

**ПМ.01 «Организация  
простых работ по  
техническому обслуживанию  
и ремонту электрического и  
электромеchanического  
оборудования»**

**МДК.01.01**

**Электрические машины и  
аппараты**

## **Тема 1.1. Электрические аппараты**

1	Назначение и общие сведения об электрических аппаратах
2	Тепловые процессы в электрических аппаратах.
3	Электрические контакты
4	Электромагниты.
5	Электрические аппараты низкого напряжения (автоматические выключатели)
6	Электрические аппараты низкого напряжения (реле, пускатели)
7	Аппараты распределительных устройств
8	Высоковольтные электрические аппараты.
9	Бесконтактные электрические аппараты.
10	Выбор электрических аппаратов по заданным техническим условиям

# **Литература**

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



**Электрические аппараты** : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / [О.В.Деничкин, В.В.Ломкин, Р.В.Меркулов, Е.Н.Смолин]. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 240 с.

ISBN 978-5-7695-5305-9

Дана классификация электрических аппаратов, описаны вопросы их теории и конструкции, указаны области применения аппаратов и перспективы их дальнейшего развития. Приведены основные типы электронных аппаратов и датчиков, используемых в них. Рассмотрены основные логические схемы и методы их расчета при разработке электронных аппаратов.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.3(075.32)

ББК 31.264я723

621.313  
К30

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

М. М. Кацман

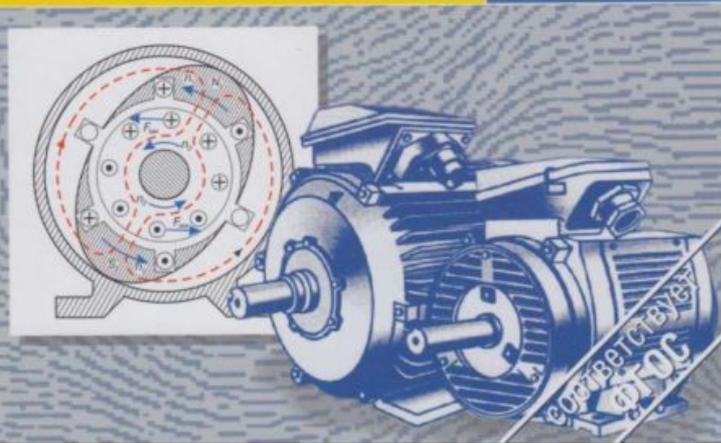
# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

12-е издание

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА



УЧЕБНИК



соответствует  
ГОСТ

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

М. М. КАЦМАН

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Рекомендовано  
Федеральным государственным автономным учреждением  
«Федеральный институт развития образования» в качестве  
учебника для использования в учебном процессе образовательных  
учреждений, реализующих ФГОС СПО по группе специальностей  
140400 «Электроэнергетика и электротехника»

Регистрационный номер рецензии № 499  
от 14 декабря 2012 г. ФГАУ «ФИРО»

12-е издание, стереотипное

96293

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ  
МОСКВА  
Издательский центр «Академия»  
2013  
БИБЛИОТЕКА

Среднее профессиональное образование

М. М. Козлов

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД

4-е издание

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА



УЧЕБНИК



# **1. Назначение и общие сведения об электрических аппаратах**

**Электрический аппарат** – это электротехническое устройство, которое используется для:

1. включения и отключения электрических цепей,
2. контроля,
3. измерения,
4. защиты,
5. управления,
6. регулирования установок, предназначенных для передачи, преобразования, распределения и потребления электроэнергии.





<http://sovremennye-tulskie.ru>

elec.ru



[www.electroshik.ru](http://www.electroshik.ru)

elec.ru



Понятие **«электрический аппарат»** охватывает очень большой круг бытовых и промышленных устройств.

Многообразии самих аппаратов и выполняемых ими функций, совмещение в одном аппарате нескольких функций не позволяют строго классифицировать их по одному какому-то признаку.

Представляется целесообразным рассмотреть их по назначению – основной функции, выполняемой аппаратом.

**По назначению они могут быть подразделены на следующие группы:**

1. **Коммутационные** – предназначены для включения и отключения электрической цепи. (К ним можно отнести – разъединители, выключатели высокого и низкого напряжения, рубильники, переключатели и т.д.).

2. **Аппараты защиты** – для защиты электрических цепей от ненормальных режимов работы (к.з., перегрузка). Сюда относятся автоматические выключатели, предохранители высокого и низкого напряжения, различного рода реле.

### **3. Пускорегулирующие аппараты**

– для управления электроприводами и другими промышленными потребителями электроэнергии (двигатели – пуск, остановка, регулирование скорости вращения). Это контакторы, пускатели, реостаты и т.д.

4. **Ограничивающие аппараты** – для ограничения токов к.з. (реакторы) и перенапряжений (разрядники).

**5. Контролирующие аппараты** – для контроля заданных электрических и неэлектрических параметров. Сюда относятся различного рода реле и датчики.

**6. Регулирующие аппараты** – для автоматической и непрерывной стабилизации и регулирования заданных параметров. Это различные стабилизаторы и регуляторы.

**7. Измерительные аппараты** – для изоляции цепей первичной коммутации от цепей измерительных приборов и релейной защиты. (Измерительные трансформаторы тока и напряжения).

**8. Аппараты, предназначенные для выполнения механической работы** – подъемные и удерживающие электромагниты, электромагнитные тормоза, муфты.

**Любой аппарат состоит из  
трех элементов:**

**1.воспринимающего;**

**2.преобразующего;**

**3.исполнительного.**



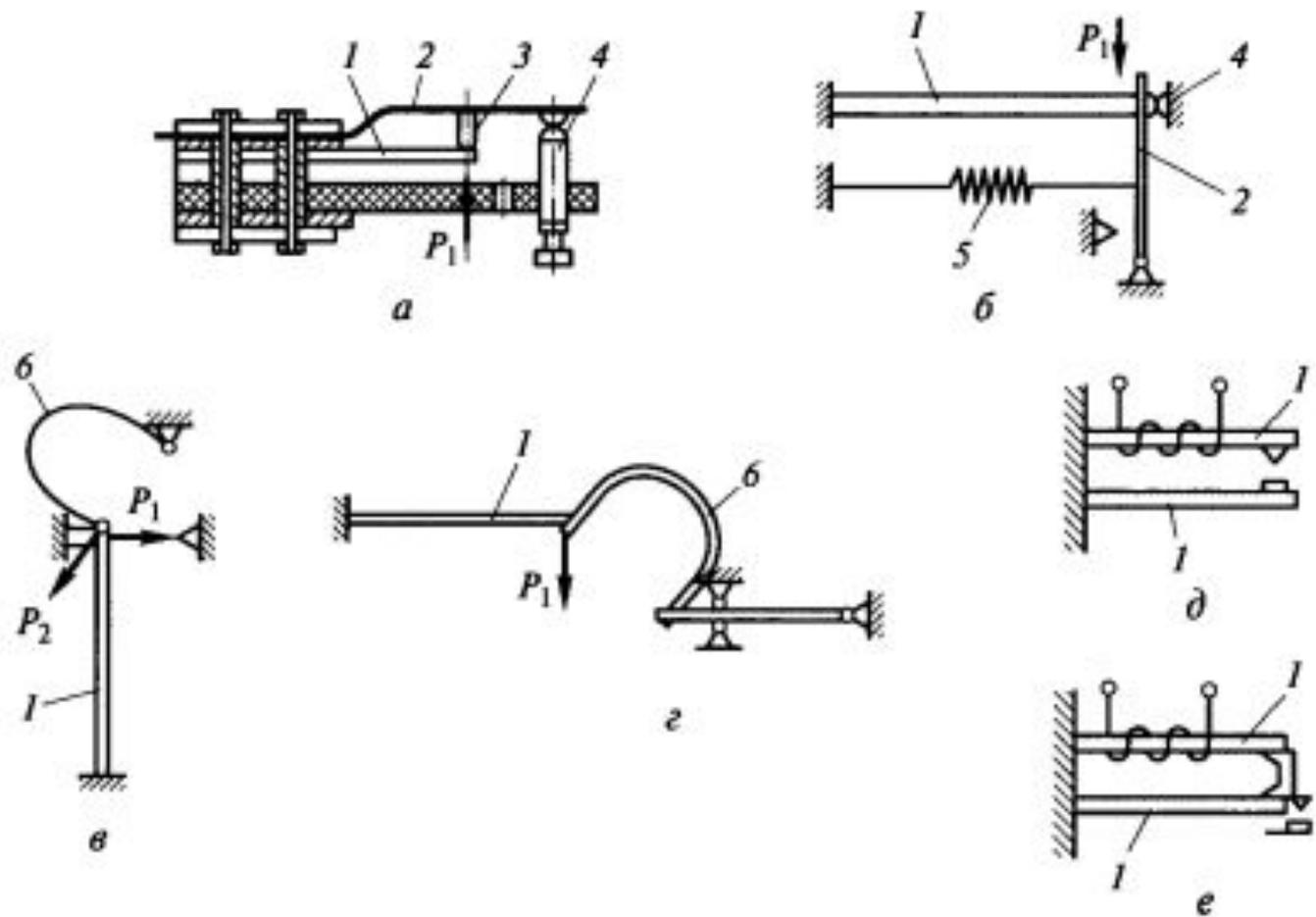


Рис. 8.9. Схемы (а...е) биметаллических устройств тепловых реле:  
 1 — биметаллическая пластина; 2, 4 — подвижный и неподвижный контакты; 3 —  
 штифт; 5, 6 — пружины

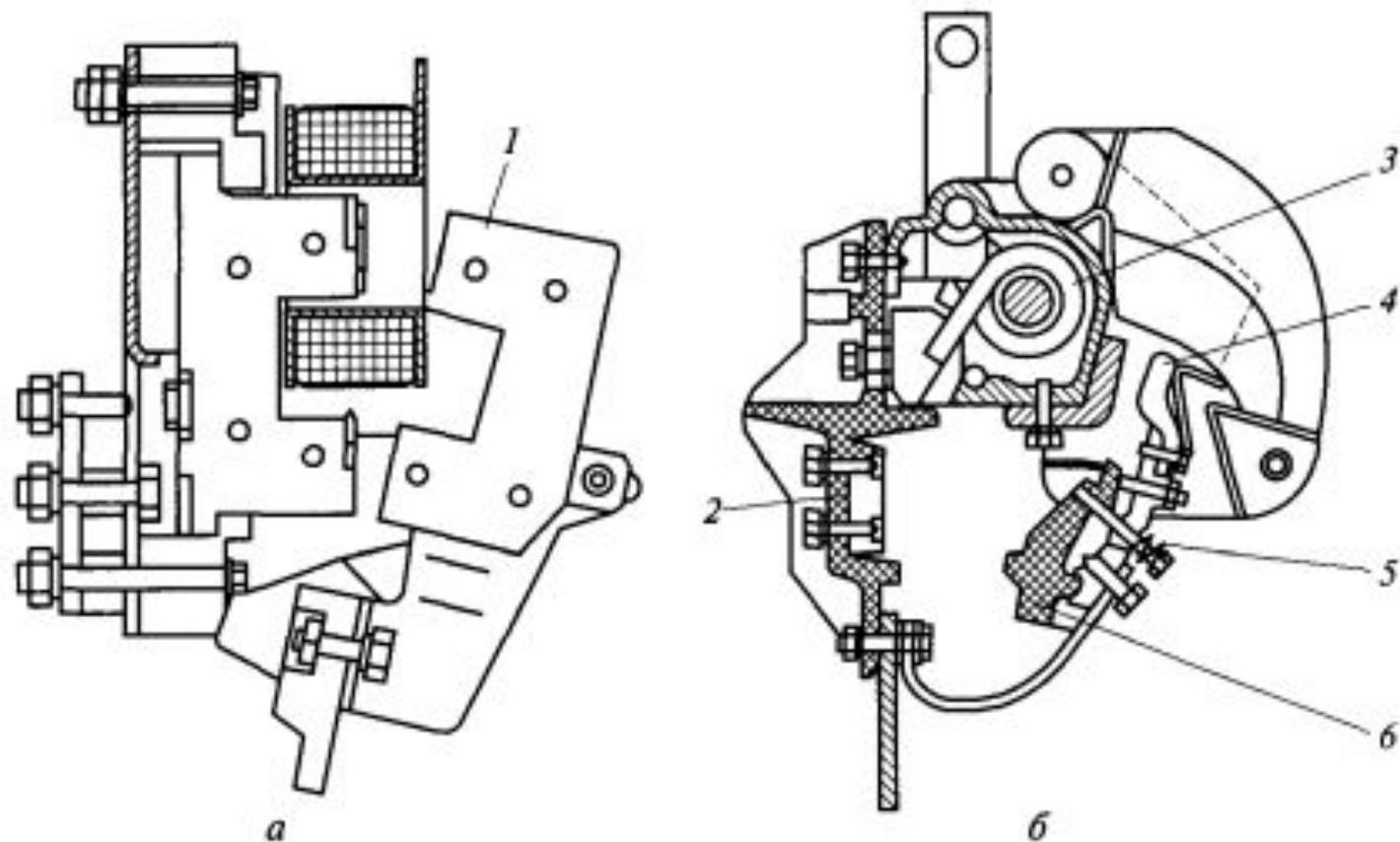


Рис. 9.3. Контактор переменного тока серии КТ-6000:

*a* — разрез по магнитной системе; *б* — разрез по контактной и дугогасящей системам: 1 — якорь; 2 — рейка; 3 — обмотка дугогашения; 4 — подвижный контакт; 5 — пружина; 6 — рычаг

# Аппараты классифицируются:

По принципу действия

воспринимающего элемента:

1. Электромагнитные,
2. Магнитоэлектрические,
3. Индукционные,
4. Электродинамические,
5. Поляризованные,
6. Полупроводниковые,
7. Тепловые,
8. Электронные,
9. Магнитные и т.д.

**По принципу действия**  
**исполнительного элемента:**

1. Контактные

2. Бесконтактные

**В пределах одной группы или типа аппараты различаются:**

- 1. по напряжению:**- **высокого**  
напряжения (свыше 1000 В)  
- **низкого** напряжения (до 1000 В)
- 2. по роду тока:** - **постоянного** тока,  
- **переменного** тока **промышленной**  
**частоты,**  
- **переменного** тока **повышенной**  
**частоты**

**3. по величине тока:** - слаботочные  
(до 5А)

- силовоточные (свыше 5А)

**4. по режиму работы:** -

продолжительного

- кратковременного

- повторно-кратковременного

## **5. по времени срабатывания:**

- безынерционные (до 3 мс);
- быстродействующие (3-50 мс);
- нормального исполнения (50-150 мс);
- замедленные (150 мс-1 с);
- реле времени (свыше 1 с)

## **6. по способу управления:**

- автоматические
- неавтоматические (ручного управления)

## **7. по роду защиты от окружающей среды:**

- в исполнении открытом,**
- защищенном,**
- водозащищенном,**
- взрывозащищенном и т.д**

# ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ АППАРАТАМ

1. При нормальном режиме работы температура токоведущих частей (элементов) не должна превышать допустимую (значений, рекомендуемых соответствующим ГОСТ или другими нормативными документами).

2. Аппараты должны выдерживать в течении определенного времени термическое воздействие токов К.З. без каких-либо деформаций, препятствующих их дальнейшему использованию (высокая износостойкость).

3. Изоляция аппарата должна быть рассчитана с учетом возможных перенапряжений, возникающих в процессе эксплуатации, с некоторым запасом, учитывающим её «старение».

4. Контакты электрических аппаратов должны быть способны многократно включать и отключать токи рабочих режимов.

5. Аппараты должны иметь высокую надежность и точность, необходимое быстродействие, минимум массы, малые габариты, дешевизну, удобство в эксплуатации.

# **Система условных обозначений**

**BE** – сельсин - приемник

**BC** – сельсин – датчик

**BK** – тепловой датчик

**BP** – датчик давления

**BR** – датчик частоты вращения (тахогенератор)

**BV** – датчик скорости

**C** - конденсатор

**DA** – схема интегральная аналоговая

**DD** – схема интегральная цифровая

**DS** – устройство хранения информации

**DT** – устройство задержки

**EK** – нагревательный элемент

**EL** – лампа осветительная

**FA** – дискретный элемент защиты по току мгновенного действия

**FP** – дискретный элемент защиты по току инерционного действия

**FU** – предохранитель плавкий

**FV** – дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник

**HA** – прибор звуковой сигнализации

**HL** – прибор световой сигнализации

**КА** – реле токовое

**КН** – реле указательное

**КК** – реле электротепловое

**КМ** – контактор, магнитный пускатель

**КТ** – реле времени

**КV** – реле напряжения

**LL** – дроссель люминесцентного  
освещения

**М** - двигатель

**РА** – амперметр

**РС** – счетчик импульсов

**РІ** – счетчик активной энергии

**РК** – счетчик реактивной энергии

**РТ** – часы, измеритель времени

**РV** – вольтметр

**РW** – ваттметр

**QF** – выключатель автоматический

**QK** – короткозамыкатель

**QS** – разъединитель

**R** - резистор

**SA – выключатель или  
переключатель**

**SB – выключатель кнопочный**

**SF – выключатель автоматический,  
не имеющий контактов силовых  
цепей**

**SL – выключатель, срабатывающий  
от воздействия уровня**

**SP – выключатель,  
срабатывающий от воздействия  
давления**

**SQ** – выключатель,  
срабатывающий от воздействия  
положения (путевой)

**SR** – выключатель,  
срабатывающий от воздействия  
частоты вращения

**SK** – выключатель,  
срабатывающий от воздействия  
температуры

**TA** – трансформатор тока

**TV** – трансформатор напряжения

**UZ** – частотный преобразователь,  
выпрямитель

**VD** – диод, стабилитрон

**VT** – транзистор

**VS** – тиристор

**ХА** – токосъемник, контакт

скользящий

**ХР** – штырь

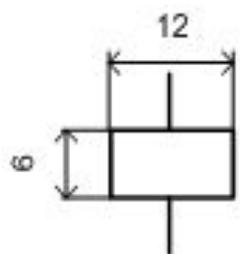
**ХS** – гнездо

**УА** – электромагнит

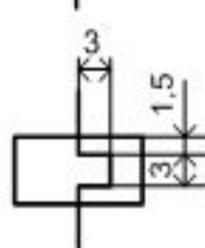
**УВ** – тормоз с электромагнитным  
приводом

**УС** – муфта с электромагнитным  
приводом

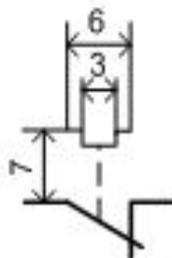
**УН** – электромагнитная плита



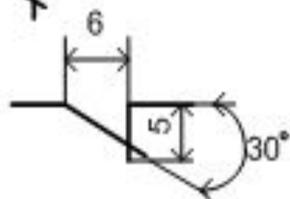
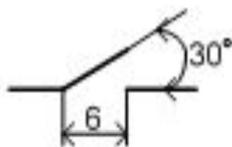
Катушка магнитного пускателя, контактора, реле, электромагнита



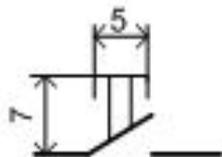
Катушка и контакт теплового реле



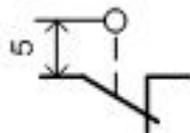
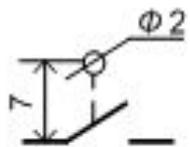
Контакты замыкающий и размыкающий (нормально открытый и нормально закрытый)

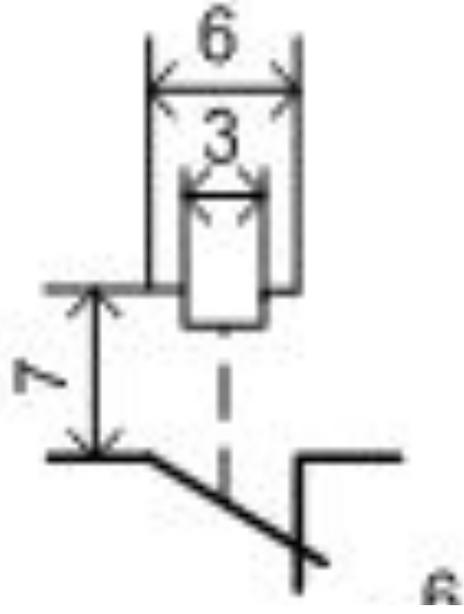
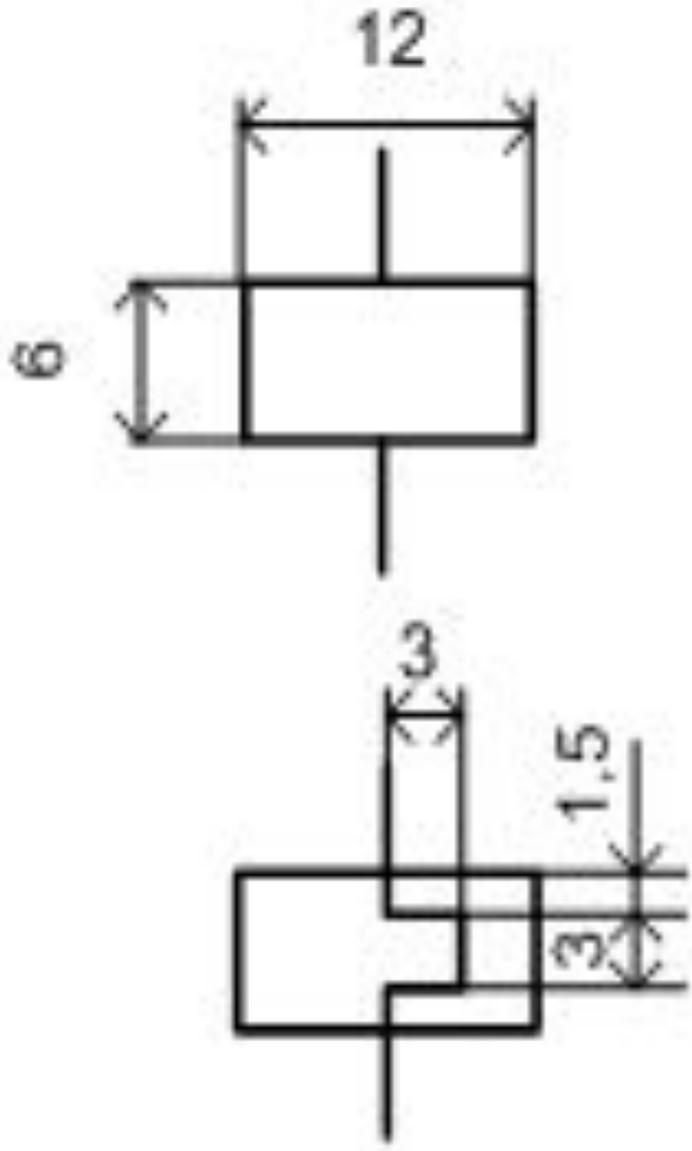


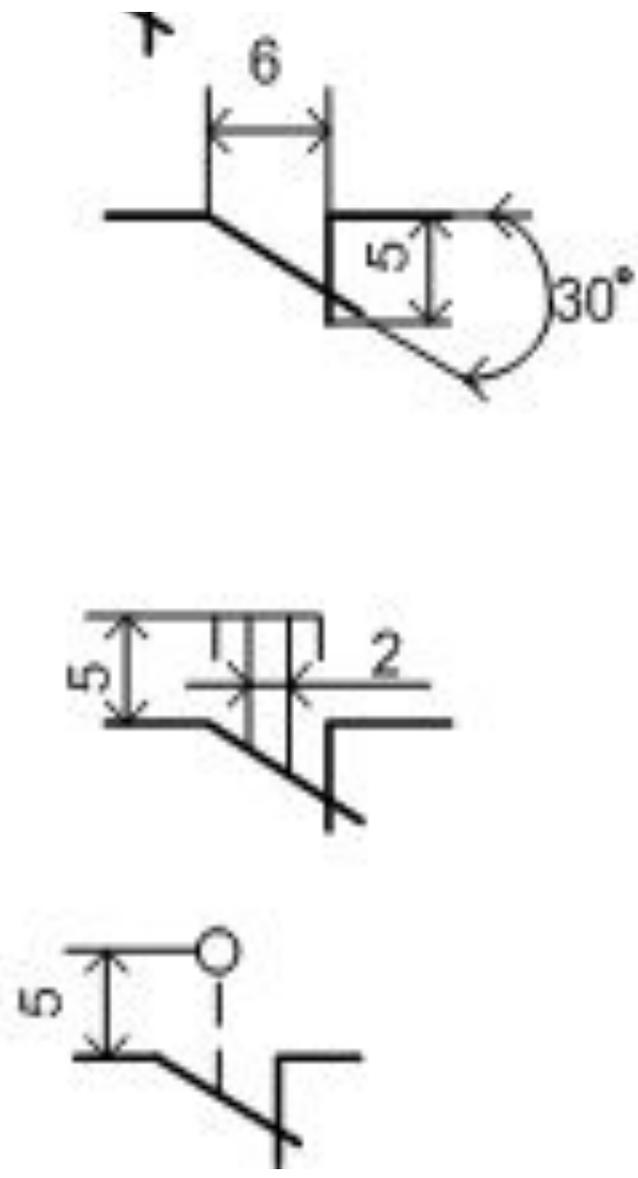
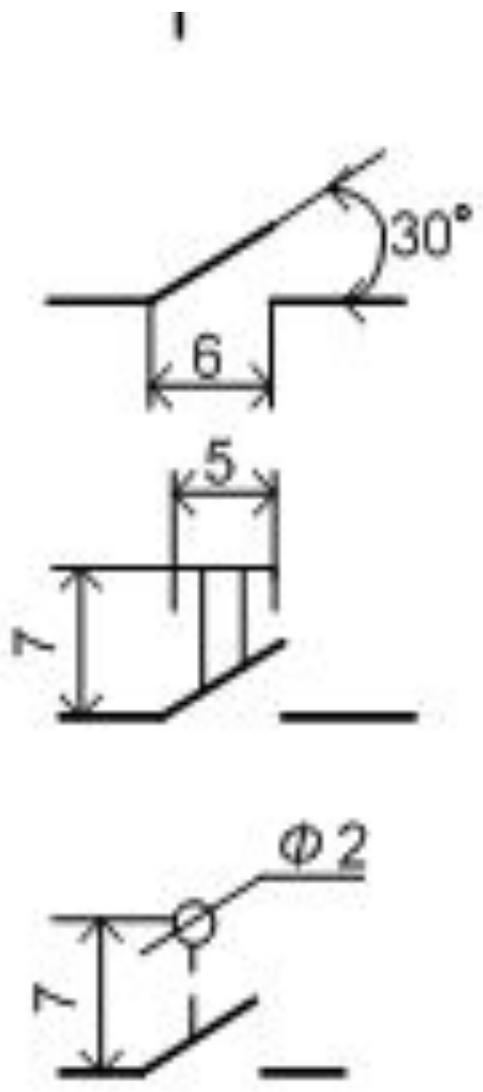
Контакты кнопочного выключателя

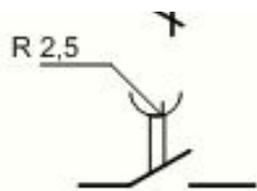
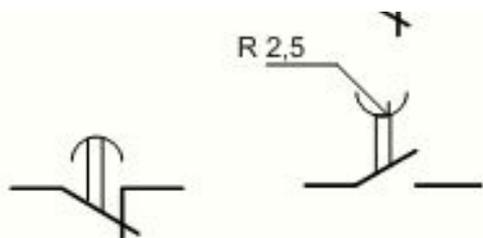


Контакты конечного, путевого выключателя





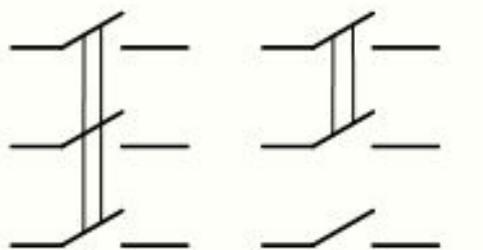




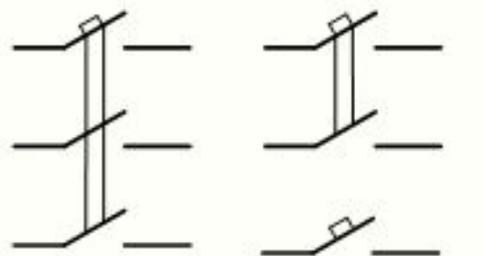
Контакты реле времени с выдержкой времени на размыкание



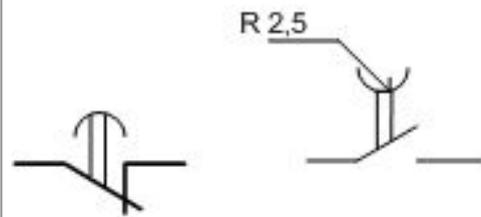
Контакты реле времени с выдержкой времени на замыкание



Контакты рубильника, переключателя трех-, двух-, однополюсного



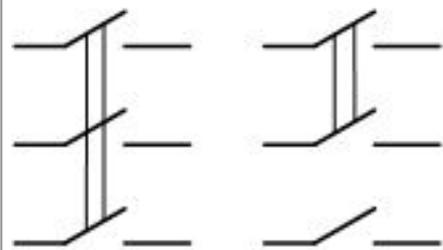
Контакты автоматического выключателя трех-, двух-, однополюсного



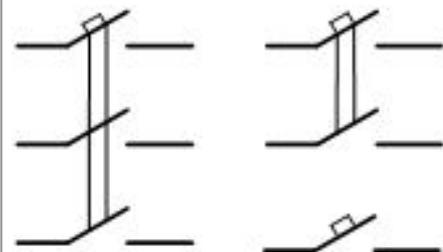
Контакты реле времени с выдержкой времени на размыкание



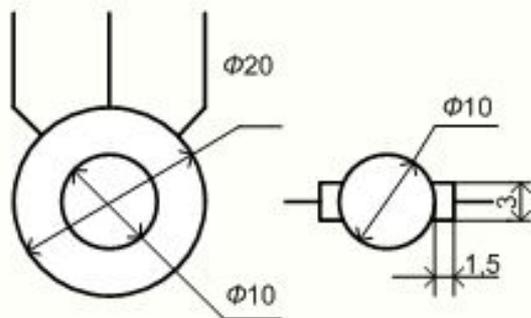
Контакты реле времени с выдержкой времени на замыкание



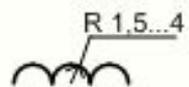
Контакты рубильника, переключателя трех-, двух-, однополюсного



Контакты автоматического выключателя трех-, двух-, однополюсного



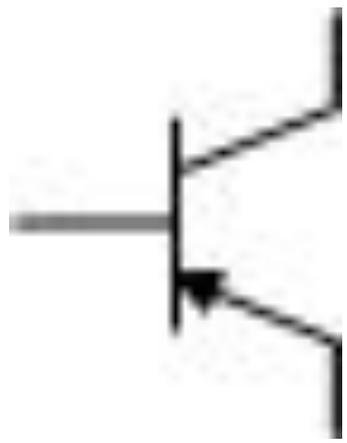
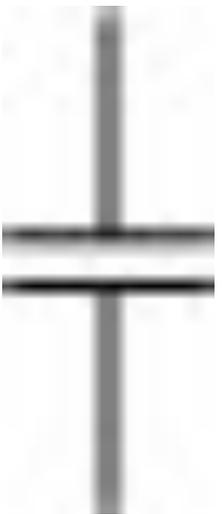
Асинхронный двигатель, якорь двигателя постоянного тока

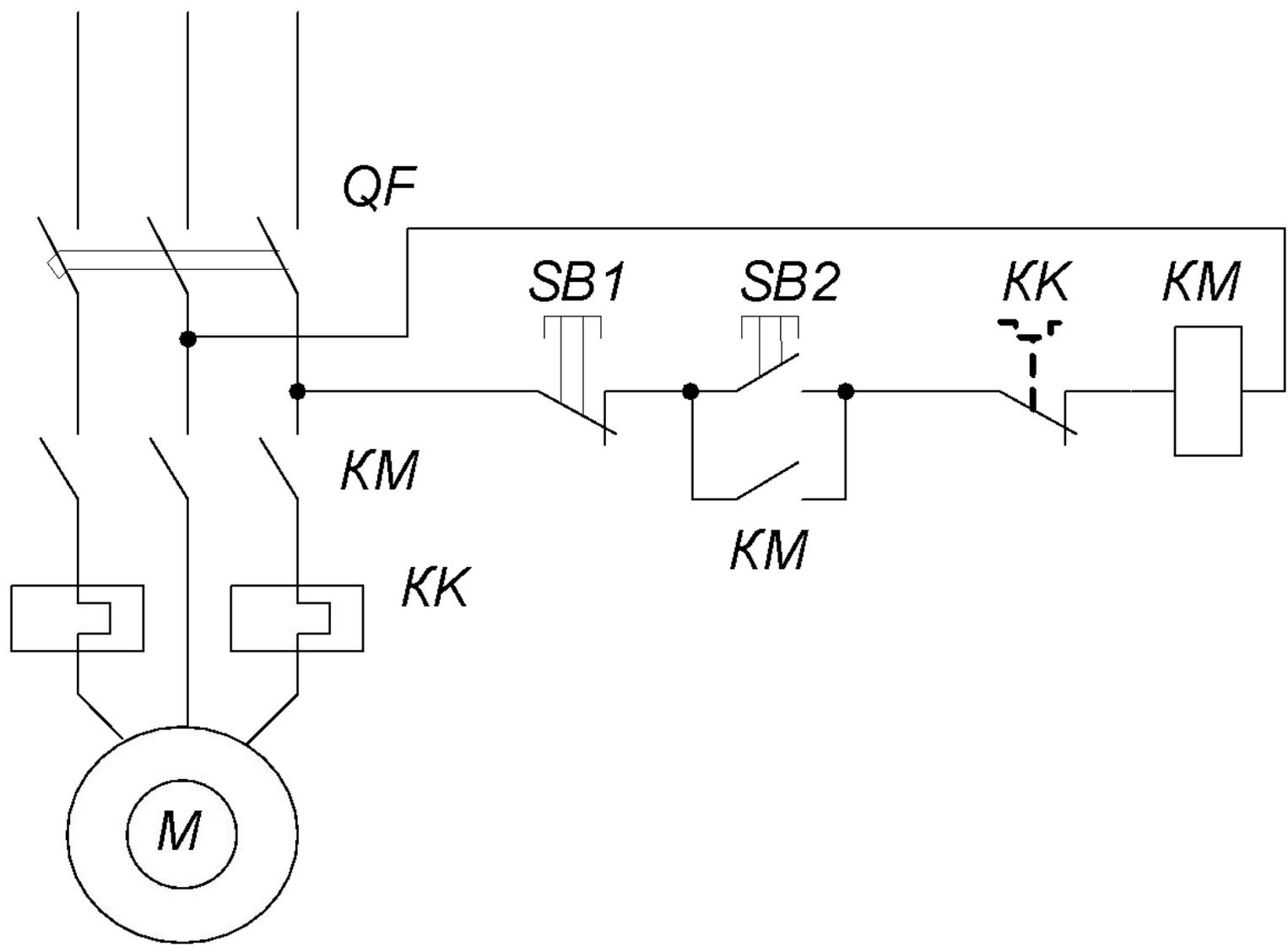


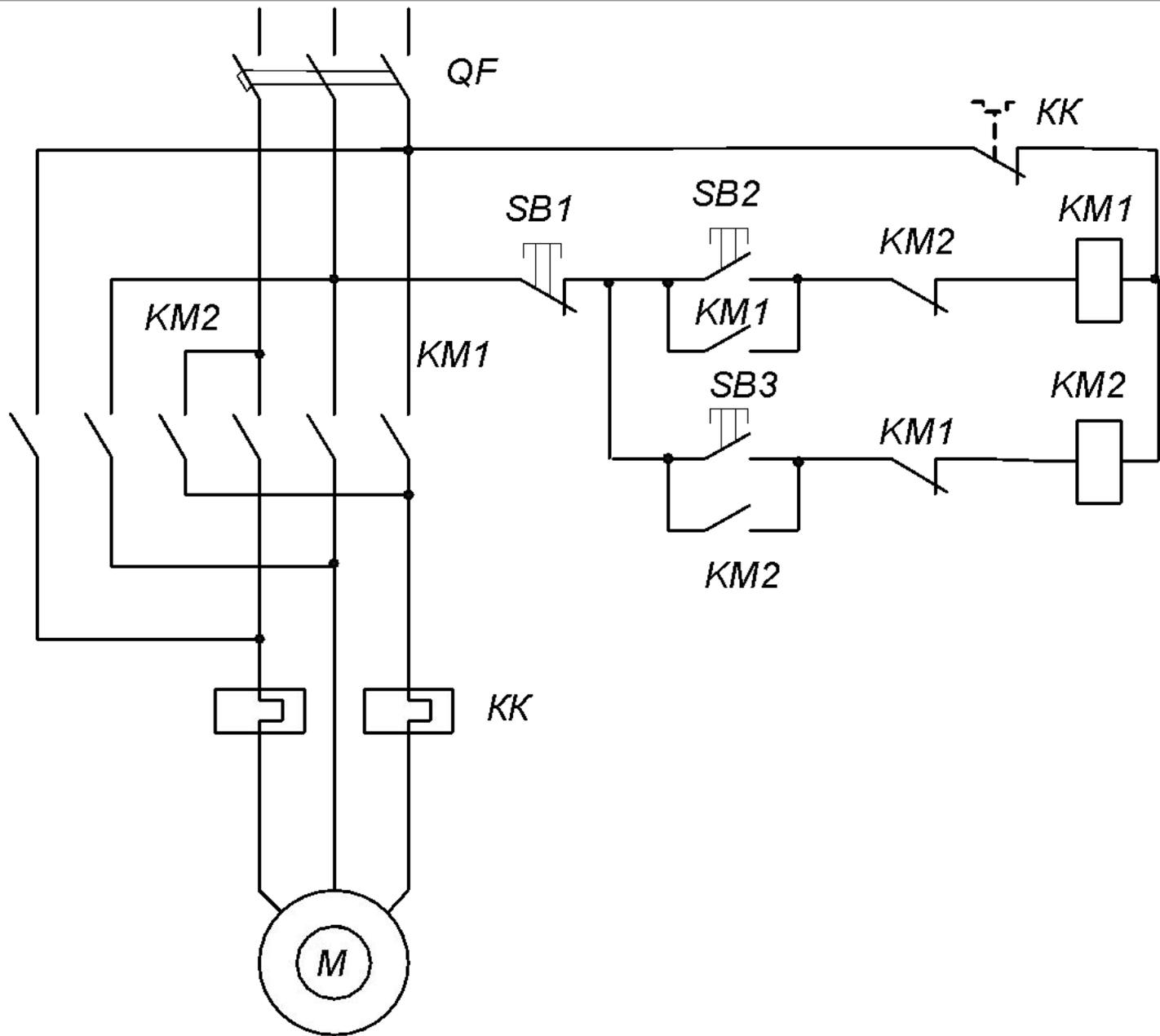
Обмотка трансформатора, возбуждения, дросселя

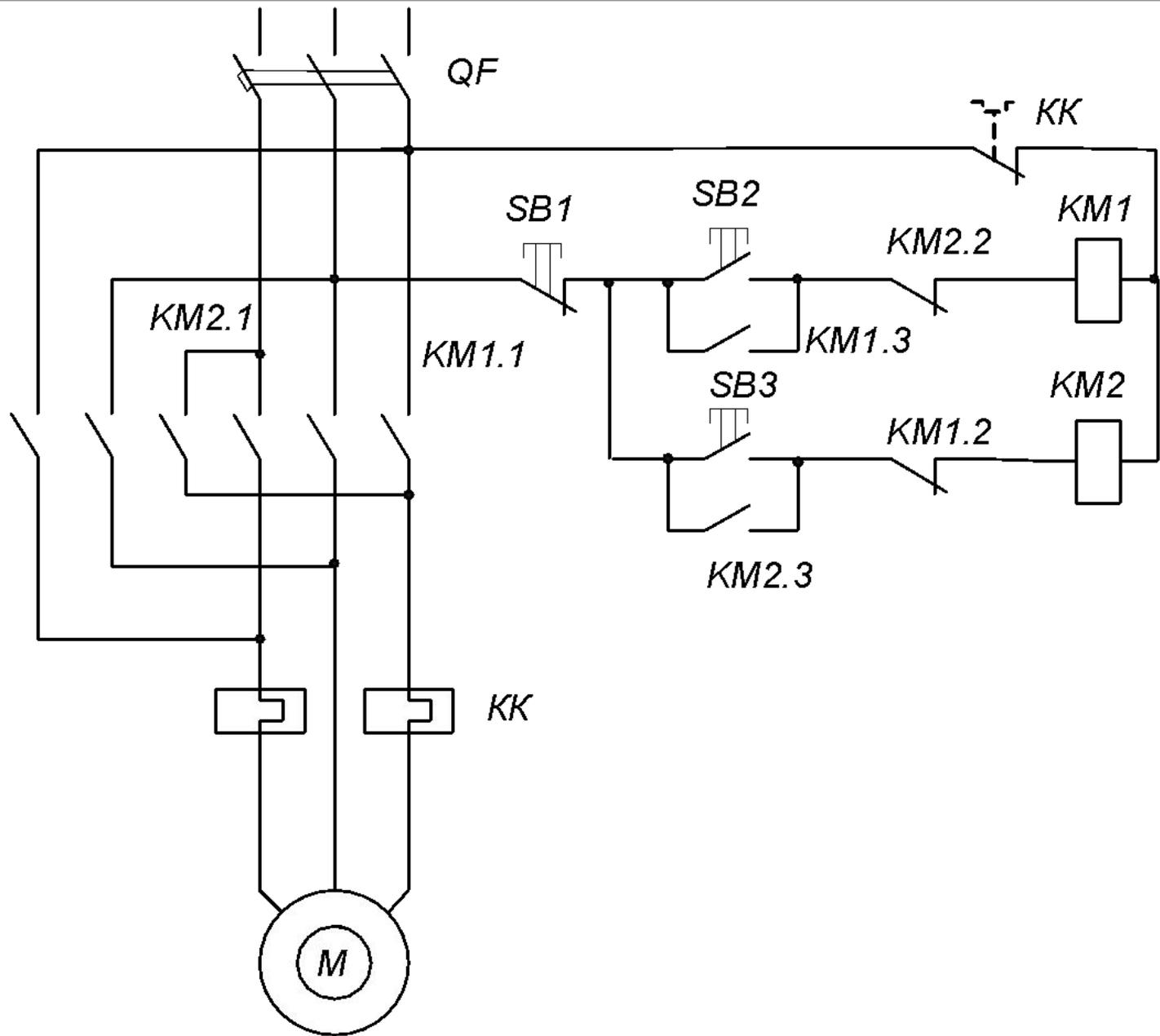


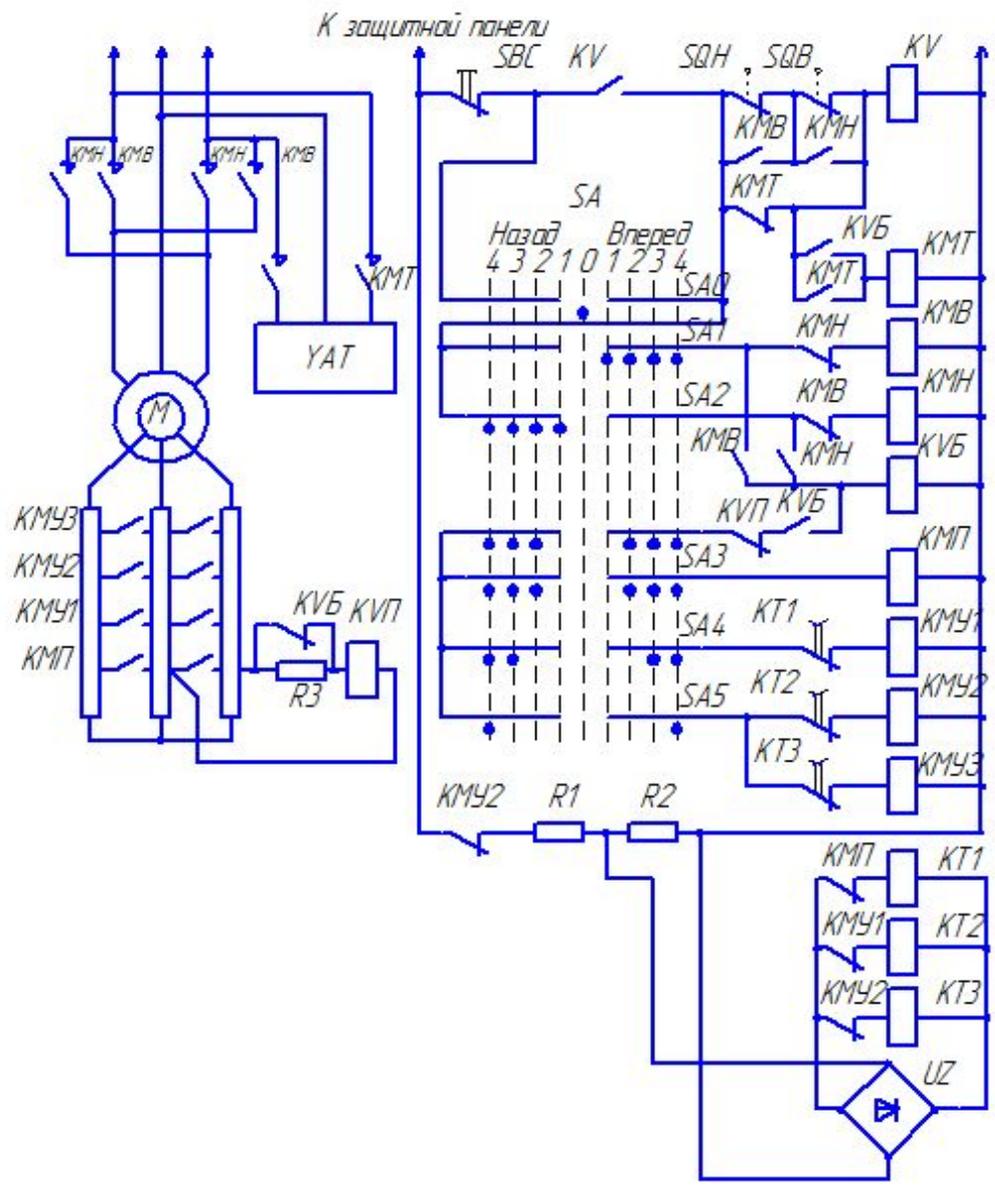
Предохранитель

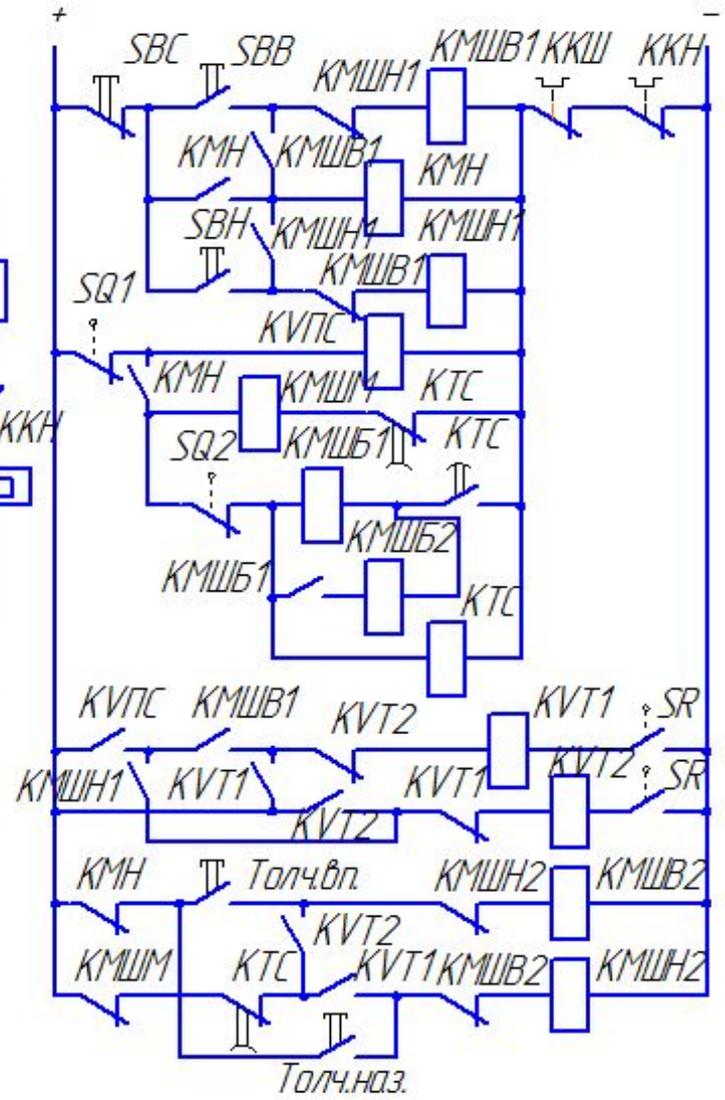
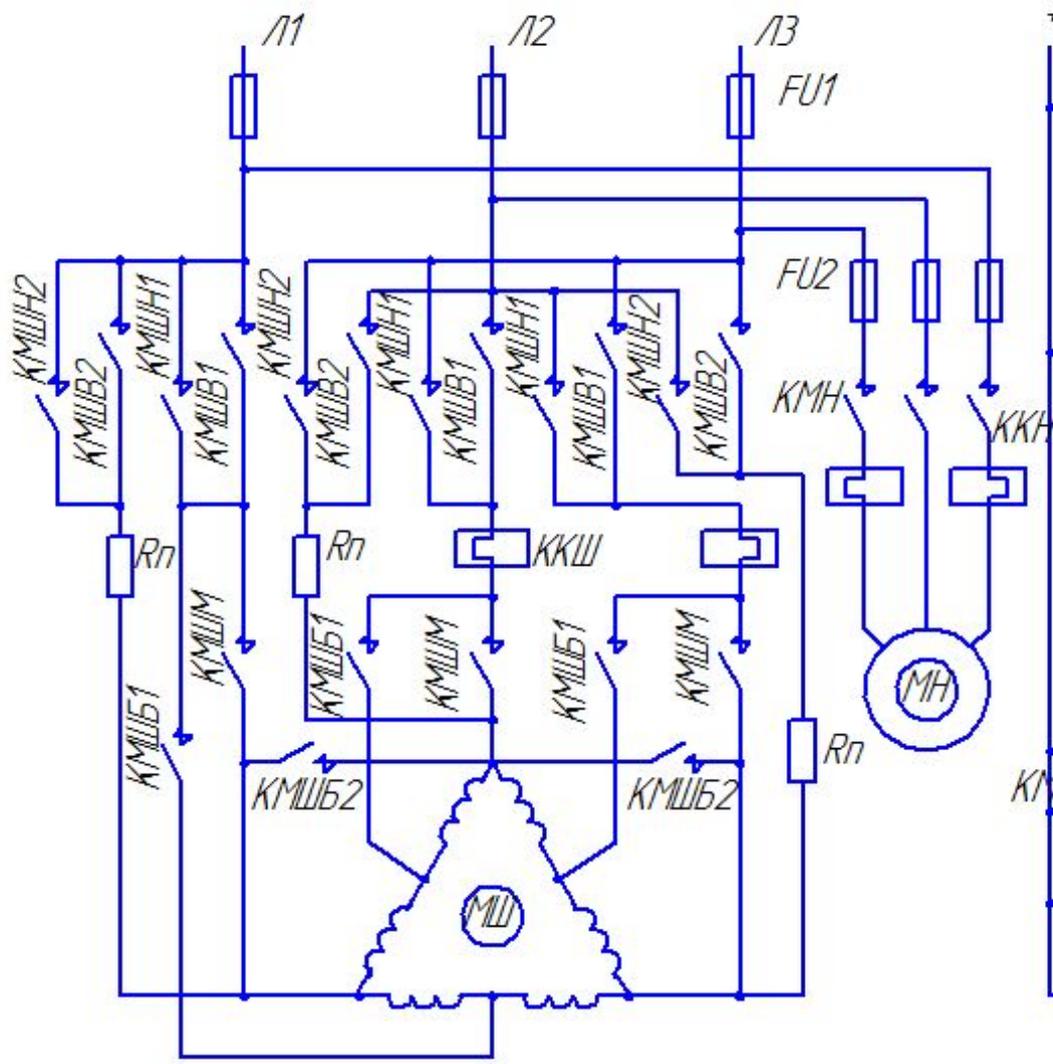












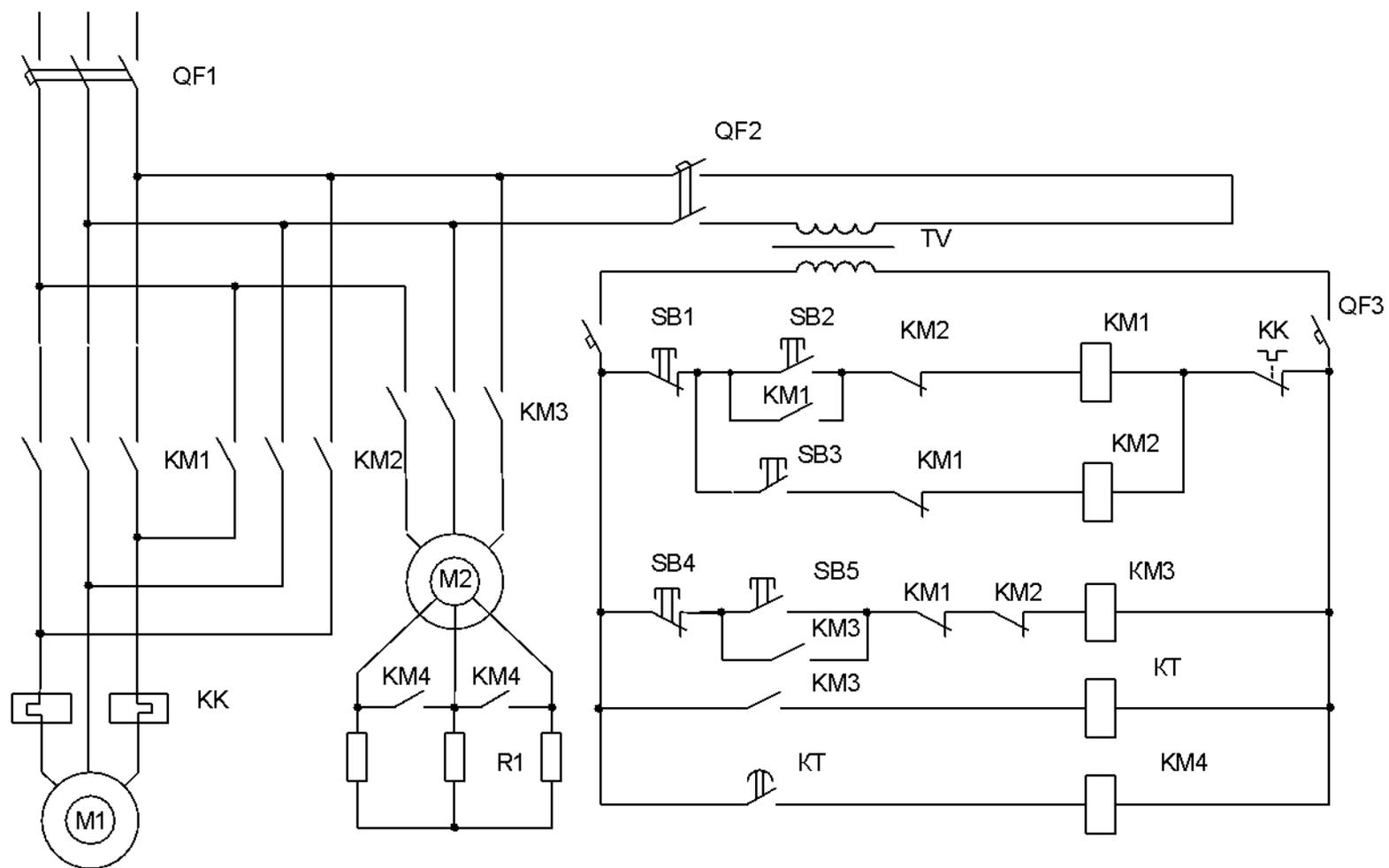
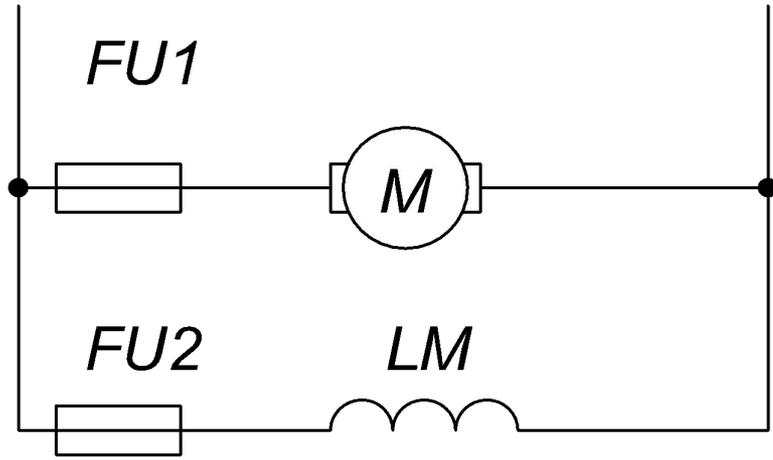


Схема 15





# **2.Тепловые процессы в электрических аппаратах.**

# НАГРЕВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ИСТОЧНИКИ НАГРЕВА:

1. Джоулево тепло, выделяющееся в обмотках аппарата. (Это количество тепла, выделяемое в приемнике, которое пропорционально его  $R$ ,  $t$  и  $I^2$ ,  $\text{Вт} \cdot \text{с} = \text{Дж}$ ).

$$Q = I^2 R t$$

2. Нагрев магнитопровода за счет потерь на перемагничивание (гистерезис) и вихревые токи.

3. Диэлектрические потери в изоляционных материалах.

# НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТАХ

1.Расширение тел при нагреве -  
(биметаллические тепловые реле —  
электроутюг).

2.Создание неблагоприятных тепловых условий в одном аппарате, его разрушение и в результате защита других аппаратов (плавкие предохранители).

3. Преобразование электрической энергии отключаемой цепи в тепловую энергию и рассеивание этого тепла с помощью дугогасительного устройства в окружающую среду.

# РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Режимы работы электрических аппаратов в условиях эксплуатации весьма разнообразны. Аппараты могут работать с полной нагрузкой как длительное время (например, трансформаторы на электрических станциях), так в течение относительно короткого промежутка времени (реле, контакторы). В современных установках электрические аппараты весьма часто имеют циклический режим работы.

При различных режимах работы электрические аппараты нагреваются неодинаково.

Согласно государственным стандартам электрические аппараты изготавливают для трех основных номинальных режимов работы:

**1.продолжительного,**

**2.кратковременного,**

**3.повторно-кратковременного.**

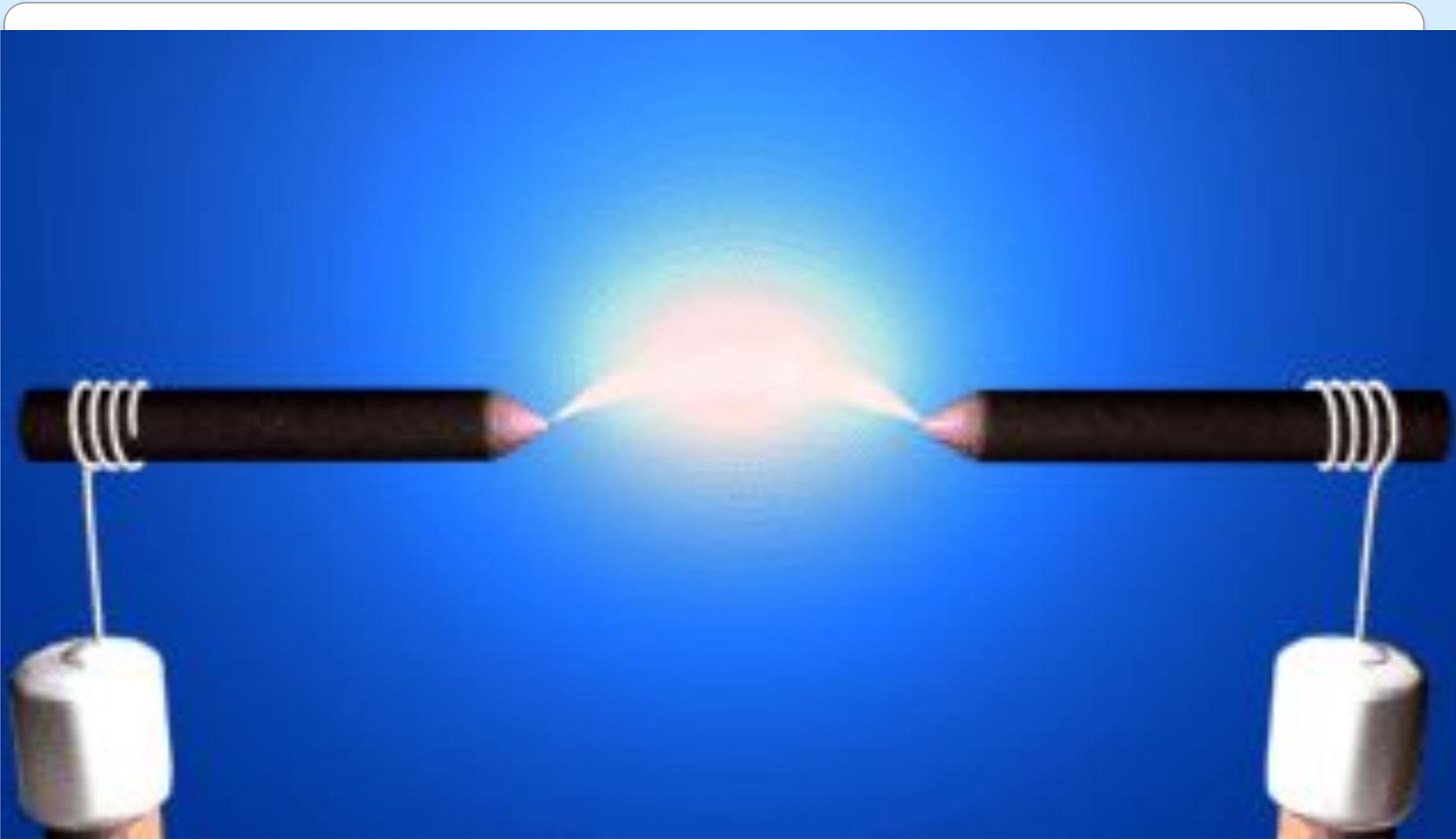
**Продолжительным номинальным режимом** работы электрического аппарата называется режим работы при неизменной номинальной нагрузке, длительность которого такова, что превышения температуры всех частей электрического аппарата при неизменной температуре охлаждающей среды достигают практически установившихся значений.

***Кратковременным номинальным режимом*** работы электрического аппарата называется режим работы, при котором периоды неизменной номинальной нагрузки (при неизменной температуре охлаждающей среды) чередуются с периодами отключения аппарата. При этом периоды нагрузки не настолько длительны, чтобы превышения температуры всех частей электрического аппарата могли достигнуть практически установившихся значений, а периоды остановки настолько длительны, что все части аппарата приходят в практически холодное состояние.

***Повторно-кратковременным номинальным режимом*** работы электрического аппарата называется режим работы, при котором кратковременные периоды неизменной номинальной нагрузки (рабочие периоды) при неизменной температуре окружающей среды чередуются с кратковременными периодами отключения аппарата (паузами).

Как рабочие периоды, так и паузы не настолько длительны, чтобы превышения температуры отдельных частей аппарата могли достигнуть установившихся значений.

# **Гашение электрической дуги**



При размыкании электрических цепей с помощью контактов электрических аппаратов (выключателей, автоматов, рубильников, контакторов) обычно на этих контактах возникает дуговой разряд, если величины тока и напряжения превосходят некоторые критические значения.

**ДУГА** – это явление прохождения электрического поля через газ, который под действием различных факторов ионизируется.

Известно четыре основных пути появления в дуговом промежутке электрических зарядов –  
**ударная и  
термическая ионизация,  
термо- и  
автоэлектронная эмиссии.**

**Ионизация** — это процесс  
появления в дуговых промежутках  
электрических зарядов —  
положительных ионов и  
отрицательных электронов.

ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ – это явление испускания электронов из раскаленной поверхности катода.

После разрыва жидкометаллического мостика на катоде образуется пятно, которое и является основанием дуги. Под действием температуры этого пятна электроны получают энергию для преодоления потенциального барьера и выскакивают с электрода в пространство.

Количество электронов в результате термоэлектронной эмиссии невелико и этот процесс служит для разжигания дуги, т.е. является инициатором возникновения дуги. Но его недостаточно для поддержания горения. Наряду с этим процессом возникает процесс автоэлектронной эмиссии.

АВТОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ – это явление испускания электронов из катода под действием сильного электрического поля. (Напряженность электрического поля  $>100$  МВ/см).

Этот процесс тоже незначительный, он также может служить только началом развития дугового разряда.

Таким образом, возникновение дугового разряда объясняется наличием термоэлектронной и автоэлектронной эмиссий.

Основные два процесса, которые поддерживают дугу это:

1.термическая ионизация – процесс ионизации под воздействием высокой температуры (основной вид ионизации).

2. Ударная ионизация. Температура ствола дуги достигает 7000 К. Под действием этой высокой температуры возрастает число и скорость движения заряженных частиц. При этом они соударяются, электрон при столкновении с нейтральной частицей может выбить из нее электрон. В результате получается свободный электрон и положительный ион. Вновь полученный электрон может, в свою очередь, ионизировать следующую частицу.

## ПРОЦЕССЫ ДЕИОНИЗАЦИИ (гашение

дуги):

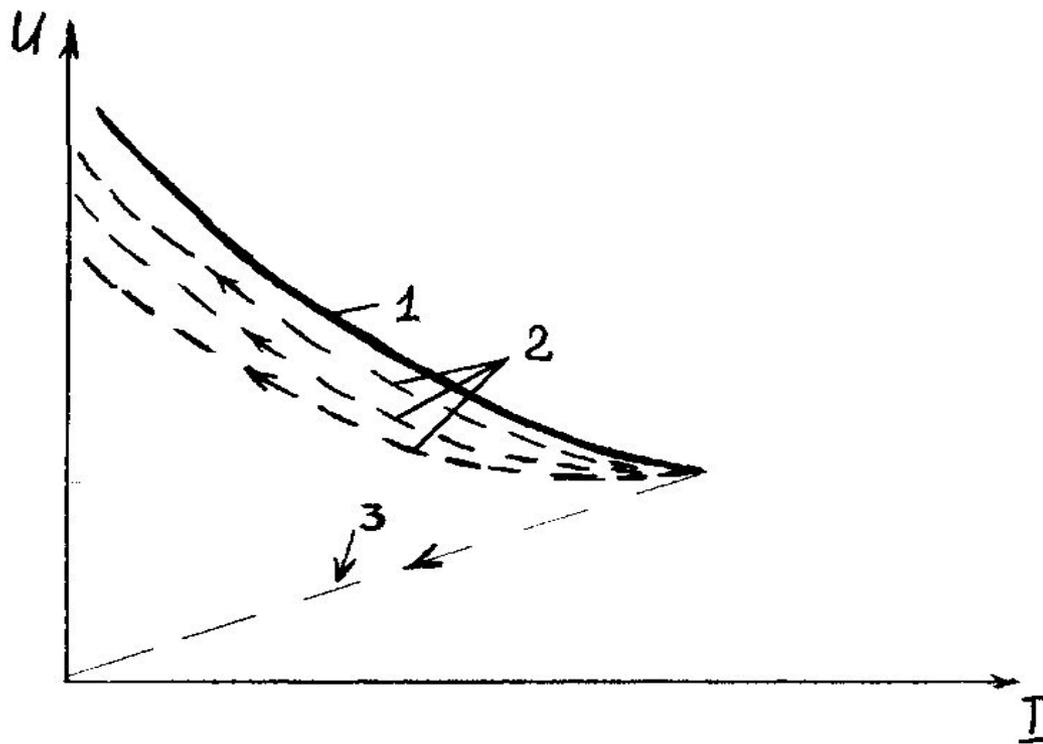
- Рекомбинация – процесс образования нейтральных атомов при соударении разноименно заряженных частиц.
- Диффузия – это процесс выноса заряженных частиц из дугового промежутка в окружающее пространство, что уменьшает проводимость дуги. (Вынос заряженных частиц с помощью магнитного поля).

## ВАХ ДУГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Основной характеристикой электрической дуги является вольтамперная характеристика, т.е. зависимость падения напряжения на дуге от величины тока. При свободном горении дуги ВАХ дуги имеет падающий характер – с увеличением тока в дуге напряжение на ней уменьшается, т.к. сопротивление дуги уменьшается обратно пропорционально квадрату тока.

Падение напряжения на дуге зависит не только от величины тока, но также от скорости его изменения. При медленном изменении тока процессы ионизации и деионизации успевают следовать за изменениями тока, вольтамперная характеристика, снятая при таком условии, носит название статической.

При быстром изменении тока дуговой промежуток не успевает прийти в соответствие с величиной тока в цепи и напряжение на дуге будет уже не таким, как при медленном изменении тока. Характеристику дуги для такого случая называют динамической.



Чтобы погасить дугу постоянного тока, необходимо создать такие условия, при которых в дуговом промежутке при всех значениях тока от начального до нулевого процессы деионизации превосходили бы процессы ионизации.

Для цепи, содержащей активное сопротивление  $R$ , индуктивность  $L$  и дуговой промежуток с падением напряжения  $U_d$  цепи, к которой приложено напряжение источника тока  $U$ , будет в любое время справедливо уравнение:

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

**Дуга переменного тока обычно гасится легче, чем дуга постоянного тока.**

**Чтобы погасить дугу постоянного тока, надо насильственно свести к нулю ток цепи путем непрерывного увеличения сопротивления дугового столба.**

**При переменном токе этого делать не требуется, здесь через каждый полупериод ток естественным путем проходит через нулевой значение и надо лишь воспользоваться этим обстоятельством и создать вблизи перехода через нуль такие условия в межконтактном промежутке, чтобы протекание тока цепи вслед за этим переходом не возобновлялось.**

При устойчиво горящей дуге

$$\frac{di}{dt} = 0 \quad U = U_{\text{д}} + iR$$

Для погасания дуги необходимо, чтобы ток в ней все время уменьшался. Это означает, что

$$\frac{di}{dt} < 0 \quad U_{\text{д}} > U - iR$$

## СПОСОБЫ ГАШЕНИЯ ДУГИ

Для дуг постоянного и переменного токов существуют следующие способы гашения дуги:

### 1.МЕХАНИЧЕСКОЕ РАСТЯГИВАНИЕ

(только для “—” тока). Простейший способ гашения, но малоэффективен. Применим только в слаботочной аппаратуре.

**2.ДЕЛЕНИЕ ДУГИ НА РЯД КОРОТКИХ ДУГ** (применяется как на постоянном, так и на переменном токе).

Это гашение дуги с помощью дугогасительной решетки. Способ этот предложен еще в начале века русским ученым М. О. Доливо-Добровольским и до сих пор широко применяется.

При расхождении контактов возникшая между ними дуга под воздействием магнитного поля движется на пластины и разбивается на ряд коротких дуг.

### **3.ГАШЕНИЕ ДУГИ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ**

**(применяется как на постоянном, так и на переменном токе). С ростом давления возрастает плотность газа, при этом увеличивается теплопроводность и отвод тепла от дуги. На этом принципе основано гашение дуги в предохранителях и других аппаратах низкого напряжения. (В некоторых аппаратах стенки дугогасящей камеры делаются из газогенерирующих материалов – например, фибры. Благодаря высокой температуре дуги такие стенки выделяют газ и давление в объеме поднимается до 10-15 МПа.).**

## **4.ГАШЕНИЕ ДУГИ В ПОТОКЕ СЖАТОГО**

**ВОЗДУХА.** В электрических аппаратах высокого напряжения коммутируются токи в десятки кА при напряжении  $10^6$  В. Для решения такой сложной задачи используется воздействие на электрическую дугу потока сжатого воздуха или других газов.

Сжатый воздух обладает высокой плотностью и теплопроводностью. Омывая дугу с большой скоростью, он охлаждает ее и при прохождении тока через нуль обеспечивает деионизацию дугового столба.

## 5. ГАШЕНИЕ ДУГИ В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ..

Контакты выключателя погружаются в масло. Возникающая при разрыве дуга приводит к интенсивному испарению окружающего масла.

Вокруг дуги образуется газовая оболочка – газовый пузырь, состоящий в основном из водорода (70-80%) и паров масла.

Водород, обладающий наивысшими среди газов дугогасящими свойствами (обладает исключительно высокой теплопроводностью), наиболее тесно соприкасается со стволем дуги.

Выделяемые газы проникают непосредственно в зону ствола дуги, создают интенсивное охлаждение и деионизацию промежутка. Быстрое разложение масла приводит к повышению давления внутри пузыря, что также способствует гашению дуги.

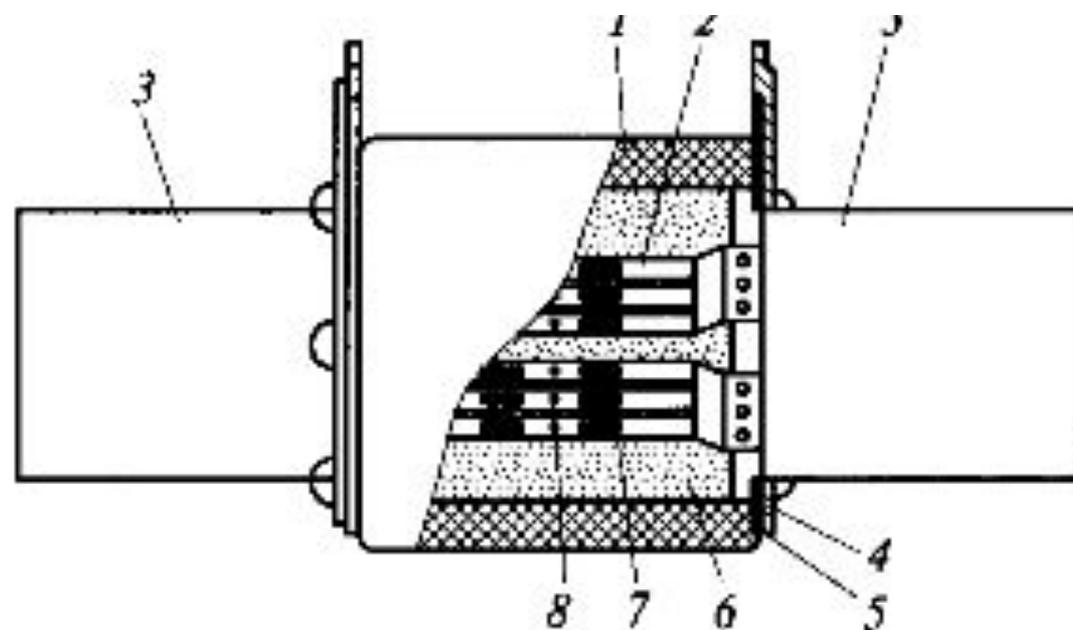
## **6. ГАШЕНИЕ ДУГИ В ВАКУУМНОЙ СРЕДЕ**

**(применяется как на постоянном, так и на переменном токе). В вакуумном ДУ (дугогасительном устройстве) контакты расходятся в среде с давлением  $10^{-4}$  Па ( $10^{-6}$  мм рт.ст.), при котором плотность воздуха мала.**

**Длина свободного пробега молекул достигает 50 и электронов – 300 м. В вакууме очень высокая скорость диффузии из-за большой разницы плотностей частиц в дуге и окружающем ее вакууме.**

Практически через 10 мкс после нуля тока между контактами восстанавливается электрическая прочность вакуума. Быстрая диффузия частиц, высокие электрическая прочность вакуума и скорость ее восстановления обеспечивают гашение дуги при первом прохождении тока через нуль.

Вакуумные ДУ являются в настоящее время наиболее эффективными и долговечными. Их срок службы достигает 25 лет.



**Рис. 4.9. Предохранитель серии ПН-2:**

**1 — корпус; 2 — плавкая вставка; 3 — выводы; 4 — крышка; 5 — асбестовая прокладка; 6 — кварцевый песок; 7 — просечки; 8 — оловянный шарик**

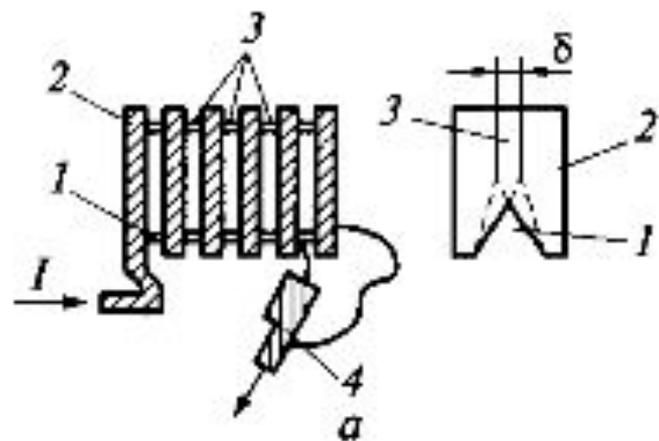
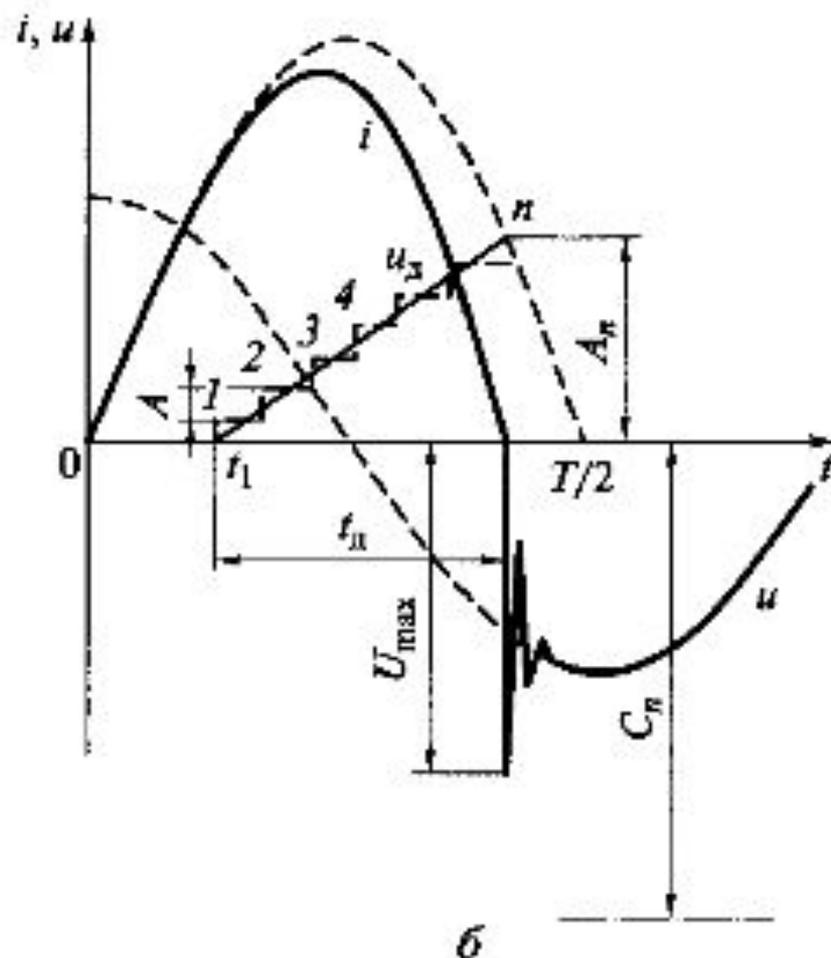


Рис. 9.4. Схема и график, поясняющие процесс гашения дуги в деионной решетке:

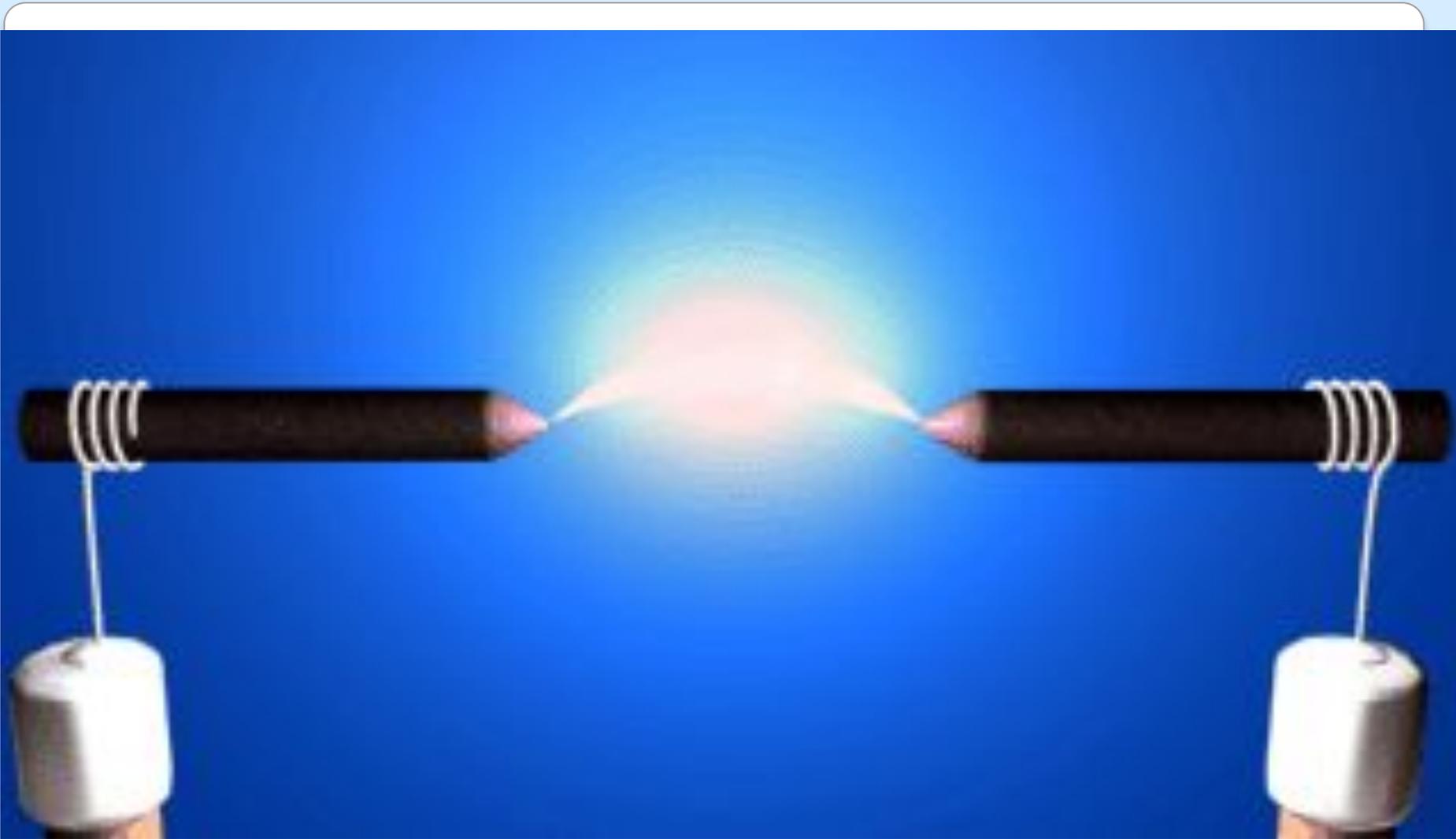
*a* — схема дутогасящего устройства; *b* — график изменения тока и напряжения дуги от времени; 1 — дуга; 2 — стальные пластины; 3 — короткие дуги; 4 — подвижный контакт



**8.ГАШЕНИЕ ДУГИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ** (применяется как на постоянном, так и на переменном токе). Электрическая дуга является своеобразным проводником с током, который может взаимодействовать с магнитным полем. Сила взаимодействия между током дуги и магнитным полем перемещает дугу, создается так называемое магнитное дутье. В ДУ с магнитным дутьем может быть применено либо последовательное либо параллельное подключение катушки

## **7.ГАШЕНИЕ ДУГИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ специального газа - элегаза**

**Элегаз обладает высокой теплопроводностью. он охлаждает дугу и при прохождении тока через нуль обеспечивает деионизацию дугового столба.**







# **3. Электрические контакты.**

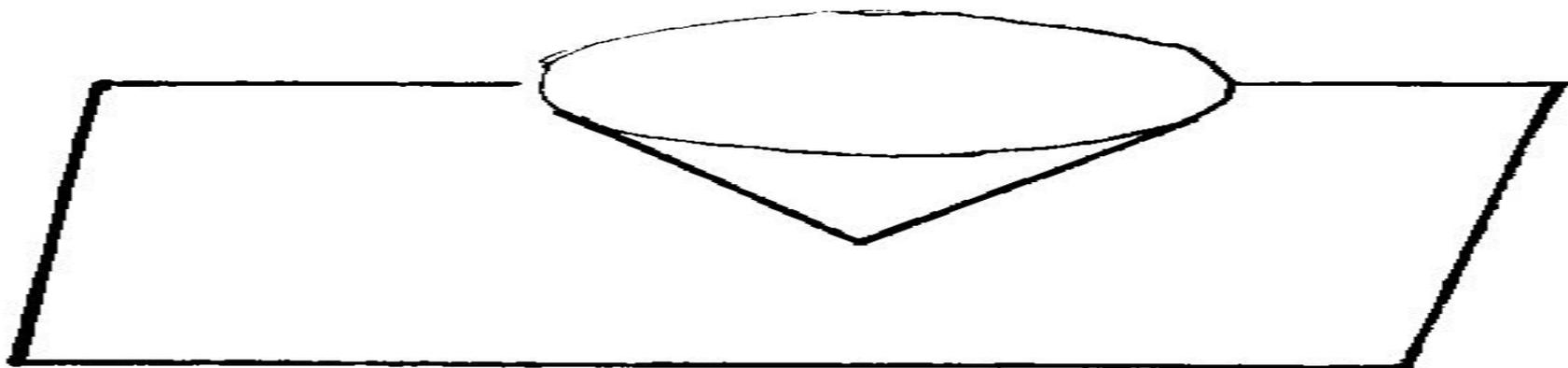
**Электрический контакт – это место перехода тока из одной детали (токоведущей детали, осуществляющей контакт) в другую.**

**Контакты бывают –**

- 1) неразъемные (болтовое соединение двух шин)**
- 2) скользящие (реостат, ЛАТР)**
- 3) коммутирующие.**

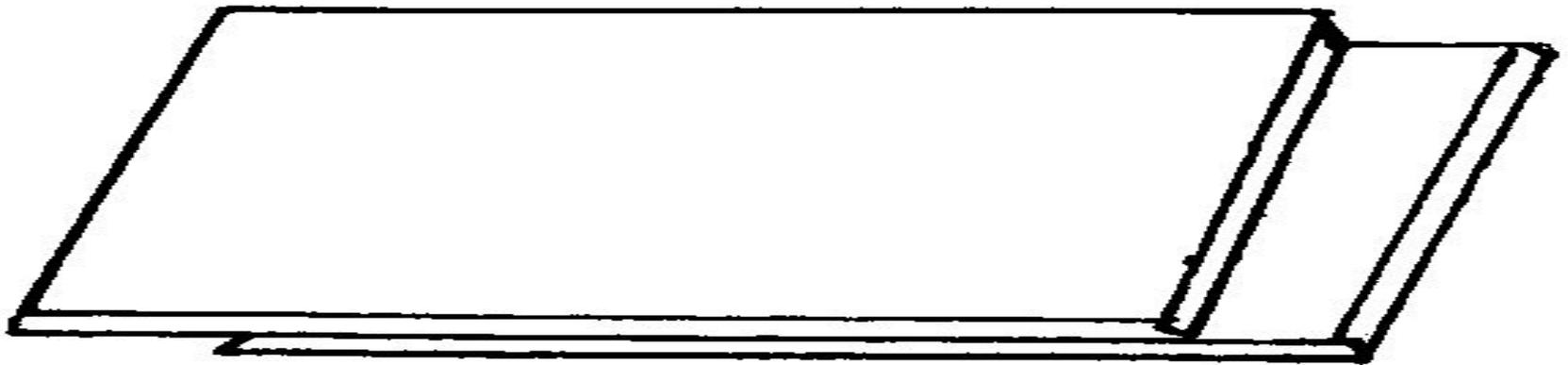
**По форме контакты  
разделяют на следующие  
группы:**

**ТОЧЕЧНЫЕ** – т.е. контакт происходит в одной точке. При точечном контакте контактные нажатия небольшие и для уменьшения сопротивления контактов применяют драгоценные металлы, не образующие окиси.

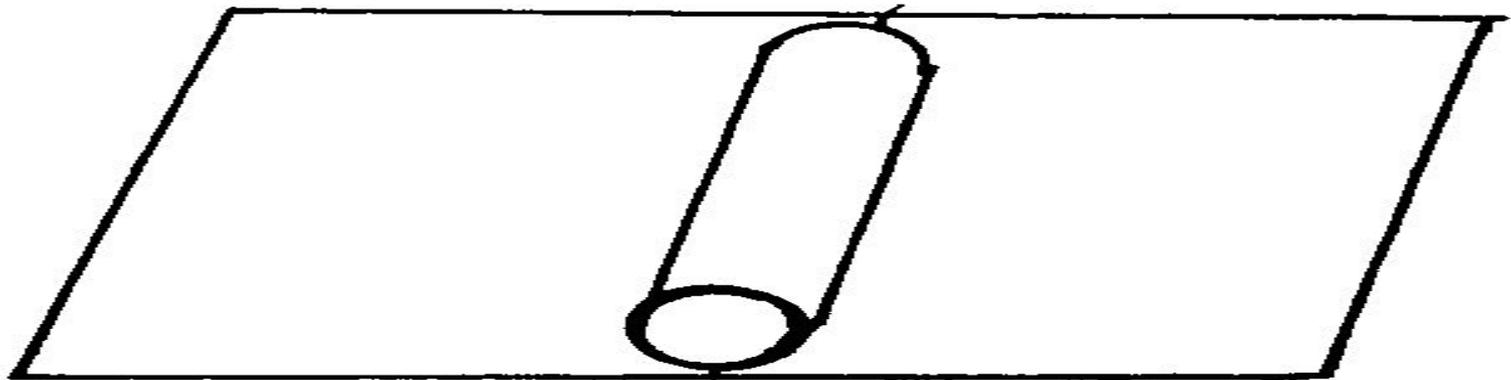


# ПОВЕРХНОСТНЫЕ

–  
контактирование между двумя  
поверхностями. Применяются при  
больших токах, создается высокая  
степень нажатия, благодаря чему в  
некоторых местах поверхность  
очищается от окислов.



**ЛИНЕЙНЫЕ** – условное контактирование происходит по линии. В этом случае можно создать большую степень нажатия. Эти контакты выполняются так, что цилиндр во время контактирования перемещается по плоскости и окислы стираются. Для этих контактов применяют медь.



# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

- РАСТВОР – наименьшее расстояние между полностью разомкнутыми контактами. Его величина определяется условиями гашения дуги, родом и величиной тока.

• **ПРОВАЛ** – расстояние, которое проходит до полной остановки подвижный контакт после первого соприкосновения с неподвижным, если неподвижный убрать.

Провал дает возможность компенсировать износ контактов, поэтому чем больше провал, тем больше срок службы контактов, но это требует и более мощную магнитную систему.

# **КОНТАКТНОЕ НАЖАТИЕ –**

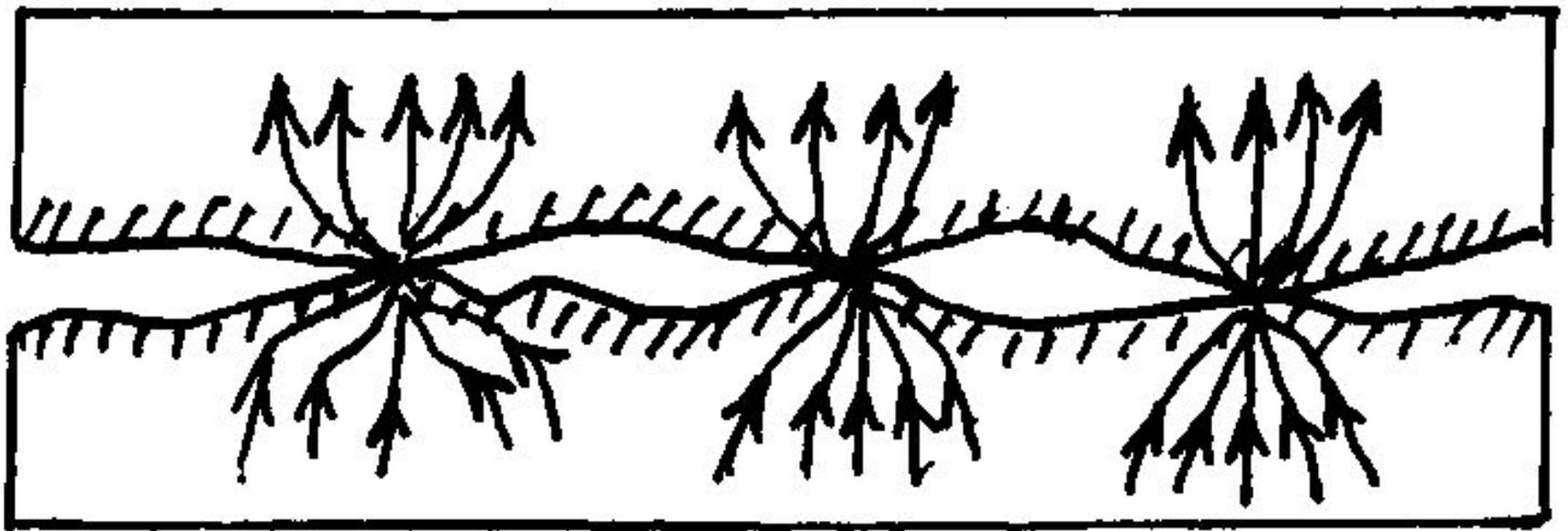
**это сила, сжимающая  
контакты деталей в месте их  
соприкосновения.**

# ПЕРЕХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОНТАКТОВ ВО ВКЛЮЧЕННОМ СОСТОЯНИИ

**Существование переходного сопротивления контактов (ПСК) связано с:**

- 1.наличием окисных пленок на поверхности контактов;**
- 2.при соприкосновении контактов контактирование происходит не по поверхности, а в некоторых отдельных точках.**

# КАРТИНА ПРОТЕКАНИЯ ТОКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КОНТАКТЕ



**Суммарное сопротивление  
контактов:**

$$R_k = R_{пл} + R_{ст}$$

**$R_{пл}$  – сопротивление плёнок;  
 $R_{ст}$  – сопротивление  
стягивания.**

**Для слабых контактов  
наибольшее влияние оказывает  
первая составляющая -**

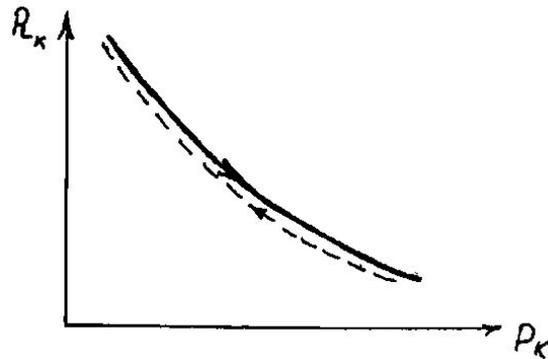
$$R_{пл}$$

**Для сильных контактов -**

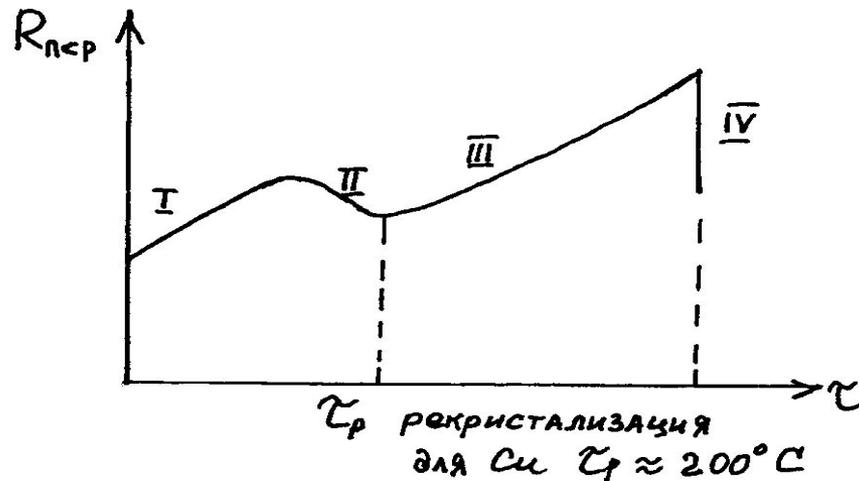
$$R_{ст}$$

# ПЕРЕХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЗАВИСИТ ОТ:

## 1. Величины контактного нажатия:



## 2. От температуры:



### 3. От состояния поверхности контактов

Шлифовка контактной поверхности увеличивает ПС. Контакты сильноточных аппаратов должны зачищаться только крупнозернистыми напильниками, но не наждачной шкуркой. При шлифовке бугорки на поверхности становятся более пологими и смятие их затрудняется.

## 4. От материала контактов

У меди ПС с течением времени увеличивается в 1000 раз в отключенном состоянии и в сотни раз во включенном. Поэтому для медных контактов, находящихся длительное время во включенном состоянии, необходимо через каждые 8 часов отключать контакты и пару раз включить их под нагрузкой. При этом сжигаются (дуга) окислы и ПС уменьшается.

**Окислы серебра имеют практически такое же сопротивление как и серебро, поэтому с течением времени это сопротивление не изменяется.**

**Конструктивное  
исполнение, износ  
контактов**

# КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ КОНТАКТОВ

На малые токи контакты выполняются в основном точечными.

Контакты, рассчитанные на средние и большие токи, делятся на следующие группы.

1.РЫЧАЖНЫЕ – в них применяется проскальзывание подвижного контакта по неподвижному для стирания окислов, в качестве материала контактов применяется медь.

2.МОСТИКОВЫЕ – контакт осуществляется в точке сфера-сфера. Применяется для прямоходовых магнитных систем. В качестве материала используется серебро и его сплавы.

3.ВРУБНЫЕ – применяются в  
низковольтной аппаратуре  
(рубильники, предохранители).  
Материал – медь.

4.РОЛИКОВЫЕ – предназначены  
для токосъема.

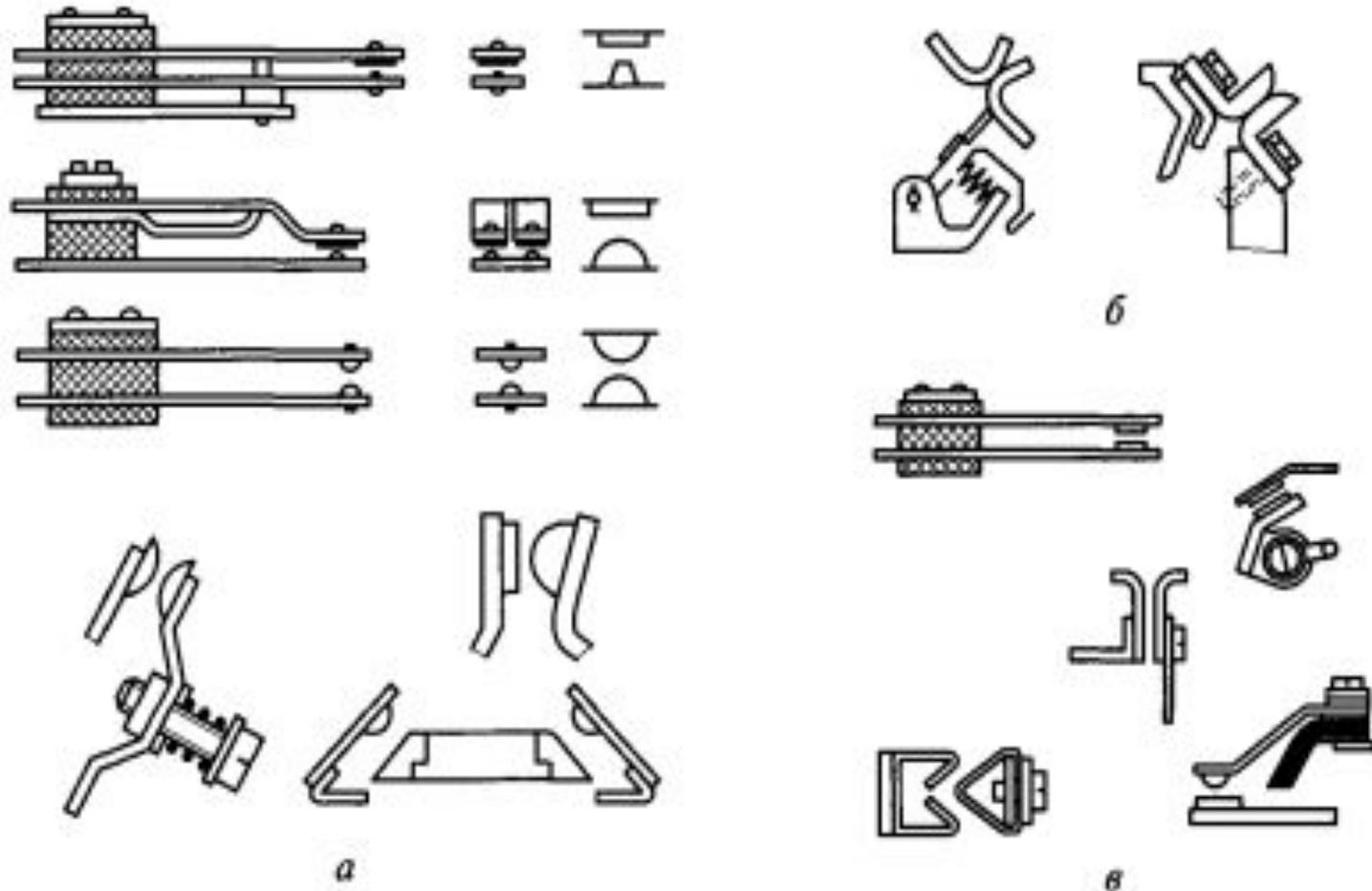


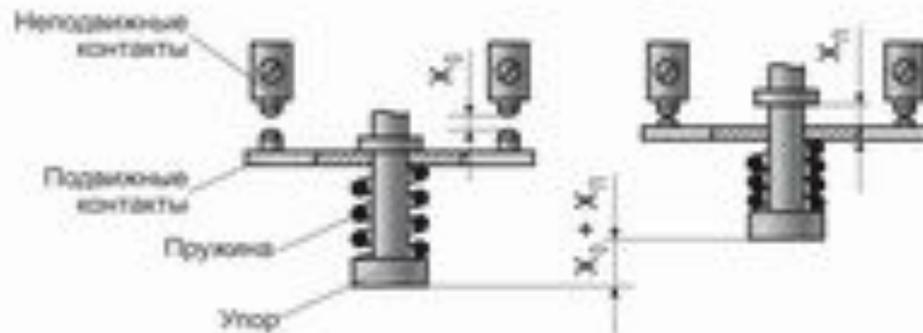
Рис. 2.6. Точечные (а), линейные (б) и плоскостные (в) электрические контактные соединения

## Конструктивные типы контактов

Основные типы контактов

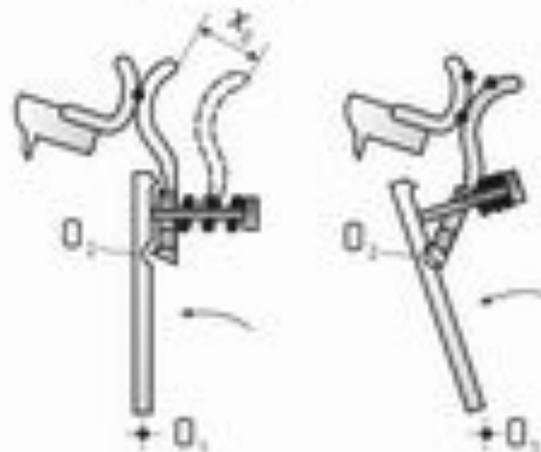
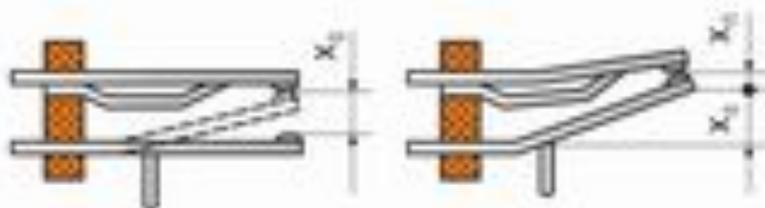


Мостиковый контактный узел



Узел с перекатывающимися контактами

Рычажный контактный узел



5.ТОРЦЕВЫЕ – контактирование по плоскости, контакт имеет большое переходное сопротивление и используется преимущественно как дугогаситель.

6. ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ КОНТАКТ –  
содержащий главные контакты и  
дугогасительные контакты (большие  
токи – при включении замыкаются  
вначале дугогасящие, а потом  
главные, а при отключении наоборот).

## МАТЕРИАЛЫ КОНТАКТОВ

### **Основные требования:**

1. высокая электро- и теплопроводность;
2. высокая коррозионная стойкость;
3. стойкость к образованию окисных пленок с высоким удельным сопротивлением;
4. высокая твердость для исключения механического износа при частых коммутациях;
5. малая твердость для уменьшения силы контактного нажатия;
6. высокая дугостойкость (температура плавления);
7. простота обработки и низкая стоимость.

# МЕДЬ

## Достоинства:

- высокая электро- и теплопроводность;
- высокие значения порогов дугообразования;
- относительно малая стоимость.

Недостаток: - наличие окисных пленок с высоким удельным сопротивлением.

Область применения: шины, контакты аппаратов, рассчитанные на сильно высокие токи.

# СЕРЕБРО

## Достоинства:

- высокая проводимость;.

## Недостатки:

- твердость;
- высокая стоимость.

Область применения: контакты, накладки главных контактов 2<sup>x</sup> ступенчатых контактных систем.

# АЛЮМИНИЙ

## Достоинства:

- легкий в обработке;
- низкая цена.

Недостаток: неудаляемость окисной пленки с высоким удельным сопротивлением.

Область применения: шины, провода.

# ПЛАТИНА, ЗОЛОТО

Достоинства: что и у серебра.

Недостатки:

- малая дугостойкость;
- высокая стоимость.
- Область применения: выводы микросхем, разъемы.

# ВОЛЬФРАМ

## Достоинства:

- высокая дугостойкость и твердость;
- стойкость против эрозии и сваривания.

## Недостатки:

- высокое удельное сопротивление;
- образование сульфидных и окисных пленок.

Область применения – в качестве дугогасительных контактов.

## МЕТАЛЛОКЕРАМИКА

Результат спекания порошка вольфрама, серебра, меди, никеля. В результате полученный материал обладает всеми положительными качествами перечисленных компонентов.

## ИЗНОС КОНТАКТОВ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ

При размыкании контактов количество площадок контактирования уменьшается и, наконец, остается одна площадка, которая под действием тока разогревается, металл в этом месте расплавляется и возникает жидкометаллический мостик, который впоследствии рвется.

Вследствие чего возникает либо электрическая искра, либо электрическая дуга. Все определяется порогом дугообразования

$$U_{д}, I_{д}.$$

## ИЗНОС КОНТАКТОВ ПРИ МАЛЫХ ТОКАХ

Если

$$I < I_{д}, \quad \text{а} \quad U < U_{д}$$

появляется электрическая искра.

Возможны 2 процесса износа:

- 1.износ, связанный с образованием окисных пленок или коррозия;
- 2.износ, связанный с переносом материала контактов с одного на другой и в окружающую среду под действием электрического поля. Он называется эрозией контакта.

# ИЗНОС КОНТАКТОВ ПРИ БОЛЬШИХ ТОКАХ

Возникает, если

$$I > I_{д}, U > U_{д}$$

, т.е. появляется электрическая дуга.

Износ зависит:

- 1) От количества размыканий контактов  
(линейная зависимость от числа размыканий)
- 2) От напряженности магнитного поля (с увеличением  $H$  износ уменьшается)  
При малых  $H$  дуга горит в основном на одних и тех же опорных площадках (точках) – износ достаточно велик. При увеличении  $H$  дуга перемещается к поверхности контакта – износ снижается.

3. От напряжения. При наличии магнитного поля дуга покидает межконтактный промежуток уже при зазоре 1...2 мм, поэтому износ от  $U$  практически не зависит.

4. От тока (зависимость линейная). Чем больше ток, тем больше износ контактов.

5. От скорости расхождения контактов. При наличии поля износ от скорости практически не зависит. При отсутствии поля зависимость обратная, т.е. чем больше скорость расхождения, тем износ меньше.

# ИЗНОС КОНТАКТОВ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ

Износ контактов при включении имеет дуговой характер и существует за счет дребезга контактов

Износ контактов при включении зависит от:

1. предварительной деформации контактной пружины или начального контактного нажатия
2. жесткости контактной пружины
3. соотношения тяговой и механической характеристик

Подв.



Неподв

[www.etalprod.ru](http://www.etalprod.ru)





# 4. Электромагниты

Магнитной цепью называются совокупность деталей и воздушных зазоров, через которые замыкается магнитный поток.

Различают разветвленные и неразветвленные магнитные цепи.

# НЕРАЗВЕТВЛЕННАЯ МАГНИТНАЯ ЦЕПЬ:

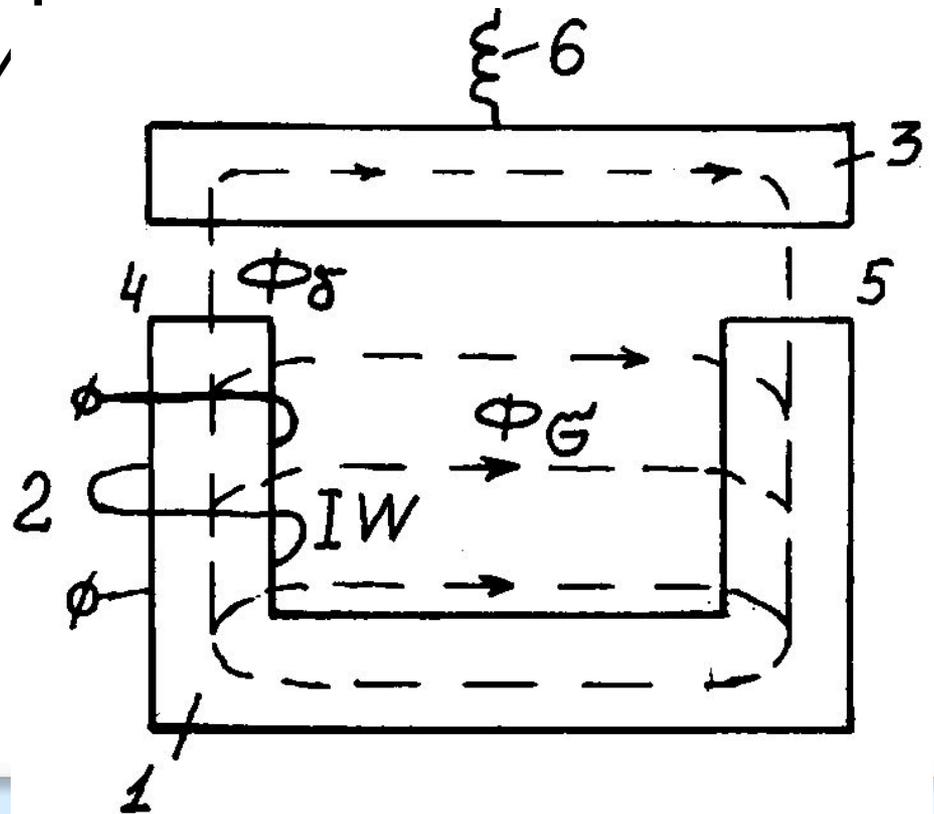
1 – сердечник

2 - катушка электромагнита

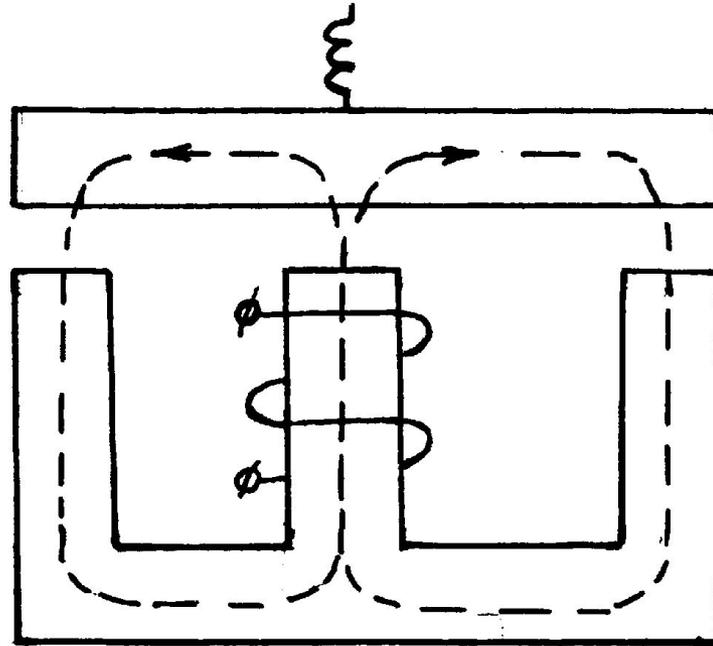
3 – якорь

4-5 - воздушный зазор

6 - возвратная пружи



# РАЗВЕТВЛЕННАЯ МАГНИТНАЯ ЦЕПЬ



Воздушный зазор изменяется при перемещении якоря.

Магнитная цепь характеризуется следующими параметрами:

- Магнитным потоком  $\Phi$  (фи) в веберах (Вб);
- Магнитной индукцией  $B = \Phi/S$  в теслах (Тл);
- Напряженностью магнитного поля  $H$  в амперах на метр (А/м);
- Магнитной проницаемостью  $\mu = B/H$  в генри на метр (Гн/м);
- Магнитодвижущей силой  $F = IW$  в амперах (А).

Между магнитными и электрическими цепями имеется формальная аналогия для следующих величин.

## Электрическая цепь

$I$  – электрический ток

$E$  – э.д.с.

$R$  – электрическое  
сопротивление

$U=RI$  – электрическое  
напряжение

$\sum I_i = 0$  – первый з-н  
Кирхгофа

$\sum E = \sum U = \sum IR$  – второй  
з-н Кирхгофа

## Магнитная цепь

$\Phi$  – магнитный поток

$F=IW$  – м.д.с.

$R_M$  – магнитное  
сопротивление

$U_M = HL = R_M \Phi$  –  
магнитное

напряжение

$\sum \Phi_i = 0$  – первый з-н  
Кирхгофа

$\sum F = \sum U_M$  ( $\sum \Phi R_M = \sum IW$ ) –  
второй з-н Кирхгофа.

Магнитное поле создается током намагничивающей катушки.

Чем больше ток ( $I$ ) катушки и чем больше витков она имеет ( $\underline{W}$ ), тем сильнее магнитное поле, поэтому величина  $\underline{F=IW}$  называется магнитодвижущей силой (М.Д.С.), которая рассматривается как причина возникновения магнитного поля.

Магнитопровод выполняется из ферромагнитного материала, который способен намагничиваться, т.е. усиливать магнитное поле, создаваемое током, при этом необходимый намагничивающий ток для создания определенного поля уменьшается в сравнении со случаем отсутствия магнитопровода.

Кроме того, магнитопровод направляет поле, создаваемое катушкой, в нужную сторону.

# ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ

Магнитные цепи широко используются в трансформаторах и электрических машинах. Свойство катушек переменного тока изменять свое сопротивление с изменением воздушного зазора используется для:

**1.создания индукционных датчиков перемещения.** Перемещение якоря ведет к изменению тока, т.е. ток становится мерой перемещения

## **2.создания бесконтактных датчиков перемещения машин.**

Катушка, размещенная на сердечнике без якоря устанавливается рядом с трассой движения какой-либо машины.

Когда машина проходит мимо сердечника, ее железная масса играет роль приближающегося якоря, что ведет к снижению тока.

Контролируя ток, можно установить момент приближения машины к точке контроля

## **3. регулирования величины сварочного тока.**

Катушка включается последовательно со сварочным агрегатом.

При большом зазоре ее сопротивление мало и сварочный ток – большой.

При малом зазоре наоборот.

**Способность электромагнитов притягивать близко расположенные ферромагнитные тела используется в тяговых электромагнитах.**

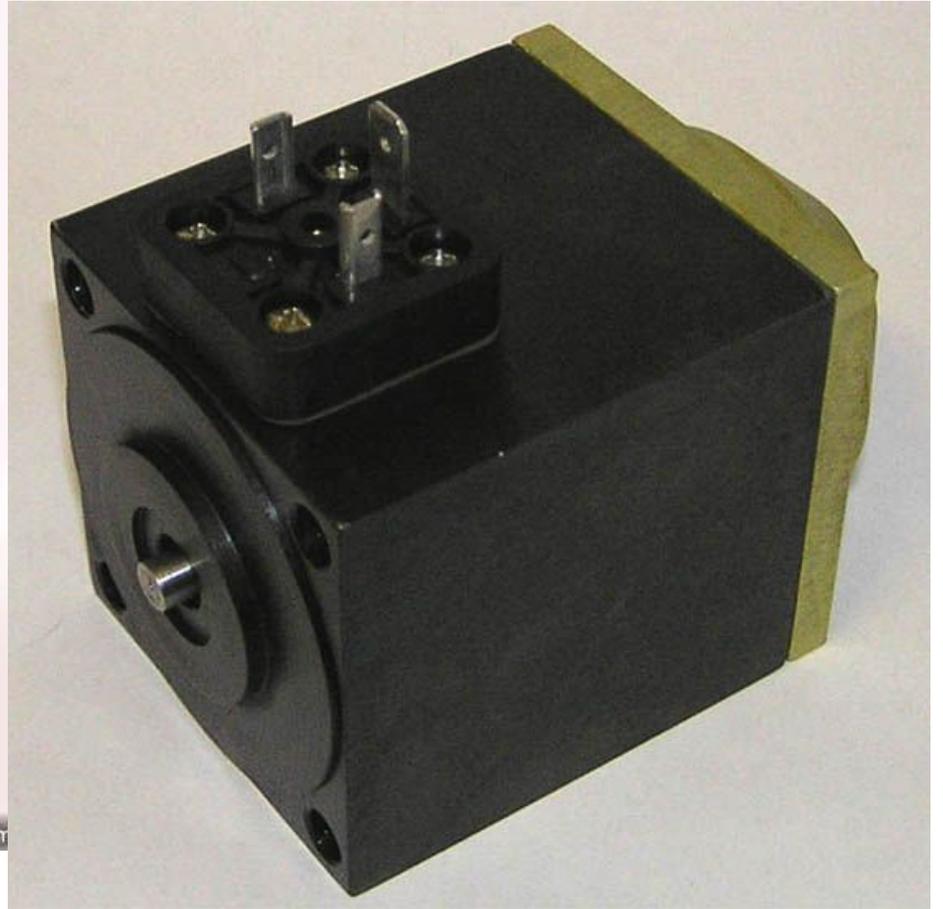
Ток, проходя по катушке неподвижного сердечника, создает поток. По сторонам воздушного зазора образуются два противоположных полюса (там, откуда выходят силовые линии – северный полюс N, куда входят – южный S).

Противоположные полюса притягиваются, т.е. возникают силы, притягивающие подвижный якорь к неподвижному сердечнику.





[www.ati.com](http://www.ati.com)



**Типовые схемы и  
характеристики.  
Параметры  
электромагнитов.**

# ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Электромагнитными** называются устройства, предназначенные для создания в определенном пространстве магнитного поля с помощью обмотки, обтекаемой электрическим током.

В электромагнитах постоянного тока рабочий магнитный поток создается с помощью обмотки постоянного тока.

Действие таких электромагнитов не зависит от направления тока в обмотке, они наиболее экономичны и благодаря разнообразию конструктивных исполнений их легко приспособлять в различных конструкциях к различным условиям работы.

Поэтому они получили наибольшее распространение.

Значительную часть электромагнитов постоянного тока составляют электромагнитные механизмы, используемые в качестве привода для осуществления необходимого перемещения.

Примером подобных электромагнитов являются: тяговые электромагниты, предназначенные для совершения механической работы при перемещении их рабочих органов, электромагниты муфт сцепления и торможения и тормозные электромагниты; электромагниты, приводящие в действие контактные устройства в контакторах, пускателях, автоматических выключателях; электромагниты реле, регуляторов и других чувствительных устройств автоматики.

При всем разнообразии электромагнитов отдельные их узлы имеют общее назначение:

1. катушка с расположенной на ней намагничивающей обмоткой;

2. неподвижная часть магнитопровода (сердечник);

3. подвижная часть магнитопровода (якорь).

Якорь отделяется от остальных частей магнитопровода рабочим и паразитным зазорами и представляет собой часть электромагнита, которая, воспринимая электромагнитное усилие, передает его соответствующим деталям приводимого в действие механизма.

В зависимости от расположения якоря относительно остальных частей электромагнита и характера воздействия на якорь со стороны магнитного потока электромагниты постоянного тока разделяются на следующие типы:

1. электромагниты с втягивающимся якорем;
2. с внешним притягивающимся якорем;
3. с внешним поперечно движущимся якорем.

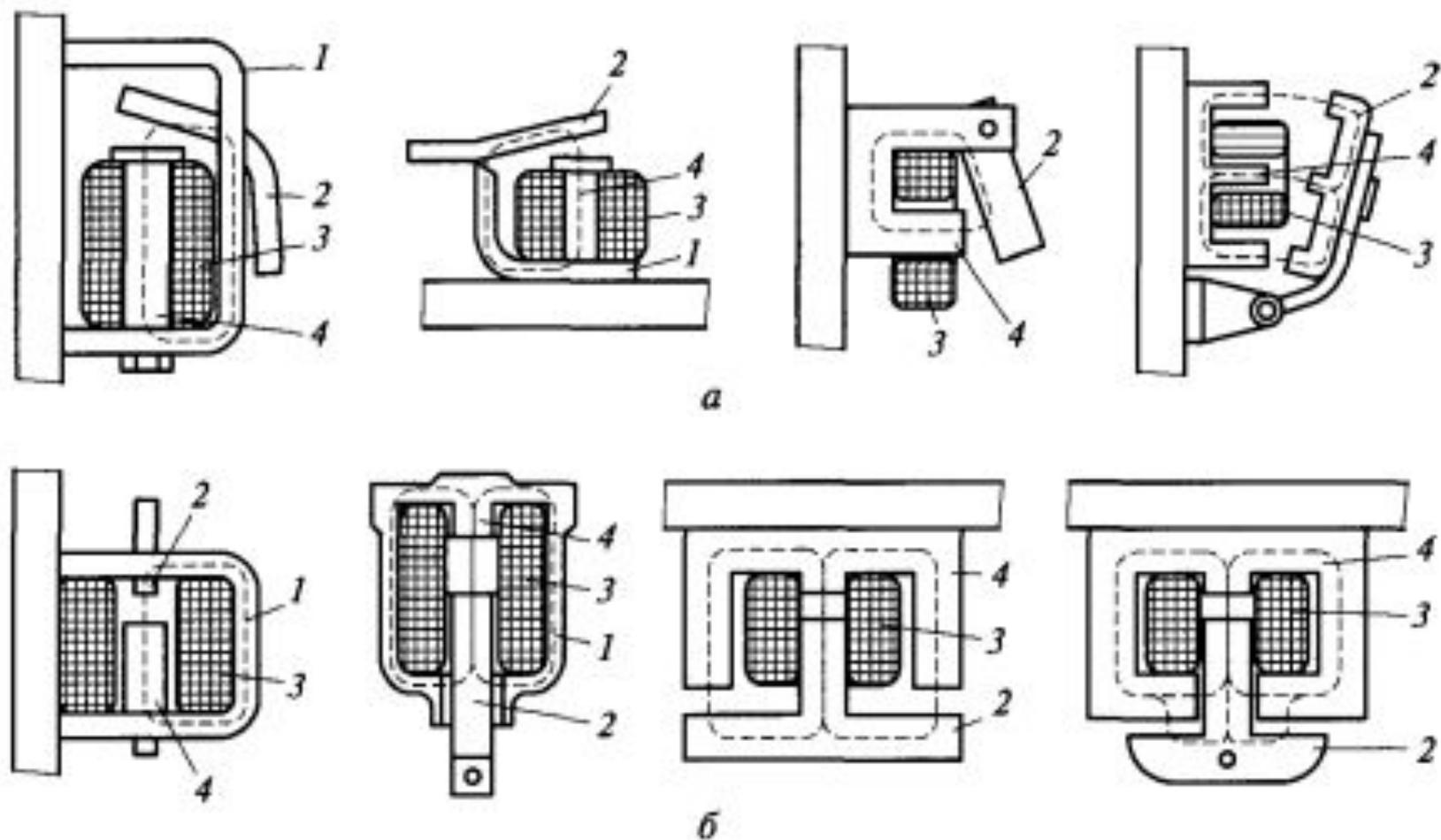


Рис. 7.1. Схемы электромагнитов:

*a* — с поворотным якорем; *б* — с прямоходовым якорем; 1 — скоба; 2 — якорь; 3 — катушка; 4 — сердечник

# ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Широкое распространение имеют электромагниты, питание которых осуществляется от источников переменного тока.

Магнитный поток, создаваемый обмоткой, по которой проходит переменный ток, периодически меняется по величине и направлению (переменный магнитный поток), в результате чего сила электромагнитного притяжения пульсирует от нуля до максимума с удвоенной частотой по отношению к частоте питающего тока.

(В ряде случаев эта пульсация весьма полезна.

Так, благодаря такой характеристике электромагниты переменного тока находят широкое применение в конструкциях вибраторов, электромагнитных молотков и т.д.).

Электромагниты переменного тока, так же как и электромагниты постоянного тока состоят из следующих основных частей: катушка, сердечник, якорь.

Для уменьшения потерь на вихревые токи и перемагничивание, магнитные системы электромагнитов переменного тока выполняют из тонколистовой стали с высоким удельным электрическим сопротивлением.

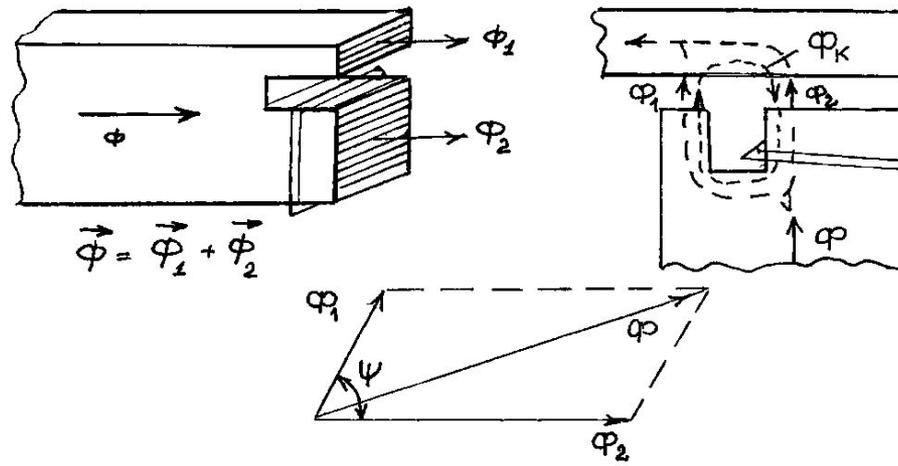
Однако для тяговых электромагнитов снижение электромагнитной силы ниже определенного уровня недопустимо, т. к. это приводит к вибрации якоря, а в определенных случаях и к прямому нарушению нормальной работы.

Поэтому в тяговых  
электромагнитах, работающих при  
переменном магнитном потоке,  
приходится прибегать к  
специальным мерам для  
уменьшения глубины пульсации  
силы.

# СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ ВИБРАЦИИ ЯКОРЯ

- Включение электромагнита на выпрямленное напряжение.
- На стадии изготовления используют короткозамкнутый виток.

В сердечнике электромагнита делается прорезь и около 80% сечения охватывается короткозамкнутым витком, выполненным из материала с высокой электропроводностью



Основным способом уменьшения пульсации суммарной силы, действующей на якорь электромагнита с переменным магнитным потоком, является применение магнитных систем с расщепленными путями магнитного потока, по каждому из которых проходят переменные магнитные потоки, сдвинутые по фазе друг относительно друга.

(В электромагнитах, имеющих однофазную обмотку это достигается применением специальных экранирующих обмоток, которые иногда называют короткозамкнутыми витками. Кроме того, имеются двухфазные и трехфазные электромагниты).





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

