

# Электрическая дуга

**Ионизация** - процесс отделения от нейтрала частиц одного или нескольких электронов и образование вследствие этого электронов и положительно заряженных частиц (ионов).

**Термическая ионизация** - это процесс ионизации под воздействием высоких температур.

**Электронная эмиссия** – процесс выхода электронов из твердых или жидких тел.

**Термоэлектронная эмиссия** – электронная эмиссия, обусловленная исключительно тепловым состоянием (температурой) твердого или жидкого тела, испускающего электроны.

**Автоэлектронная (электростатическая, холодная) эмиссия** – эмиссия электронов, обусловленная исключительно наличием у поверхности тела сильного электрического поля, ускоряющего выходящие электроны.

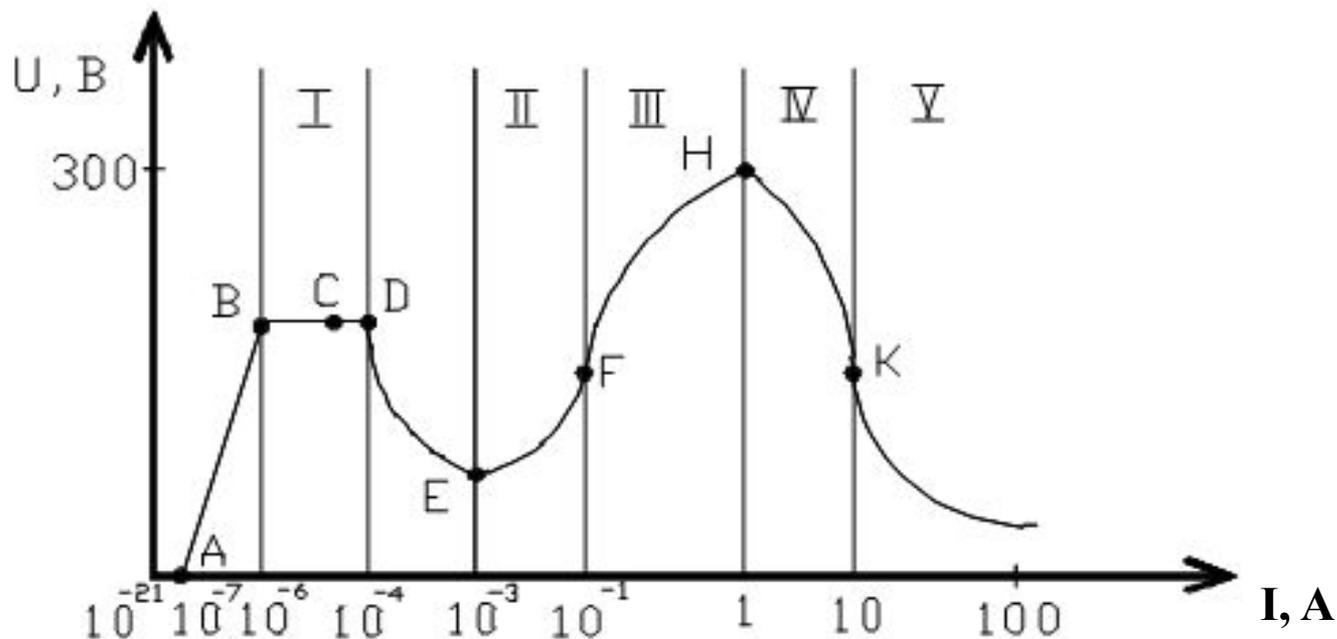
**Рекомбинация** - это процесс образования нейтральных частиц газа за счет положительных ионов и электронов.

**Диффузия** - это процесс выноса заряженных частиц из межэлектродного промежутка в окружающее пространство. Интенсивность гашения дуги будет определяться интенсивностью этих процессов.

# Виды электрического разряда в газах

- ✓ Несамостоятельный разряд – электрический разряд, требующий для своего поддержания образования в разрядном промежутке заряженных частиц под действием внешних факторов.
- ✓ Самостоятельный разряд – электрический разряд, существующий под действием приложенного к электродам напряжения и не требующий для поддержания образования заряженных частиц за счет действия других внешних факторов.

# ВАХ самостоятельного разряда



**I** – темный разряд

**II** - нормально тлеющий разряд

**III** - аномально тлеющий разряд

**IV** - переходная область- переход от тлеющего разряда к дуговому

**V** - область дугового разряда

# Электрическая дуга

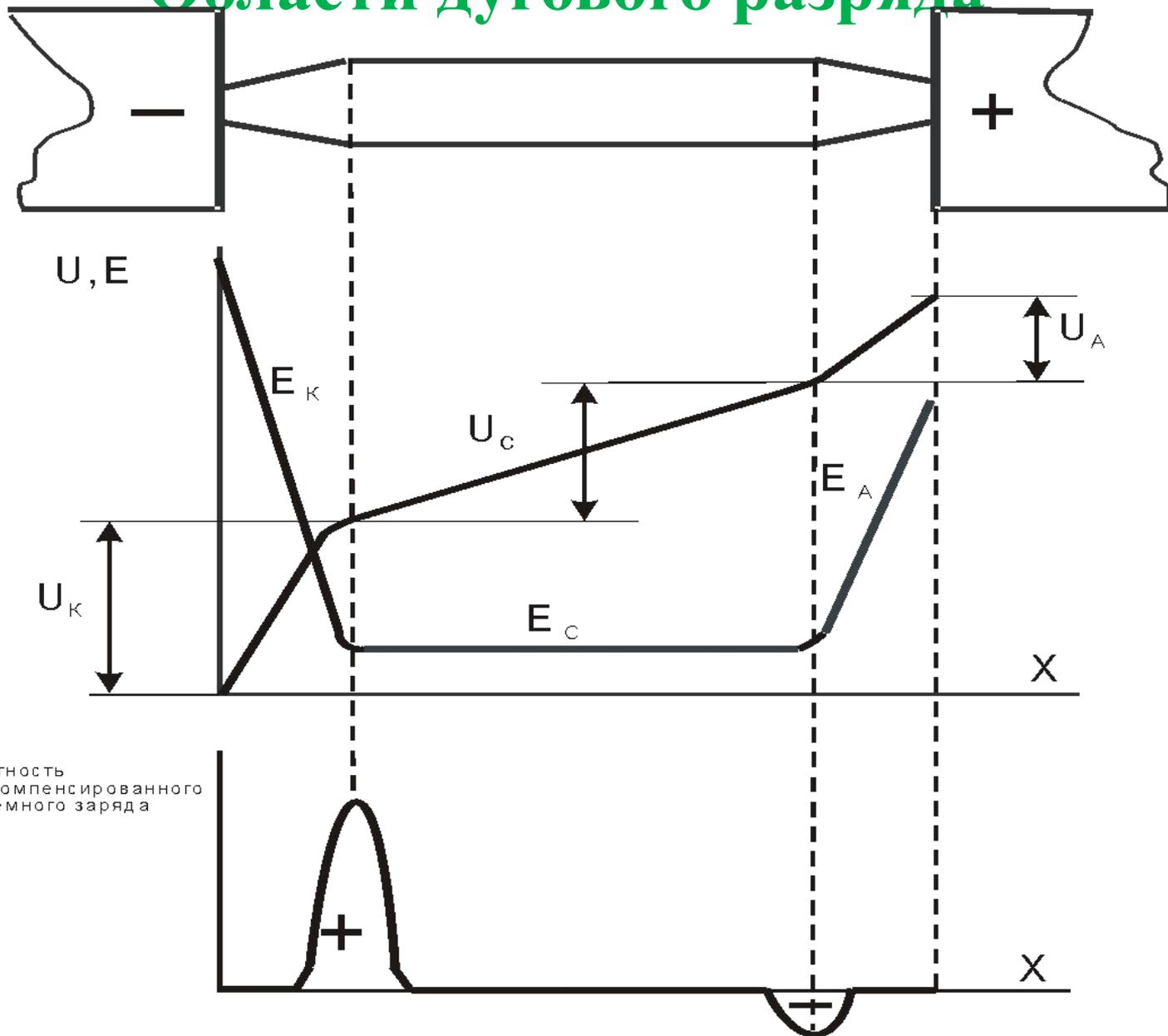
$U_c < (U_k + U_A)$  - дуга называется короткой.

Дуга характерна для НИЗКОВОЛЬТНЫХ аппаратов.

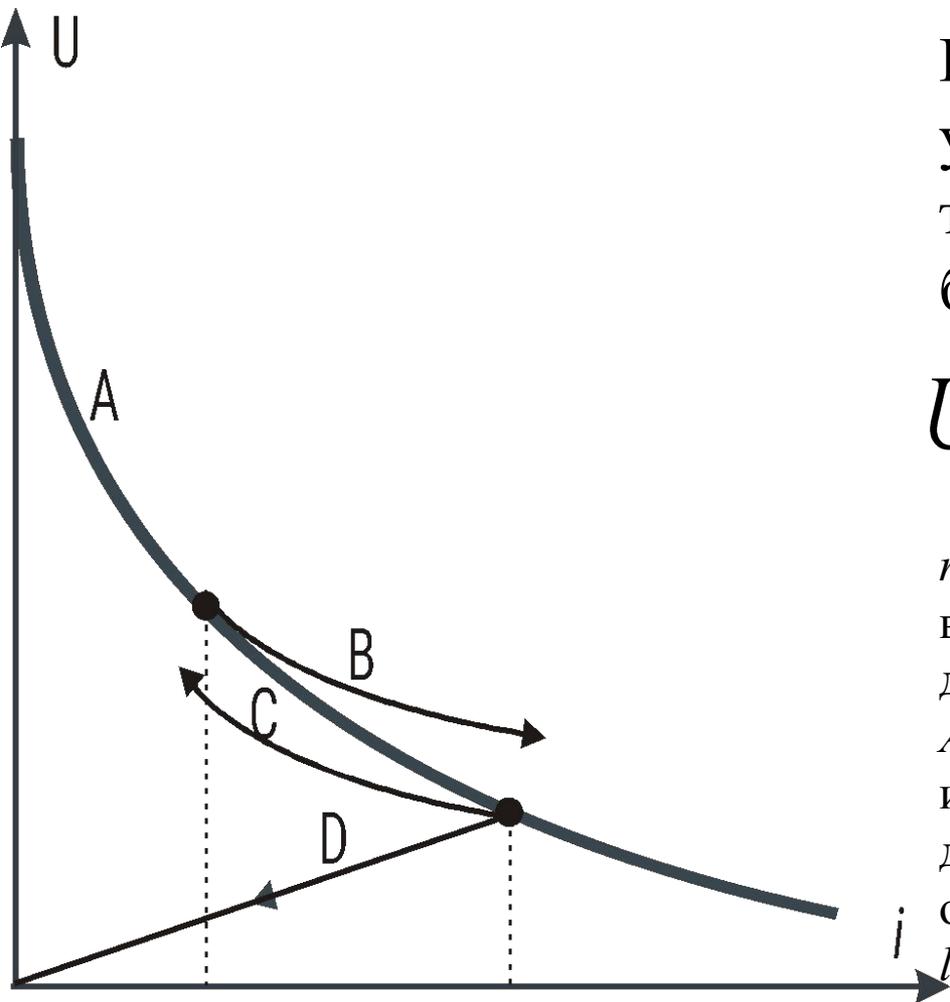
$U_c > (U_k + U_A)$  - дуга называется длинной.

Дуга характерна для ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ аппаратов.

# Области дугового разряда



# Статистическая и динамическая ВАХ дуги



При каждом значении установившегося постоянного тока устанавливается тепловой баланс

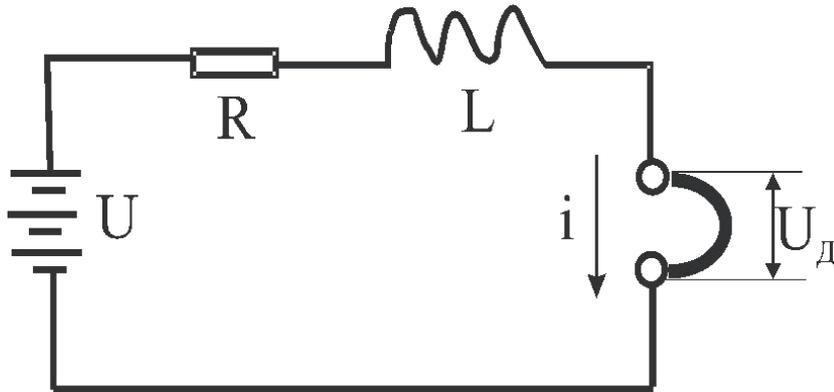
$$U_D = U_k + U_A + E_c l = U_{\text{э}} + A_m l I^{-m}$$

$m$  - показатель, зависящий от вида (способа) воздействия окружающей среды на ствол дуги;

$A_m$  - постоянная, определяемая интенсивностью теплообмена в зоне ствола дуги при данном ( $m$ ) способе воздействия окружающей среды;

$l$  - длина дуги.

# Условия стабильного горения и гашения дуги постоянного тока



$$U = iR + L \frac{di}{dt} + U_d$$

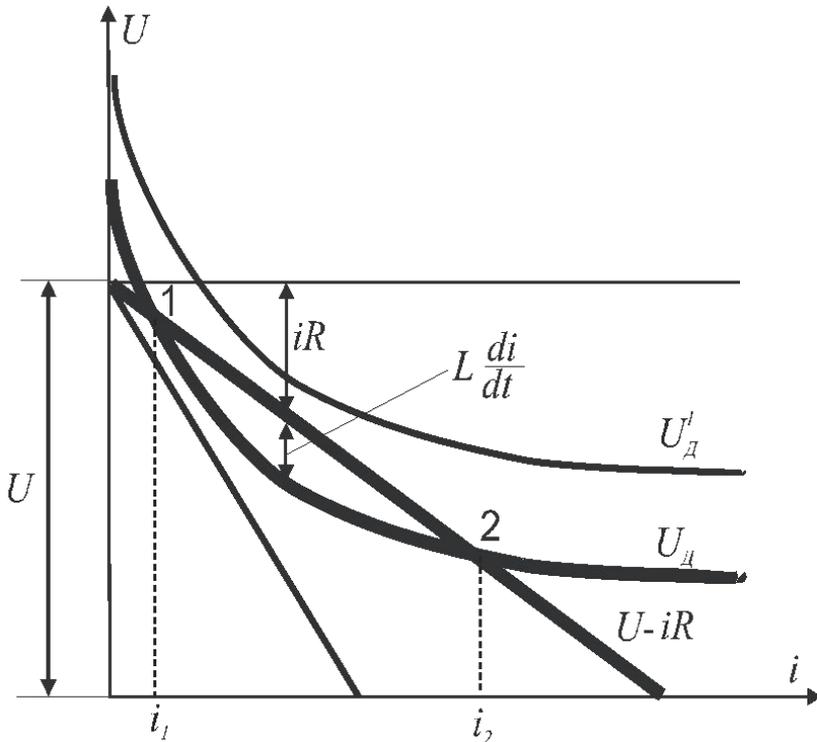
$$\frac{di}{dt} = 0 \quad \text{- дуга горит стабильно}$$

$$(U - iR) - U_d = L \frac{di}{dt}$$

$$\frac{di}{dt} = 0 \quad (\text{точки 1 и 2})$$

**Условие гашения дуги**

$$U_d \boxtimes U - iR$$



# Перенапряжение на контактах

Напряжение на контактах в момент прохождения тока через 0 называется напряжением гашения дуги.

$$U = U_{\text{д}} + iR + Ldi/dt$$

в момент  $i = 0$ :  $U = Ldi/dt + U_{\text{г.д.}} \rightarrow U_{\text{г.д.}} = U - Ldi/dt$

Гашение дуги идёт с уменьшением тока:  $Ldi/dt < 0$  (отрицательная величина) и

$$U_{\text{г.д.}} = U + \left| L \frac{di}{dt} \right|$$

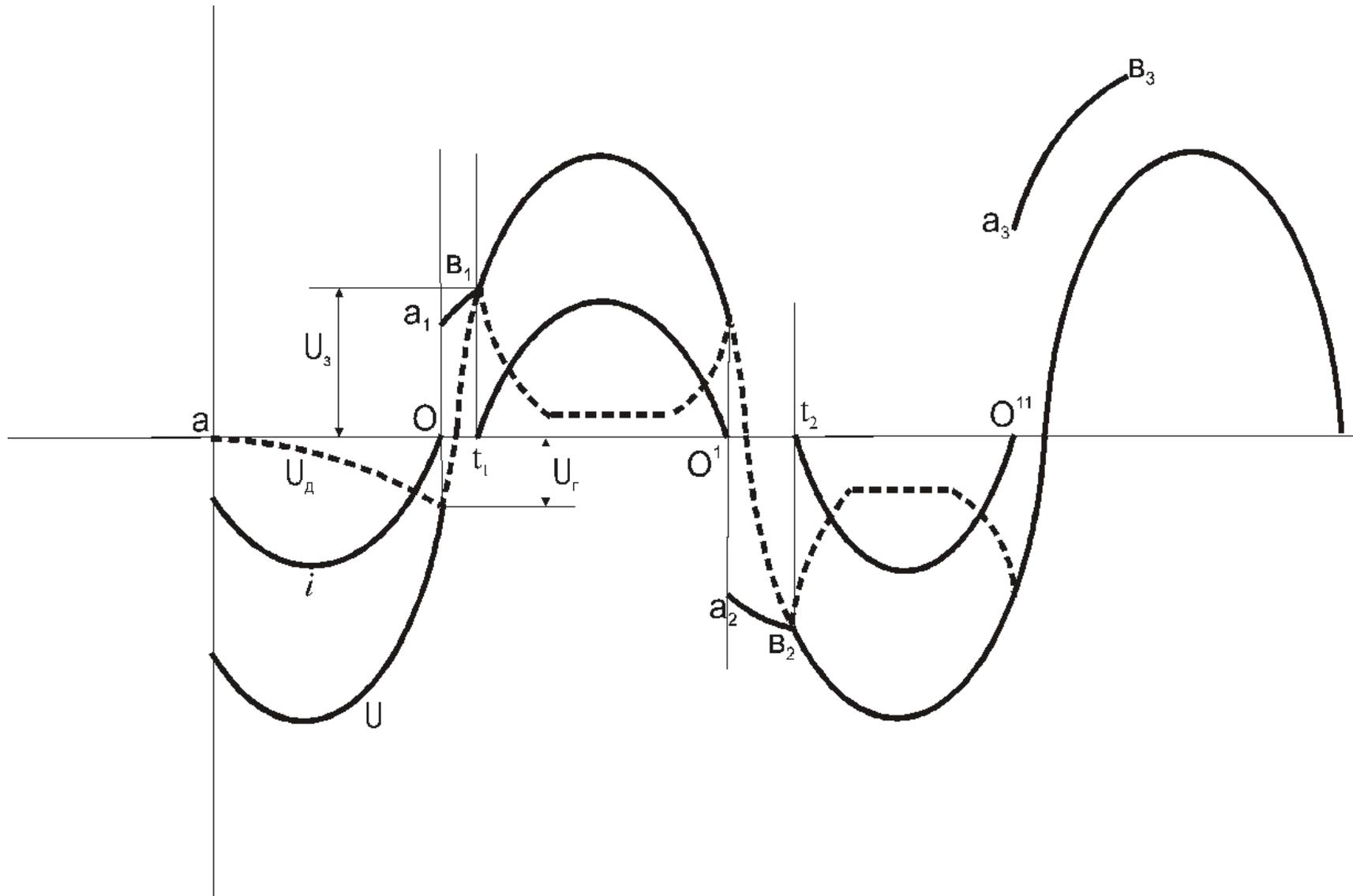
Увеличение напряжения на контактах относительно напряжения источника называется **перенапряжением**. Оно тем больше, чем больше индуктивность электрической цепи и чем больше скорость изменения тока.

**Коэффициент перенапряжения:**

$$K = U_{\text{г.д.}} / U = 1 + \frac{L \left( \frac{di}{dt} \right)_{i=0}}{U}, \quad K > 1$$

Напряжение на контактах может в десятки раз превысить напряжение сети, что опасно для изоляции. Поэтому гашение дуги нужно проводить быстро.

# Условия гашения дуги переменного тока при активной нагрузке



# Способы гашения дуги

- **Увеличение длины дуги путём её растяжения**

Чем длиннее дуга, тем большее напряжение необходимо для ее горения (кривая  $U^I_d$ ). Если напряжение источника окажется меньше ВАХ дуги (кривая  $U^I_d$ ), то нет условий для стабильного горения дуги, дуга гаснет. Это самый простой, но самый неэффективный способ. Например, чтобы погасить дугу с  $I=100$  А при  $U=220$  В требуется растянуть дугу на  $25 \div 30$  см, что в ЭА практически невозможно (увелич-ся габариты). Используется у слаботочных электрических аппаратов (реле, магнитные пускатели, выключатели).

- **Воздействие на ствол дуги путём охлаждения**, при этом увеличивается продольный градиент напряжения.

- **Гашение дуги в вакууме**

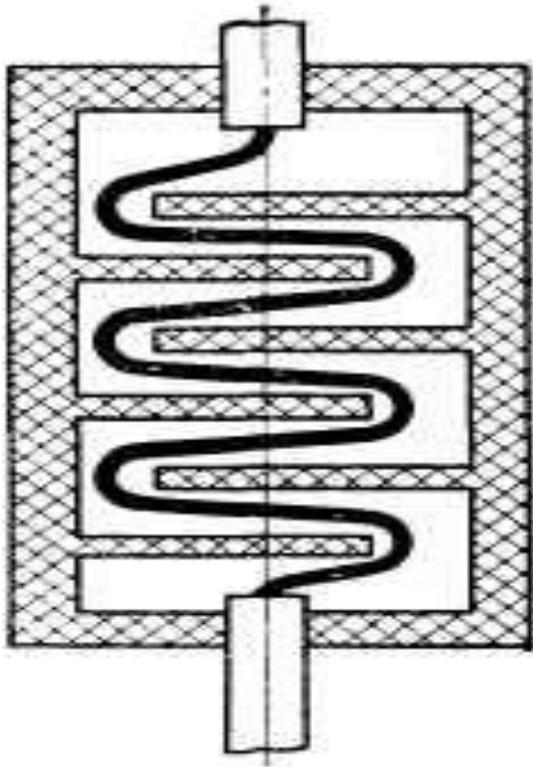
Высокоразреженный газ обладает электрической прочностью в десятки раз большей, чем газ при атмосферном давлении. Используется в вакуумных контакторах и выключателях.

- **Гашение дуги в газах высокого давления**

Воздух при давлении 2 МПа и более обладает высокой электрической прочностью, что позволяет создать компактные гасительные устройства в воздушных выключателях. Эффективно также использование шестифтористой серы  $SF_6$  (элегаза) для гашения дуги.

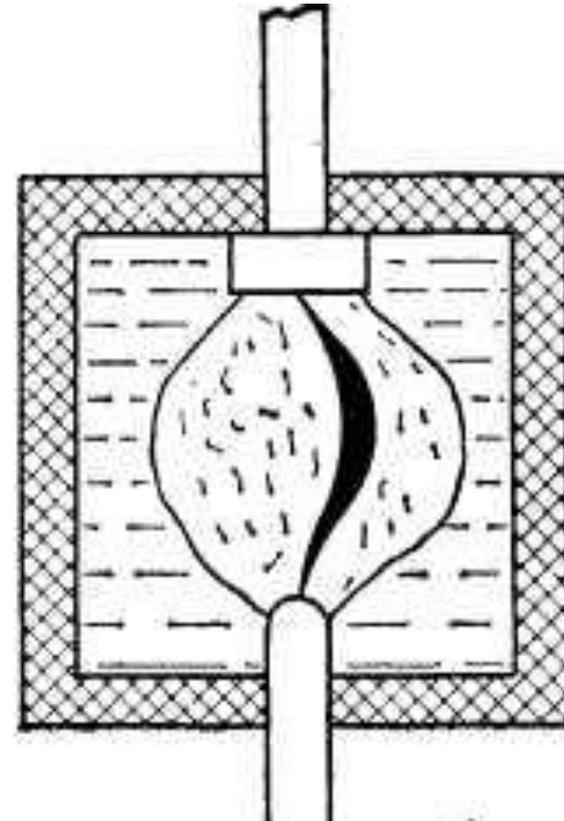
# Способы гашения дуги

**Гашение дуги в узких щелях**



**Способ используется в аппаратах на напряжение до 1000В.**

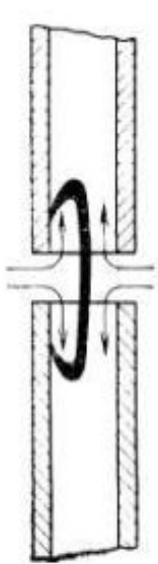
**Гашение дуги в масле**



**Способ используется в аппаратах на напряжение выше 1000В.**

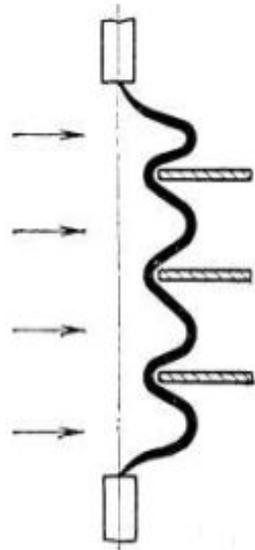
# Способы гашения дуги

Газовоздушное дутье



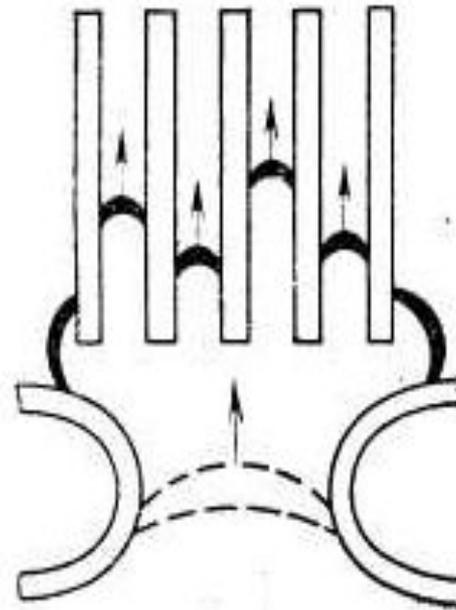
а

Способ используется в аппаратах напряжением выше 1000В



б

Деление длинной дуги на короткие (дугогасительная решетка)



Способ используется в аппаратах напряжением до и выше 1000В

$$U < nU_{кат}$$

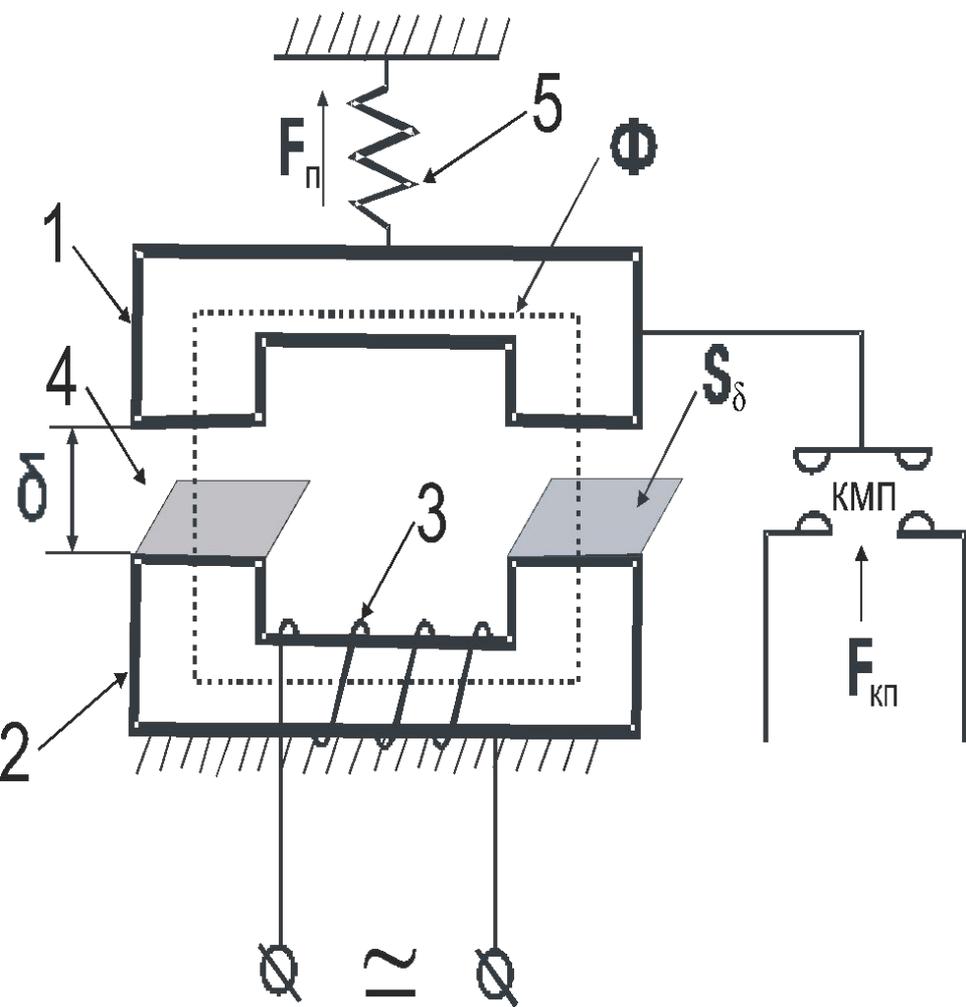
*В открытой дуге при высоком напряжении* (роговой разрядник), определяющим фактором является активное сопротивление сильно растянутого ствола дуги. Условия гашения дуги переменного тока приближаются к условиям гашения дуги постоянного тока и процессы после перехода тока через нуль мало влияют на гашение дуги.

### *Индуктивная нагрузка.*

При индуктивной нагрузке бестоковая пауза очень мала (примерно  $0,1\text{ мкс}$ ), то есть дуга горит практически непрерывно. Отключение индуктивной нагрузки сложнее, чем активной. Здесь нет обрыва тока.

В целом процесс дугогашения на переменном токе легче, чем на постоянном. Рациональным условием гашения дуги переменного тока следует считать такое, когда гашение осуществляется в первый после размыкания контактов переход тока через нуль.

# Электромагнитные механизмы (ЭММ)



1 – якорь (подвижная часть ЭММ), механически связанная с тем, что необходимо переместить, перевернуть и т.д. Например, с контактом магнитного пускателя КМП.

2 – сердечник (жёстко закреплённая неподвижная часть ЭММ)

3 - намагничивающая обмотка

4 - воздушный (рабочий) зазор

5 - возвратная пружина, действующая на якорь с силой  $F_n$

$$F_m = \frac{\Phi_\delta^2}{2 \cdot \mu_0 \cdot S_\delta}$$

# Электромагниты постоянного тока

Необходим магнитный поток в рабочем зазоре для создания условия

$$F_m > F_n.$$

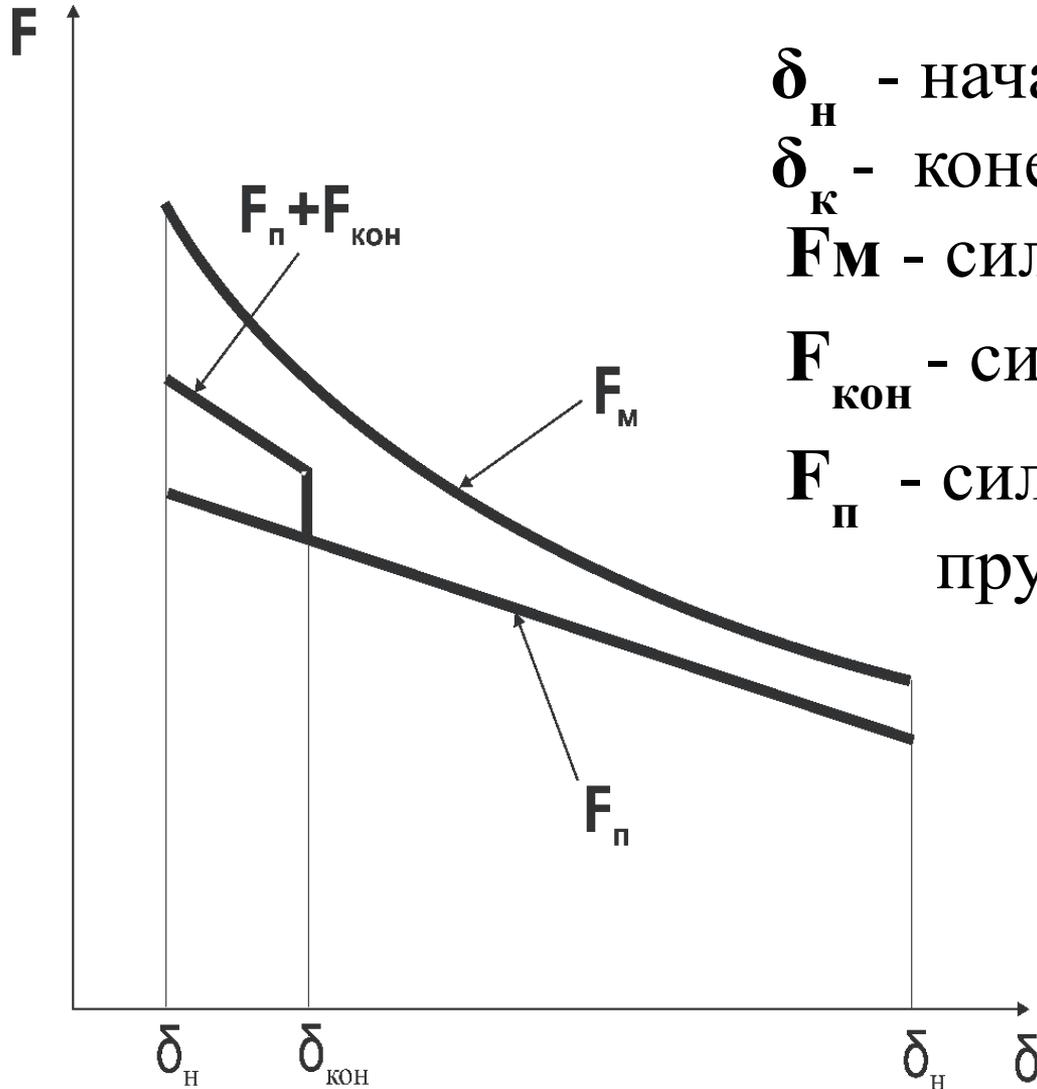
Электромагнитный поток создаётся обмоткой постоянного тока.

*Тяговая статическая характеристика* (усилие притяжения якоря) – это зависимость силы магнитного притяжения от величины зазора

$$F_m = f\left(1/\delta^2\right)$$

т.е. сила магнитного притяжения обратно пропорциональна величине зазора.

# Согласование характеристик тягового усилия и противодействующих пружин



$\delta_H$  - начальный зазор

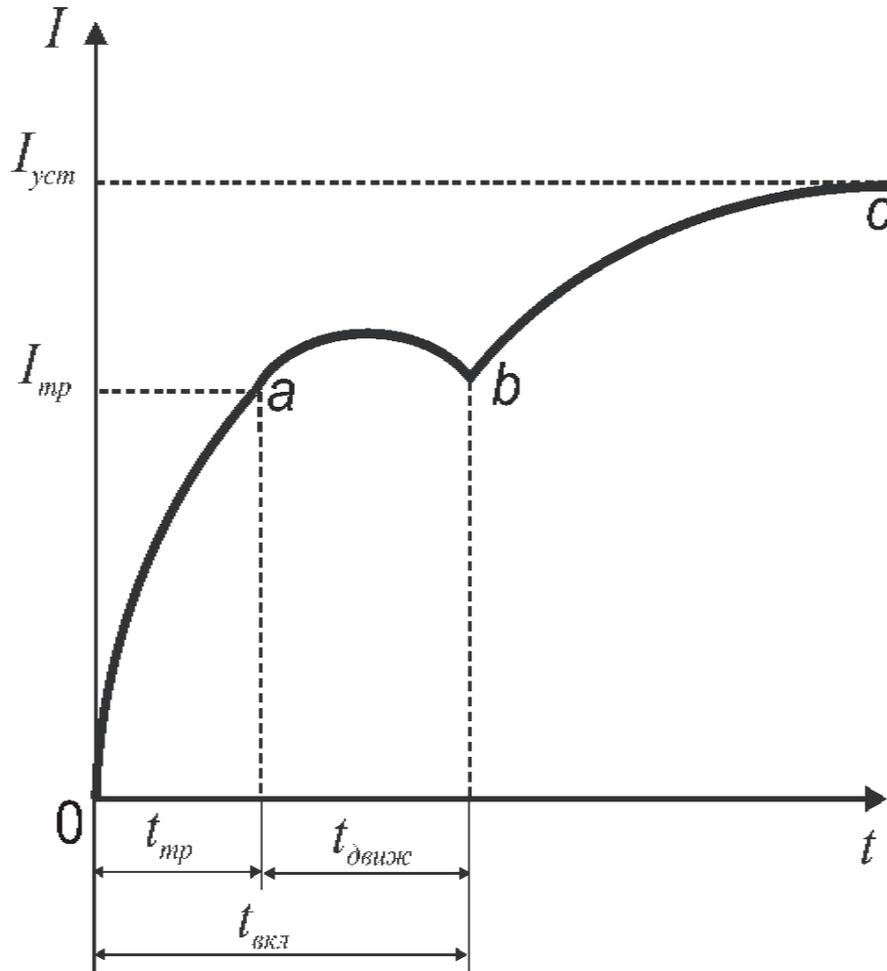
$\delta_K$  - конечный зазор

$F_M$  - сила магнитного притяжения

$F_{кон}$  - сила пружин контактов

$F_p$  - сила противодействующих пружин

# Динамика срабатывания электромагнитов постоянного тока



$t_{тр}$  - время трогания якоря на включение

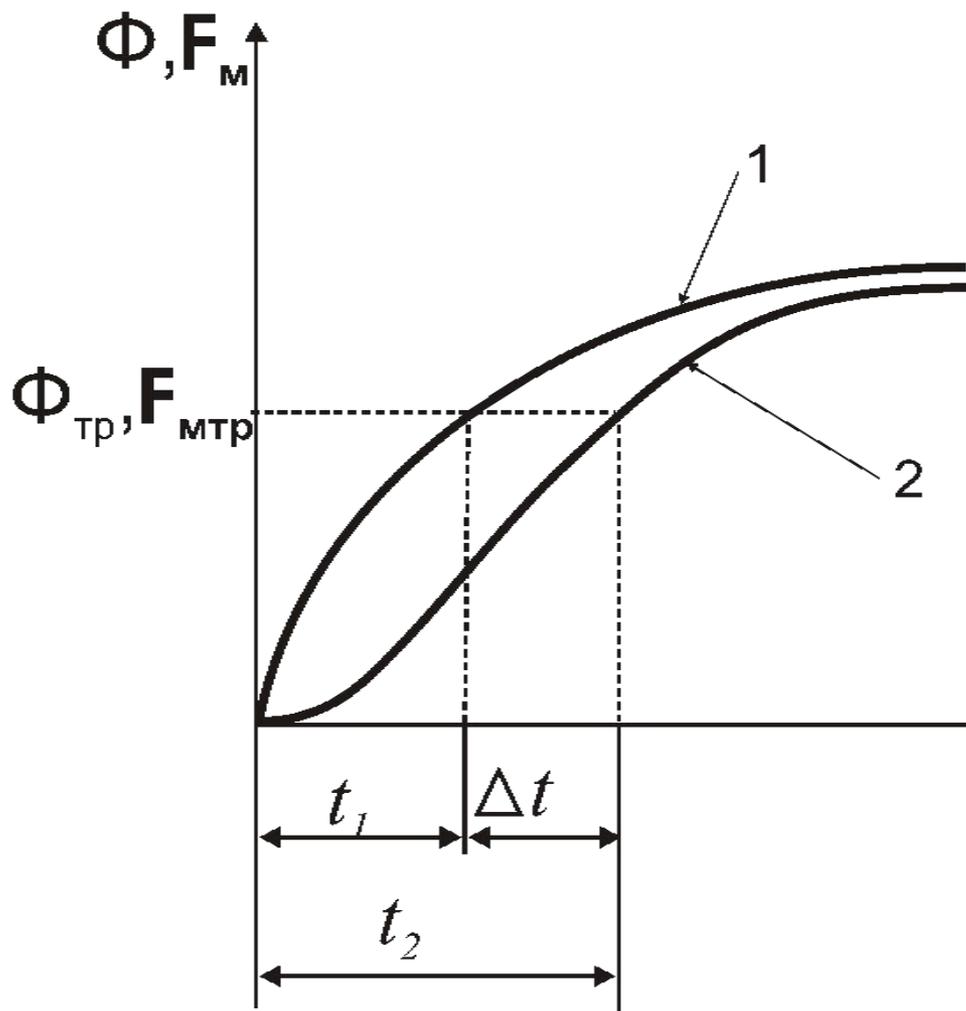
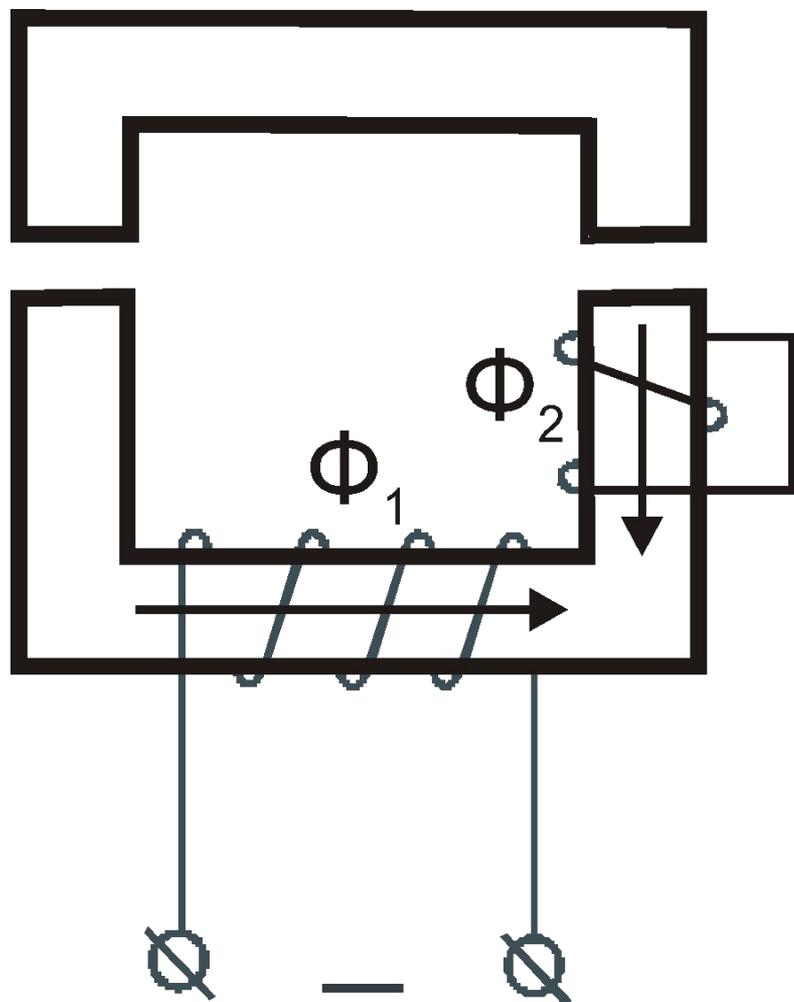
$t_{движ}$  - время движения якоря (от начала момента трогания до остановки)

$t_{тр} + t_{движ}$  - время включения якоря

время трогания на отключение - время от начала обрыва тока в катушке до момента трогания якоря

время отключения - время трогания на отключение + время движения

# Замедление действия электромагнита



# Электромагниты переменного тока

- Параметры и характеристики аналогичны электромагнитам постоянного тока.
- Основное отличие в характере силы магнитного притяжения: ток, протекающий по катушке, изменяется по синусоидальному закону, соответственно, магнитный поток синусоидален и сила магнитного притяжения также изменяется по гармоническому закону.
- Чтобы якорь притянулся необходимо, чтобы среднее значение  $F_M$  было больше силы противодействующих пружин  $F_{\Pi} + F_{кп}$ :

$$F_M > F_{\Pi} + F_{кп}$$

Существуют моменты времени, когда  $F_M < F_{\Pi} + F_{кп}$ , что приводит к вибрации якоря и шум при работе электромагнита переменного тока.

# Меры по устранению вибраций

## 1. Создание массивного якоря.

*Недостаток:* увеличивается время срабатывания электромагнитного механизма.

## 2. Использование короткозамкнутых витков, расщепляющих полюс якоря.

На большую часть полюса насаживается короткозамкнутый виток. Поток  $\Phi_2$ , проходящий под этой частью полюса будет отставать от  $\Phi_1$  на  $60 \div 65^\circ$ . Средняя сила  $F_m$  становится на всем протяжении больше силы, противодействующей пружины, и вибрация не возникает.

# Недостатки электромагнитов переменного тока

- При заданной площади полюсов средняя сила тяги в два раза меньше чем у электромагнитов постоянного тока:

$$F_{M\sim} = F_{M=} / 2$$

- Потребляется (требуется) реактивная мощность.

- Электромагнитная сила зависит от частоты

$$F_M = \Phi^2 / 2\mu_0 S = U^2 / 2 \mu_0 W^2 \omega^2$$

- Магнитопровод обязательно выполняется шихтованным, т.е. выполнен из пластин электротехнической стали, изолированных друг от друга.

- Возникают дополнительные потери в магнитопроводе и короткозамкнутом витке.

**Электромагниты переменного тока менее экономичны.**

**В связи с этим, часто используют электромагниты постоянного тока.**

# **Достоинство электромагнитов переменного тока**

## **Форсировочная способность электромагнита переменного тока**

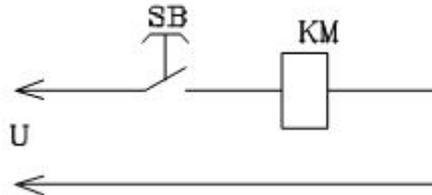
**При подаче напряжения сети в начальный момент времени возникает большой ток вследствие малого индуктивного сопротивления катушки, следовательно, большое значение МДС. Поэтому электромагниты переменного тока могут работать при больших зазорах, чем электромагниты постоянного тока.**

# Классификация электромагнитных механизмов

1. По роду тока, протекающего по катушке: постоянного тока; переменного тока.

2. По способу включения катушки:

- с параллельной катушкой. Ток в катушке определяется параметрами катушки и напряжением, подводимым к ней. Катушка выполняется с большим числом витков из тонкого проводника с большим сопротивлением. Ток, протекающий по ней, незначителен, поэтому применяют кнопку.



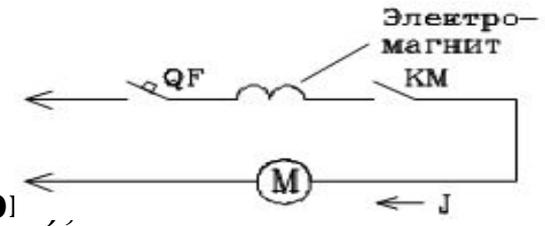
- с последовательной катушкой. Ток в катушке определяется сопротивлением устройства, которое включено последовательно в цепь электромагнита .

3. По характеру движения якоря:

- поворотные (якорь поворачивается вокруг оси или опор)
- прямоходовые (якорь перемещается поступательно).

4. По способу действия:

- притягивающие (совершая определённую работу притягивают якорь);
- удерживающие (для удержания грузов(защёлка расцепителя)).



# Электромагнитные устройства

**Электромагниты** – электрические аппараты дистанционного управления, предназначенные для преобразования магнитной энергии в механическую. Используются как самостоятельный аппарат (для управления различными устройствами и механизмами; для создания силы при торможении движущихся механизмов; для удержания деталей на шлифовальных станках, при подъеме грузов), так и как элемент привода других аппаратов (электромагнитных реле, пускателей и контакторов).

**Электромагнитные муфты** – электрические аппараты дистанционного управления, предназначенные для переключения кинематических цепей в передачах вращательного движения металлорежущих станков, а также для пуска, реверса и торможения приводов станков. Подразделяются на фрикционные, ферропорошковые и гистерезисные.

**Электромагнитные тормозные устройства** – электромагнитные аппараты дистанционного управления, предназначенные для фиксации положения механизма при отключенном электродвигателе. Подразделяются на колодочные, дисковые и ленточные.

**Электромагнитные реле, пускатели и контакторы**

# **Аппараты распределительных устройств низкого (до 1000 В) напряжения**

- 1. Предохранители.**
- 2. Неавтоматические выключатели.**
- 3. Автоматические воздушные выключатели (автоматы).**
- 4. Трансформаторы тока (ТТ).**
- 5. Низковольтные комплектные устройства (НКУ).**

# Плавкие предохранители

Предназначены для защиты электрических сетей от токов перегрузок и токов КЗ. Это «пионеры» защиты электроцепей.

## Достоинства:

1. Дешевизна.
2. Простота конструкции.

## Недостатки:

1. Необходимость замены плавких вставок после перегорания.
2. Неустойчивость защитных характеристик.
3. Стареют с течением времени (ложные сгорания).
4. При однофазном КЗ отключается одна фаза, две фазы остаются в работе.
5. Не защищают двигатели от перегрузок (необходимость тепловых реле).
6. Применение некалиброванных вставок (проволоки, другие вставки)
7. Отсутствует наглядность срабатывания вставки, для ее проверки необходимо использовать токоискатели или вольтметр;
8. При увлажнении заполнителя-песка возможны взрывы предохранителей, поэтому в момент включения необходимо их ограждать.

# Группы предохранителей по назначению

1. **Общепромышленного применения** - для защиты силовых электродвигателей, трансформаторов, внутрицеховых сетей и других потребителей
2. **Сопутствующие** - для защиты силовых полупроводниковых приборов, работают совместно с автоматическим выключателем (фактически токовый расцепитель выключателя)
3. **Приборные** - для защиты измерительных приборов, устройств радиоэлектронной техники и связи
4. **Столбовые** - для защиты сельских электросетей
5. **Бытовые** - для защиты электропроводок
6. **Для транспортных установок.**

# Классификация предохранителей

- Распространенные материалы плавкой вставки - медь, серебро, цинк, алюминий, свинец, легкоплавкие сплавы.
- Корпус плавкой вставки (патрон) - электроизоляционный материал (стекло, керамика, фарфор).
- Наполнение – пустотелый; мелкодисперсный оксид кремния  $\text{SiO}_2$  (кварцевый песок); карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$  (мел).
- Типы предохранителей по конструкции держателя:
  - разборные - допускают замену плавких вставок после срабатывания на месте эксплуатации;
  - неразборные - замене подлежит вся плавкая вставка вместе с патроном.
- Предохранители по конструкции контактов держателя плавкой вставки:
  - с ножевым (врубным) контактом - плавкая вставка вставляется в губки контактов основания ;
  - с болтовым контактом;
  - с фланцевым контактом - плавкая вставка устанавливается на токопроводящую поверхность перпендикулярно.
- Форма корпуса держателя (патрона) плавкой вставки: полая цилиндрическая или полая призматическая.

## Конструкции:

1. Пластинчатые.
2. Патронные.
3. Трубчатые.
4. Пробочные.

# Диапазоны отключения и категории применения

**gG** – плавкие вставки общего назначения с отключающей способностью во всем диапазоне (при перегрузках и КЗ)

**gM** – плавкие вставки для защиты цепей двигателей с отключающей способностью во всем диапазоне

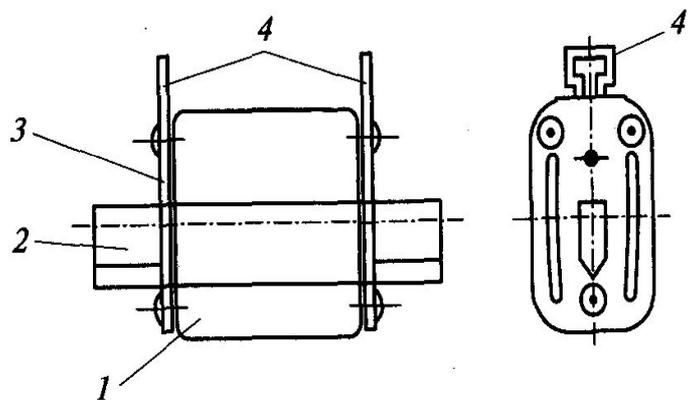
**aM** – плавкие вставки для защиты цепей двигателей с отключающей способностью в части диапазона (при КЗ)

**gD** – плавкие вставки с задержкой времени, с отключающей способностью во всем диапазоне

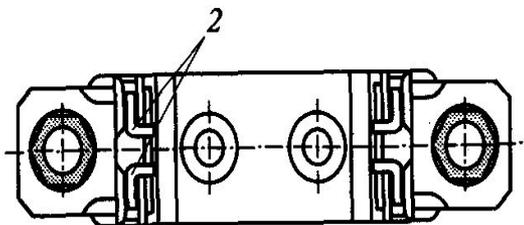
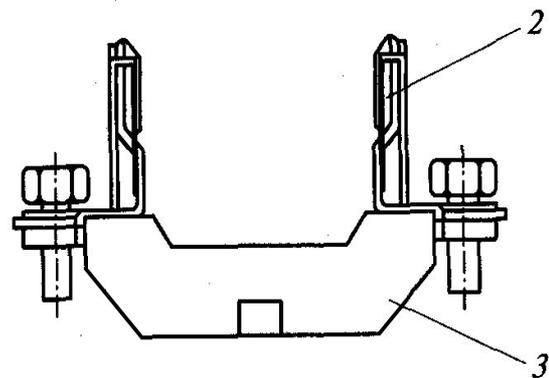
**g** - отключающая способность во всем диапазоне

**a** - отключающая способность в некоторой части диапазона

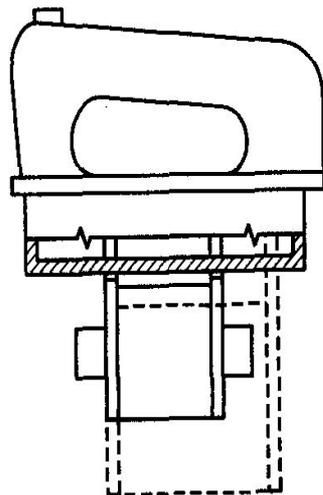
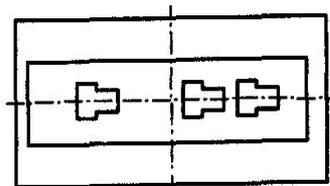
# Конструкции предохранителей



*a*



*б*



*в*

**а – плавкая вставка**

**1 – патрон;**

**2 – контактные ножи;**

**3 – металлические щетки;**

**4 – флажки для монтажа и демонтажа**

**б – держатель предохранителя**

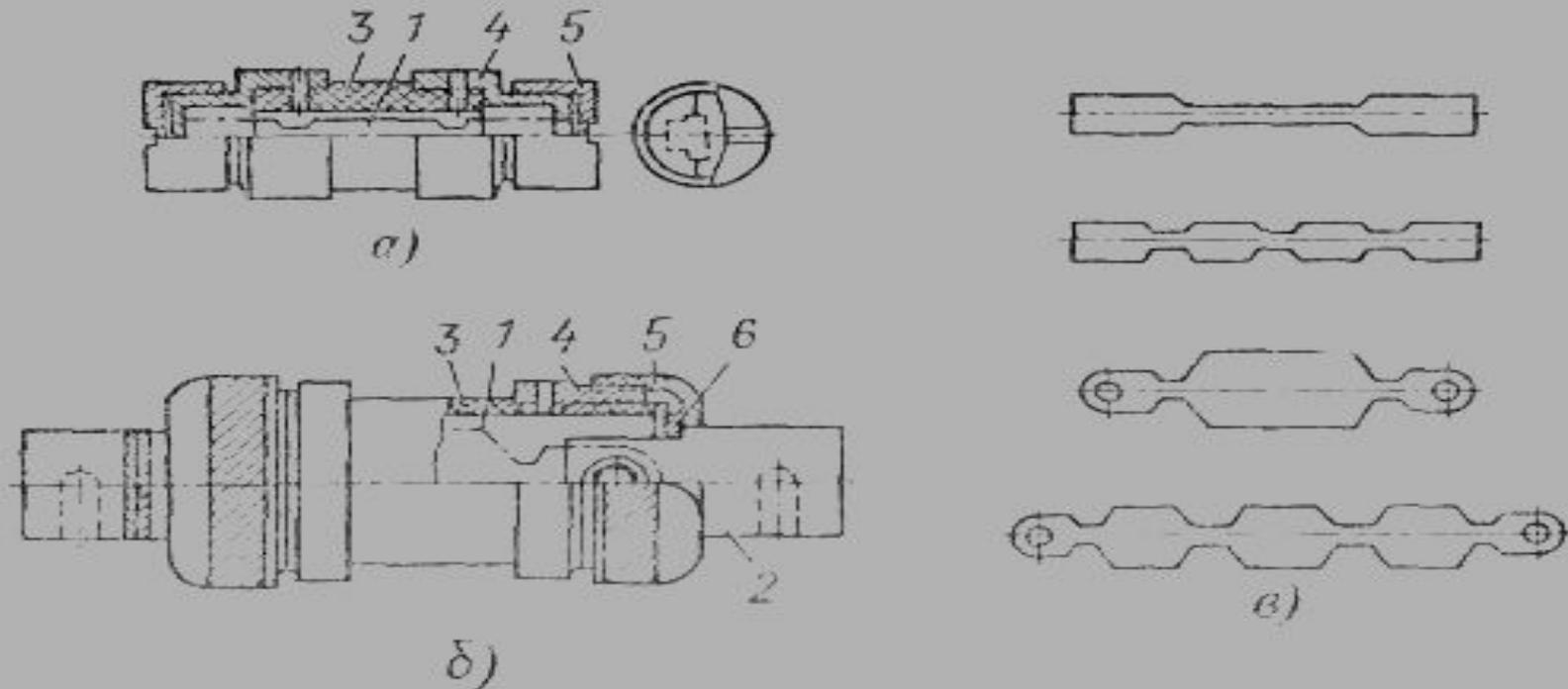
**1 – клемма (болт) подключения;**

**2 – губки контактные;**

**3 – изоляционное основание**

**в - устройство экстракции (съема) предохранителя**

# Конструкция предохранителя ПР-2

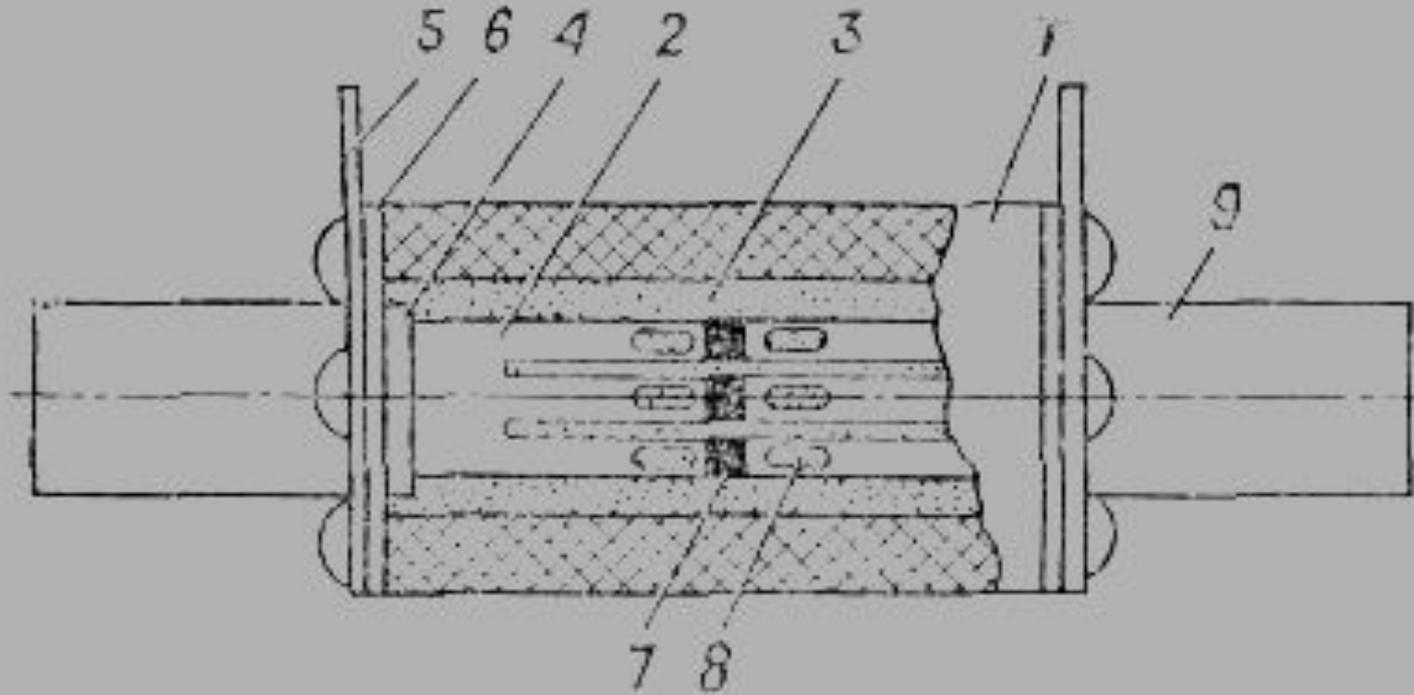


Габарит I - напряжение 220 В ; габарит II - напряжение 500 В.

Номинальные токи патронов 15 – 1000 А. Номинальные токи вставок 6 – 1000 А. Предельно отключаемый ток - 60 кА.

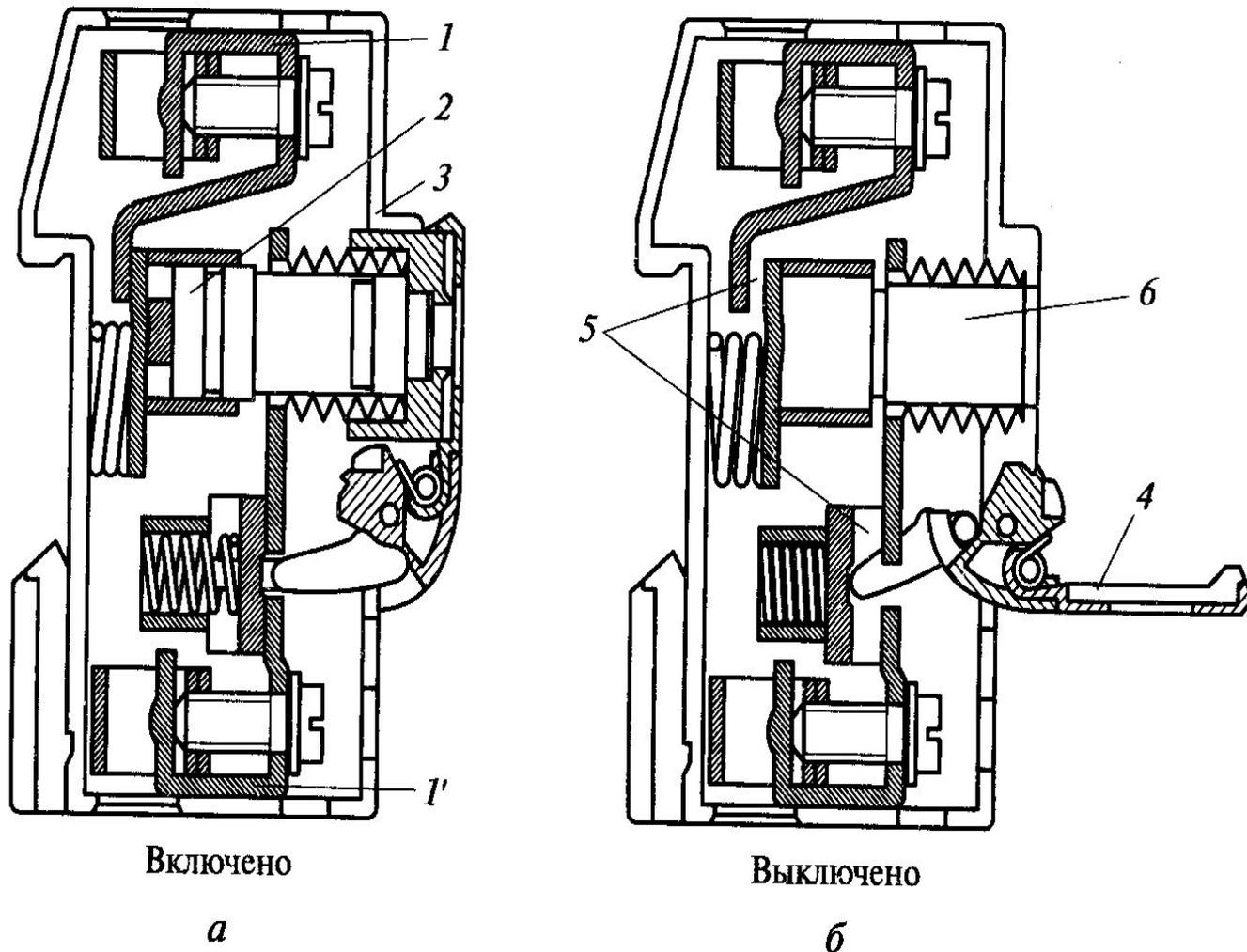
1 – плавкая вставка; 2 – медные ножи ( $I_{\text{ном.пр.}} \geq 100 \text{ А}$  и выше );  
3 - фибровый цилиндр; 4 - латунные втулки (имеет прорезь для плавкой вставки); 5 - латунные колпачки; 6 – шайба ( имеет паз для ножа, предотвращает его от поворота).

# Конструкция предохранителя ПН-2 (ПНБ-2)



**1 – фарфоровая трубка; 2 – плавкая вставка; 3 – кварцевый песок; 4 - диски; 5 – пластинки; 6 – асбестовая прокладка; 7 – оловянные растворители; 8 – суженные участки плавкой вставки; 9 – ножи.**

# Новая конструкция предохранителя пробочного типа



Включено

*a*

Выключено

*б*

1-1' – клеммы; 2- плавкая вставка пробочного типа; 3 – изоляционный корпус;  
4 – фиксатор; 5 – двойной разрыв; 6 – держатель

# Характеристики и параметры предохранителей

**Номинальное напряжение  $U_n$**  - напряжение, указанное на предохранителе и соответствующее наибольшему напряжению сетей, в которых разрешается установка данного предохранителя.

**Номинальный ток предохранителя  $I_n$**  - при котором токоведущие и контактные части предохранителя нагреваются до допустимой температуры.

**Номинальный ток плавкой вставки  $I_{н.вст.}$**  - ток, который плавкая вставка может длительно проводить без повреждений в установленных условиях.

$$I_{н.пр.} \geq I_{н.вст.}$$

**Предельный ток отключения  $I_{пред.пр}$**  - наибольшее значение тока КЗ сети, при котором гарантируется надежная работа предохранителей, дуга гасится без каких-либо повреждений корпуса.

**Преддуговое время** - время между появлением тока, достаточного для расплавления плавкого элемента, и моментом возникновения дуги.

**Время дуги** - время между моментом возникновения дуги и моментом ее окончательного погасания.

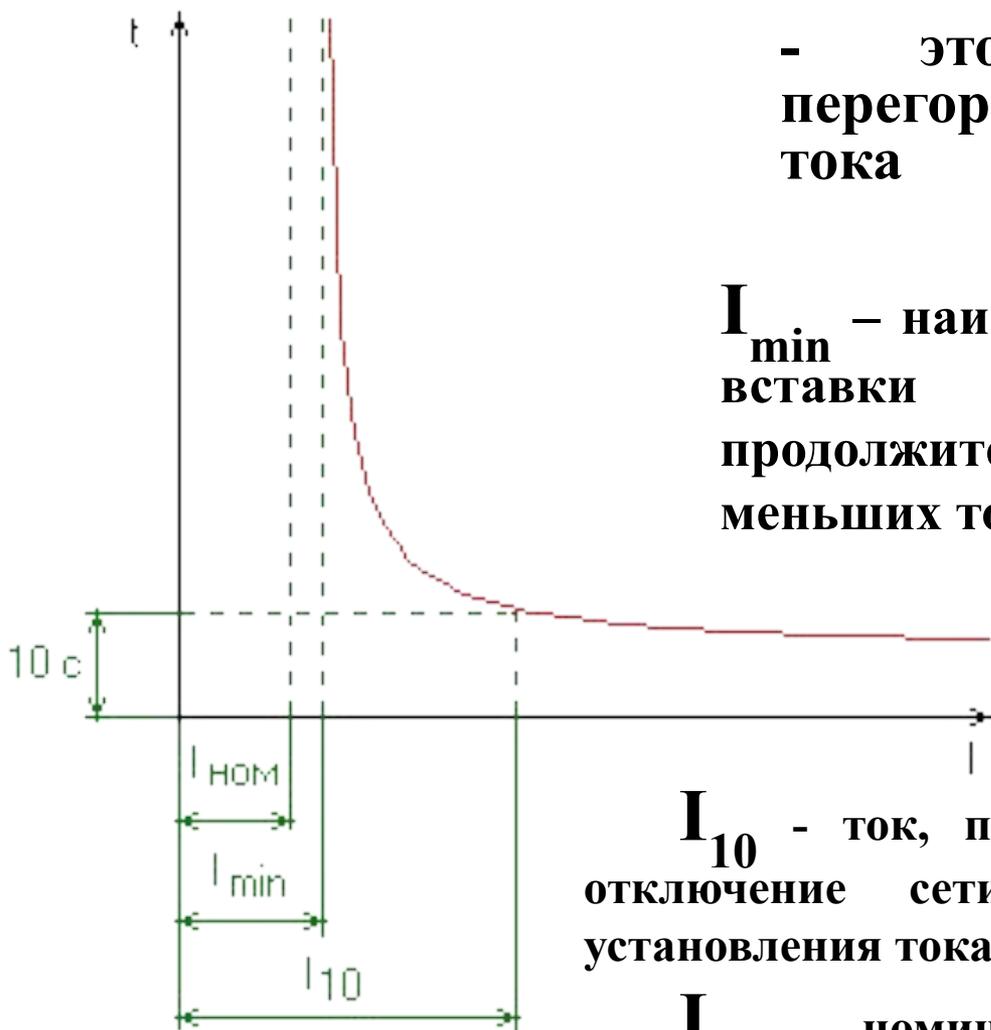
**Время отключения** - сумма преддугового времени и времени дуги.

**Времятоковая характеристика (защитная характеристика)** - кривая зависимости преддугового времени или времени отключения от ожидаемого тока в установленных условиях срабатывания.

# Ампер - секундная характеристика

- это зависимость времени перегорания плавкой вставки от тока

$I_{\min}$  – наименьший ток начала плавления вставки (в течение неопределенно продолжительного времени (1-2 ч); при меньших токах вставка не расплавляется)

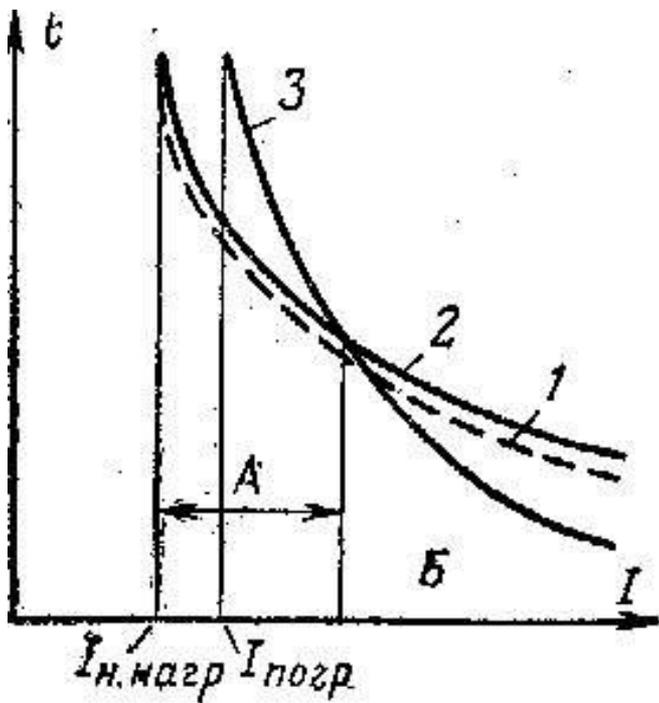


$I_{10}$  - ток, при котором плавление вставки и отключение сети происходит через  $10\text{ с}$  после установления тока;

$I_{\text{НОМ}}$  - номинальный ток вставки, при котором вставка длительно работает, не нагреваясь выше допустимой температуры.

$$I_{\text{НОМ}} = I_{10} / 2,5.$$

# Согласование характеристик предохранителя и защищаемого объекта



Предохранитель защищает объект только в том случае, если его защитная характеристика (кривая 1) располагается несколько ниже характеристики защищаемого объекта (кривая 2) при любом значении тока в цепи.

Реальная характеристика предохранителя (кривая 3) пересекает кривую 2. В области больших перегрузок (область Б) предохранитель защищает объект. В области А предохранитель объект не защищает.

$I_{\text{погр}}$  - плавящий или пограничный ток, при котором плавкая вставка сгорает при достижении установившейся температуры.

# Токоограничивающие свойства предохранителей

**Ожидаемый ток** - ток, который проходил бы по цепи, если бы включенный в нее плавкий предохранитель был заменен проводником, полным сопротивлением которого можно пренебречь ( $I_{кз}$ ).

**Отключающая способность плавкой вставки** - действующее значение симметричной составляющей ожидаемого тока ( $I_{кз}$ ), который способна отключить плавкая вставка при установленном напряжении в установленных условиях эксплуатации.

**Пропускаемый ток** - максимальное мгновенное значение, достигаемое током в процессе отключения, когда плавкая вставка своим срабатыванием предотвращает достижение током максимально возможного в других условиях значения. Характеристикой пропускаемого тока является его зависимость от ожидаемого тока в установленных условиях эксплуатации.

# Быстродействие

По виду защитной времятоковой характеристики - инерционные, нормального быстродействия и быстродействующие предохранители.

Быстродействие предохранителя характеризуется его преддуговым временем  $t$  при токе нагрузки, равном пятикратному номинальному  $5I_n$ .

$$t = k\sqrt{I_n}$$

Время  $t$  определяется по времятоковой характеристике.

$k \geq 1$  – предохранитель инерционного типа (не применяется);

$k = 0,01-1$  - предохранитель нормального быстродействия;

$k < 0,01$  - предохранитель быстродействующий.

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

**Условный ток плавления  $I_f$**  - установленное значение тока, вызывающего срабатывание плавкой вставки в течение установленного (условного) времени.

Для номинальных токов  $16A < I_n \leq 630A$  стандартами определено:

$$I_{nf} = 1,2I_n \quad I_f = 1,6I_n.$$

Для предохранителей типа gG

$I_n, A$	$16 < I_n \leq 63$	$63 < I_n \leq 160$	$160 < I_n \leq 400$	$400 < I_n$
<b>Условное время, ч</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

# Конструкции плавких вставок и токоограничение

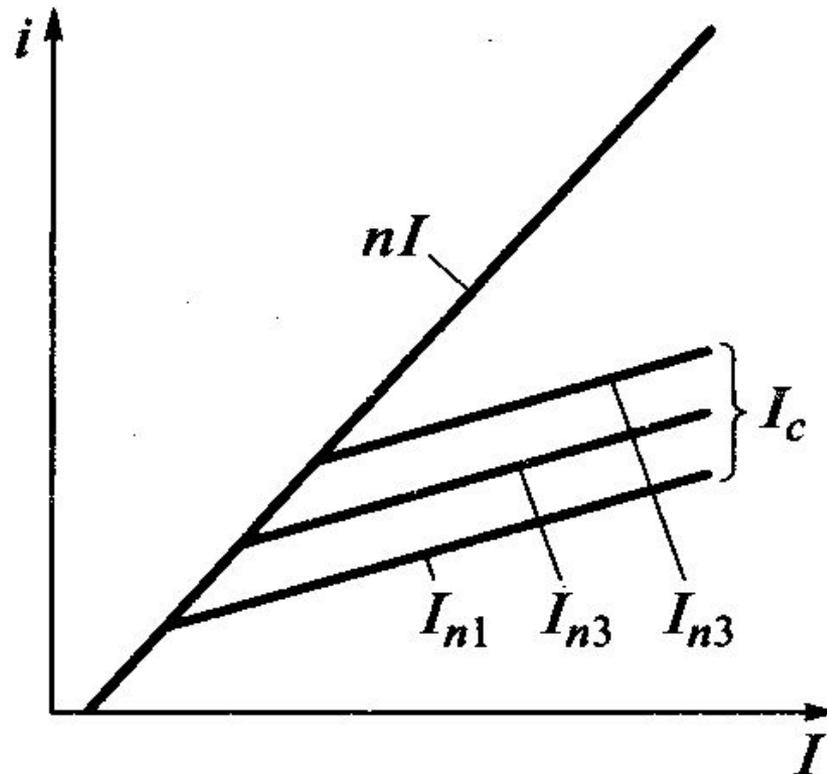
- ✓ Плавкая вставка переменного сечения с  $n$  сужениями
- ✓ Параллельные элементы плавкой вставки
- ✓ Применение металлургического эффекта

## Температуры плавления плавкой вставки:

для меди - 1 083 °С, для серебра - 961 °С,  
для алюминия – 660 °С, для цинка - 420 °С,  
для свинца - 327 °С, для олова - 232 °С.

- ✓ Применение наполнителей (высокая скорость нарастания напряжения на предохранителе приводит к токоограничивающему эффекту)

# Токоограничение



Логарифмическая зависимость пропускаемого тока  $I_c$  от ожидаемого тока КЗ для плавких вставок с номинальными токами  $I_{n1}$ ,  $I_{n2}$ ,  $I_{n3}$

$nI$  – ударный ток КЗ;

$n$  – множитель, зависящий от  $\cos \varphi$

# Металлургический эффект

Металлургический эффект позволяет приблизить номинальный ток плавкой вставки  $I_{\text{НОМ.ПВ}}$  к допустимому току защищаемого кабеля.

Для медной плавкой вставки:

$$I_{\text{НОМ.ПВ}} = (1,6-2,0)I_{\text{доп}} \text{ (без металлургического эффекта)}$$

$$I_{\text{НОМ.ПВ}} = 1,45I_{\text{доп}} \text{ (с металлургическим эффектом)}$$

Для плавкой вставки из серебра:

$$I_{\text{НОМ.ПВ}} = (1,1 - 1,4)I_{\text{доп.}}$$

# Расчет и выбор предохранителей

$$I_{\text{ном.п}} \geq I_p, \quad I_{\text{ном.пв}} \geq I_p, \quad I_{\text{ном.п}} \geq I_{\text{ном.пв}}$$

1. Для одного электроприемника:

а) для двигателя  $I_p = I_n = P/\sqrt{3}U_n \cos\varphi \eta$

б) для сварочных машин и аппаратов, преобразовательных установок

$$I_p = I_n = S_{\text{нт}}/\sqrt{3}U_n$$

в) для осветительных установок

$$I_p = I_n = S_{\text{осв}}/\sqrt{3}U_n$$

2. Для группы электроприемников (не более 3)

$$I_p = I_{n1} + I_{n2} + I_{n3}$$

3. Для группы электроприемников (более 3)

$$I_p = K_{\text{нм}} \sum I_n$$

$k_{\text{нм}}$  - коэффициент, учитывающий несовпадение максимумов нагрузки электроприемников,  $k_{\text{нм}} = 0,85 - 1$  (для промышленных предприятий)

Во избежание чрезмерного перегрева плавких вставок, окисления их поверхностей, быстрого старения:

$$I_{\text{нв}} \geq I_{\text{пик}} / \alpha, \quad I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск}} = k_{\text{п}} I_n$$

а) для группы электроприемников (не более 3)

$$I_{\text{пик}} = I_{n1} + I_{n2} + I_{\text{пуск.max}}$$

б) для группы электроприемников (более 3)

$$I_{\text{пик}} = (I_{\text{р}\Sigma} - k_{\text{и}} I_n) + I_{\text{пуск.max}}$$

# Параметры предохранителей

Тип и ном. ток предохранителя	Ном. ток плавкой вставки, А	Предельный ток отключения, кА
ПН2-100	30; 40; 50; 60; 80; 100	50
ПН2-250	80; 100; 120; 150; 200; 250	40
ПН2-400	200; 250; 300; 350; 400	25
ПН2-600	300; 400; 500; 600	25
ПР2-15	6; 10; 15	0,8
ПР2-60	15; 20; 25; 35; 45; 60	1,8
ПР2-100	60; 80; 100	6,0
ПР2-200	100; 125; 160; 200	10,0
ПР2-350	200; 225; 260; 300; 350	11
ПР2-600	350; 430; 500; 600	13
ПР2-1000	600; 700; 850; 1000	15
ПН17-1000	500; 630; 800; 1000	120
Ц27-20	6; 10; 15; 20	0,6

**НН** - неразборные с заполнителем, вставка из меди с оловянным шариком;

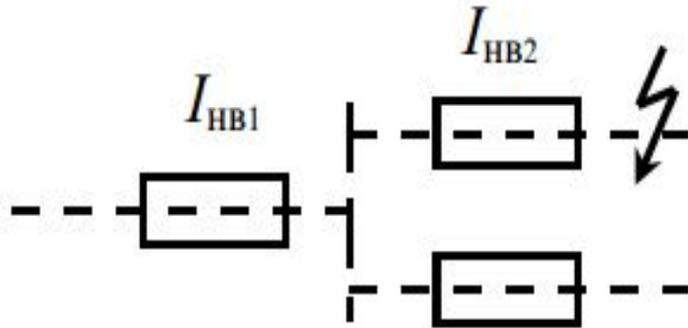
**ПН2, ПН17** - закрытый патрон разборный с заполнителем (кварцевый песок), вставка из листовой меди с оловянным шариком;

**ПР-2** - закрытый патрон разборный, без заполнителя, вставка фигурная из цинка.

## Диаметр и количество медных проволок для плавких вставок предохранителя

Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки, А	Диаметр проволоки, мм	Число параллельных проволок
ПР2-15	6; 10	0,25; 0,35	1; 1
ПР2-60	15; 20; 25; 35; 45; 60	0,45; 0,55; 0,6; 0,75; 0,9; 1,0	1; 1; 1; 1; 1; 1
ПР2-100	80; 100	0,8; 1,0	2; 2
ПР2-200	125; 160	1,1; 0,9	2; 3
ПР2-350	200; 300; 350	1,15; 1,2; 1,3	3; 4; 4
ПН2-100	60; 80; 100	0,55; 0,47; 0,6	4; 6; 6
ПН2-200	125; 160; 200	0,6; 0,6; 0,6	8; 10; 12
НПР-100	60; 80; 100	0,55; 0,47; 0,6	4; 6; 6
НПР-200	100; 160; 200	0,6; 0,6; 0,6	6; 10; 12

# Селективность



Проверка плавких вставок осуществляется по  $t = f(I)$

## Выбор плавких вставок по условию обеспечения селективности

Ном. ток вставки предохранителя, удаленного от источника/ном. ток вставки смежного предохранителя, А

6/15; 10/20; 15/25; 20/35; 25/45; 30/60; 35/60; 40/80; 45/80; 50/100; 60/125; 80/160;  
100/200; 125/225; 160/300; 200/350

# Защищаемость

$$kI_{\text{доп}} \geq I_{\text{нв}}$$

$I_{\text{доп}}$  – допустимый ток проводников, А;

$k$  – кратность (ПУЭ)

$k = 0,8$  – для проводников с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией, проложенных во взрывоопасных производственных помещениях;

$k = 1,0$  – то же для невзрывоопасных помещений;

$k = 1,0$  – для кабелей с бумажной изоляцией во всех случаях;

$k = 3,0$  – для сетей, защищаемых только от КЗ и не требующих защиты от перегрузок.

# Чувствительность предохранителей при КЗ

для невзрывоопасной среды

$$k_{\text{ч}} = I_{\text{к min}} / I_{\text{нв}} \geq 3$$

для взрывоопасной среды

$$k_{\text{ч}} = I_{\text{к min}} / I_{\text{нв}} \geq 4$$

$I_{\text{к min}}$  — минимальный ток замыкания на корпус или на нулевой защитный проводник в конце защищаемого участка;

$I_{\text{нв}}$  — номинальный ток плавкой вставки.

При наличии в защищаемой предохранителями сети **магнитных пускателей или контакторов** для исключения их отпускания из-за снижения напряжения при КЗ плавкая вставка предохранителя должна перегореть за  $t = 0,1 \dots 0,2$  с при повреждении в наиболее удаленной точке сети. Это условие обеспечивается при выполнении условия чувствительности

$$I_{\text{к min}} / I_{\text{нв}} \geq (10-15)$$

## БЛОК "ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ-ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ"

Блок представляет собой трехфазный коммутационно-защитный аппарат с номинальным током до 1000 А с двойным разрывом цепи, выполненный совместно с приводом в одном конструктивном элементе.

В аппарате типа БПВ включение и отключение осуществляется патронами предохранителей типа ПН-2, смонтированными в рычажный привод.

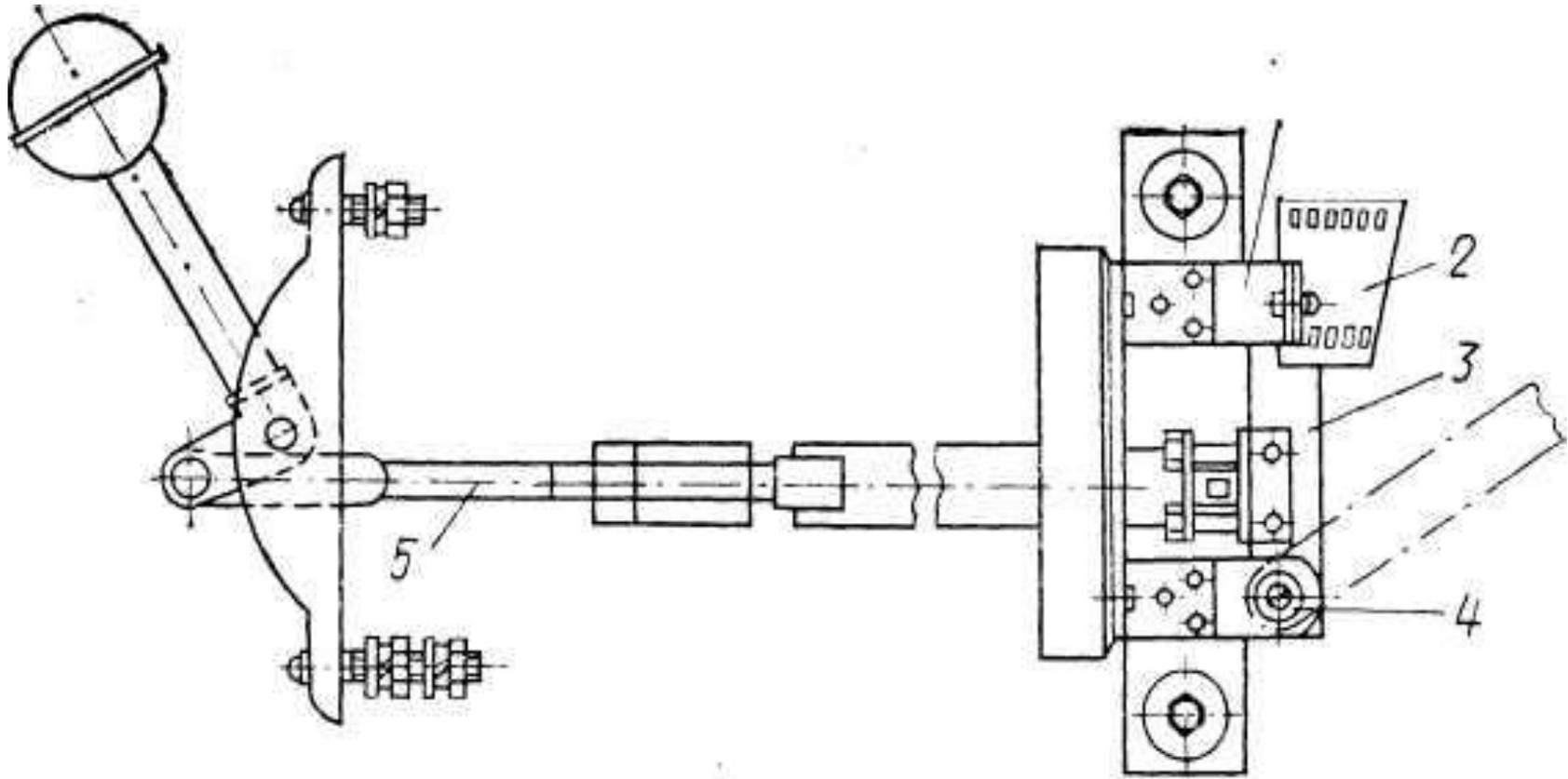
# Неавтоматические выключатели

- 1) Рубильник.
- 2) Переключатели.
- 3) Пакетные выключатели.

**Рубильники и переключатели** предназначены для ручного включения и отключения цепей постоянного и переменного тока до 1000 В с созданием видимого разрыва, а также для ручного управления асинхронными электродвигателями мощностью до 10 кВт.

**Рубильники по конструкции** бывают: одно-, двух- и трехполюсными.

# Рубильник рычажного типа



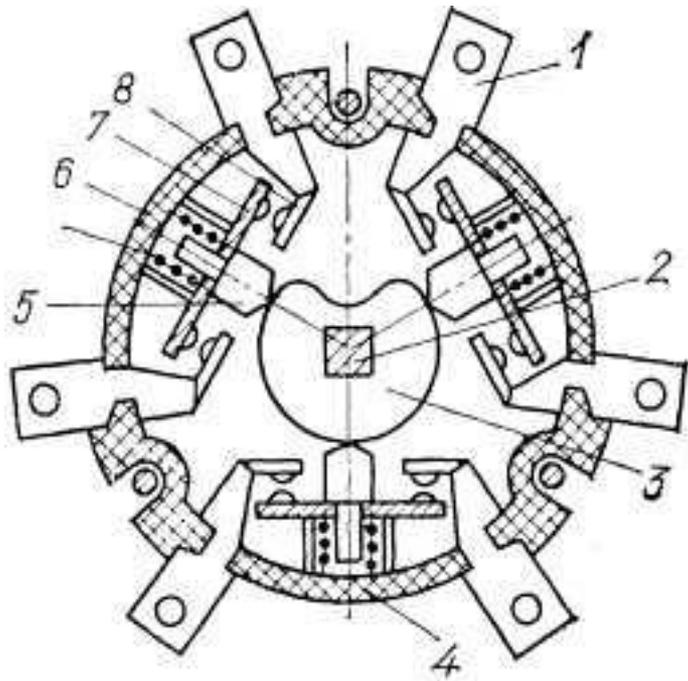
**1 - неподвижный контакт; 2 - дугогасительная камера; 3 - подвижный контакт-нож; 4 - шарнирная стойка; 5 - тяга**

# Переключатели

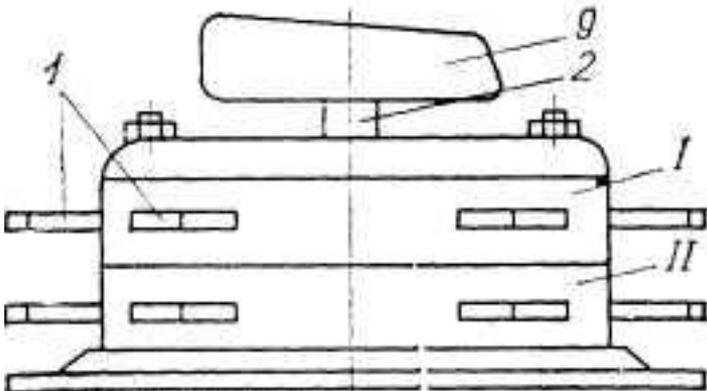
**В отличие от рубильников переключатели имеют два комплекта неподвижных контактов, в одном положении соединяются подвижные контакты с первым комплектом неподвижных контактов, а в другом положении - со вторым комплектом неподвижных контактов.**

**Таким образом производится, например, реверсирование электродвигателя, перевод с основного на резервное питание. В настоящее время чаще применяют, как наиболее безопасные, рубильники и переключатели с боковой рукояткой и рычажным приводом.**

# Пакетные выключатели и переключатели



Пакетные выключатели и переключатели предназначены для работы в цепях постоянного (до 220 В) и переменного тока (до 380 В) в качестве вводных выключателей, выключателей цепей управления; для ручного управления АД до 10 кВт; для переключения в нескольких электрических цепях одновременно.



I, II – пакеты;  
1 – вывода к внешней сети; 2 – вал; 3 – кулачок;  
4 – герметизированный корпус;  
5 – шток; 6 – пружина;  
7,8 – контакты;  
9 – рукоятка

## Технические характеристики рубильников и переключателей

Аппарат	2-х полюсный	3-х полюсный	Номинальный ток, А
Рубильник	РБ21	РБ31	100
	РБ22	РБ32	250
	РБ24	РБ34	400
	РБ26	РБ36	600
Рубильник с боковым рычажным или с центральным приводом	–	РПБ31; РПЦ31	100
	–	РПБ32; РПЦ32	250
	–	РПБ34; РПЦ34	400
	–	РПБ36; РПЦ36	600
Переключатели – разъединители с центральной рукояткой	П21	П31	100
	П22	П32	250
	П24	П34	400
	П26	П36	600
Переключатели с боковой рукояткой и рычажным приводом	–	ПБ31; ППБ31	100
	–	ПБ32; ППБ32	250
	–	ПБ34; ППБ34	400
	–	ПБ36; ППБ36	600

## Технические характеристики трехполюсных пакетных выключателей и переключателей

Аппарат	Тип	Номинальный ток при 380 В
Открытые		
Выключатели пакетные	ПВЗ-10; ПВЗ-25; ПВЗ-60	6; 15; 40
	ПВЗ-100; ПВЗ-250; ПВЗ-400	60; 150; 250
Переключатели на два направления с нулевым положением	ППЗ-10/Н2; ППЗ-25/Н2	6; 15
	ППЗ-60/Н2; ППЗ-100/Н2	40; 60
	ППЗ-250/Н2; ППЗ-400/Н2	15; 250
Защищённые		
Выключатели пакетно-кулачковые	ПКВЗ-15; ПКПЗ-15Н2	10
	ПКВЗ-25; ПКПЗ-25	25
	ПКВЗ-40; ПКПЗ-40	40
	ПКВЗ-60; ПКПЗ-60	60
	ПКВЗ-100; ПКПЗ-100	100
Переключатели для изменения схемы «звезда – треугольник»	ПП-25/1СБ	15
	ПП-60/1С	40

# Неавтоматические выключатели

Неавтоматические выключатели переменного и постоянного тока до 1000 В предназначены:

1) для изолирования отдельных частей электроустановки, участка сети от напряжения для безопасного ремонта;

2) для включения и отключения электрических цепей в нормальных режимах при рабочих токах, не превышающих **0,2-1,0 номинального продолжительного тока выключателя** (в зависимости от конструкции).

Дугогасительные устройства, как правило, отсутствуют.

# Выключатели нагрузки - разъединители

## Interpact IN

- *Диапазон номинальных токов от 40 до 2500 А*



**IN 40/80**



**IN 100/250**



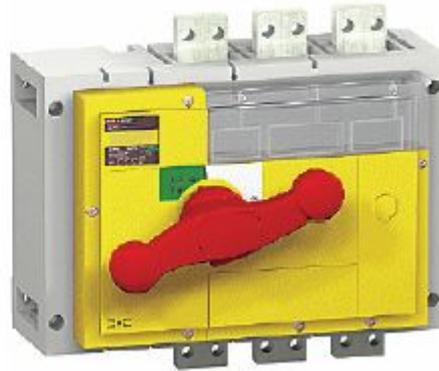
**IN 400/630**



**IN 1000/2500**

- *3 или 4-х полюсное исполнение*
- *Переднее или заднее присоединение*

# Interpact INS / INV 40-2500 A



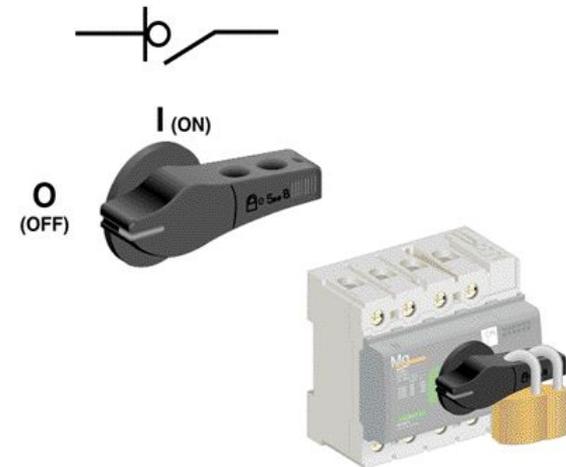
- Гарантированное положение силовых контактов (INS)



- Отключение с видимым разрывом (INV)



- Блокировки



- **Общепромышленная версия**



- **Версия для устройств безопасности (красная рукоятка на желтой панели)**

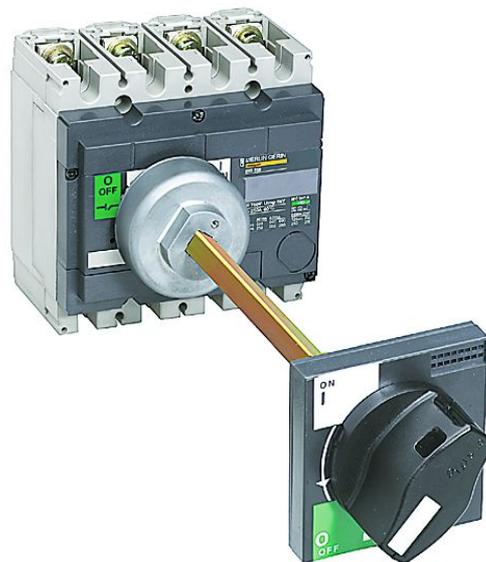
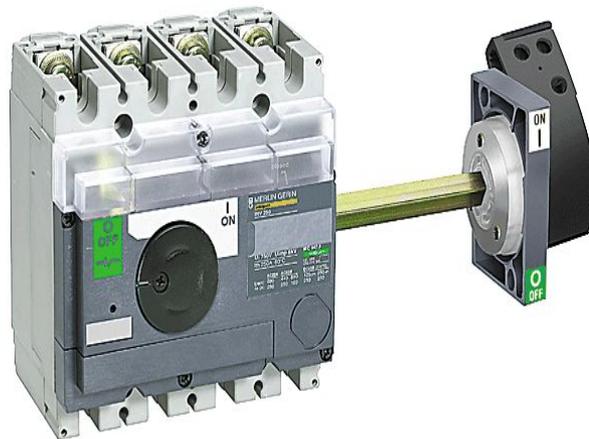


## INS 40/250

**Поворотная рукоятка**



**Выносная рукоятка**



## INS / INV 320-630

**Поворотная рукоятка**



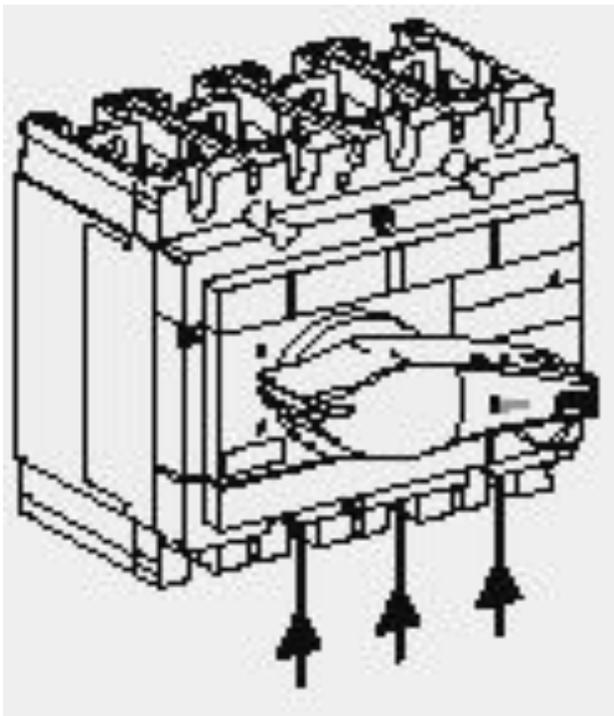
**Выносная рукоятка**

# Способы установки

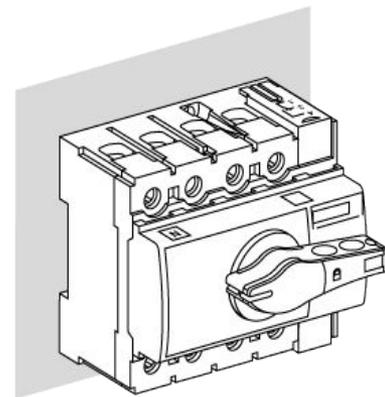
## ■ Установка

- На DIN-рейку от 40 до 250 А
- На плату/рейки от 100 до 2500 А

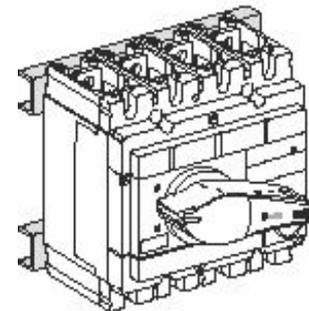
## ■ Подвод питания снизу



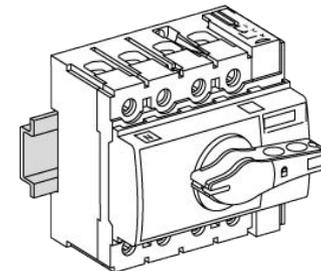
- на плате



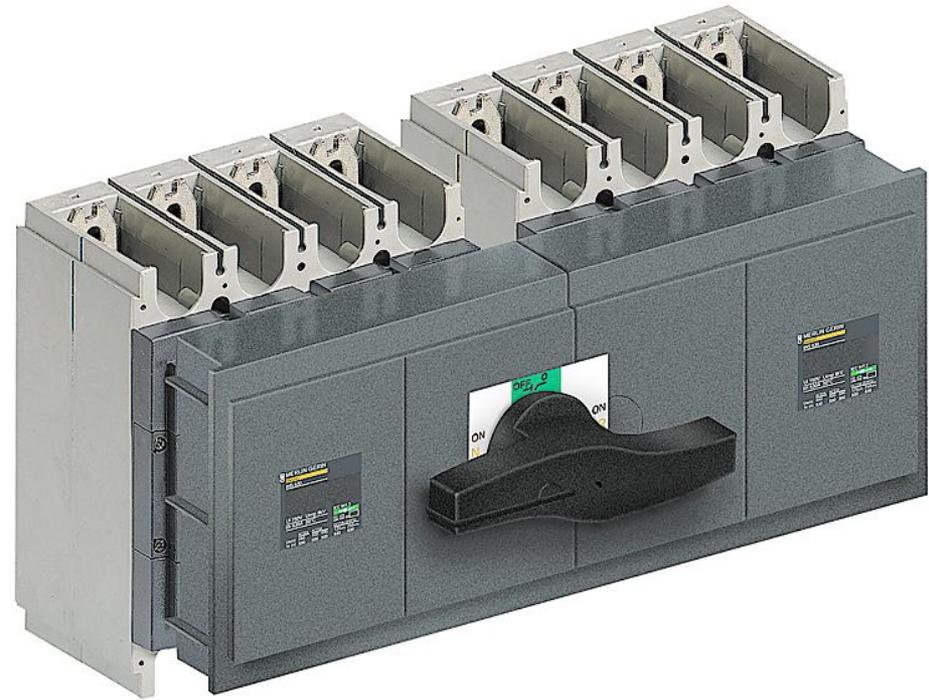
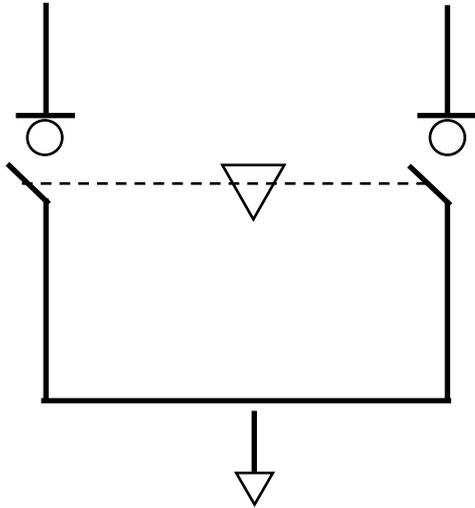
- на рейках



- на DIN-рейке



# Устройства ввода резерва



***Диапазон номинальных токов***

INS 250-100   INS 250-160   INS 250-200   INS 250   INS 320   INS 400   INS 500   INS 630