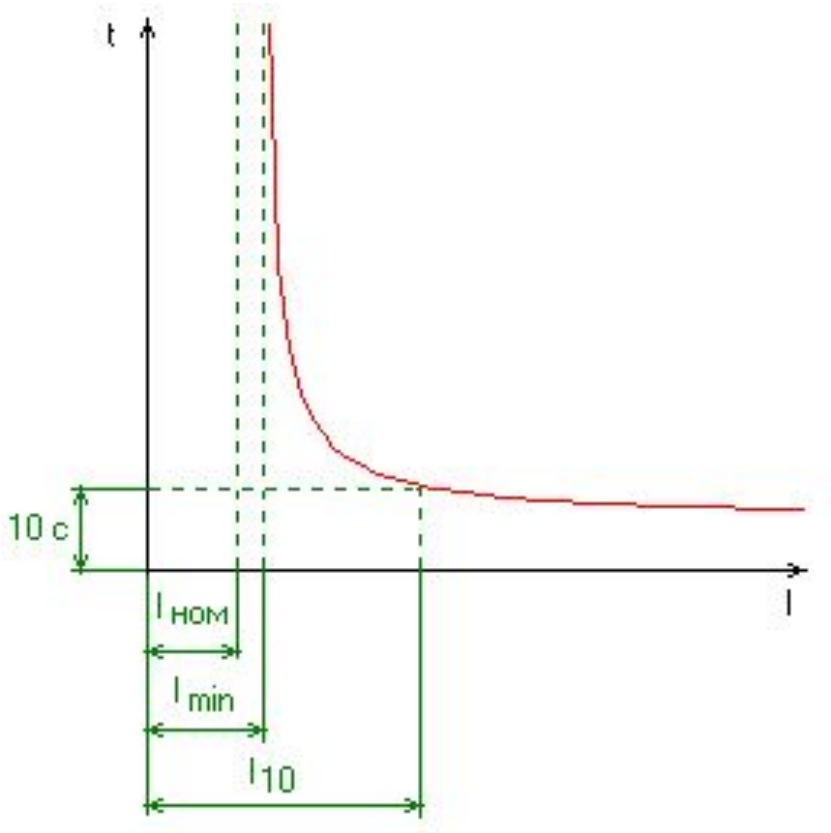
Институт инженеров электротехники и электроники – **IEEE** (англ. **Institute of Electrical and Electronics Engineers**), международная некоммерческая ассоциация специалистов в области техники

Америка́нский национа́льный институ́т станда́ртов (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 временна́я (ампер-секундная) характеристика.

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

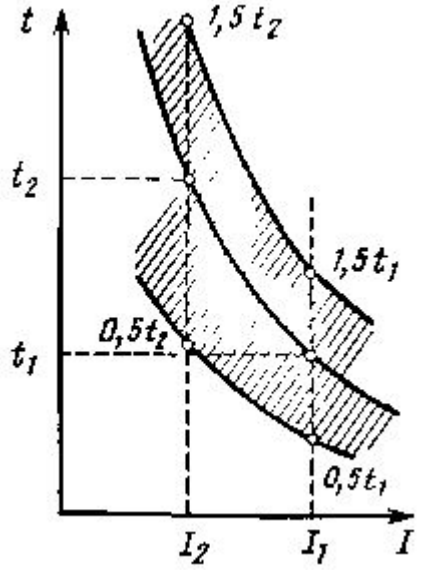



***Iном - номинальный ток вставки, т.е. ток, при котором вставка длительно работает, не нагреваясь выше допустимой температуры.***

***Imin - наименьший из токов, <u>расплавляющих</u> вставку (при этом токе вставка плавится, но в течение неопределенно продолжительного времени (1-2 ч); при меньших токах вставка уже не расплавляется);***

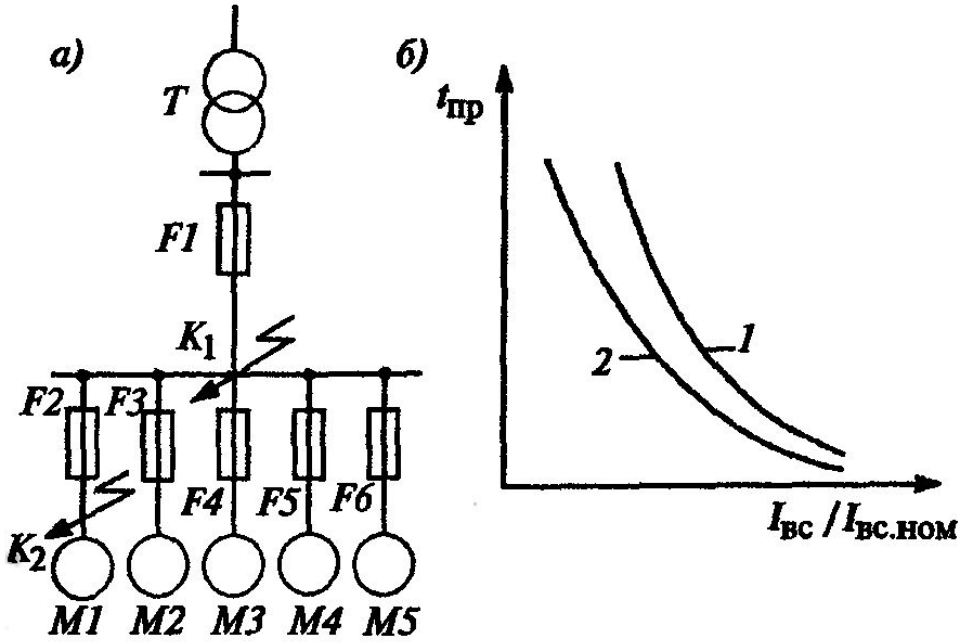
***I10 - ток, при котором плавление вставки и отключение сети происходит через 10 с после установления тока;***
***Токи связаны простым соотношением:*** ***Iном=I10/2.5.***

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 доходить* ***до ± 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 ***± 25 %.*** При этом допускается в редких случаях возможность неселективной работы предохранителей.

# Защитная характеристика предохранителя, условия выбора



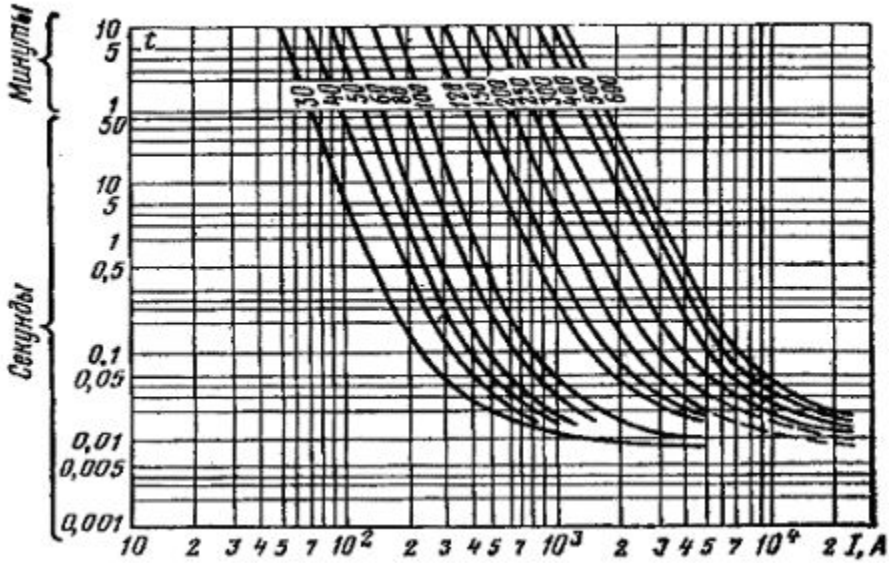

**Выбор предохранителя:**

$$U_{пр.ном} = U_{с} \text{ и } I_{пр.отк} \geq I_{к.макс}$$

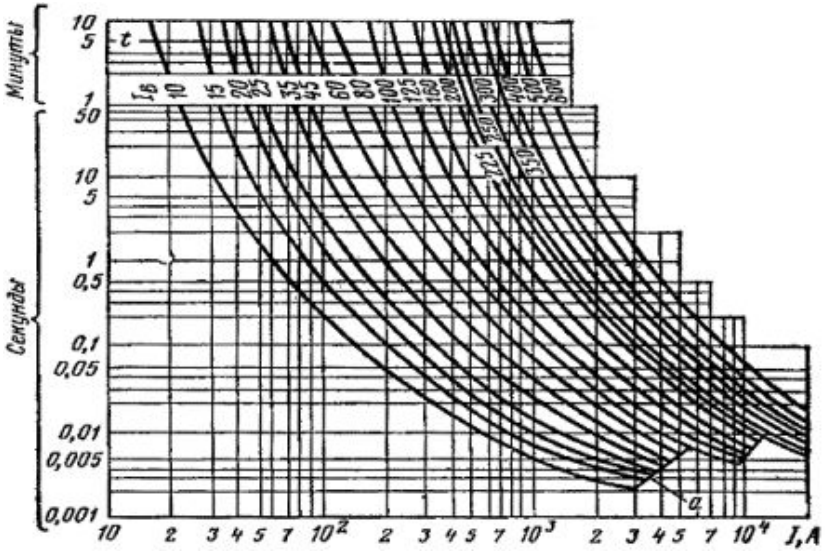
**Выбор плавкой вставки:**

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

# 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.**

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

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

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

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

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

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

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

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

## Шкала номинальных токов плавких вставок предохранителей

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

***НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ***

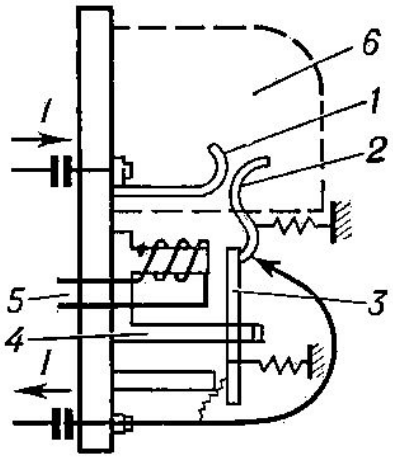
***ПРЕДОХРАНИТЕЛИ ПЛАВКИЕ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ***

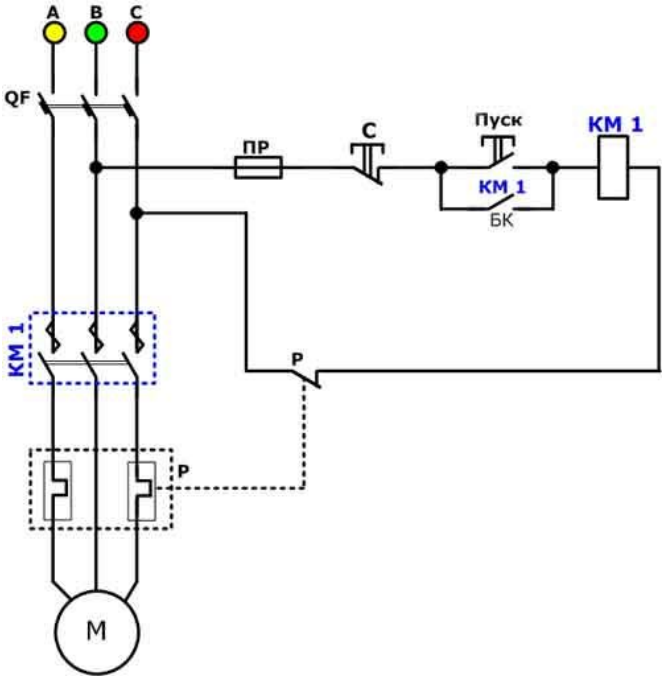
***ЧАСТЬ 1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ***

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.**

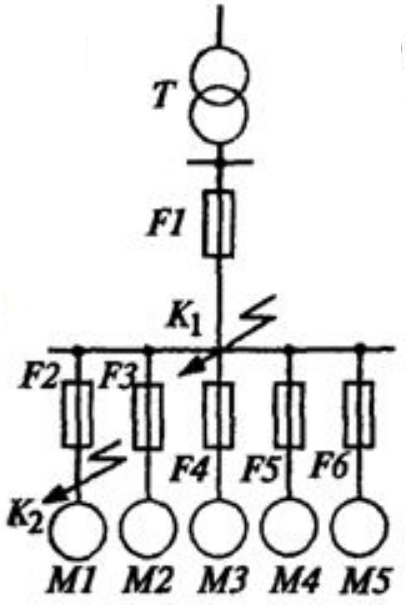
В зависимости от характера нагрузки и необходимости самозапуска номинальный ток плавкой вставки выбирают по первому или второму условию, принимают ближайшим большим по шкале стандартных токов и проверяют по третьему условию при наличии в защищаемой сети магнитных пускателей или контакторов. Выбранные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



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

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



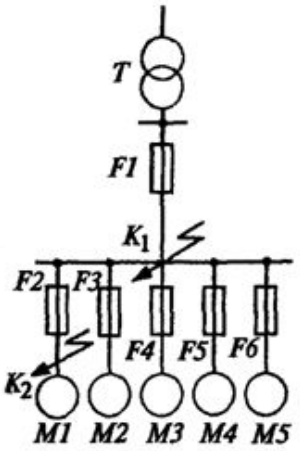
## Ток перегрузки во втором условии принимается бóльшим из двух значений:

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

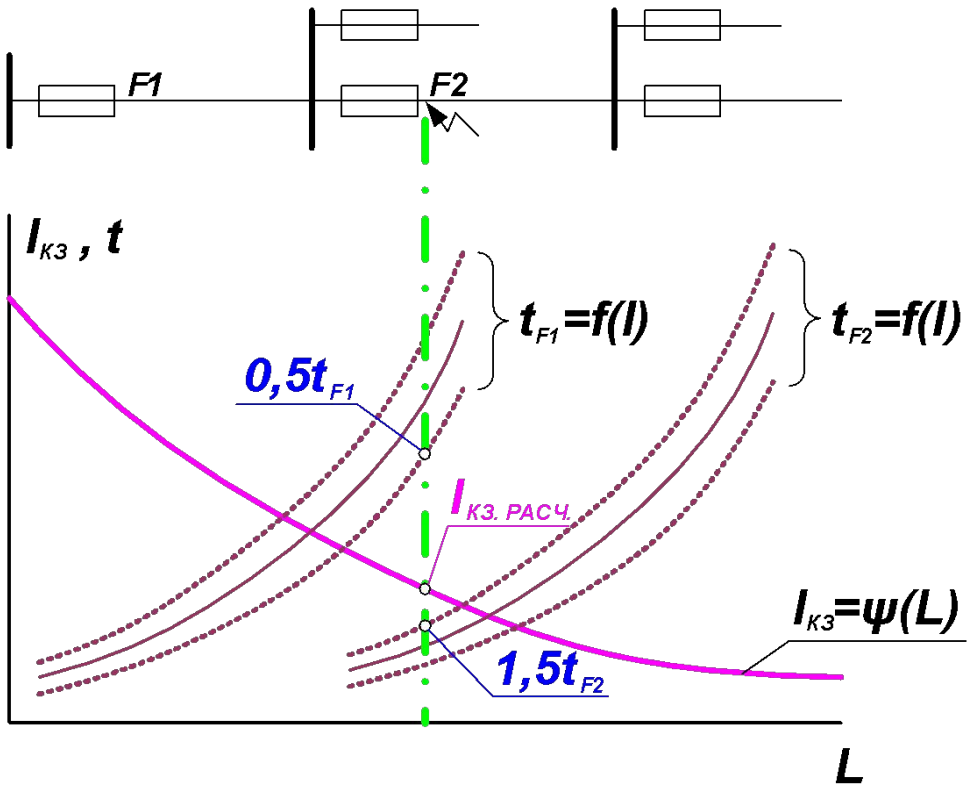
$$I_{пер.} = k_{отс.} \sum_{i=1}^{n-1} I_{раб.макс.i} + I_{пуск.макс.};$$

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

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



# Проверка плавких вставок последовательно установленных предохранителей по селективности и чувствительности



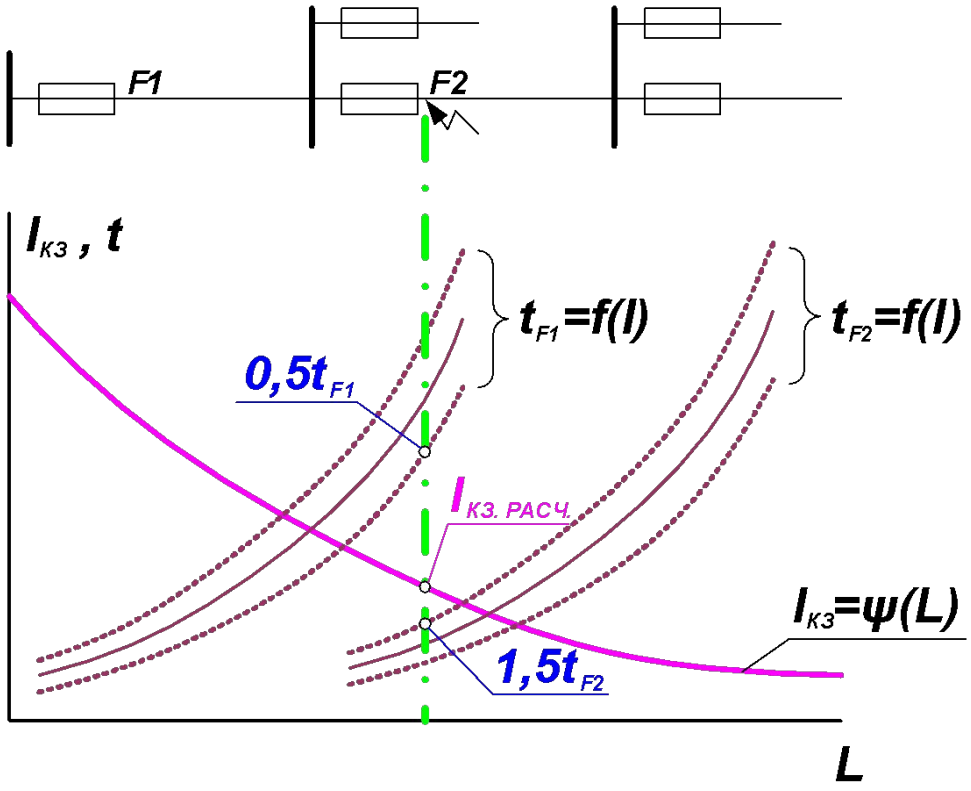

***При КЗ в расчетной точке, в соответствии с требованием <u>селективности</u>, предохранитель F2 должен разорвать цепь раньше, чем предохранитель F1, для чего необходимо выполнение условия:***

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

***Или:***

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

# Проверка плавких вставок последовательно установленных предохранителей по селективности и чувствительности




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

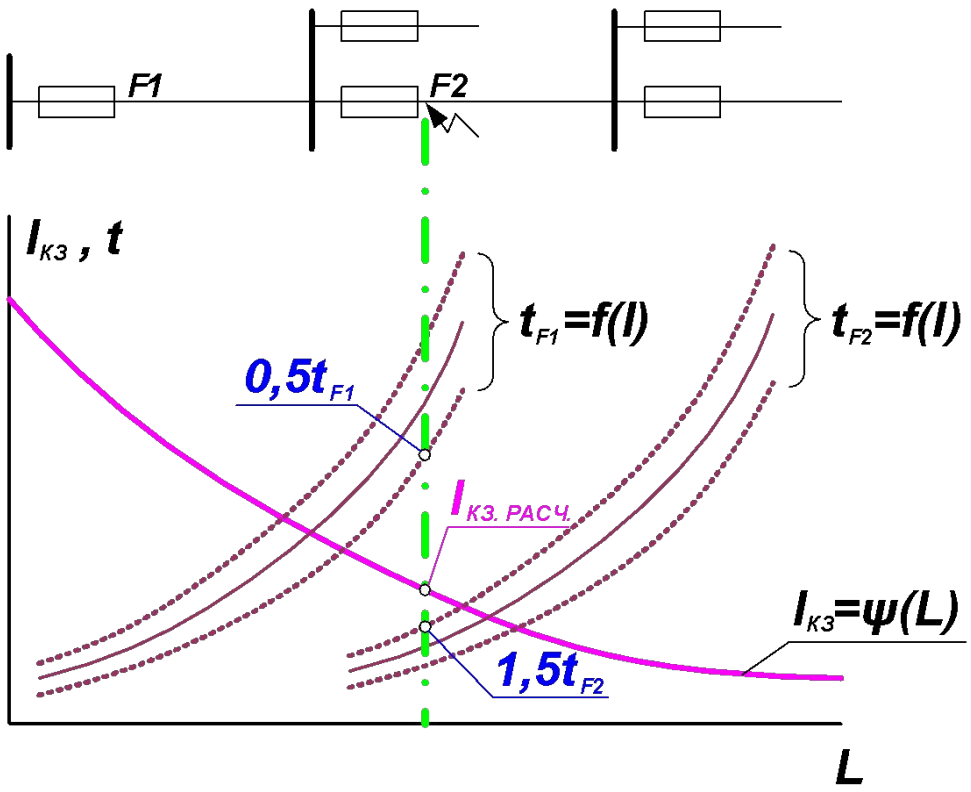
***Этому условию отвечают следующие правила:***

***1. При последовательной установке <u>однотипных</u> низковольтных предохранителей $I_{ВС.НОМ}$ должны отличаться <u>на две ступени шкалы</u>.***

***2. При последовательной установке <u>разнотипных</u> низковольтных предохранителей $I_{ВС.НОМ}$ должны отличаться <u>более чем на две ступени шкалы</u>.***

***3. При последовательной установке <u>высоковольтных</u> предохранителей $I_{ВС.НОМ}$ должны отличаться <u>на одну ступень шкалы</u>.***

# Проверка плавких вставок последовательно установленных предохранителей по селективности и чувствительности




***Проверка по чувствительности заключается в расчете соответствующего коэффициента:***

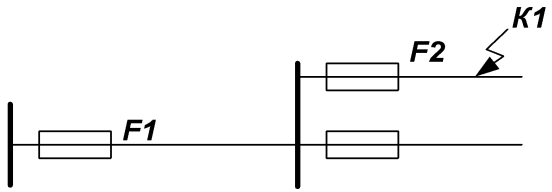
$$k_ч = (I_{КЗ.МИН} / I_{ВС.НОМ}) \geq 3$$

$I_{КЗ.МИН}$ – *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;*

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

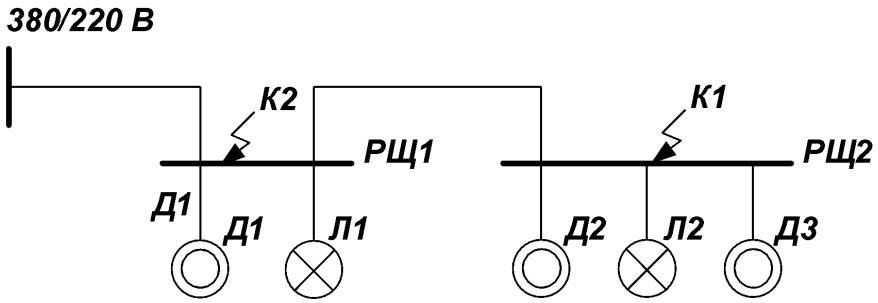
# Проверка плавких вставок последовательно установленных предохранителей по селективности и чувствительности

***Задача 1.*** *Ответвление от основной линии защищено предохранителем F2 с номинальным током плавкой вставки* $I_{ВС.НОМ.F2}$ *= 40 А. Максимальный ток КЗ в точке К1:*




$I_{КЗ.МАКС.}$ *= 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 ± 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.*



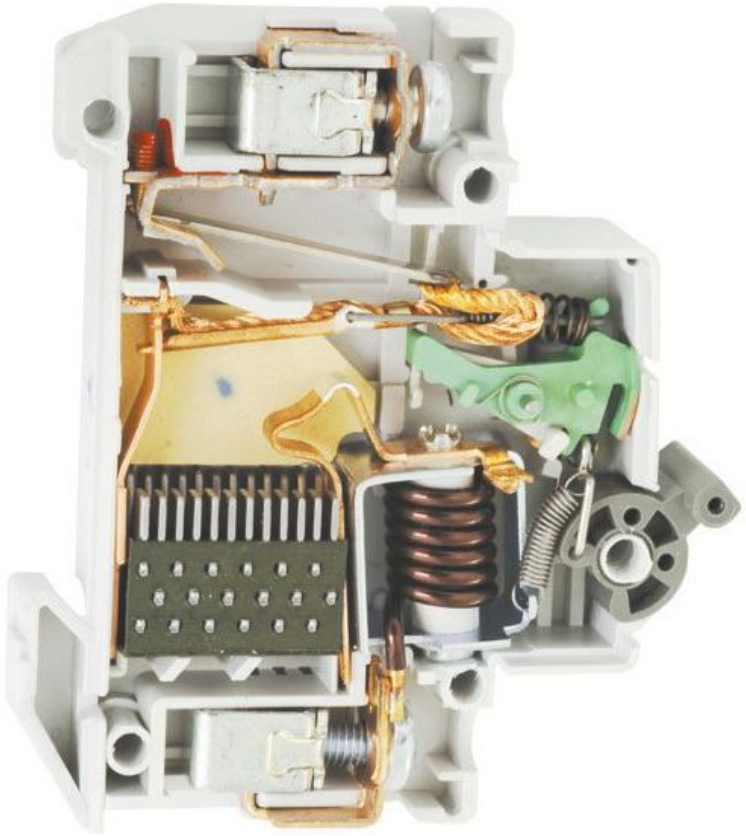

*При повреждении в точке К1 ток КЗ* $I_{К1}$ *= 450 А, при повреждении в точке К2* $I_{К2}$ *= 600 А.*

*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 φ | К.п.д., η, % | $k_{ПЕР}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 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 |

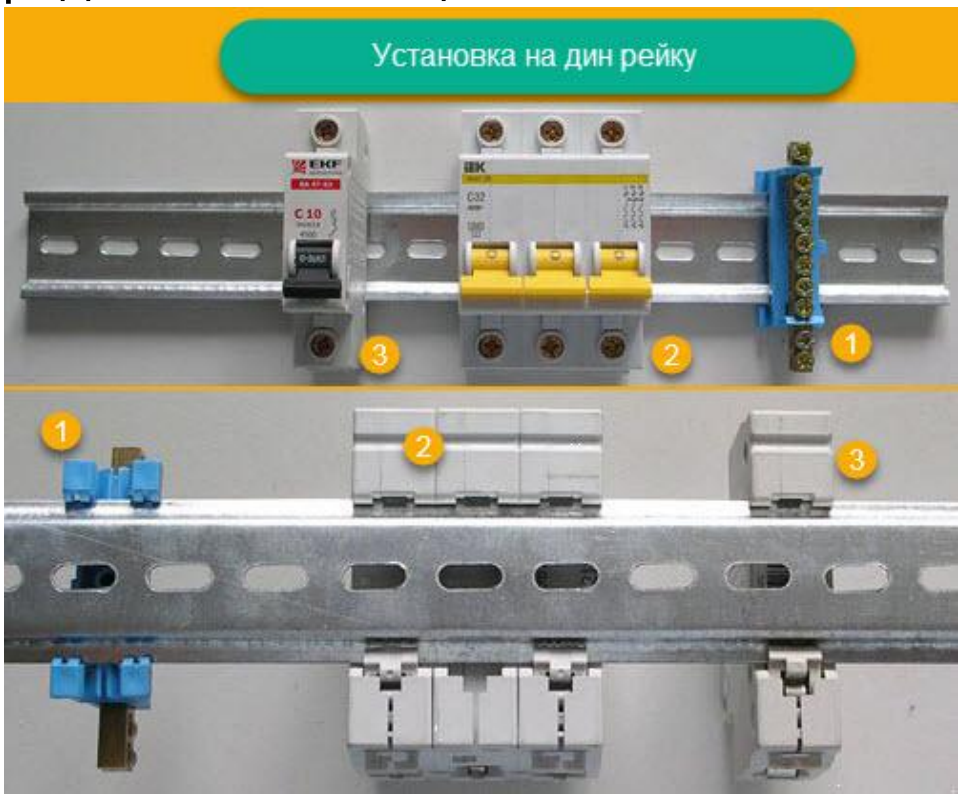
***Решение задач - в презентации для практических занятий.***

# Защита низковольтных электроустановок автоматическими выключателями



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

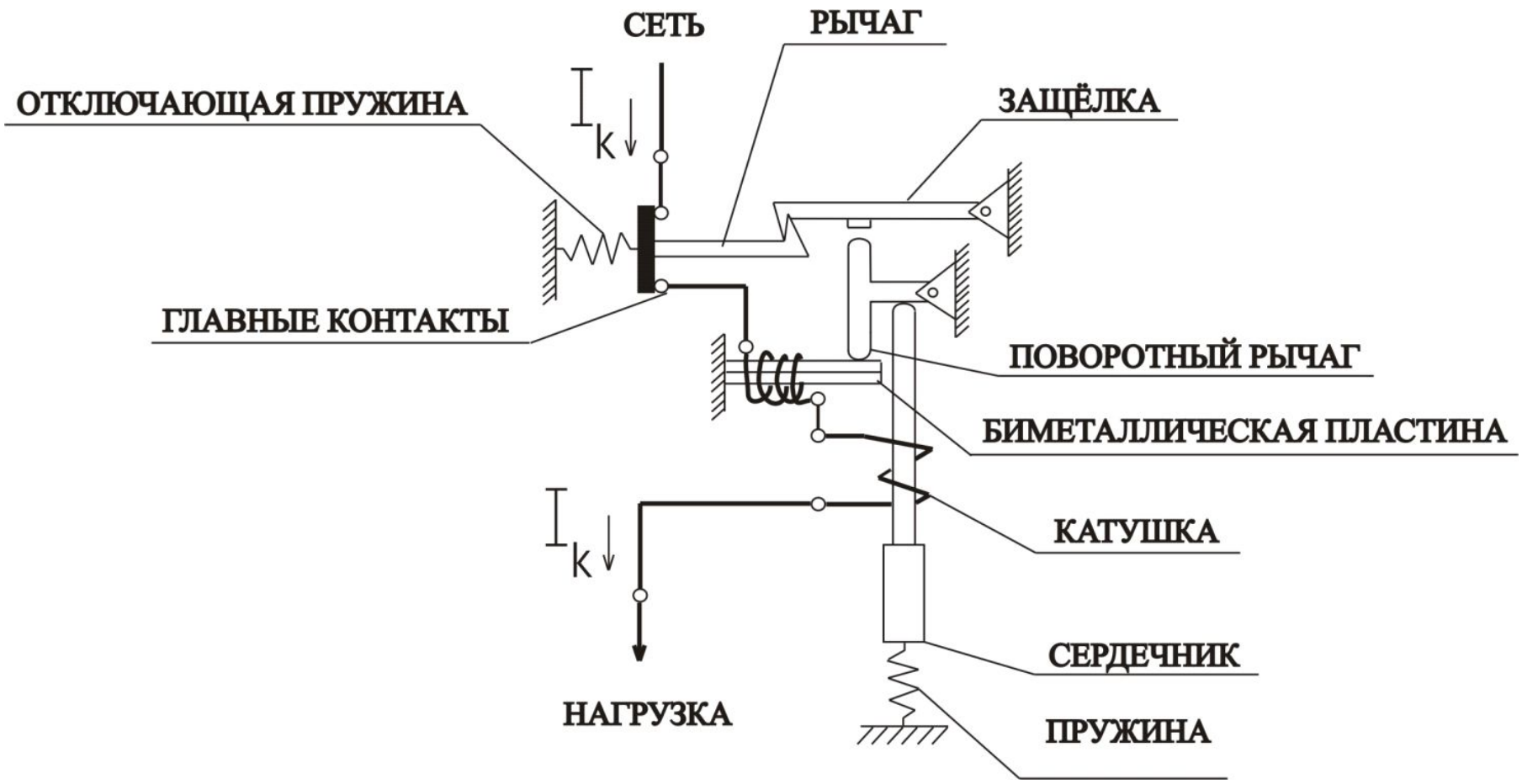
Автоматический выключатель (автомат) – это устройство, которое предназначено для отключения электроустановок в случае возникновения токов короткого замыкания и перегрузок электрических цепей. Для использования в быту и для общественных зданий сегодня самыми распространенными являются автоматические выключатели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



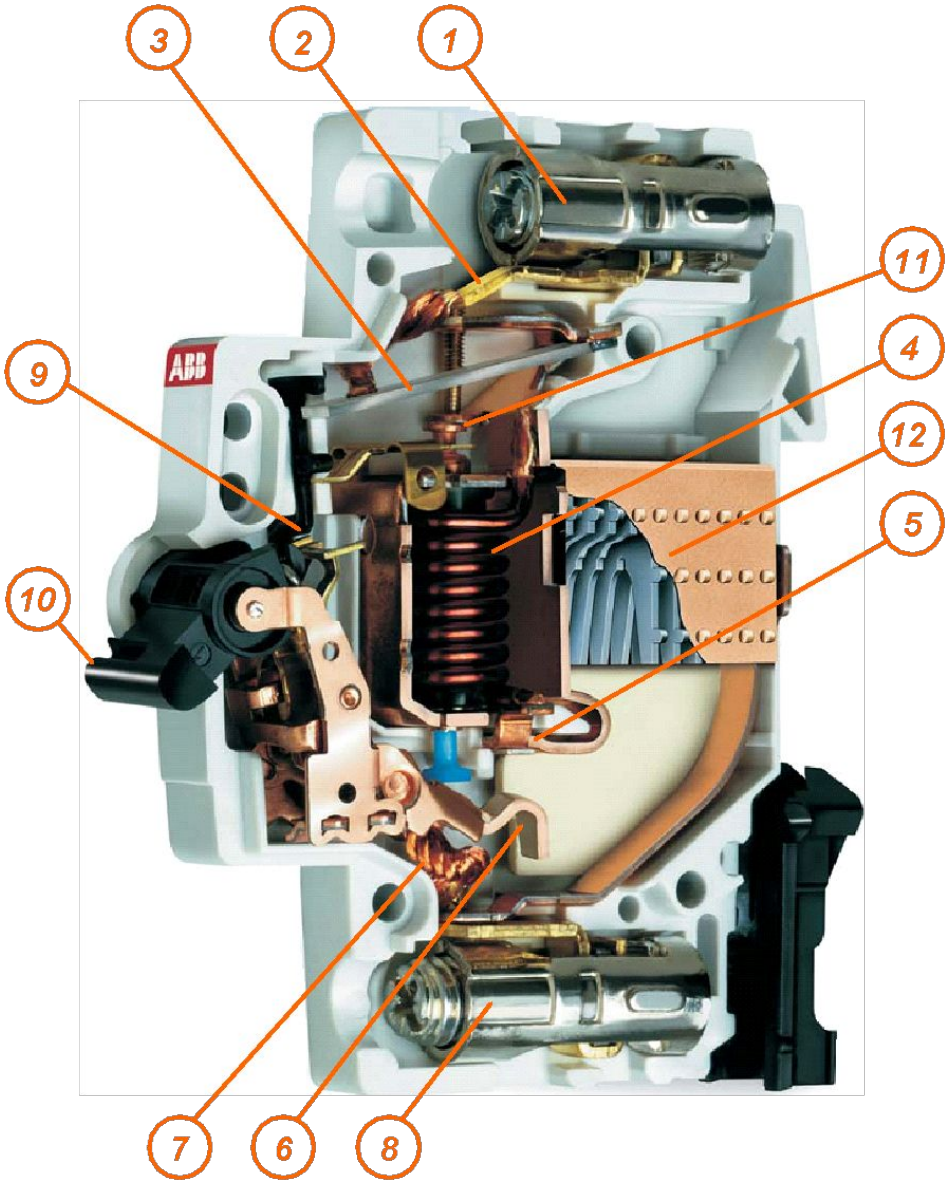
При перегрузках защитным элементом является ***биметаллическая пластина***. Она нагревается и изгибается, что приводит к срабатыванию механизма расцепителя. В случае короткого замыкания срабатывает другой механизм – ***магнитная катушка***. Токи короткого замыкания намного выше, чем при перегрузках,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

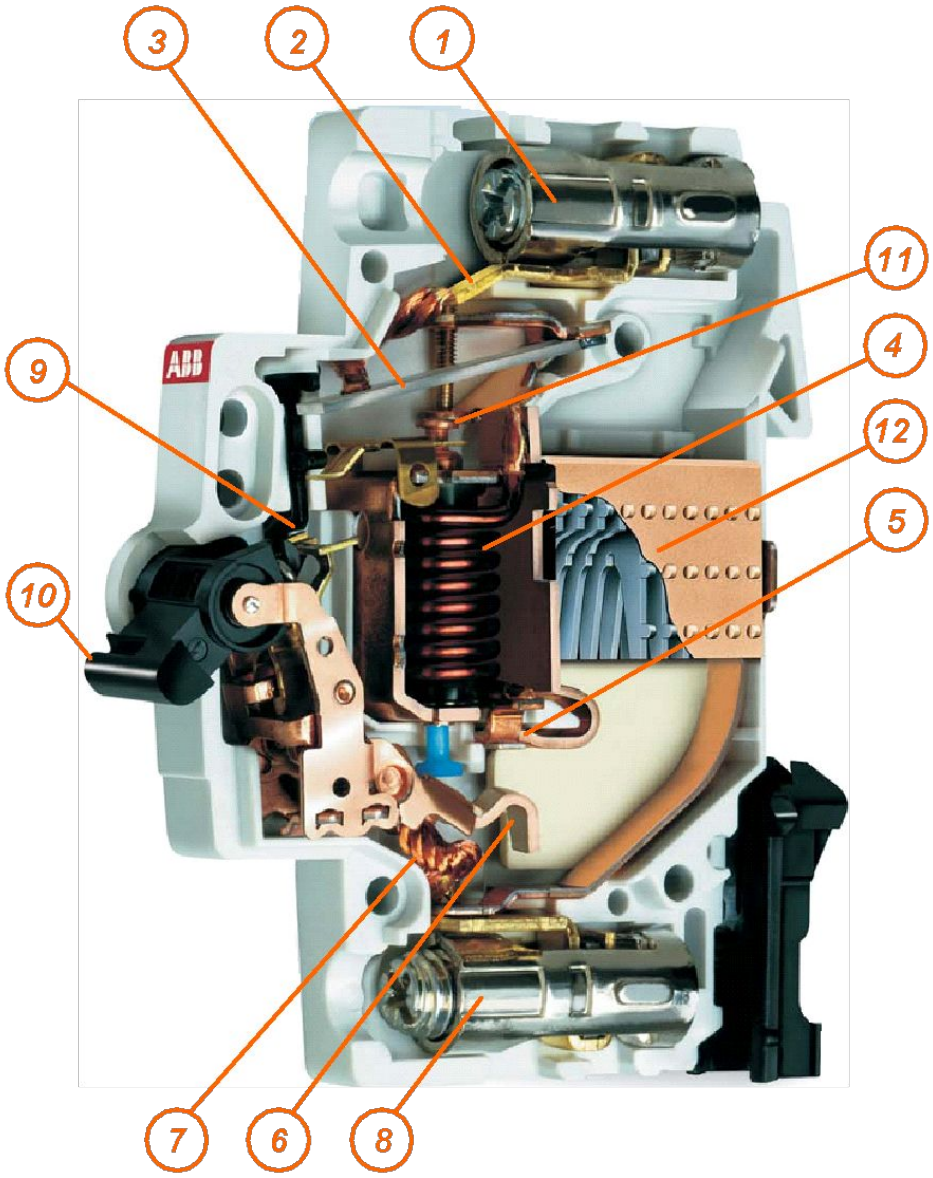


# Устройство автомата




*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



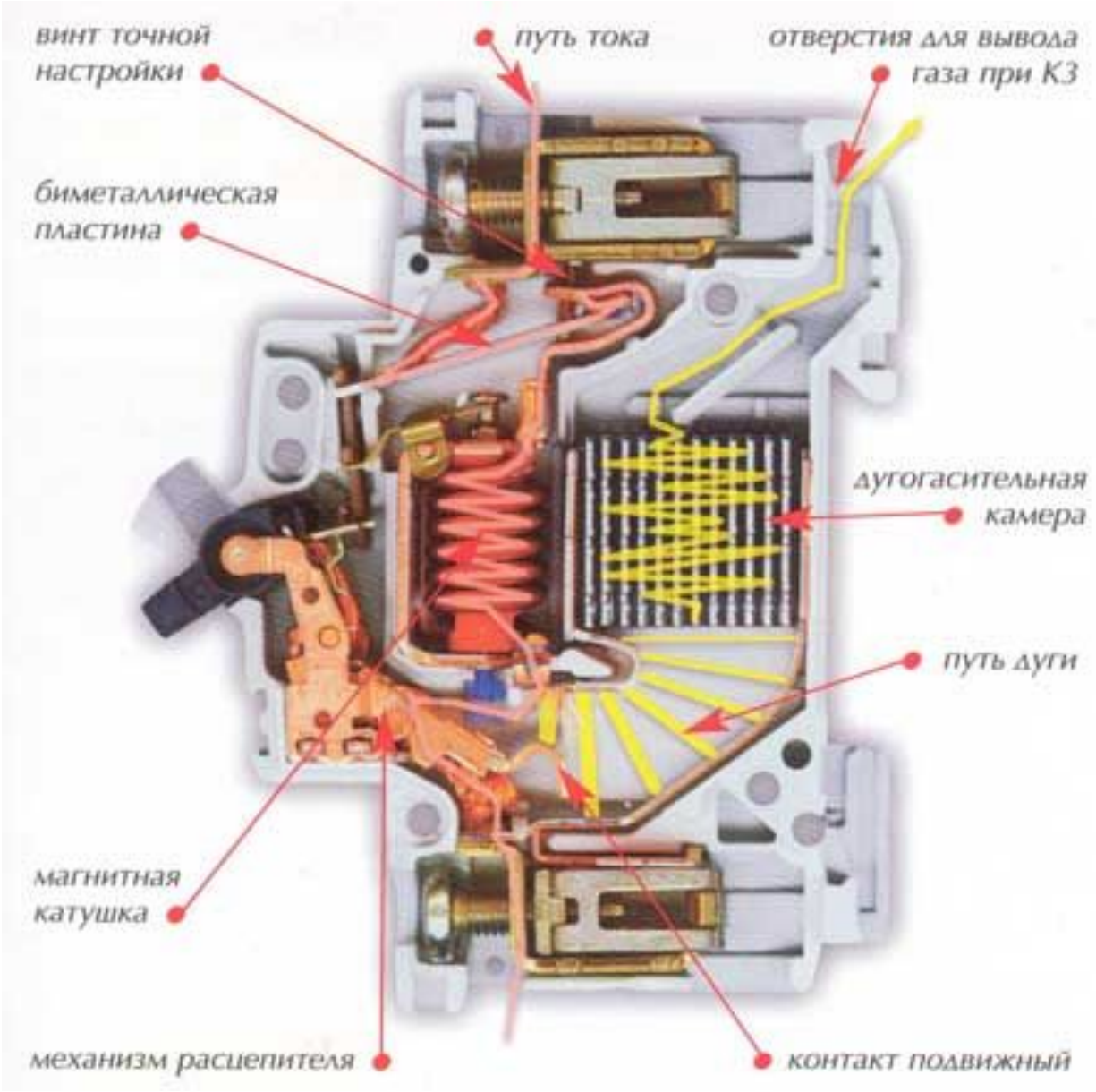

*Напряжение к автомату ABB подводится через питающий кабель, подключаемый сверху к винтовому зажиму 1.*

*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.*

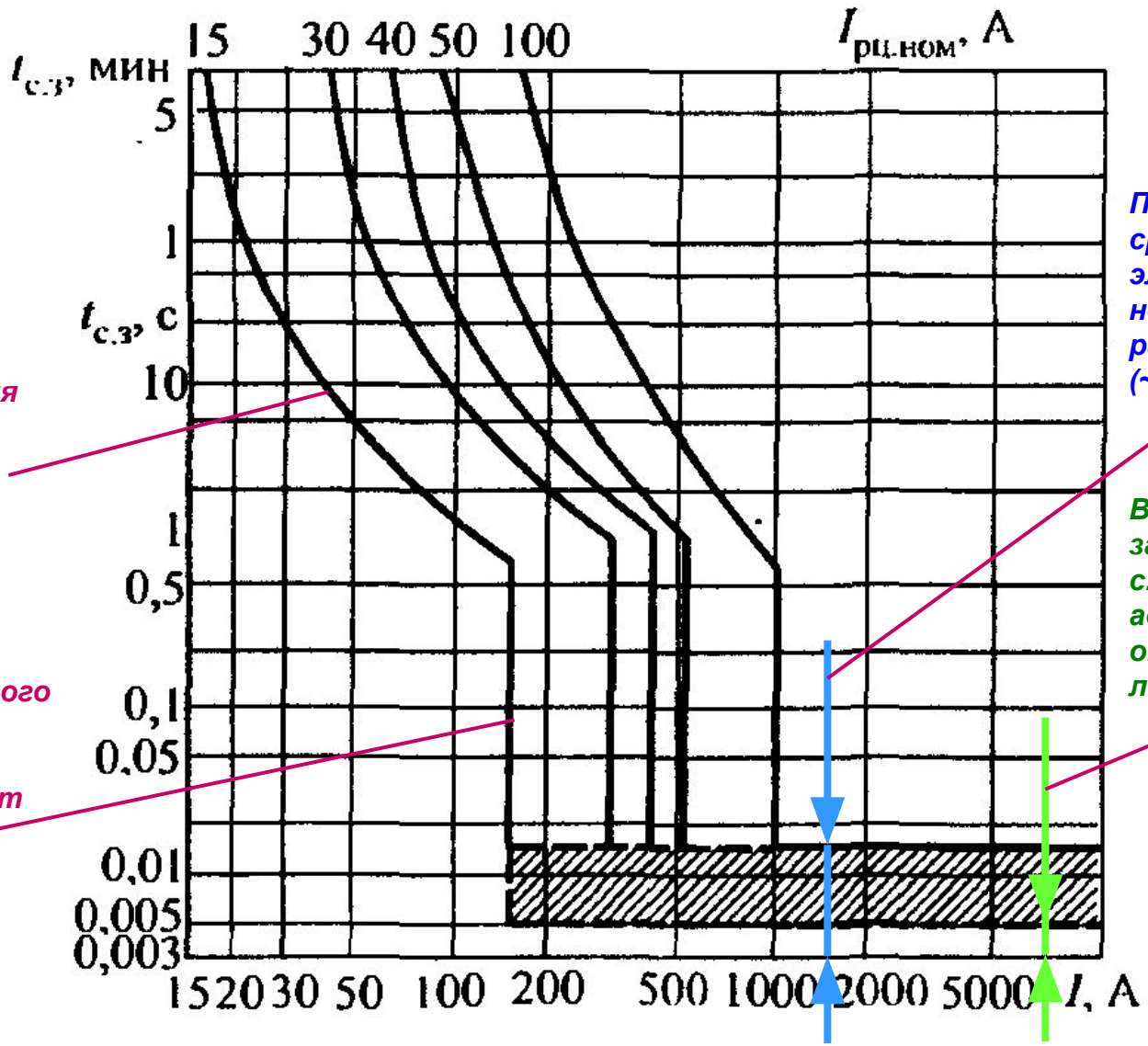
*При протекании тока перегрузки, превышающего номинальное значение автоматического выключателя, биметаллическая пластина выгибается вверх (из-за разности коэффициентов расширения различных металлов при нагреве), приводя в действие механизм расцепления 9, при этом подвижный контакт 6 отходит от неподвижного 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 рассевается в дугогасящей камере 12 специальной формы, состоящей из набора параллельных пластин.*

# Работа автомата



# Защитная характеристика автомата




*Зона токов срабатывания теплового расцепителя*

*Срабатывание электромагнитного расцепителя. Разброс токов срабатывания от 15% до 30%*

*Полное время срабатывания электромагнит-ного расцепителя (~0,015 с.).*

*Время съема защелки (~0,005 с.). После этого автомат отключится в любом случае.*

## Условия выбора автомата

$$U_{ав.ном} \geq U_{с} \qquad I_{ав.пред.} \geq I_{к.макс}$$

тепловой расцепитель:

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

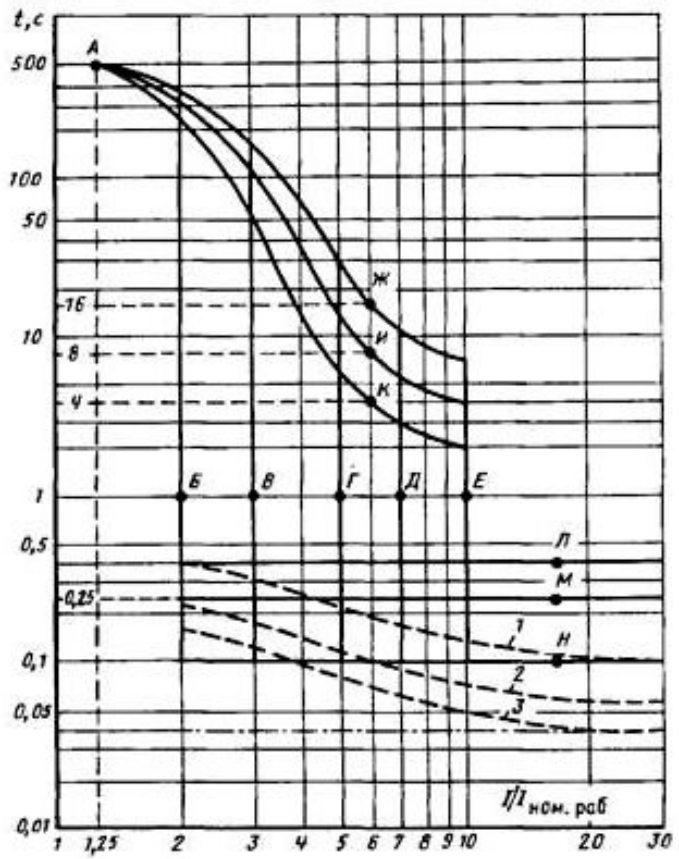
электромагнитный расцепитель:

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

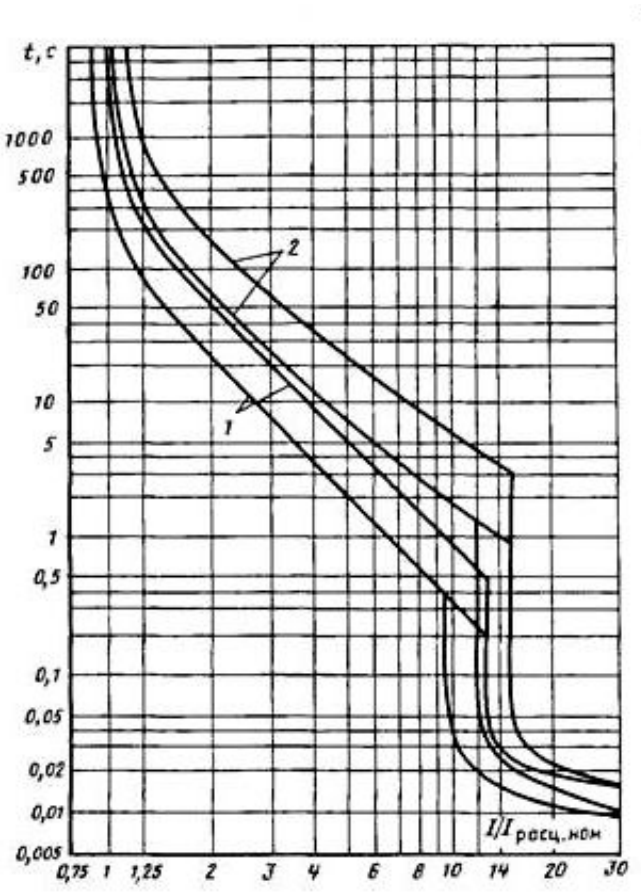
Проверка автомата (электромагнитного расцепителя) по чувствительности:

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

# 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.*

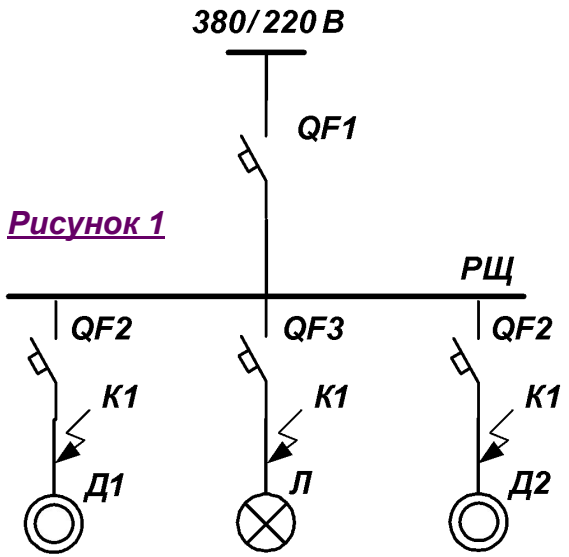
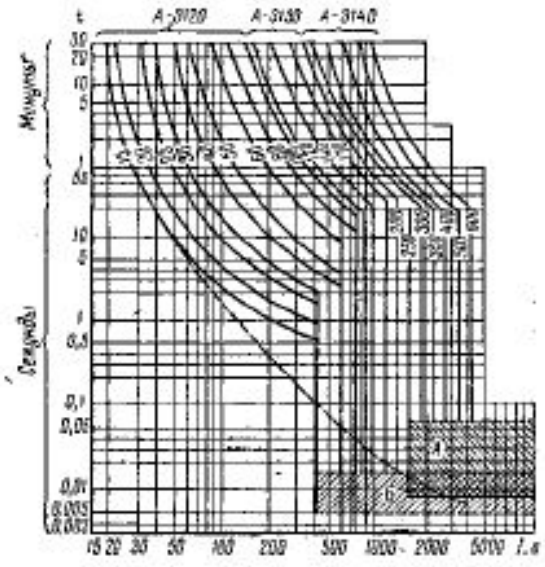



*Рисунок 1*

*Погрешность автоматов по величине тока мгновенного срабатывания составляет ± 15%. Данные для расчета приведены в таблице. Характеристики автом ата представлены на рисунке 2.*

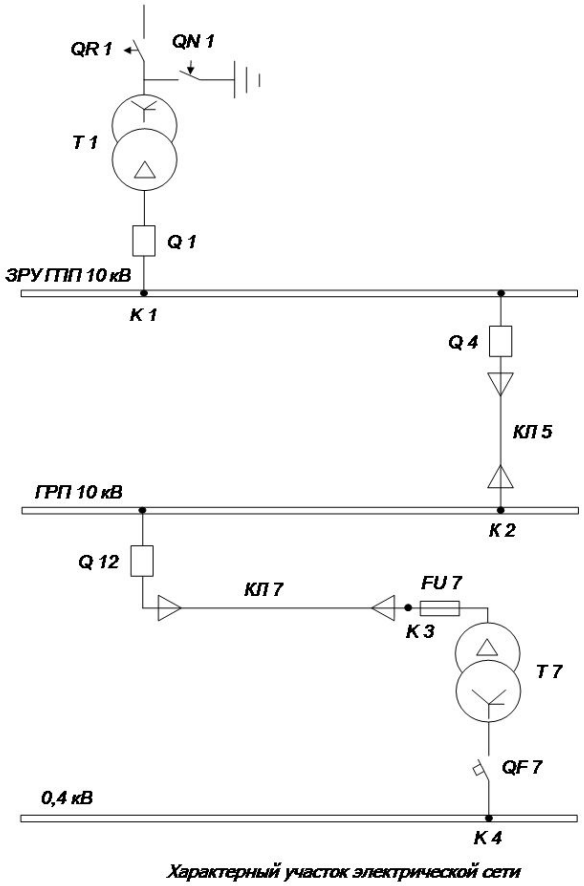
*Рисунок 2*



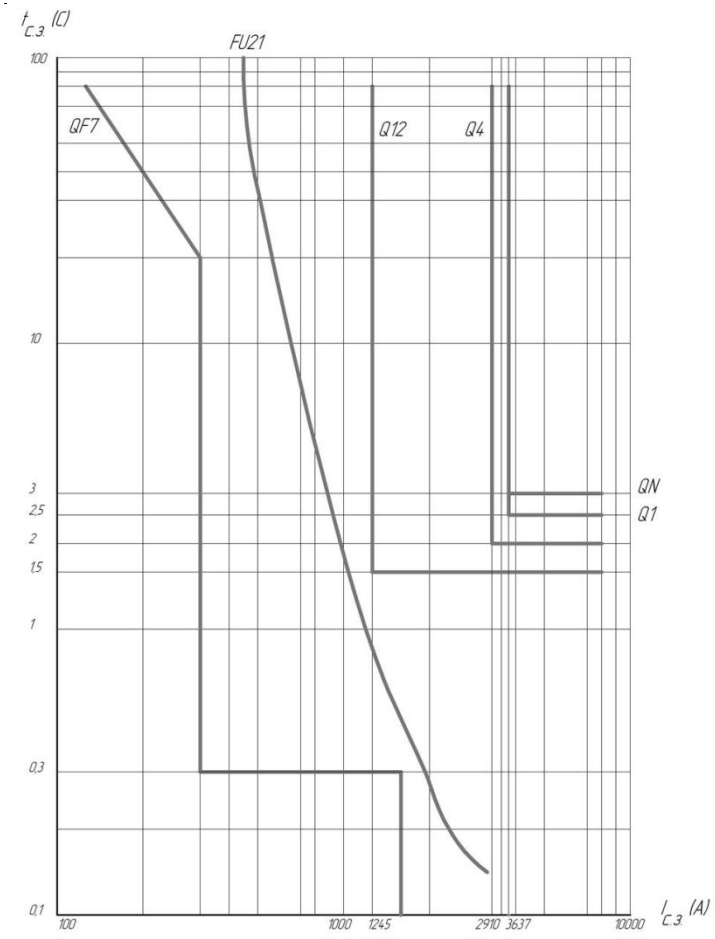
| Характеристики электродвигателей | | | | | Осветит. нагрузка, $S_{НАГР}$, кВт | Ток КЗ в точке К1, А |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Номер двигателя | $S_{ном}$, кВт | $k_{пуск}=I_{пуск}/I_{ном}$ | cos φ | К.п.д., η, % | | |
| Д1 | 10 | 5 | 0,88 | 87,5 | 25 | 700 |
| Д2 | 14 | 5,5 | 0,88 | 88,5 | | |

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

# Согласование работы автоматов и предохранителей




Характерный участок электрической сети



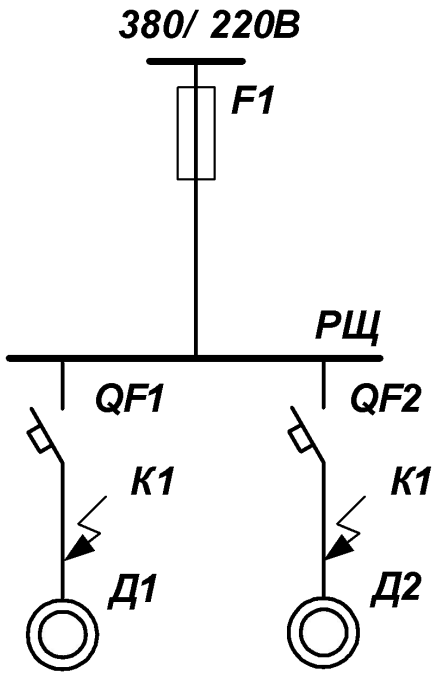

***Согласование обеспечивается при построении карты селективности.***

***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*

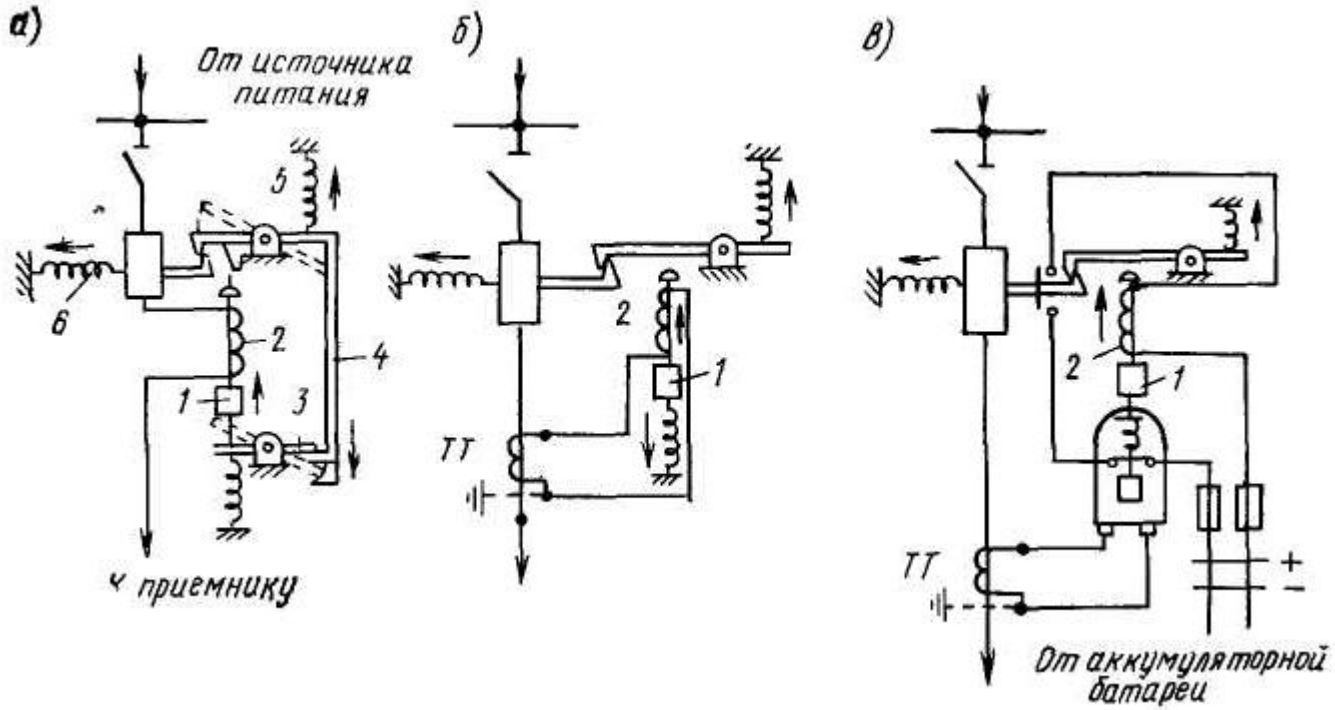



*Определить номинальные токи расцепителей автоматов* $I_{РАСЦ.НОМ.}$ *и номинальный ток плавкой вставки предохранителя* $I_{ВС.НОМ.}$. *В расчете учесть погрешность в токе срабатывания предохранителей ± 50% и автоматов ± 15%. Коэффициент перегрузки принять* $k_{ПЕР} = 2,5$; *коэффициент надежности (отстройки)* $k_{ОТС} = 1,2$. *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 | |

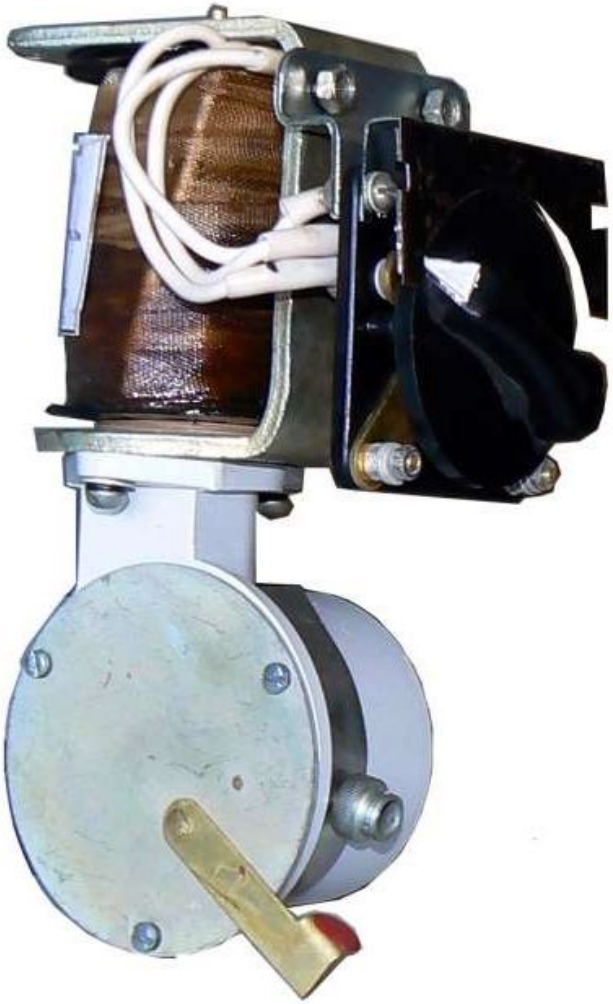
***Решение задачи - в презентации для практических занятий.***

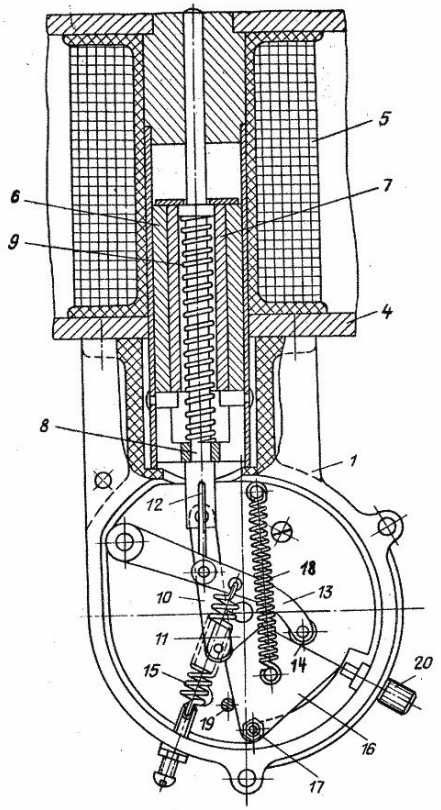
**Предохранители и автоматы можно назвать первичными реле прямого действия. Так называются защитные аппараты, включаемые непосредственно в защищаемую цепь и разрывающие ток повреждения при срабатывании. На рисунке приведены и другие варианты выполнения защиты:**



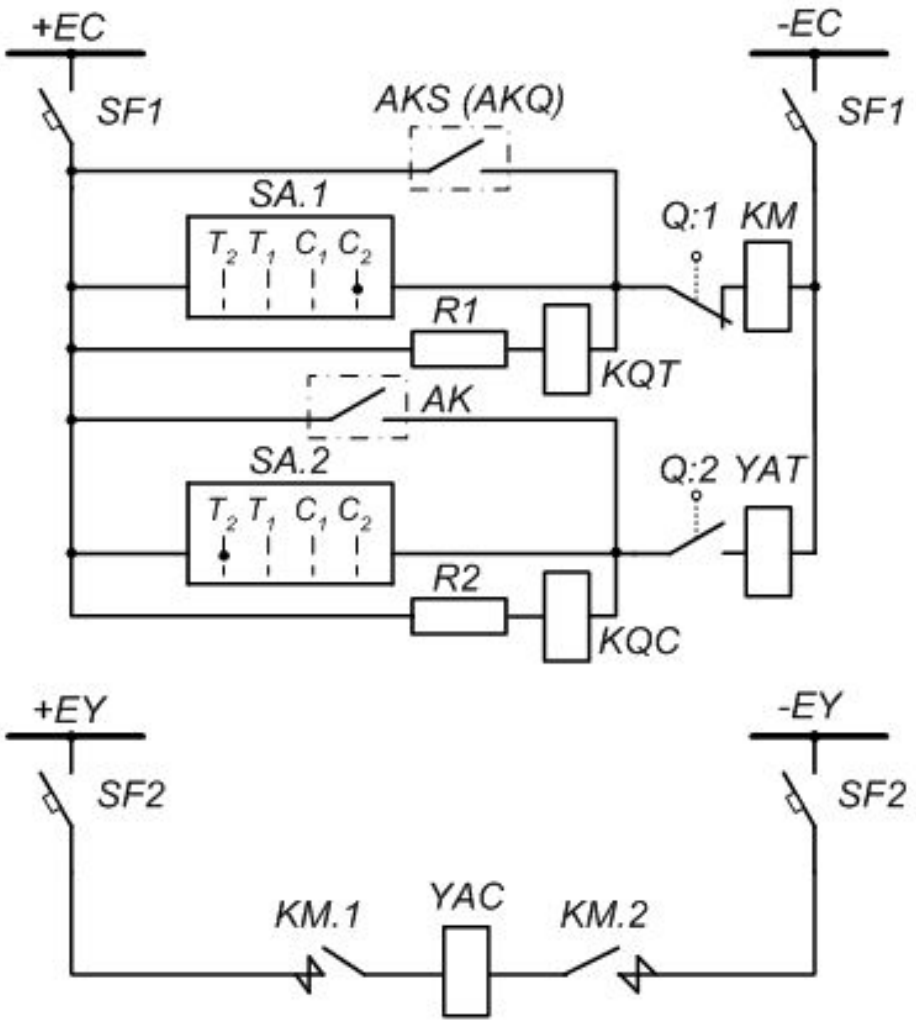

*а — с первичным реле прямого действия;*
*б — со вторичным реле прямого действия,*
*в — со вторичным реле косвенного действия*

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



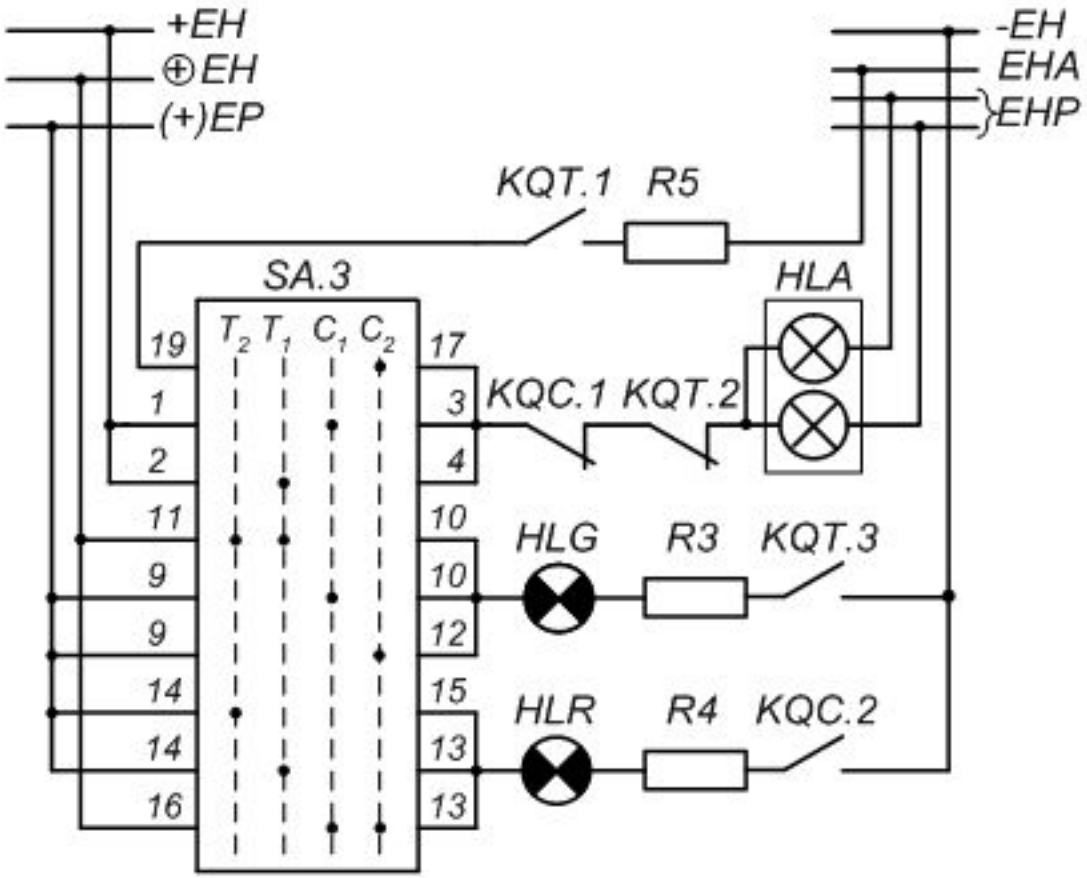


# Схема дистанционного управления выключателем




| | | |
|---|---|---|
| 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» |

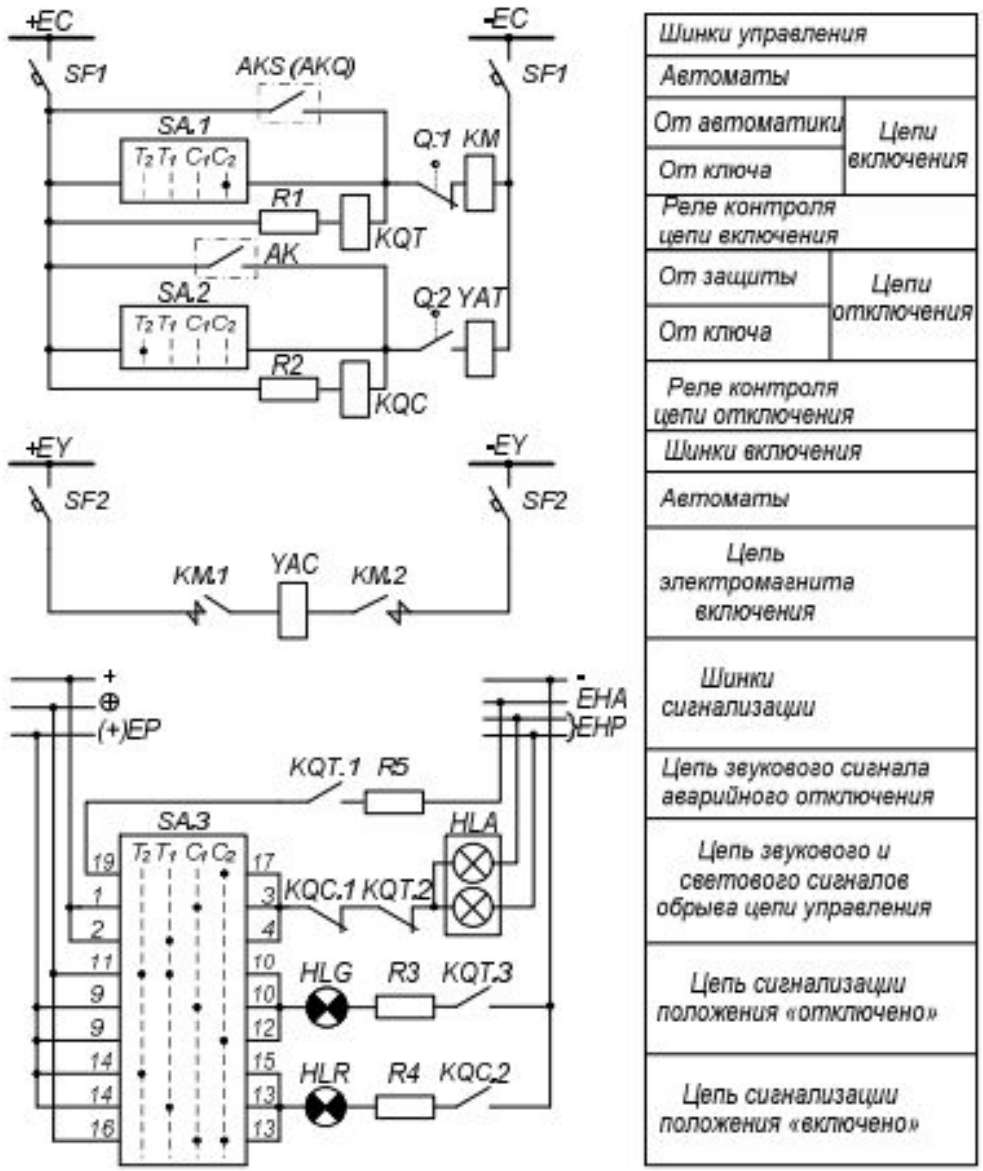



Рис. 88. Схема дистанционного управления выключателем с электромагнитным приводом. Положения ключа SA: C1 – предварительно включено, включено; C2 – включить; T1 – предварительно отключено, отключено; T2 – отключить.