

Электромонтер по ремонту электрооборудования

# ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЙ КУРС



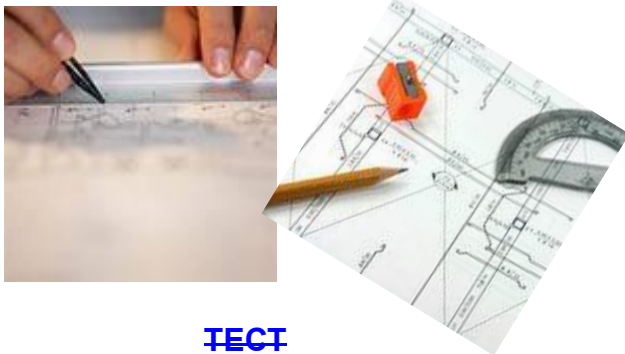
Электроденергия по сравнению с другими видами энергии имеет большое преимущества: простату передачи на расстояния, лёгкость преобразования в другие виды энергии

# ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



ТЕСТ

# ЧТЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ



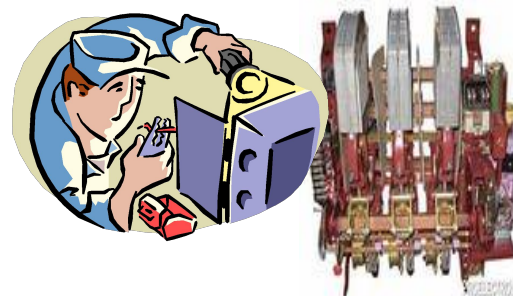
ТЕСТ

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ



ТЕСТ

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА



ТЕСТ

# ЭЛЕКТРОНИКА



ТЕСТ



# ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



## Содержание

Физическая природа электричества

Классификация веществ по электропроводности

Проводниковые материалы

Диэлектрики в электрическом поле

Изоляционные материалы

Классификация изоляционных материалов по нагревостойкости

Полупроводниковые материалы

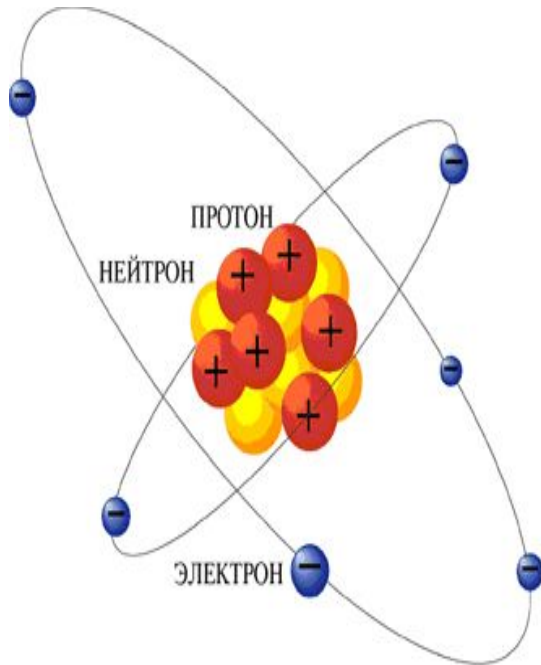




# ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

**Молекула** - предел механического деления вещества. Молекула состоит из атомов.

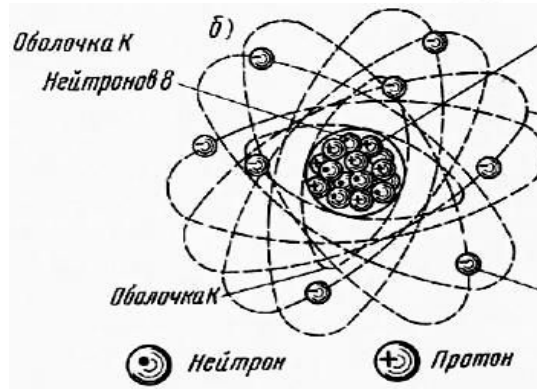
**Атом** состоит из ядра и вращающихся вокруг ядра электронов. В ядре находятся положительно заряженные протоны и не имеющие зарядов нейтроны.



**Протон** – частица, обладающая положительным электрическим зарядом..

**Электроны** –мельчайшие отрицательно заряженные частицы, которые с огромной скоростью вращаются по орбитам вокруг ядра атома.

Заряд электрона  $e=1,6 \times 10^{-20}$  Кл. это наименьшая возможная (неделимая) частица электричества.





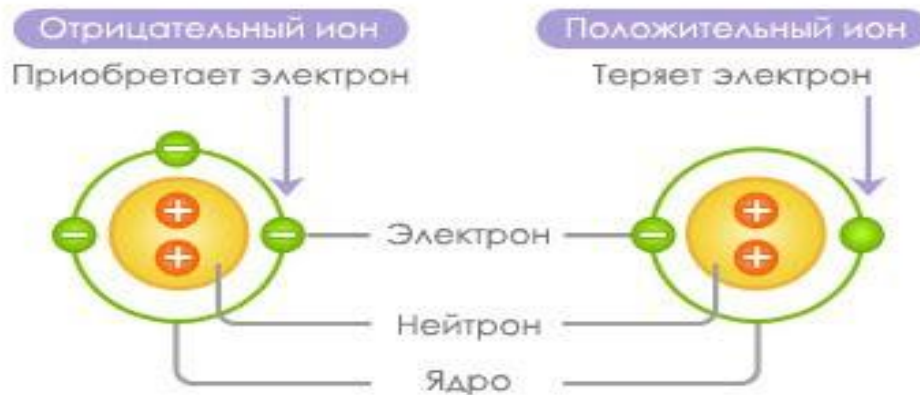
Атом в целом электрически нейтрален. Это происходит потому, что общий отрицательный заряд всех электронов в атоме равен положительному заряду ядра.

Атомы при определенных условиях могут терять электроны или приобретать их от соседних атомов.

**Атом нейтрален** если число протонов равно числу электронов.

**Отрицательный ион** - атом, в котором число электронов больше числа протонов.

**Положительный ион** – атом, в котором число протонов больше числа электронов.



**Свободный электрон** - электрон, оторвавшийся от ядра. Он имеет свободное движение.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ВЕЩЕСТВ ПО ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

ПРОВОДНИКИ

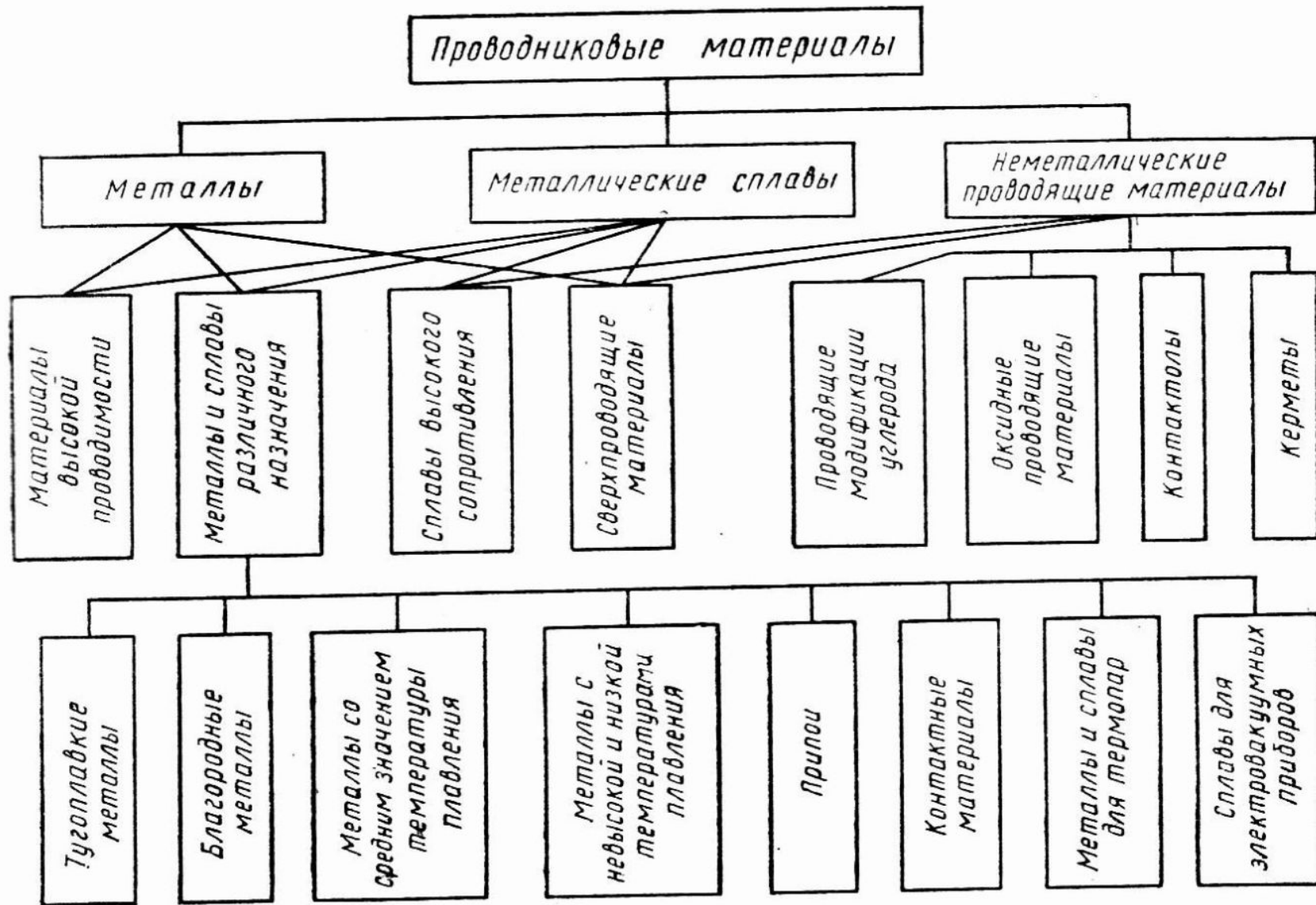
ДИЭЛЕКТРИКИ

ПОЛУПРОВОДНИКИ

**Проводники** ( на последней орбите до 3 электронов) бывают первого и второго рода. К проводникам первого рода относятся все металлы и их сплавы. К проводникам второго рода относятся водные растворы солей.

В диэлектриках при нормальных условиях свободные, электрически заряженные частицы отсутствуют, поэтому они обладают ничтожной электропроводностью.  
второго рода – ионы.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ





# Материалы высокой проводимости - МЕДЬ



- Преимущества меди, обеспечивающие ей широкое применение в качестве проводникового материала:
- малое удельное сопротивление (удельное сопротивление -  $0,0175 \text{ Ом м/мм}^2$ );
  - высокая механическая прочность;
  - стойкость к коррозии (интенсивное окисление меди происходит только при повышенных температурах);
  - хорошая обрабатываемость – медь прокатывается в листы, ленты и протягивается в проволоку, толщина которой может быть доведена до тысячных долей миллиметра;
  - легкость пайки и сварки

Мягкую медь ММ применяют для изготовления проводов, кабелей, шин распределительных устройств, обмоток трансформаторов, электрических машин, где важна гибкость и пластичность.

Твердую медь МТ используют в тех случаях, когда необходимо обеспечить высокую механическую прочность, твердость и сопротивляемость истиранию.



# СПЛАВЫ МЕДИ



**Латуни** сплавы меди с цинком -, в которых содержание цинка может достигать до 43%. При этом содержании цинка латуни обладают наибольшей механической прочностью. Латуни, содержащие 30 - 32% цинка, обладают наибольшей пластичностью, поэтому из них изготавливают изделия горячей или холодной прокаткой и волочением: листы, ленты, проволоку и др.

**Бронзы** - это сплавы меди с оловом, алюминием, оловом, кремнием, бериллием, кадмием и другими металлами.

**Свойства бронз** - малая объемная усадка при литье, повышенная твердость, упругость (по сравнению с медью), большое сопротивление истиранию и стойкость к коррозии. Благодаря этим ценным свойствам бронзы широко применяют в машиностроении для изготовления втулок, шестерен, токоведущих пружин (бронзовая лента) и других деталей. Кадмиевую бронзу - для контактных проводов и коллекторных пластин особо ответственного назначения.



# Материалы высокой проводимости - АЛЮМИНИЙ

Алюминий и ряд его сплавов широко применяют в электротехнике благодаря его:

высокой электропроводности;

коррозионной стойкости;

малой плотности;

хорошим обрабатываемости давлением;

меньшей стоимости по сравнению с более дорогой медью и ее проводниковыми сплавами.

Удельное сопротивление алюминия в 1,6 раза больше удельного сопротивления меди, но алюминий в 3,5 раза легче меди.

Недостатком алюминия является его низкая механическая прочность.



Для электротехнических целей используют алюминий, содержащий не более 0,5% примесей. Алюминий высокой чистоты (не более 0,03% примесей) используют для изготовления алюминиевой фольги, электродов и корпусов электролитических конденсаторов. Пленки алюминия широко используют в интегральных микросхемах в качестве контактов и межсоединений для обеспечения связи между отдельными элементами схемы.



# Сплавы алюминия



Алюминиевые сплавы обладают повышенной механической прочностью. Примером такого сплава является альдрей,

Высокие механические свойства альдрей. Алюминиевый сплав марки АВ-Е состоит из тех же компонентов, что и зарубежные аналоги (алдрей и алмелек), немного отличаясь их процентным содержанием.

Сплавы типа АВ-Е, алдрей и алмелек относятся к легким сплавам алюминия. Содержание алюминия в среднем 98.6%, а магния, кремния и железа в сумме ~1.4%.

Электрическая проводимость сплавов алюминия снижается в среднем на **10%**, по сравнению с электротехническим алюминием промышленной чистоты, а предел прочности возрастает в **2 раза**. Провода из алюминиевого сплава обладают более высоким значением отношения разрывной прочности к массе, чем сталеалюминевые провода облегченной конструкции, что может дать увеличение габаритного пролета или уменьшение стрелы провеса.

Алюминиево-кремниевые сплавы (силумины) лучше всего подходят для литья. Из них часто отливают корпуса электрических машин.

# Материалы с высоким удельным сопротивлением

Металлические проводниковые материалы с высоким удельным сопротивлением можно разделить на три группы:

— для точных электроизмерительных приборов и образцовых резисторов манганин (3 % Ni, 12 % Mn, 85 % Cu) — отличается желтоватым оттенком, хорошо вытягивается в тонкую проволоку до диаметра 0,02 мм; изготавливают также в виде ленты толщиной 0,01 – 1 мм и шириной 10 – 300 мм;

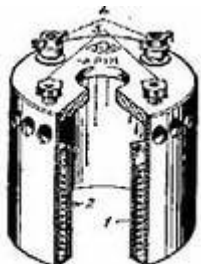
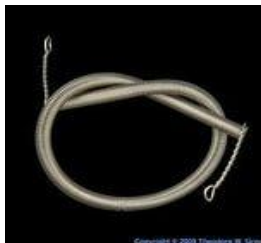


Рис. 5.3. Образцовый резистор

— для резисторов и реостатов - константан (40 % Ni, 60 % Cu). Константан хорошо поддается обработке; его можно протягивать в проволоку и прокатывать в ленту тех же размеров, что и из манганина. Константан применяют для изготовления реостатов и электронагревательных элементов в тех случаях, когда рабочая температура не превышает 400 – 450°C.



— для нагревательных приборов имеющие высокую рабочую температуру нагрузочных реостатов - сплавы никеля, хрома и железа (нихром); хрома, алюминия и железа (фехраль).



# Тугоплавкие металлы



К тугоплавким относятся металлы с температурой плавления выше  $1700^{\circ}\text{C}$ . Основными тугоплавкими металлами являются вольфрам (электроды, подогреватели, пружины, крючки в электронных лампах), молибден (нагревательные элементы электрических печей), тантал (аноды и сетки генераторных ламп, катоды прямого и косвенного накала, конденсаторы), ниобий (накаливаемых катодов в мощных генераторных Лампах), хром, ванадий, титан, цирконий и рений.

Все тугоплавкие металлы при нагревании на воздухе интенсивно окисляются с образованием летучих соединений. Поэтому их можно применять для изготовления лишь тех нагревательных элементов, которые работают в вакууме или защитной среде.



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

ВОЛЬФРАМОВАЯ  
ПРОВОЛОКА





## Благородные металлы

**Золото.** Тонкие пленки золота применяют в качестве полупрозрачных электродов в фоторезисторах и фотоэлементах, в качестве межсоединений и контактных площадок в пленочны микросхемах.

**Серебро.** Серебро применяют для контактов в аппаратуре разных мощностей. Серебро применяют также для непосредственного нанесения на диэлектрики, в качестве электродов, в производстве керамических и слюдяных конденсаторов. Серебром покрывают внутренние поверхности волноводов для получения слоя высокой проводимости.

**Платина** Платину применяют для изготовления термопар, рассчитанных на рабочие температуры до  $1600^{\circ}\text{C}$ . Особо тонкие нити из платины, диаметром около  $0,001$  мм, применяемые для подвесок подвижных систем в электрометрах и других чувствительных приборах, служит основой для некоторых контактных сплавов. Наиболее распространенными являются сплавы платины с иридием; они не окисляются, имеют высокую твердость, малый механический износ, допускают большую частоту включений, однако дороги и применяются в тех случаях, когда необходимо обеспечить высокую надежность контактов.

**Палладий** по ряду свойств близок к платине и часто служит ее заменителем, так как дешевле в 4 – 5 раз. Палладий и его сплавы с серебром и медью применяют в качестве контактных материалов.



## Металлы со средним значением температуры плавления

Как наиболее дешевый и доступный металл железо, обладая высокой механической прочностью, представляет интерес и в качестве проводникового материала.

Наибольшее применение в электротехнике получила **листовая электротехническая сталь**. Эта сталь является сплавом железа с кремнием, содержание которого в ней 0,8 - 4,8%. Наличие кремния в железе увеличивает удельное электрическое сопротивление по сравнению с чистым железом, в результате чего уменьшаются потери на вихревые токи. Электротехническая листовая сталь обладает хорошими магнитными характеристиками - высокой индукцией насыщения, малой коэрцитивной силой и малыми потерями на гистерезис. Благодаря этим свойствам она широко используется в электротехнике для изготовления сердечников статоров и роторов электрических машин, сердечников силовых трансформаторов, трансформаторов тока и магнитопроводов различных электрических аппаратов.

**Никель** — Широко применяют в качестве материала для арматуры электронных ламп, некоторых типов катодов.

# Припой

Припои представляют собой специальные сплавы, применяемые при пайке. К мягким относятся припои с температурой плавления до 300°C, к твердым – выше 300°C. Выбирают припой с учетом физико-химических свойств соединяемых металлов, требуемой механической прочности шва, его коррозионной устойчивости и стоимости. При пайке токоведущих частей необходимо учитывать удельную проводимость припоя.

Мягкими припоями являются оловянно-свинцовые сплавы ПОС с содержанием олова от 10 до 90% . Наиболее распространенными твердыми припоями являются медно-цинковые и серебряные с различными добавками.



# Неметаллические проводящие материалы



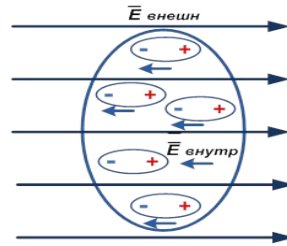
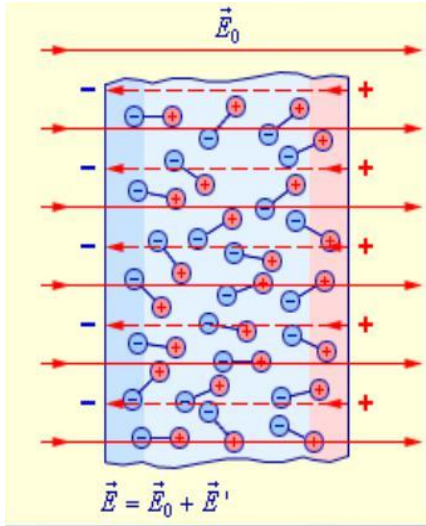
## Углеродистые материалы.

Среди твердых неметаллических проводников наиболее широкое применение получил графит – одна из аллотропных форм чистого углерода. Наряду с малым удельным сопротивлением ценными свойствами графита являются значительная теплопроводность, стойкость ко многим химически агрессивным средам, высокая термостойкость, легкость механической обработки. Для производства электроугольных изделий используют природный графит, антрацит и пиролитический углерод.

# ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ.

Электропроводность диэлектриков практически равна нулю в силу весьма сильной связи между электронами и ядром атомов диэлектрика.

Если диэлектрик поместить в электростатическое поле, то в нём произойдёт поляризация атомов, смещение разноимённых зарядов в самом атоме.



Диполь - это система двух разноимённых зарядов, расположенных на малом расстоянии друг от друга в замкнутом пространстве атома или молекулы.

Электрический диполь - это атом диэлектрика, в котором орбита электрона вытягивается в направлении, противоположном направлению внешнего поля

$E_{\text{внешн}}$ .

Смещение связанных электрических зарядов под действием внешнего электрического поля называется поляризацией. Поляризованные атомы создают своё электрическое поле, напряжённость которого направлена против внешнего поля. В результате поляризации результирующее поле внутри диэлектрика ослабляется.



# ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Величина, показывающая во сколько раз напряжённость электрического поля в вакууме больше, чем в диэлектрике, называется диэлектрической проницаемостью этого диэлектрика.

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E_0 - E}$$

где  $\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость диэлектрика,  
 $E_0$  - напряжённость электрического поля в вакуума,  
 $E$  - напряжённость электрического поля в диэлектрике.

Интенсивность поляризации диэлектрика зависит от его диэлектрической проницаемости. Чем она больше, тем интенсивнее поляризация в диэлектрике и тем слабее электрическое поле в нём.

$$E = E_{\text{внешн}} - E_{\text{внутр}}$$

# Электрическая прочность

Если диэлектрик поместить в сильное электрическое поле, напряжённость которого можно увеличивать, то при каком-то значении напряжённости произойдёт пробой диэлектрика, при этом электроны отрываются от атома, т.е. происходит ионизация диэлектрика, и он становится проводником.

Напряжённость внешнего поля, при которой происходит пробой, называется пробивной напряжённостью диэлектрика, или электрической прочностью диэлектрика. А напряжение, при котором происходит пробой диэлектрика, называют напряжением пробоя.

$$E_n = \frac{U}{h}$$

$E_n$  - электрическая прочность

$U$  - напряжение

$h$  – толщина образца электроизоляционного материала, мм

# ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ



**Электроизоляционными материалами**, или диэлектриками, называют такие материалы, с помощью которых осуществляют изоляцию, т. е. препятствуют утечке электрического тока между какими-либо токопроводящими частями, находящимися под разными электрическими потенциалами.



Диэлектрики имеют очень большое электрическое сопротивление. Твердые диэлектрики могут ощущать на себе две основные формы пробоя: тепловой и электрический. Тепловой пробой — термическое разрушение изоляции (обугливание, растрескивание), вызванное действием тепла, выделяемого током утечки. Электрическим пробоем называется разрушение диэлектрика, обусловленное прямым действием сильного электрического поля на ионы, входящие в состав диэлектрика.

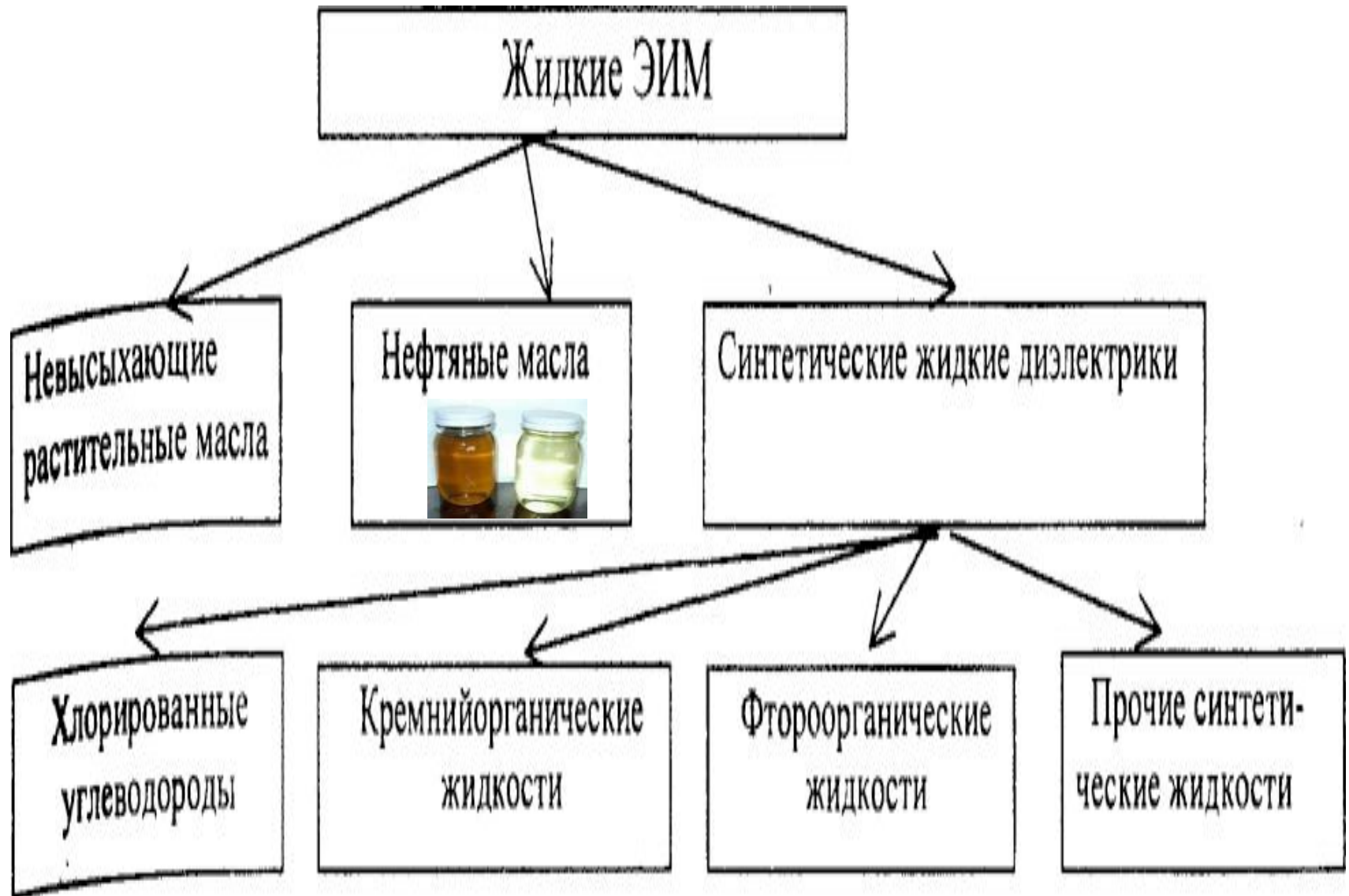
# Классификация электроизоляционных материалов

**По химическому составу** диэлектрики делят на органические и неорганические. Основным элементом в молекулах всех органических диэлектриков является углерод. В неорганических диэлектриках углерода нет. Наибольшей нагревостойкостью обладают неорганические диэлектрики (слюда, керамика и др.).

**По способу получения** различают естественные (природные) и синтетические диэлектрики. Синтетические диэлектрики могут быть созданы с заданным комплексом электрических и физико-химических свойств, поэтому они широко применяются в электротехнике.

**По агрегатному состоянию** диэлектрики бывают газообразными, жидкими и твердыми. Самой большой является группа твердых диэлектриков.

# Классификация жидких электроизоляционных материалов





# Классификация исходных твердых электроизоляционных материалов



# Классификация производных твердых электроизоляционных материалов



# Электрические свойства электроизоляционных материалов

объемное  
сопротивление

поверхностно  
 $\epsilon$   
сопротивлени  
 $\epsilon$

диэлектрическа  
я  
проницаемость

температурный  
коэффициент

тангенс угла  
диэлектрических  
потерь

Электрическая  
прочность

Механическая  
прочность

Температурный коэффициент удельного электрического сопротивления  
Механическая прочность электроизоляционных и других материалов  
сопротивления, величина, определяющая изменение удельного  
оценить возможность в различных условиях эксплуатации, оценить  
длина, дающая возможность оценить характер изменения  
температурный коэффициент диэлектрической проницаемости —  
удельная ударная вязкость, величина, дающая возможность оценить характер изменения  
сопротивление раскалыванию, диэлектрической проницаемости, а следовательно, и емкости изоляции с  
изменением температуры.

- температурный коэффициент диэлектрической проницаемости —
- удельная ударная вязкость, величина, дающая возможность оценить характер изменения
- сопротивление раскалыванию, диэлектрической проницаемости, а следовательно, и емкости изоляции с изменением температуры.

# Классификация материалов по нагревостойкости

Нагревостойкость – максимальная температура при которой не уменьшается срок службы диэлектрика

По этому параметру все диэлектрики разделены на 7 классов по нагревостойкости:

Класс изоляции	Y	A	E	B	F	H	C
Предельная допустимая температура при длительной работе, °C	80	<b>105</b>	120	<b>130</b>	155	180	Боле <b>e180</b>

# Классификация материалов по нагревостойкости

## • Y

- непропитанных и не погруженных в жидкий диэлектрик волокнистых материалов: хлопчатобумажное волокно, целлюлоза, картон, бумага, натуральный шелк и их сочетания
- **Предельная температура 90° С.**

## • A

- материалы из искусственного шелка, пропитанные масляными, масляно-смоляными и другими изоляционными лаками.
- **Предельная температура 105° С.**

## • E

- некоторые синтетические органические пленки, волокна, смолы, компаунды и другие материалы.
- **Предельная температура 120° С.**

## • B

- материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, изготовленные с применением органических связующих материалов обычной нагревостойкости: микалента, асбестовая бумага, стеклоткань, стеклотекстолит, миканит и другие материалы и их сочетания.
- **Предельная температура 130° С.**



# Классификация материалов по нагревостойкости

- F
  - материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, пропитываемые смолами и лаками соответствующей нагревостойкости.
  - Предельная температура 155° С.**
- Н
  - материалы из слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами.
  - Предельная температура 180" С.**
- С
  - слюда, керамика, стекло, кварц или их комбинации, применяемые без связующих веществ и материалов органического происхождения. Рабочая температура изоляции класса С выше 180° С.
  - Предельная температура не устанавливается.**

# Полупроводниковые материалы

**Полупроводники –это элементы занимающие среднее место между диэлектриками и проводниками.**

Удельное сопротивление полупроводников убывает с повышением температуры, наличием примесей, изменением освещенности.

Типичными полупроводниками являются кристаллы германия и кремния, селена арсенида галлия, фосфмта галлия и др.в

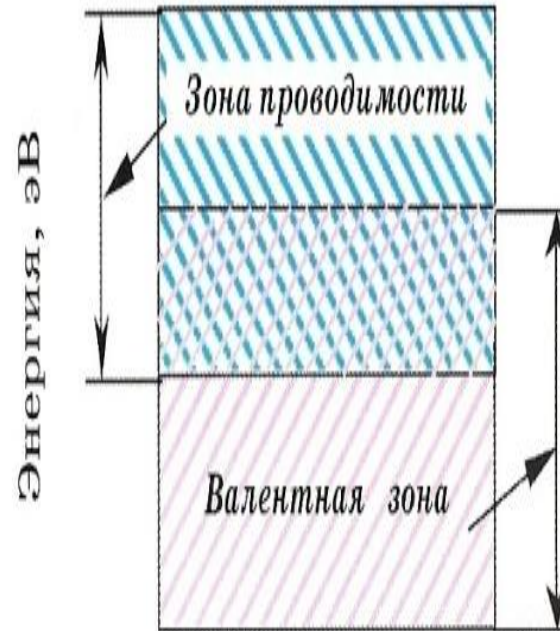


## Энергетические зоны

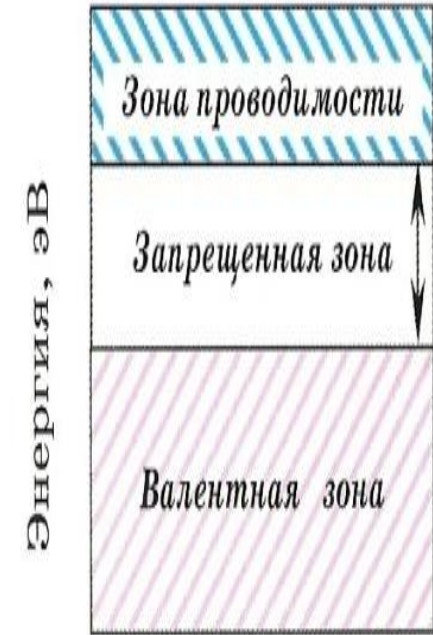
Зона изолятора



Зона проводника



Зона полупроводника

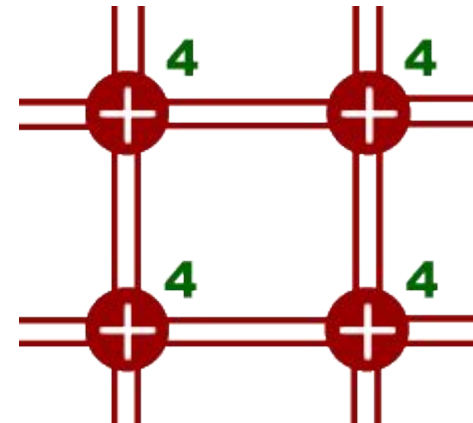


# Кристаллическая решетка полупроводника



Ее схематическое изображение

Химическую связь двух соседних атомов с образованием на одной орбите общей пары электронов (изо,а) называют ковалентной или парноэлектронной и условно изображают двумя линиями, соединяющими электроны



Связи в кристаллической решетке германия



# Виды проводимости полупроводников

## **-электронная проводимость**

При нагревании полупроводника кинетическая энергия частиц повышается, и наступает разрыв отдельных связей. Некоторые электроны покидают свои орбиты и становятся свободными, подобно электронам в металле. В электрическом поле они перемещаются между узлами решетки, образуя электрический ток. При повышении температуры число разорванных связей, а значит, и свободных электронов увеличивается.

***Электропроводность, обусловленная перемещением свободных электронов, называется электронной проводимостью полупроводника, или  $n$  - проводимостью***



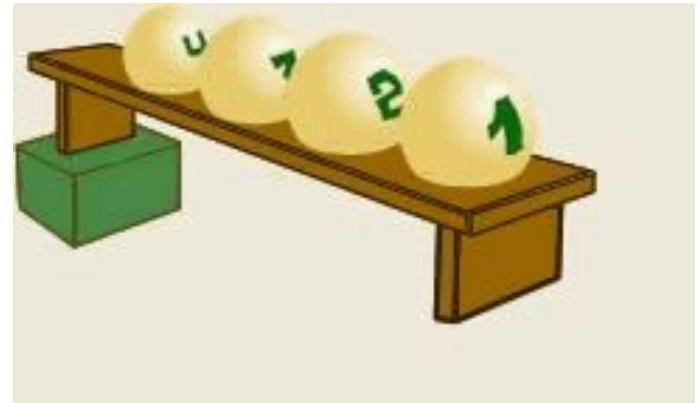
# Виды проводимости полупроводников

При появлении свободных электронов в ковалентных связях образуется свободное не заполненное электроном (вакантное) место - «электронная дырка».

Так как дырка возникла в месте отрыва электрона от атома, то в области ее образования возникает избыточный положительный заряд. При появлении свободных электронов в ковалентных связях образуется свободное не заполненное электроном (вакантное) место - «электронная дырка».

Так как дырка возникла в месте отрыва электрона от атома, то в области ее образования возникает избыточный положительный заряд.

***Проводимость, возникающая в результате перемещения дырок, называется дырочной проводимостью, или  $p$  проводимостью.***



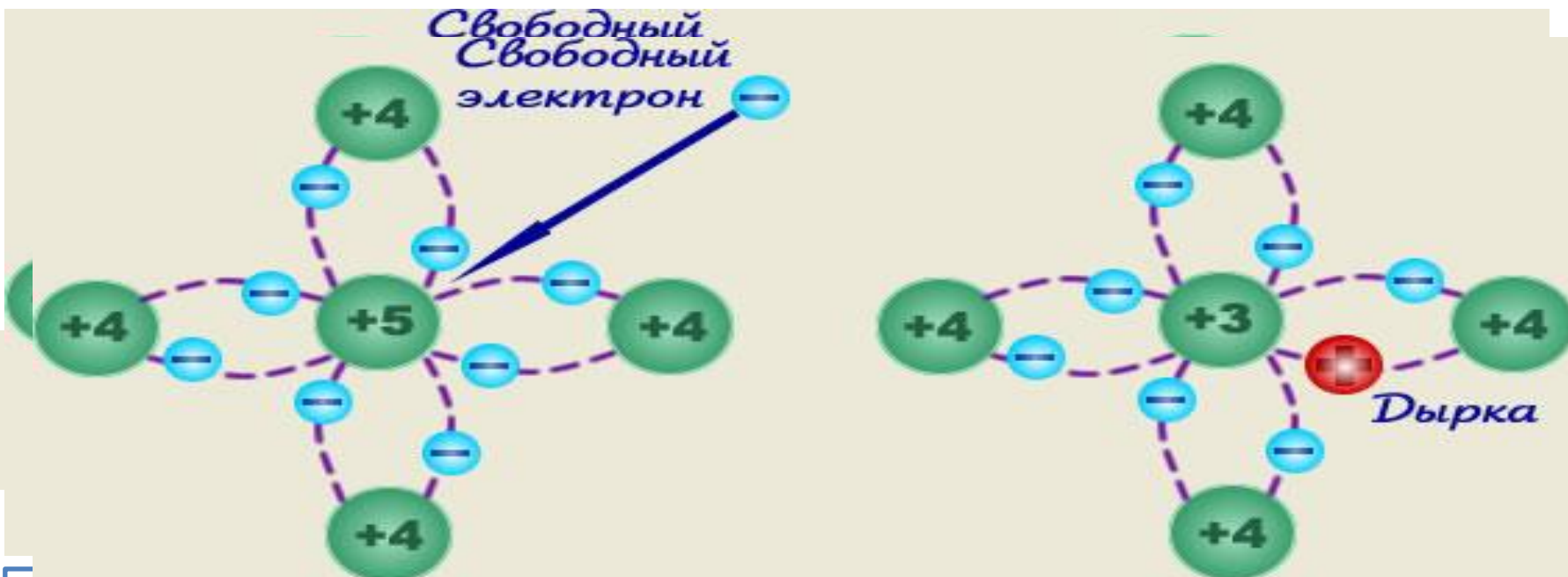
В идеальном кристалле ток создается равным количеством электронов и «дырок».

$$n=p$$

Такой тип проводимости называют **собственной проводимостью** полупроводников.

Существенная особенность полупроводников состоит в том, что в них при наличии примесей наряду с собственной проводимостью возникает дополнительная — **примесная проводимость**.

Изменяя концентрацию примеси, можно значительно изменять число носителей заряда того или иного знака. Благодаря этому можно создавать полупроводники с преимущественной концентрацией либо отрицательно, либо положительно заряженных носителей.



Примеси с большим количеством валентных электронов в атоме (мышьяк, сурьма, фосфор) по сравнению с атомом данного полупроводника преобладают электронная проводимость (n-проводимость) и называется **донорной**

Примеси с меньшим числом валентных электронов в атоме по сравнению с атомом данного полупроводника (индий, галлий, алюминий) вызывают преобладание дырочной проводимости и называются **акцепторными**.

Носители заряда, определяющие вид проводимости в примесном полупроводнике, называются основными (дырки в p-полупроводнике и электроны в n-полупроводнике), а носители заряда противоположного знака — **неосновными**

**Ядро атома имеет заряд:**

1. Положительный;

2. Отрицательный;

3. Нейтральный.

3. Нейтральный заряд



Какими материалами изготавливают материалы для обмоток, статоров, роторов, сердечников трансформаторов и силовых машин? Какие материалы используют для изготовления изоляционных материалов? Какие материалы используют для изготовления изоляционных материалов? Какие материалы используют для изготовления изоляционных материалов?

А. Высокая электрическая прочность и высокая температура плавления без потери механических свойств.

Б. Способность выдерживать высокие температуры в момент короткого замыкания.

В. Высокая температура плавления до 155 °С.

Г. Высокая электрическая прочность в электрическом поле называют электрической прочностью.

Д. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Е. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Ж. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

З. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

И. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

К. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Л. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

М. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Н. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

О. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

П. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Р. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

С. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Т. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

У. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Ф. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Х. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Ц. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Ч. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Ш. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Щ. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Ъ. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Ы. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Ь. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Э. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

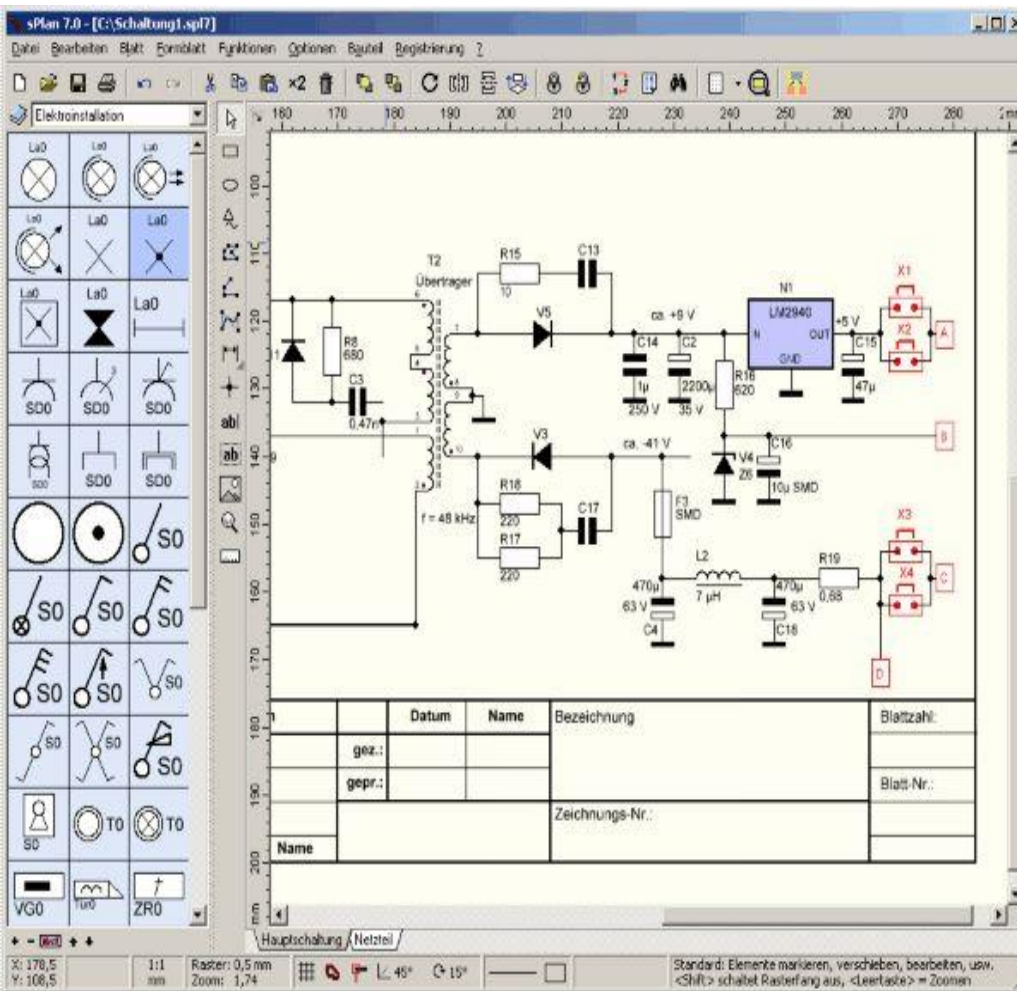
Ю. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Я. Высокая температура плавления и высокая температура плавления.

Г. магнитные и немагнитные.



# ЧТЕНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ



## Содержание

Виды схем в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия и их коды

## Типы схем

Условные графические обозначения в электрических схемах

Буквенные коды наиболее распространенных видов элементов

Однолинейные схемы

Схема - это документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними.





**Схема** – это графическое изображение электрической цепи.

**Ветвь** – это участок схемы, вдоль которого течет один и тот же ток.

**Узел** – это место соединения трех или большего числа ветвей

**Контур** – это замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям

**Независимый контур** – это контур, у которого хотя бы одна ветвь не принадлежит другим контурам




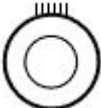


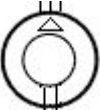
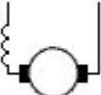
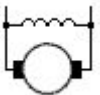

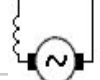
# Виды схем в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия (установки), и их коды

Вид схемы	Определение	Код вида схемы
Схема электрическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, действующие при помощи электрической энергии, и их взаимосвязи	Э
Схема гидравлическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, использующие жидкость, и их взаимосвязи	Г
Схема пневматическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, использующие воздух, и их взаимосвязи	П
Схема кинематическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений механические составные части и их взаимосвязи	К
Схема энергетическая	Документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части энергетических установок и их взаимосвязи	Р

## Типы схем

Тип схемы	Определение	Код типа схемы
Схема структурная	Документ, определяющий основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи	1
Схема функциональная	Документ, разъясняющий процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или изделия (установки) в целом	2
Схема принципиальная (полная)	Документ, определяющий полный состав элементов и взаимосвязи между ними и, как правило, дающий полное (детальное) представления о принципах работы изделия (установки)	3
Схема соединений (монтажная)	Документ, показывающий соединения составных частей изделия (установки) и определяющий провода, жгуты, кабели или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т.п.)	4

# УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ (ГОСТ 2.722-68)

Наименование	Обозн.	Наименование	Обозн.
Статор. Обмотка статора. Общее обозначение		Ротор. Общее обозначение и короткозамкнутый	
Ротор с обмоткой, коллектором и щетками		Машина электрическая. Общее обозначение	
Машина асинхронная трехфазная с шестью выведенными концами фаз обмотки статора и с короткозамкнутым ротором		<i>Примечание.</i> Внутри окружности допускается указывать следующие данные: а) род машины (генератор - Г (G), двигатель - М(М), тахогенератор - ТГ(BR) и др.; б) род тока, число фаз или вид соединения обмоток, например генератор трехфазный	
Машина асинхронная трехфазная с фазным ротором, обмотка которого соединена в звезду, обмотка статора - в треугольник		Машина синхронная трехфазная неявнополюсная с обмоткой возбуждения на роторе; обмотка статора соединена в треугольник	
Машина постоянного тока с последовательным возбуждением		Машина постоянного тока с параллельным возбуждением	
Машина постоянного тока с независимым возбуждением		Машина постоянного тока со смешанным возбуждением	
Машина постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов		Двигатель коллекторный однофазный последовательного возбуждения	

## Катушки индуктивности, реакторы, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители






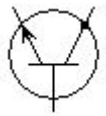






Наименование	Обозн	Наименование	Обозн
Обмотка трансформатора, автотрансформатора, дросселя и магнитного усилителя		Трансформатор однофазный с магнитопроводом	
			
Трансформатор однофазный с магнитопроводом трехобмоточный		Автотрансформатор однофазный с магнитопроводом	
			
Трансформатор тока с одной вторичной обмоткой		Дроссель с ферромагнитным магнитопроводом	
		Реактор	

# Источники света (ГОСТ 2.732-68,

Наименование	Обозн.	Наименование	Обозн.
Лампа накаливания осветительная и сигнальная <i>Примечание.</i> Допускается при изображении сигнальных ламп секторы зачернять		Лампа газоразрядная осветительная и сигнальная. Общее обозначение: с четырьмя выводами	
		Лампа газоразрядная высокого давления с простыми электродами	
Пускатель (стартер) для газоразрядных (люминесцентных) ламп		Лампа газоразрядная сверхвысокого давления с простыми электродами	



# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Наименование	Обozn.	Наименование	Обozn.
Диод		Транзистор типа PNP	
Диод светоизлучающий (светодиод)		Транзистор полевой с каналом типа N	
Варикап (диод емкостной)		Транзистор типа NPN, коллектор соединен с корпусом	
Фотодиод		Тиристор незапираемый триодный с управлением по катоду	
Стабилитрон		Тиристор триодный, запираемый в обратном направлении, с управлением по аноду	
Диодный тиристор (динистор)		Фоторезистор	

Полупроводниковые  
приборы

## Буквенные коды наиболее распространенных видов элементов

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двух букве нный код
С	Конденсаторы		
D	Схемы интегральные, микросборки	Схема интегральная аналоговая	DA
		Схема интегральная, цифровая, логический элемент	DD
		Устройства хранения информации	DS
		Устройство задержки	DT
E	Элементы разные	Нагревательный элемент	EK
		Лампа осветительная	EL
		Пиропатрон	ET

F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия	FA
		Дискретный элемент защиты по току инерционного действия	FP
		Предохранитель плавкий	FU
		Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник	FV
G	Генераторы, источники питания	Батарея	GB
H	Устройства индикационные и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации	HA
		Индикатор символьный	HG
		Прибор световой сигнализации	HL
K	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое	KA
		Реле указательное	KH
		Реле электротепловое	KK
		Контактор, магнитный пускатель	KM
		Реле времени	KT
L	Катушки индуктивности, дроссели	Реле напряжения	KV
		Дроссель люминесцентного освещения	LL
M	Двигатели		

P	Приборы, измерительное оборудование  Примечание. Сочетание применять не допускается	PE	Амперметр	PA			
			Счетчик импульсов	PC			
			Частотомер	PF			
			Счетчик активной энергии	PI			
			Счетчик реактивной энергии	PK			
			Омметр	PR			
			Регистрирующий прибор	PS			
			Часы, измеритель времени действия	PT			
			Вольтметр	PV			
			Ваттметр	PW			
			Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т.д.)		Выключатель автоматический	QF
						Короткозамыкатель	QK
						Разъединитель	QS
R	Резисторы		Терморезистор	RK			
			Потенциометр	RP			
			Шунт измерительный	RS			
			Варистор	RU			
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных  Примечание. Обозначение применяют для аппаратов, имеющих контактов силовых цепей	SF	Выключатель или переключатель	SA			
			Выключатель кнопочный	SB			
			Выключатель автоматический	SF			
			Выключатели, срабатывающие от различных воздействий:				
			от уровня	SL			
			от давления	SP			
			от положения (путевой)	SQ			
			от частоты вращения	SR			
			от температуры	SK			

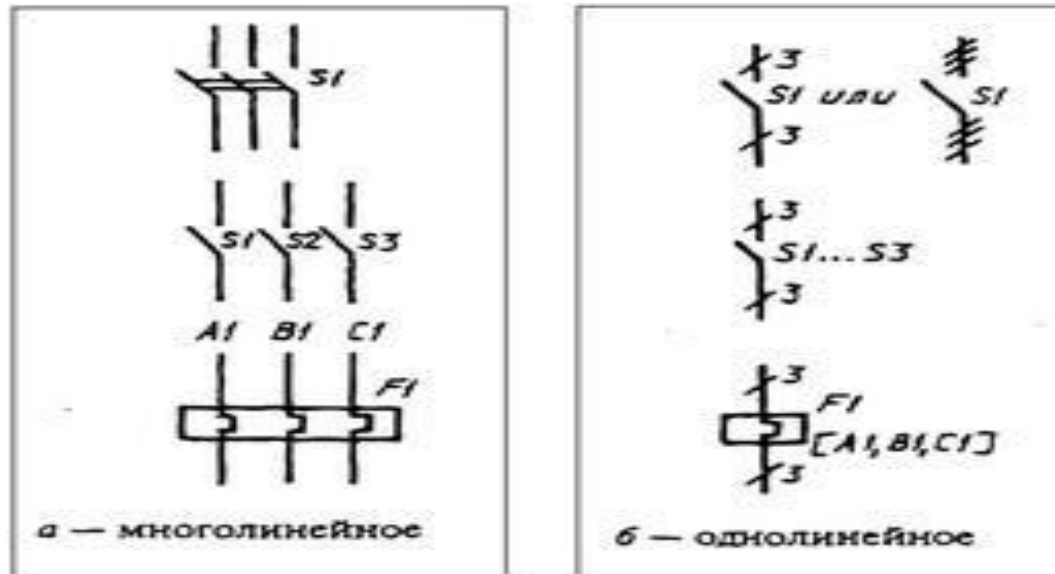
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока	TA
		Электромагнитный стабилизатор	TS
		Трансформатор напряжения	TV
		Модулятор	UB
		Демодулятор	UR
U	Устройства связи  Преобразователи электрических величин в электрические	Дискриминатор	UI
		Преобразователь частотный, инвертор, генератор частоты, выпрямитель	UZ
		Диод, стабилитрон	VD
		Прибор электровакуумный	VL
V	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	Транзистор	VT
		Тиристор	VS
		Ответвитель	WE
		Короткозамыкатель	WK
		Вентиль	WS
		Трансформатор, неоднородность, фазовращатель	WT
		Аттенюатор	WU
W	Линии и элементы СВЧ  Антенны	Антенна	WA

X	Соединения контактные	Токосъемник, контакт скользящий	XA
		Штырь	XP
		Гнездо	XS
		Соединение разборное	XT
		Соединитель высокочастотный	XW
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит	YA
		Тормоз с электромагнитным приводом	YB
		Муфта с электромагнитным приводом	YC
Z	Устройства оконечные фильтры Ограничители	Электромагнитный патрон или плита	YN
		Ограничитель	ZL
		Фильтр кварцевый	



## Однолинейные схемы

«Однолинейная схема электроснабжения это графическое изображение трех фаз питающей сети и соединяющих различные электрические элементы в виде одной линии. Это введение условного обозначения значительно упрощают и делают не громоздкими схемы электроснабжения.



Условное отображение трехфазного напряжения питания, для примера, приведено на рисунке «а», а его упрощенное отображение, которое и явилось причиной появления однолинейных схем отображено на рисунке «б».

Выберите правильный элемент  
укажите вид реле, обозначаемых кодами:

1. Разрядники, предохранители

Укажите элементы электрических схем, обозначаемые буквенными кодами:

Укажите тип принципиальных схем, которые, как

укажите вид схем, наиболее широко применяемых в с

укажите на практике выполняются в единичном

элементов оборудования промышленных предприятий

используемых буквенным кодом: М

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

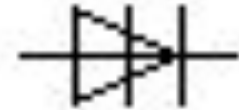
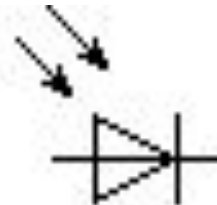
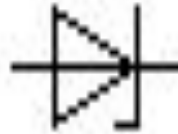
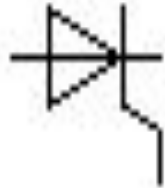
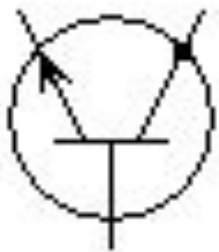
Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический

Автоматический цепи автоматический





1

2

3

4

5

6

А. Тиристор незапираемый триодный с управлением по катоду

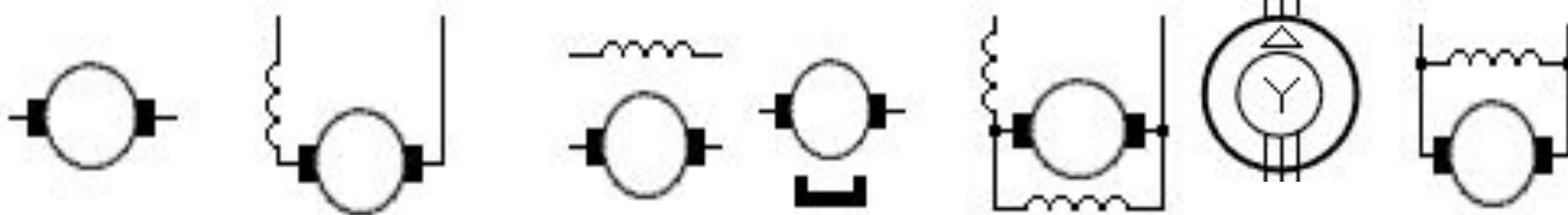
Б. Стабилитрон

В. Диодный тиристор (динистор)

Г. Транзистор типа NPN, коллектор соединен с корпусом

Д. Диод

Е. Фотодиод



1

2

3

4

5

6

7

А. Машина постоянного тока со смешанным возбуждением

Б. Машина постоянного тока с параллельным возбуждением

В. Машина постоянного тока с последовательным возбуждением

Г. Машина постоянного тока с независимым возбуждением

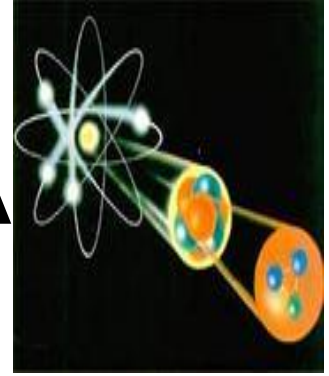
Д. Машина постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов

Е. Машина асинхронная трехфазная с фазным ротором, обмотка которого соединена в звезду, обмотка статора - в треугольник

Ж. Ротор с обмоткой, коллектором и щетками



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА



## Содержание

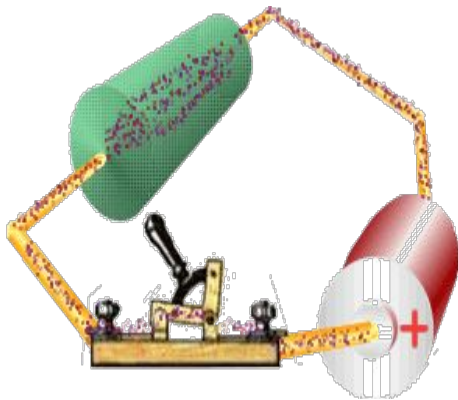
Постоянный ток и его основные законы

Конденсаторы

Электромагнетизм

Переменный ток и его основные законы

Трёхфазные системы



# ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

Электропроводность определяется наличием свободных заряженных частиц.

Способность атома терять или приобретать электроны зависит от числа электронов в наиболее удаленном от ядра внешнем слое.

Для отрыва электрон должен извне получить дополнительную энергию (тепловую, световую, механическую).





# Электрический ток в металлах

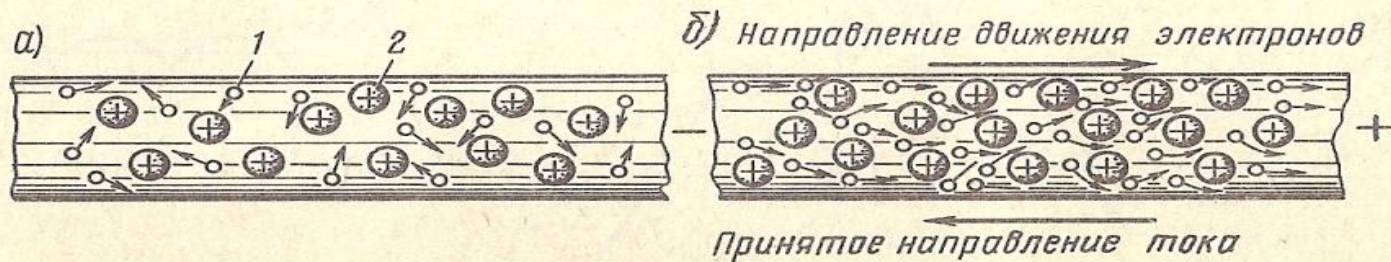


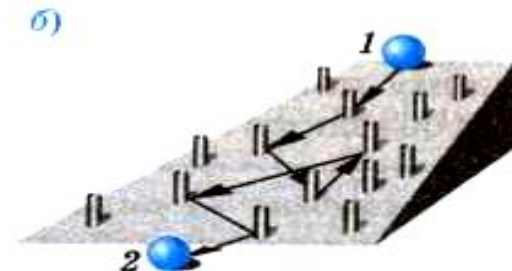
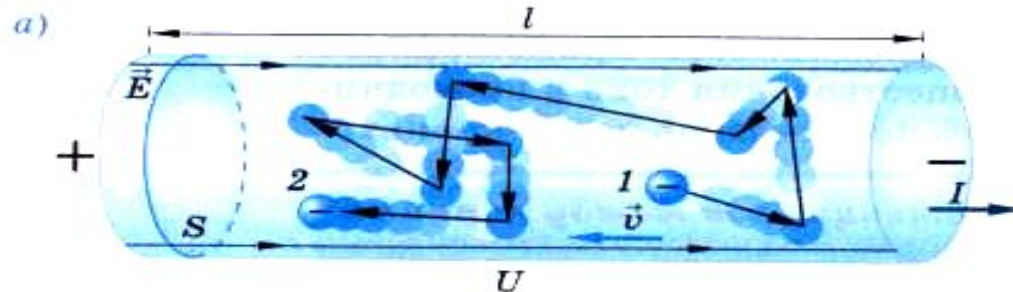
Рис. 10. Схема возникновения электрического тока в металлических проводниках: а — беспорядочное движение электронов; б — упорядоченное движение электронов

Направленное движение электронов в проводнике называется электрическим током в металлах



Движение электрона в проводнике:

- а) траектория движения электрона в проводнике;
- б) моделирование движения электрона в проводнике



## Условия необходимые для существования электрического тока:

- наличие в веществе свободных электрических зарядов (свободных электронов или ионов);
- существование в проводнике электрического поля, т. е. наличие разности потенциалов на концах проводника

Поддерживать по концам проводника разность потенциалов можно путем:

- а) периодической смены полярности по концам проводника;
- б) путем подачи электронов на один конец проводника и снятие их с другого конца.  
Эту работу выполняют источники тока.

# Действие тока

Движение частиц в проводнике мы непосредственно не видим. О наличии электрического тока приходится судить по тем действиям или явлениям, которые его сопровождают.

Во-первых, *проводник, по которому течёт ток, нагревается.*

Во-вторых, *электрический ток может изменять химический состав проводника,* например выделять его химические составные части (медь из раствора медного купороса и т.д.).

В-третьих, *ток оказывает силовое воздействие на соседние токи и намагниченные тела.* Это действие тока называется *магнитным.* Так, магнитная стрелка вблизи проводника с током поворачивается. Магнитное действие тока в отличие от химического и теплового является *основным, так как проявляется у всех без исключения проводников.* Химическое действие тока наблюдается лишь у растворов и расплавов электролитов, а нагревание отсутствует у сверхпроводников.

*Биологическое* действие тока проявляется в раздражении и возбуждении тканей организма, возникновении судорог, в остановке дыхания, изменении режима сердечной деятельности.

# ВЕЛИЧИНА ТОКА

**Величина тока** - заряд протекающий через поперечное сечение проводника за единицу времени.

$$I = \frac{Q}{t}$$

Q - заряд, Кл (Кулон)

t - время , сек

$$1\text{A} = 1 \text{ Кл} / 1 \text{ с}$$

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ kA}$$

Для измерения тока используется прибор **амперметр**. Амперметр включается в электрическую цепь последовательно.

## Электрическое сопротивление

Противодействие, которое оказывает проводник протеканию тока, называется электрическим сопротивлением.

Обозначается – **R**

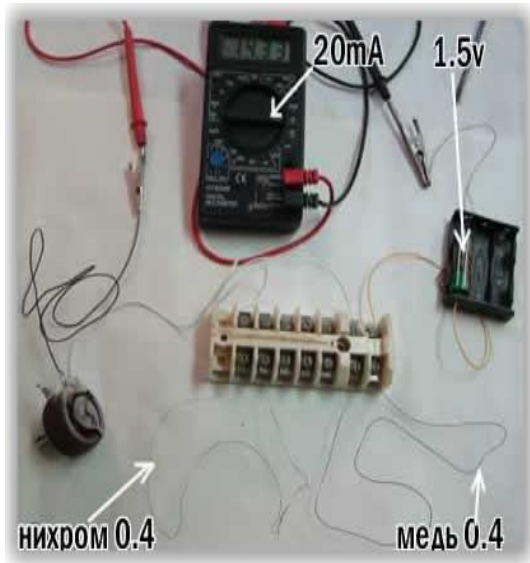
Единица измерения- **Ом**

$$1\text{Ом} = 10^3 \text{ мОм} = 10^{-3} \text{ Ком} = 10^{-6} \text{ Мом}$$

Величина сопротивления зависит от материала проводника, его размеров, температуры.



**14.00mA 14.33mA**



Замеряем отрезок:  
нихром диаметр 0.4-  
длина 30см медь  
диаметр 0.4  
длина-30см

**14.00mA 13.16mA**



Замеряем отрезки  
:нихром диаметр  
0.4-длина 30см  
нихром диаметр  
0.4 -длина 90см

**14.00mA 14.21mA**



Замеряем отрезки:  
Нихром диаметр 0.4-  
длина 30см нихром  
диаметр 1.0-длина

**Вывод:**

**Сопротивление проводника зависит от материала,  
площади поперечного сечения, длины проводника**

# Удельное сопротивление

Для сравнения сопротивления различных материалов введено понятие удельного сопротивления.

**Удельное сопротивление** - это сопротивление проводника длиной 1 м сечением 1 мм<sup>2</sup>, измеренное при температуре 20° с.

Обозначение —  **$\rho$**

Единица измерения —

**Ом мм<sup>2</sup> / м**

материал	Удельное сопротивление
Серебро	0.016
Медь	0.0175
Алюминий	0.0293
Сталь	0.13 – 0.25
Свинец	0.22
Вольфрам	0.055
Висмут	0.029
Золото	0.023
Манганин	0.42
Никель	0.09-0.11
Олово	0.12
Платина	0.1
ртуть	0.958
Константан	0.4 -0.5
Нихром	1.1
Хромаль	1.3
Фехраль	1.4

## Зависимость сопротивления от размеров и материала

С увеличением длины сопротивление увеличивается, а с увеличением сечения уменьшается.

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

$l$  - длина проводника, м

$S$  - площадь сечения, мм<sup>2</sup>

$$S = \pi D^2 / 4 \quad \pi = 3.14$$

$D$  - диаметр проводника

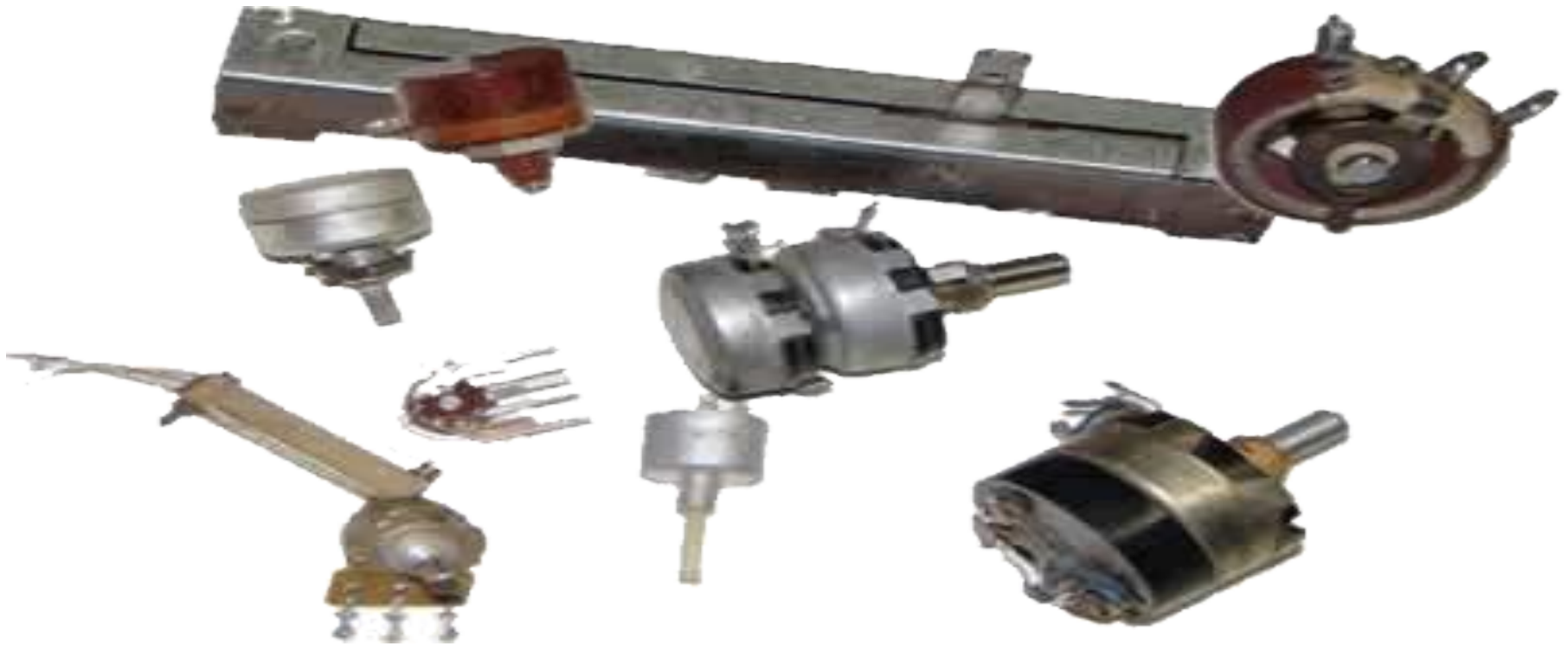
$$P = \frac{RS}{l}$$

$$l = \frac{RS}{P}$$

$$S = \frac{\rho l}{R}$$



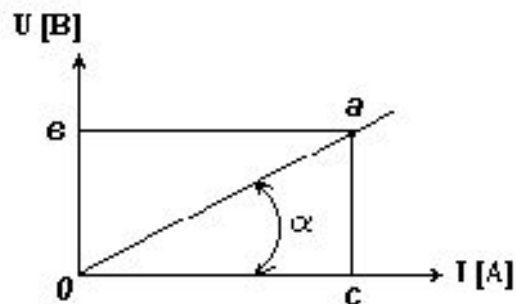
Резисторы – детали, обеспечивающие заданное (номинальное) электрическое сопротивление цепи.



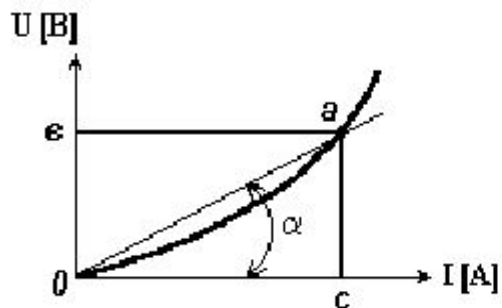
Переменные сопротивления (потенциометры), могут иметь три вывода, один из которых связан с подвижным контактом, скользящим по поверхности проводящего слоя.

Сопротивление между любым крайним выводом переменного резистора и подвижным контактом зависит от положения движка.

**Линейными** называются резисторы, сопротивления которых не зависят (т. е. не изменяются) от значения протекающего тока или приложенного напряжения



**Нелинейными** называются резисторы, сопротивление которых изменяется в зависимости от значения, приложенного напряжения или протекающего тока. Так, сопротивление осветительной лампы накаливания при отсутствии тока в 10—15 раз меньше, чем при нормальном горении. К нелинейным относятся многие полупроводниковые приборы.



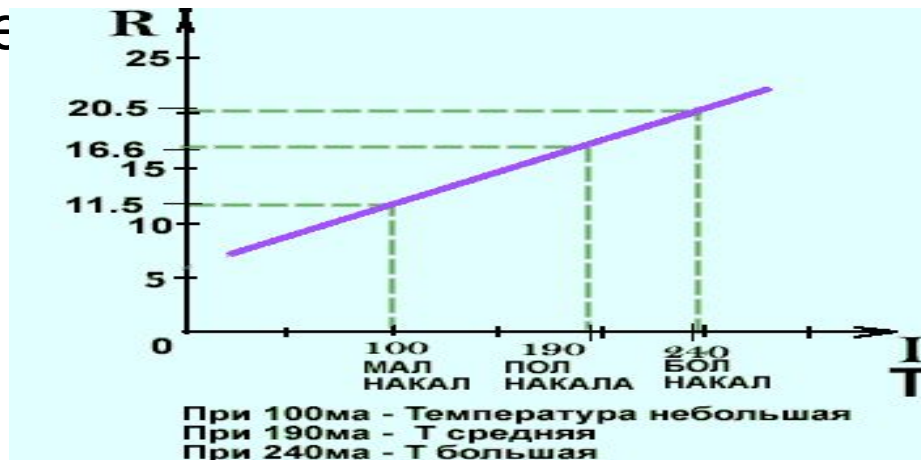
## Зависимость сопротивления от температуры

$$R_2 = R_1 + R_1 \alpha (t_2 - t_1)$$

$\alpha$  – температурный коэффициент

$t_1, t_2$  - температуры соответствующие сопротивлениям  $R_1$  и  $R_2$

У металлических проводников, при температуре близкой к абсолютному нулю, сопротивление резко  
умень



# Электрическая проводимость

Величина обратная сопротивлению называется проводимостью

Обозначается-  $\sigma$

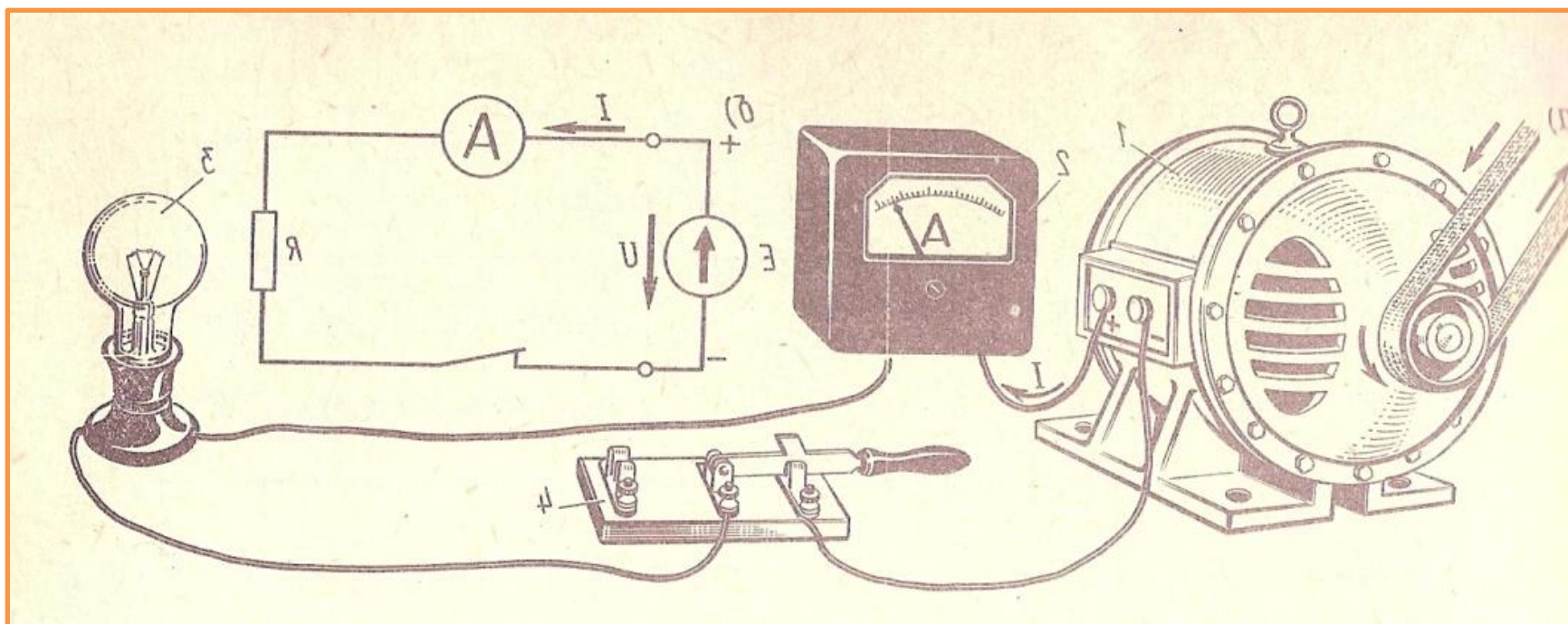
$$\sigma = 1/R$$

Единица измерения  $1/\text{Ом} = \text{См}$   
(Сименс)

# Электрическая цепь

Электрическая цепь это замкнутый контур, по которому проходит ток. Состоит из источника питания, нагрузки, соединительных проводов, измерительных коммутационных, защитных приборов. Разделяется на внутреннюю и внешнюю. К внутренней цепи относится источник питания, а все остальное к внешней.

Условно за направление тока принято направление от плюса к минусу.



## Электродвижущая сила. Напряжение

ЭДС - это работа, совершаемая по переноске положительного пробного заряда по всей цепи.

Напряжение – разность потенциалов между концами однородного проводника.

Обозначение ЭДС –  $E$ , напряжения-  $U$ .

Единица измерения – вольт.

Прибор вольтметр.

Вольтметр для измерения ЭДС включается к зажимам источника питания при выключенной нагрузке, для измерения напряжения параллельно участку цепи на котором производится измерение.

$$E = U_{\text{внутр}} + U_{\text{внеш}}$$

Закон Ома был открыт экспериментально в 1827 году немецким физиком Георгом Омом.



### **Ом Георг Симон**

(1787—1854) — немецкий физик. Работал школьным учителем. Он открыл закон зависимости силы тока от напряжения для участка цепи, а также закон, определяющий силу тока в замкнутой цепи. Чувствительный прибор для измерения силы тока он изготовил сам. В качестве источника напряжения Ом использовал термопару: два спаянных вместе проводника из различных металлов. Увеличивая разность температур спаев, Ом менял напряжение, которое пропорционально этой разности температур. Кроме того, Ом нашел зависимость сопротивления проводника от длины и площади его поперечного сечения.



## Закон Ома

а) для всей цепи

$$I = \frac{E}{R}$$

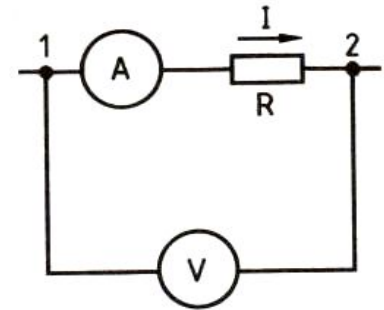
$$R = R_{\text{внеш}} + r_{\text{внут}}$$

Сила тока в цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе  $E$  источника электрической энергии и обратно пропорциональна полному сопротивлению  $R$  цепи



## Закон Ома для участка цепи

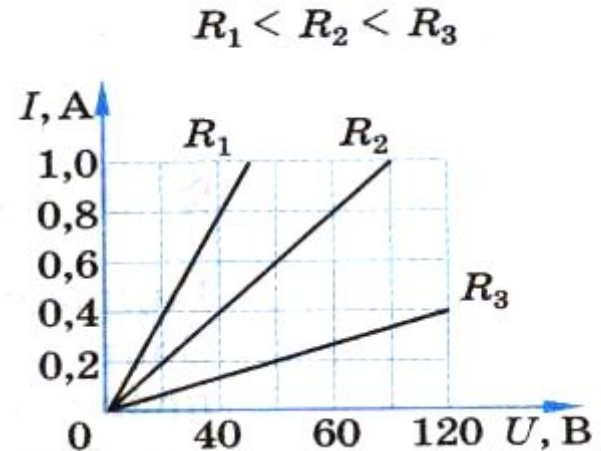
Сила тока прямо пропорциональна напряжению участка цепи и обратно пропорциональна сопротивлению этого участка цепи



$$I = \frac{U}{R}$$

$U, \text{В}$  — напряжение или  $U = \varphi_1 - \varphi_2$  — разность потенциалов,  $\varphi_1 > \varphi_2$ ;

$R, \text{Ом}$  — сопротивление



*Вольт-амперные характеристики проводников*

# Законы Кирхгофа

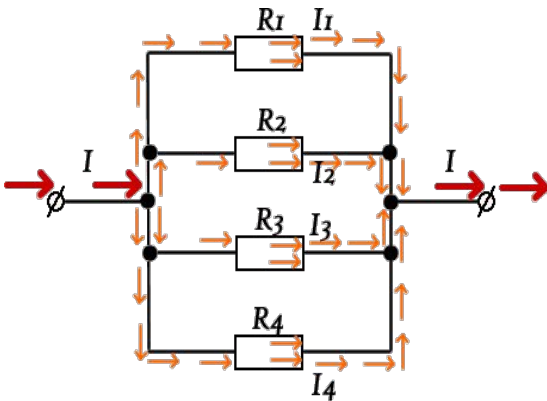


## Первый закон Кирхгофа

Сумма токов, направленных к точке разветвления, равна сумме токов, направленных от нее это первый закон

Кирхгофа:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

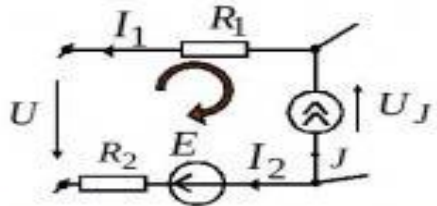


## Второй закон Кирхгофа

Алгебраическая сумма ЭДС в замкнутом контуре равна

алгебраической сумме падений напряжений

$$\sum E = \sum IR$$



$$-I_1 R_1 + I_2 R_2 - U = E - U_J$$

# Работа электрического тока

Работа постоянного тока на участке цепи равна произведению силы тока на напряжение и на время, в течении которого совершается работа

$$A = IUt$$

A- работа электрического тока, Дж

I- электрический ток, А

U- напряжение, В

t - время ,с

Признаком работы является вызванный током нагрев проводника.

# Мощность электрического тока

Работа, совершаемая током за одну секунду, называется

**МОЩНОСТЬЮ**

$$P = \frac{A}{t} = I \cdot U$$

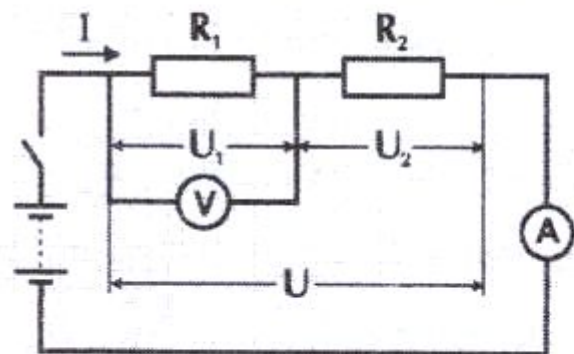
Единица измерения мощности – **Вт (ватт)**.

Прибор для измерения мощности **ваттметр**.

Независимо от способов подключения потребителей мощность, отдаваемая генератором, равна сумме мощностей отдельных потребителей включенных в данную цепь.

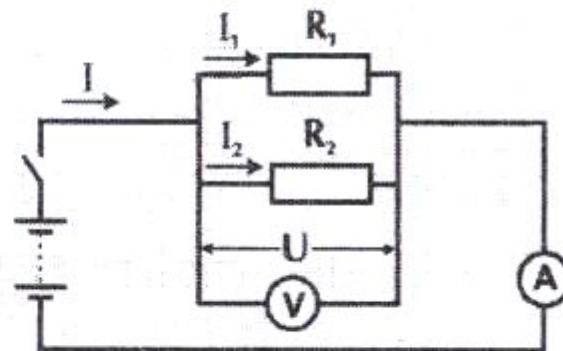
# СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ

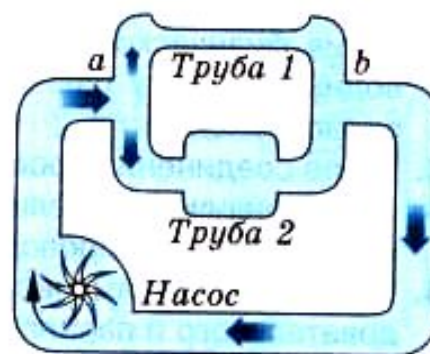
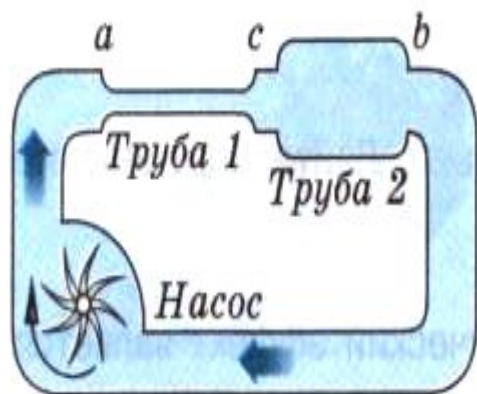


$$I_1 = I_2 = I \quad U = U_1 + U_2 \quad R = R_1 + R_2$$

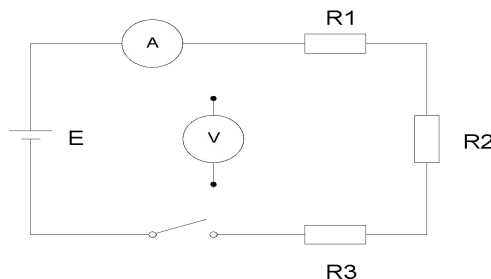
## ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ



$$I = I_1 + I_2 \quad U = U_1 = U_2 \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



**Последовательное соединение** образует неразветвленную цепь, по которой проходит один и тот же ток.



Напряжения между концами отдельных участков цепи составляет;

$$U_1 = I r_1; \quad U_2 = I r_2; \quad U_3 = I r_3.$$

Следовательно,

$$U_1 : U_2 : U_3 = r_1 : r_2 : r_3$$

т.е. падения напряжения в отдельных сопротивлениях пропорциональны величинам сопротивлений.

Сумма падений напряжения в отдельных сопротивлениях равна приложенному к цепи напряжению:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Общее сопротивление равно сумме отдельных сопротивлений:

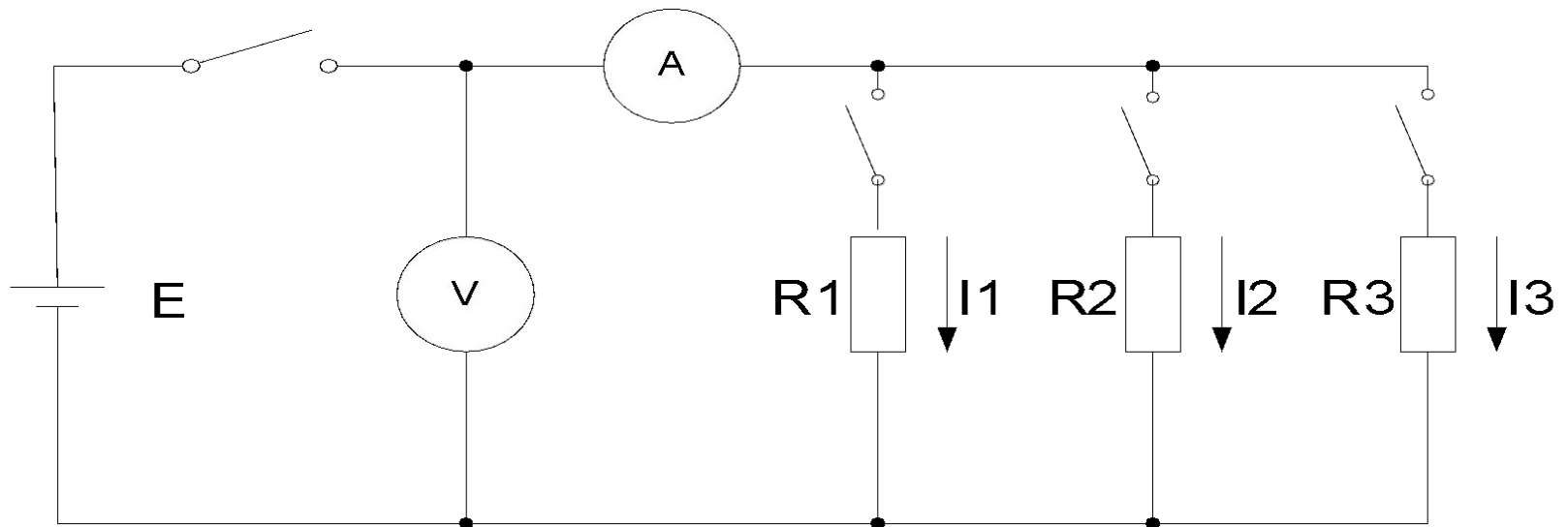
$$R_{об} = R_1 + R_2 + R_3$$

Мощность всей цепи равна сумме мощностей отдельных участков:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

## Параллельное соединение проводников

Параллельное соединение образует разветвленную цепь. Все сопротивления включены между одними и теми же двумя узлами А и Б так, что напряжение  $U$  на них одинаковое.



По закону Ома токи в отдельных ветвях равны

$$I_1 = U/r_1 = Ug_1; \quad I_2 = U/r_2 = Ug_2; \quad I_3 = U/r_3 = Ug_3$$

т.е. разделение тока между отдельными ветвями прямо пропорционально проводимостям ветвей или обратно пропорционально их сопротивлениям.

Сумма токов, направленных к точке разветвления, равна сумме токов, направленных от нее это первый закон Кирхгофа:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Общая проводимость цепи равна сумме проводимостей отдельных ветвей:

$$g = g_1 + g_2 + g_3 = \frac{1}{R_{\text{Э}}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$
$$I/r = I/r_1 + I/r_2 + I/r_3 =$$

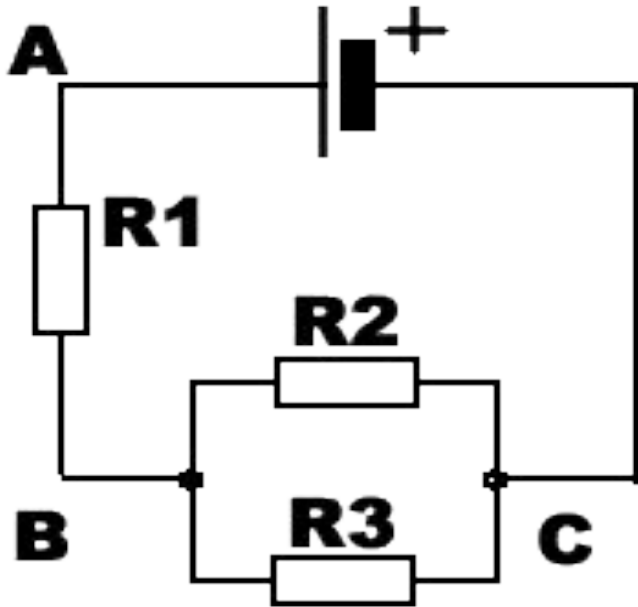
Мощность всей цепи равна сумме мощностей отдельных участков:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$



# Смешанное соединение

Для определения сопротивления нескольких резисторов, соединенных смешанно, сначала находят сопротивление параллельно или последовательно соединенных резисторов, а затем заменяют их одним резистором с сопротивлением, равным найденному.



$$R = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_1$$

◎ Два реле с сопротивлениями 10 Ом и 1000 Ом соединили последовательно. При включении питания сработало только одно. Какое?

Соединение последовательное, значит ток на обоих реле одинаковый, а напряжение распределяется пропорционально сопротивлениям. Мощность равна

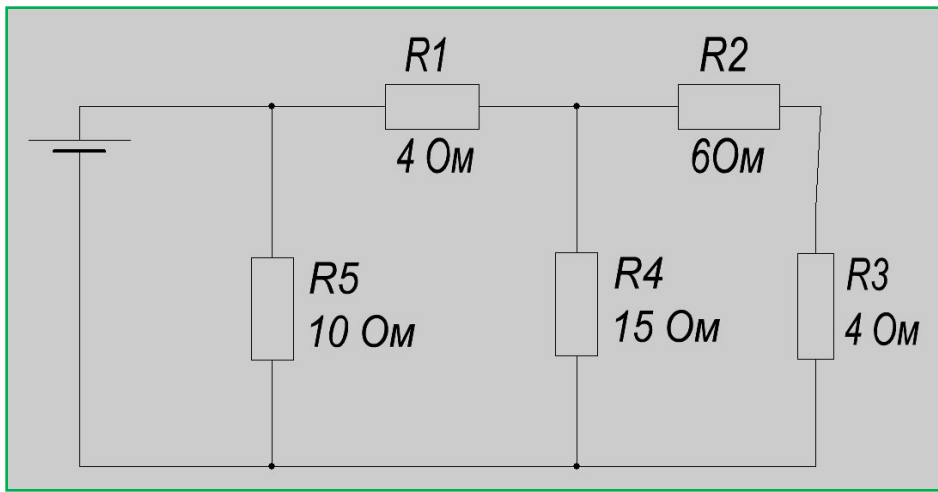
$$P=UI$$

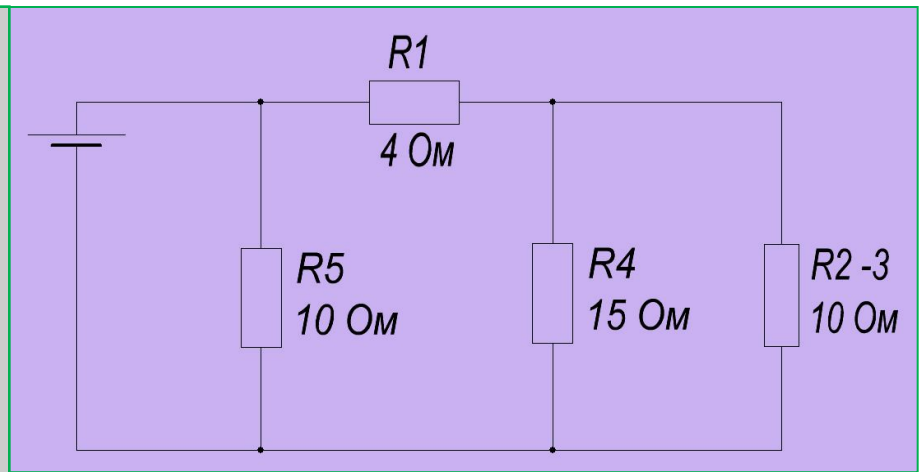
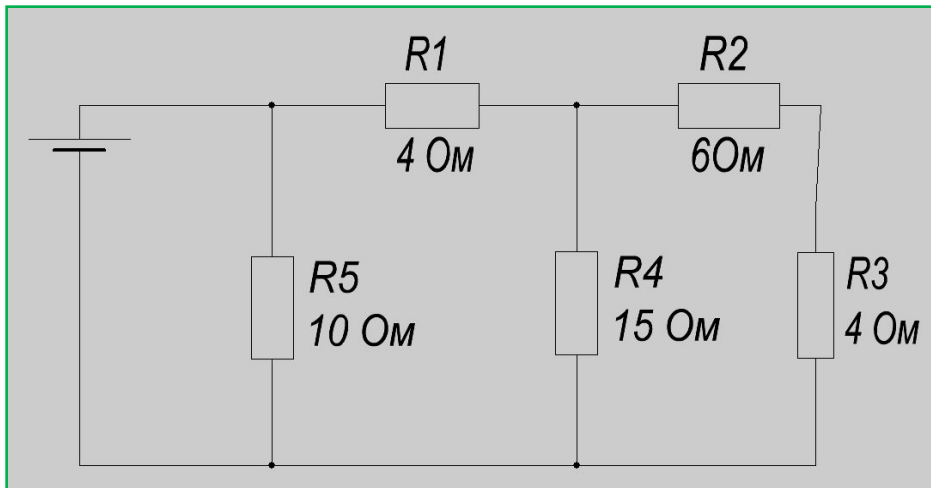
Срабатывает реле с сопротивлением 1000 Ом

Расчет токов и напряжений на различных участках цепи

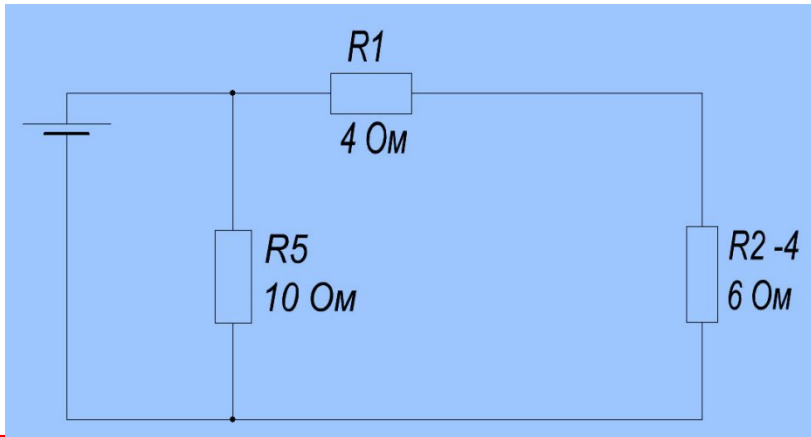
В электрических цепях с произвольным соединением элементов необходимо:

1. Выделить участки, в которых элементы соединены или последовательно, или параллельно.
2. Заменить резисторы на этих участках одним резистором, общее сопротивление  $R_{общ}$  которого не изменит силу тока на остальных участках цепи.
3. Повторить такие действия еще раз, если вновь образовавшаяся цепь будет иметь участки с последовательным или параллельным соединением элементов. В результате схема должна быть эквивалентна цепи с одним резистором, присоединенным к источнику тока.
4. Рассчитать силу тока, протекающего через источник электрического тока, используя при этом закон Ома для замкнутой цепи.
5. Рассчитать силу тока и напряжение в резисторе, пользуясь закономерностями для последовательных и параллельных соединений элементов электрической цепи, поднимаясь вверх по этапам упрощения исходной цепи.

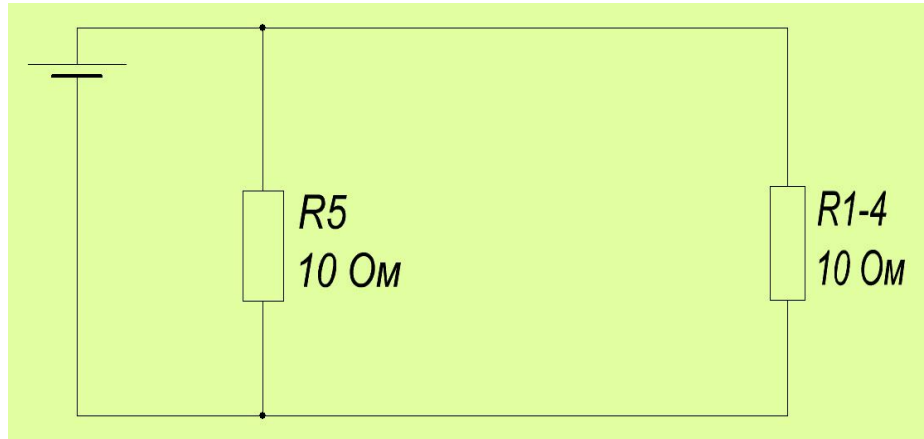




$$R_{2-3} = R_2 + R_3 = 4 + 6 = 10 \text{ Ohm}$$

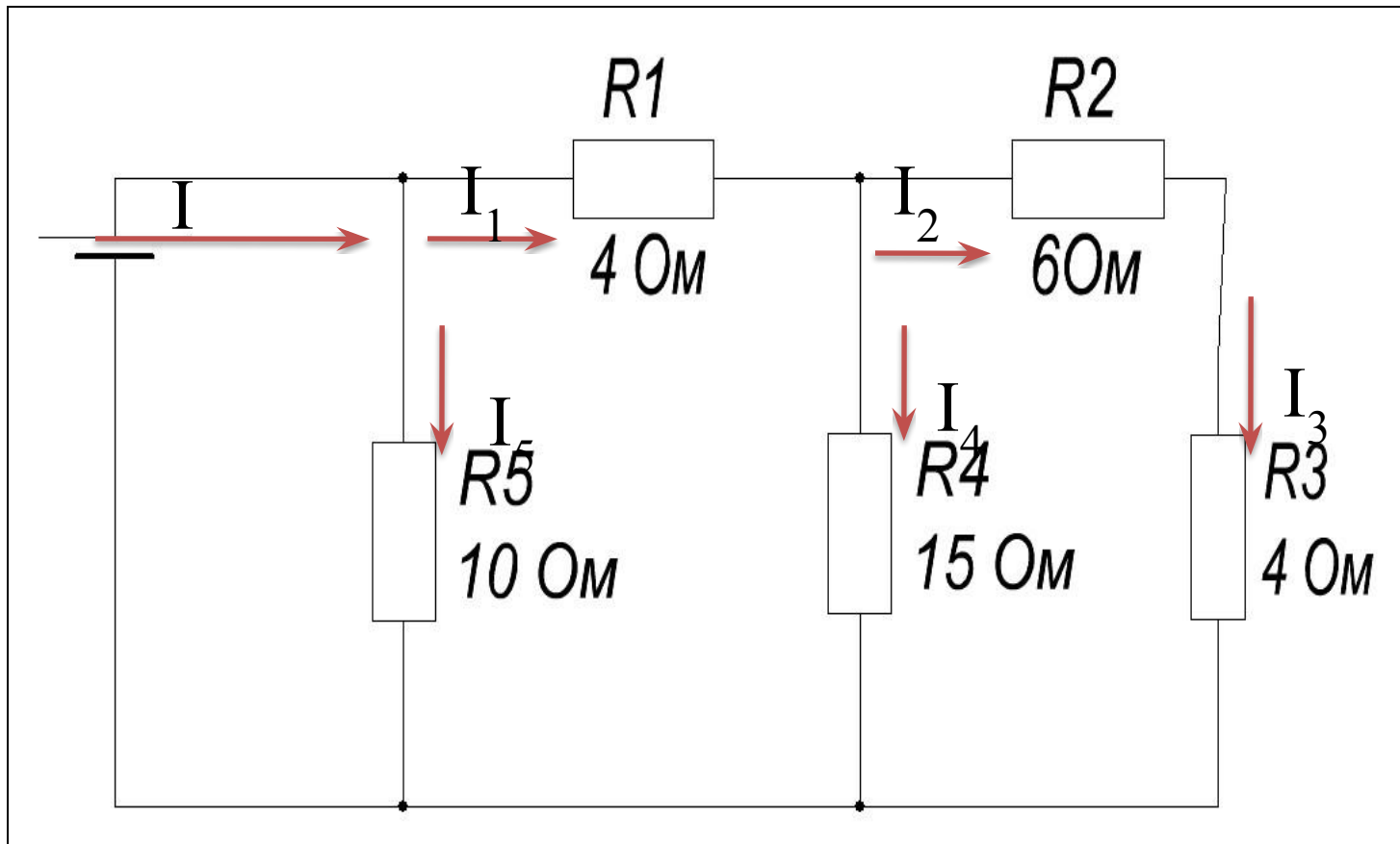


$$R_{2-4} = \frac{R_{2-3} \cdot R_4}{R_{2-3} + R_4} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = 6 \text{ Ohm}$$



$$R_{1-4} = R_{2-4} + R_1 = 4 + 6 = 10 \text{ Ohm}$$

$$R_{1-5} = \frac{R_{1-4} \cdot R_5}{R_{1-4} + R_5} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5 \text{ Ohm}$$



$$I = I_1 + I_5$$

$$U = U_5$$

$$I_1 = I_2 + I_4$$

$$U_5 = U_1 + U_4$$

$$I_2 = I_3$$

$$U_4 = U_2 + U_3$$

$$I = \frac{U}{R_{1-5}} = \frac{50}{5} = 10 A$$

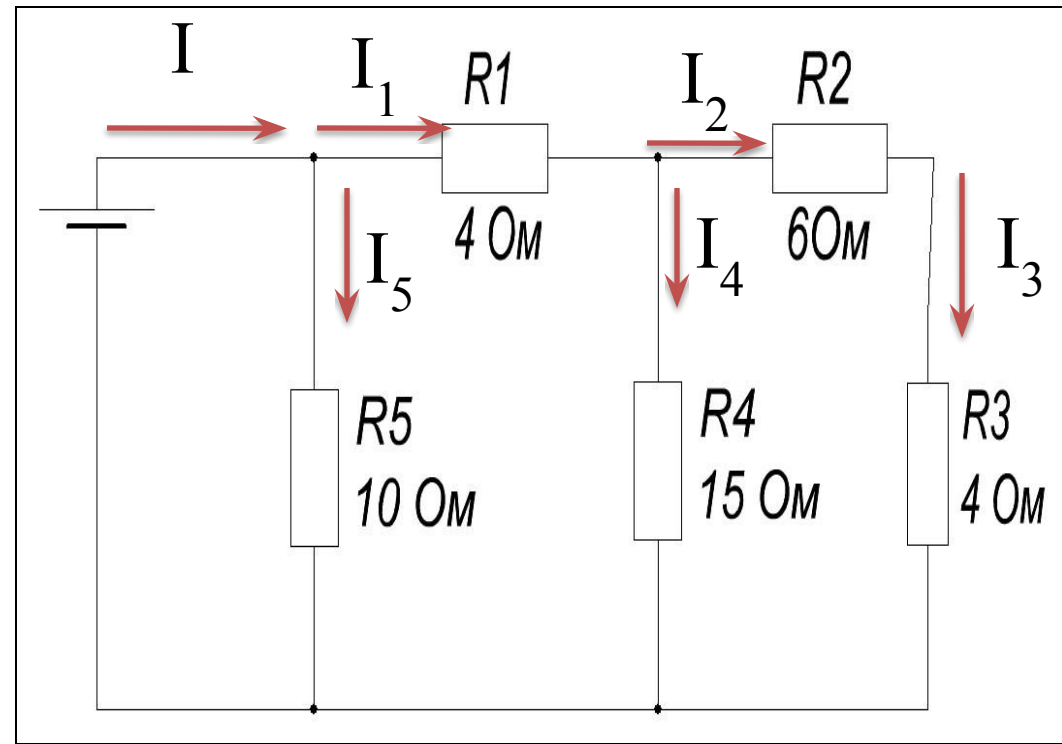
$$I_5 = \frac{U}{R_5} = \frac{50}{10} = 5 A$$

$$I_1 = I - I_5 = 10 - 5 = 5 A$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 = 5 \cdot 4 = 20 B$$

$$U_4 = U_5 - U_1 = 50 - 20 = 30 B$$

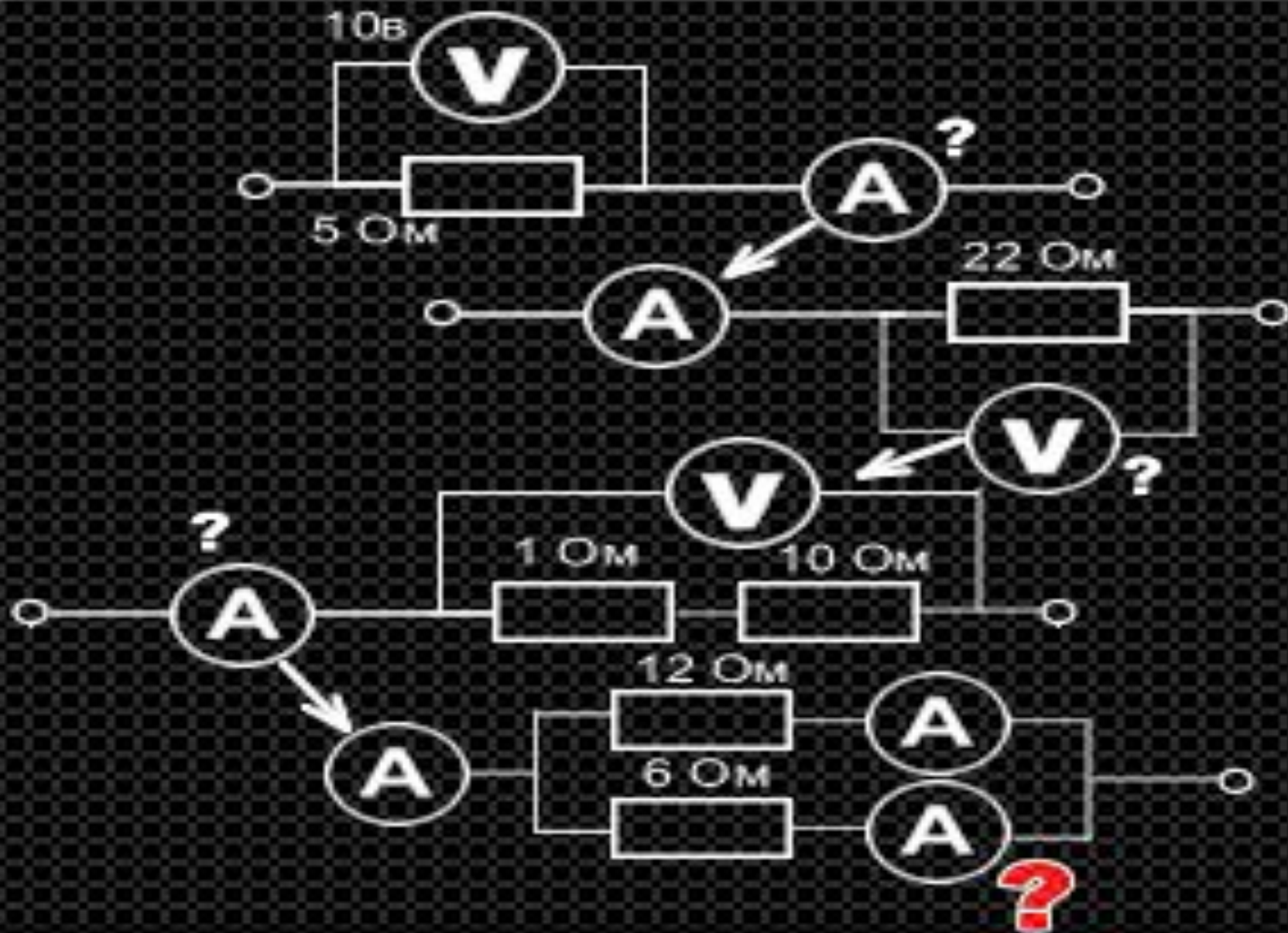
$$I_4 = \frac{U_4}{R_4} = \frac{30}{15} = 2 A$$



$$I_2 = I_1 - I_4 = 5 - 2 = 3 A$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2 = 3 \cdot 6 = 18 B$$

$$U_3 = I_3 \cdot R_3 = 3 \cdot 4 = 12 B$$

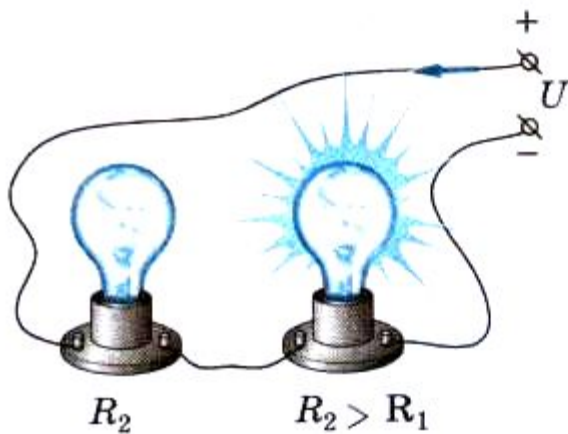




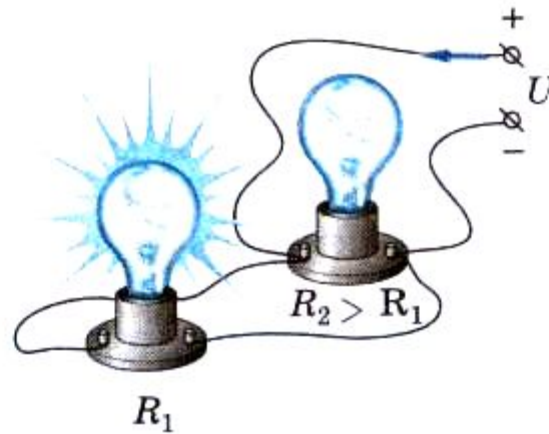
## Закон Джоуля—Ленца

*Количество теплоты, выделяемое в проводнике с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения по нему тока:*

$$Q = I^2 R t.$$



a)



б)

*Зависимость выделения тепла в проводниках от типа соединения:  
а) последовательное соединение;  
б) параллельное соединение*

$$Q = \frac{U^2}{R} \Delta t$$

# Проверка сечения проводов на нагрев

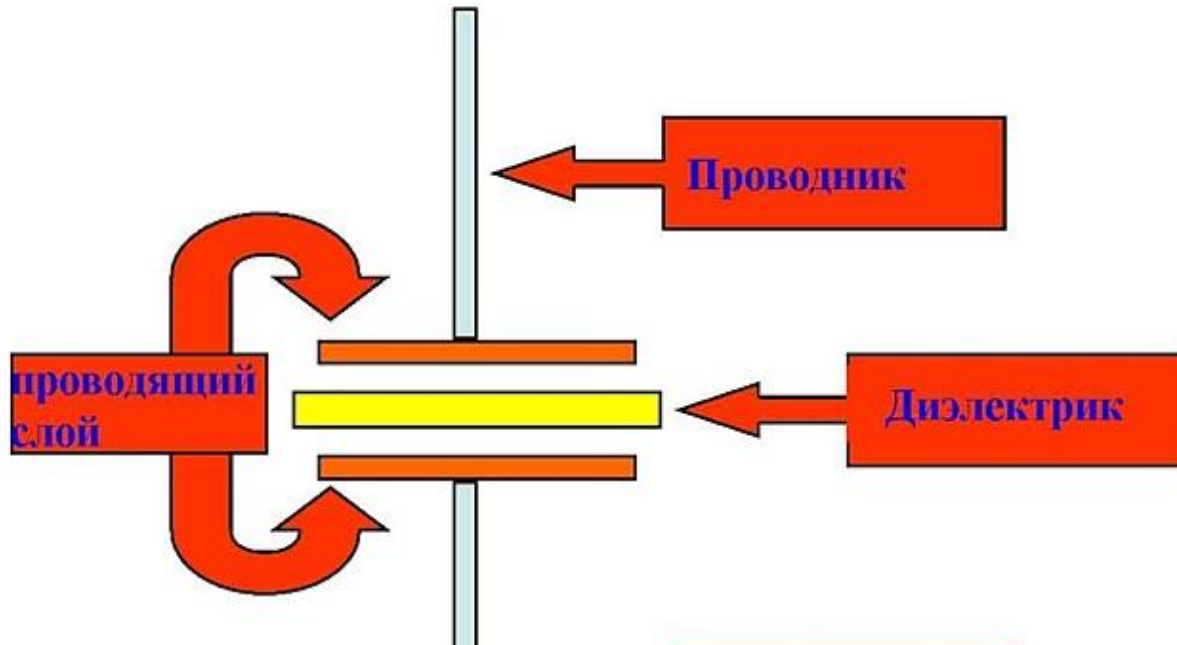
Допустимое для данной силы тока сечение провода определяется по таблицам допустимых длительных токовых нагрузок на провода и кабели, приведенным в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ).

Провод выбирается такого сечения, чтобы допустимый ток его был равен или больше заданного или расчетного тока.

Поперечное сечение провода мм <sup>2</sup>	Допустимый ток в медном проводе, А	Допустимый ток в алюминиевом проводе, А
0.5	11	
1	17	
2.5	30	24
4	41	32
6	50	36
10	80	55
25	140	105
50	215	165

# КОНДЕНСАТОР

*Конденсатор* — это элемент электрической цепи, состоящий из проводящих электродов (обкладок), разделенных диэлектриком и предназначенный для использования его емкости.



# Электрическая емкость конденсатора

*Ёмкость конденсатора* - это отношение заряда накопленного в конденсаторе, к разности потенциалов между его электродами (приложенному напряжению)

$$C = \frac{q}{U}$$

$C$  — емкость, Ф;  $q$  — заряд, Кл;

$U$  - разность потенциалов на обкладках конденсатора, В.

За единицу емкости в международной системе СИ принимают емкость такого конденсатора, у которого потенциал возрастает на один вольт при сообщении ему заряда один *кулон* (Кл). Эту единицу называют *фарадой* (Ф).

$$1\text{Ф} = 10^6 \mu\text{кФ} = 10^9 \text{нФ} = 10^{12} \text{пФ}$$

# Номинальное напряжение конденсатора

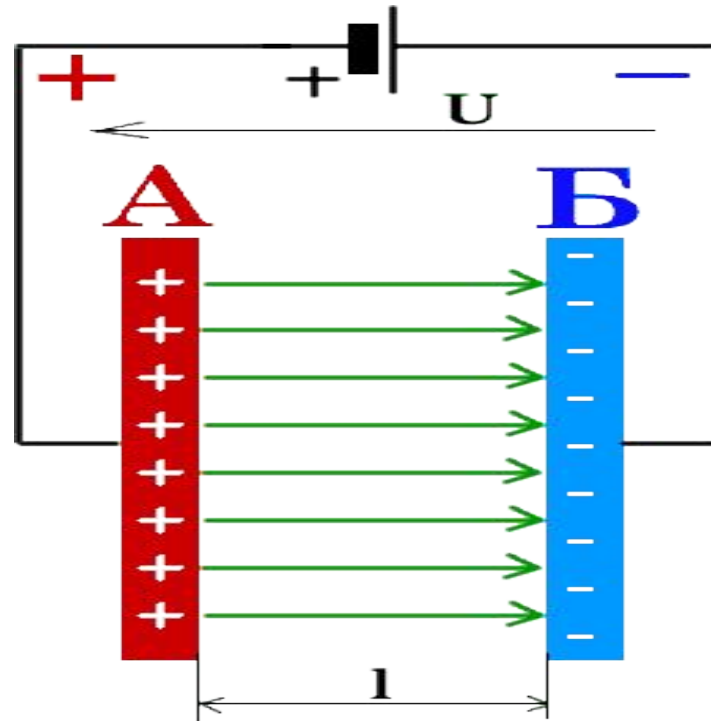
**Номинальное напряжение** — значение напряжения, обозначенное на конденсаторе, при котором он может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах.

Номинальное напряжение зависит от конструкции конденсатора и свойств применяемых материалов.

При эксплуатации напряжение на конденсаторе не должно превышать номинального.

Для многих типов конденсаторов с увеличением температуры допустимое напряжение снижается.

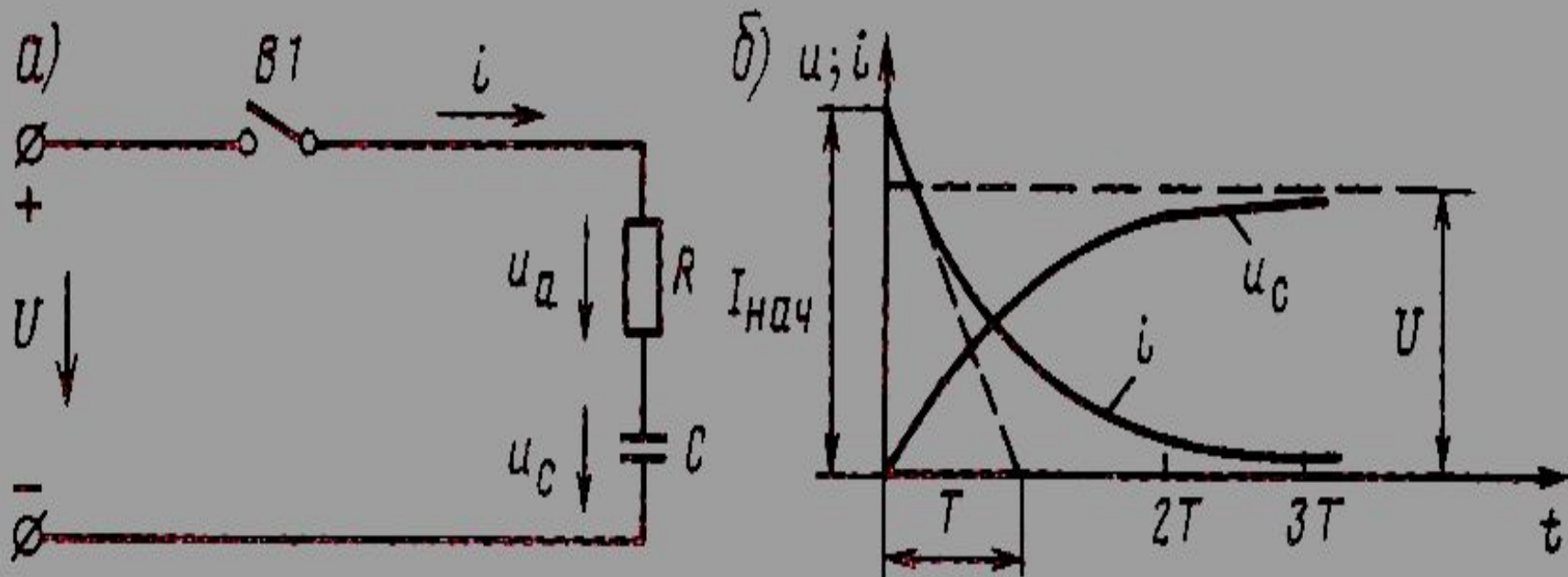
# Заряд конденсатора



При присоединении пластин конденсатора к источнику питания с постоянным напряжением на них образуются равные по величине, но противоположные по знаку электрические заряды.

Когда разность потенциалов на пластинах станет равной напряжению, прохождение тока прекращается.

# Кривые зарядного тока и напряжения конденсатора



С повышением напряжения на конденсаторе ток заряда уменьшается и становится равным нулю, а напряжение на нем быстро возрастает.

# Продолжительность процесса заряда и разряда конденсатора

Зарядный ток

- С повышением емкости конденсатора возрастает количество зарядов, накапливаемых на его обкладках, а с

Разрядный ток

- Увеличение сопротивления и емкости повышает зарядный ток, что замедляет накопление зарядов на этих обкладках разряда.

**Постоянная времени показывает время**, за которое  $U$  или  $I$  при заряде (разряде) конденсатора изменяется в « $e$ » (2.7) раза, а весь процесс можно считать законченным через  $5\tau$

При  $t=0$  - ток имеет наибольшее значение;

При  $t=\tau$  - 37% от наибольшего значения тока

При  $t=2\tau$  - до 14 %

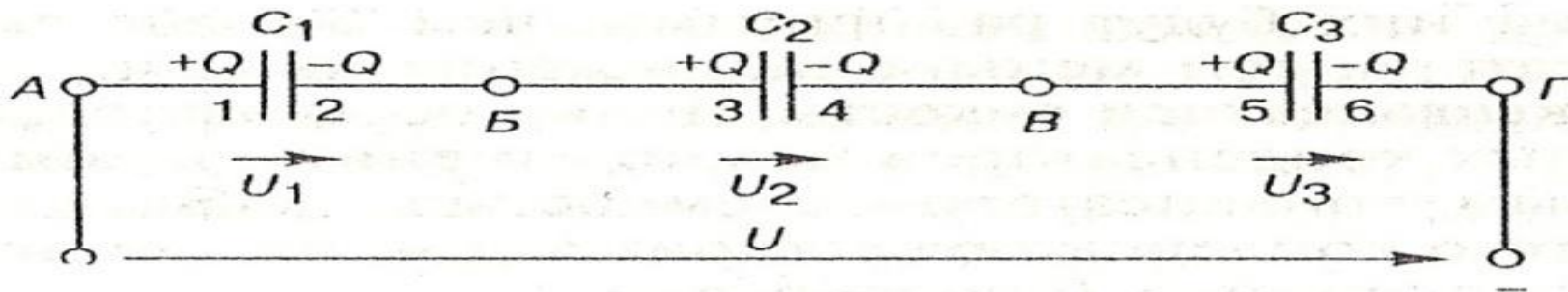
При  $t=3\tau$  до 5 %



# **ВЫВОД:**

**При подключении конденсатора к цепи постоянного напряжения ток проходит кратковременно в момент заряда и разряда, поэтому можно считать, что конденсатор не пропускает постоянный ток.**

## Последовательное соединение конденсаторов



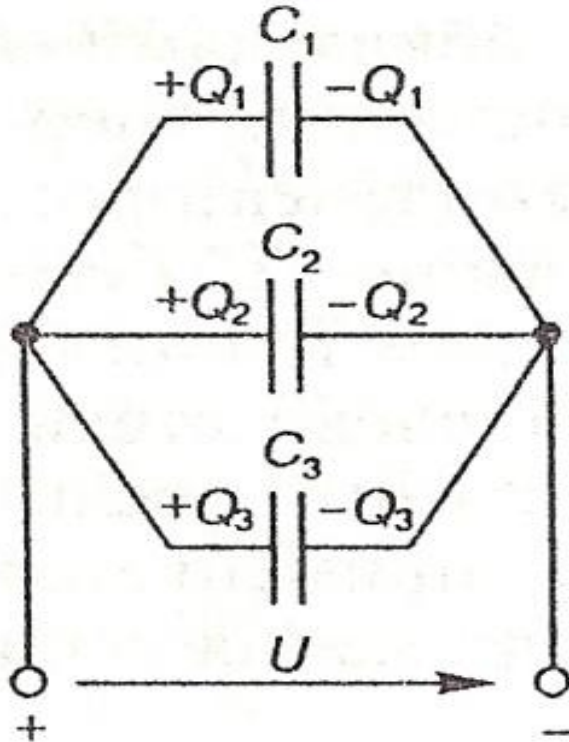
Сумма напряжений конденсаторов равна приложенному к цепи

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Величина обратная эквивалентной емкости равна сумме обратных величин емкостей отдельных конденсаторов:

$$\frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

# Параллельное соединение конденсаторов



Напряжение на каждом конденсаторе равно приложенному напряжению.

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

Заряды на обкладках отдельных конденсаторах прямо пропорционально их емкости

$$Q_1 = C_1 U \quad Q_2 = C_2 U \quad Q_3 = C_3 U$$

$$C = Q/U = C_1 + C_2 + C_3$$

**Параллельное соединение применяется для увеличения емкости,**

## Контрольные вопросы

1. Какое напряжение можно подключить к трем параллельно соединенным конденсаторам, если их номинальные емкости равны: 100 В, 150 В, 50 В.

2. Два одинаковых конденсатора с емкостью 4 пФ подключили к сети с напряжением 100 В при этом их соединили сначала последовательно, а потом параллельно. Как при этом изменилось напряжение на них и эквивалентная емкость?

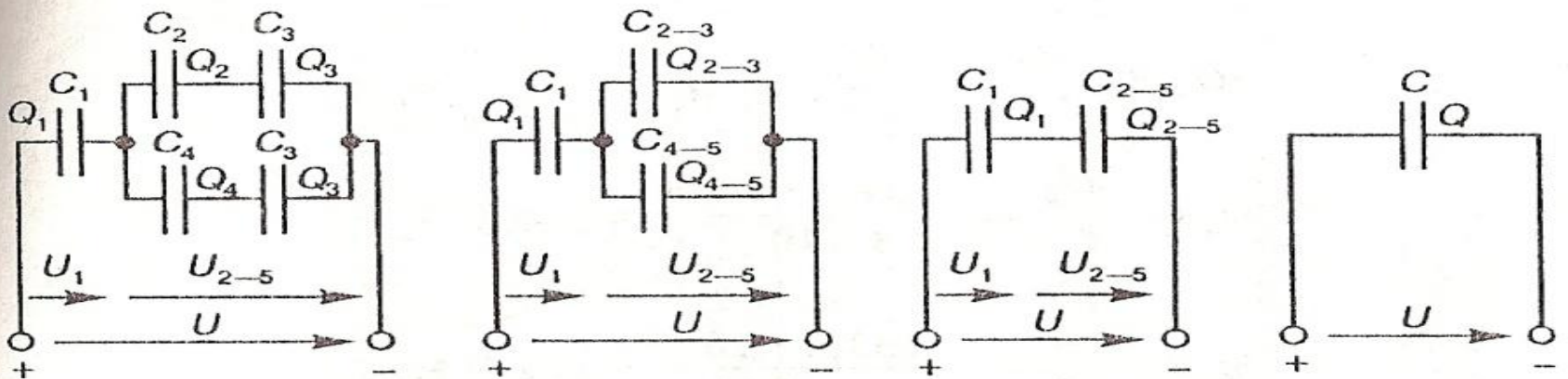
3. На каком конденсаторе при их последовательном соединении напряжение больше, если емкость первого 4 пФ, а второго 4 нФ?

# Смешанное соединение

*Используется в тех случаях, когда необходимо увеличить емкость, а напряжение сети больше допустимого напряжения конденсатора.*

*При расчете таких цепей пользуются формулами для последовательного и параллельного соединений, постепенно упрощая схему, и приводя ее к одному простому виду.*

$$Q = CU = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 200 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$$

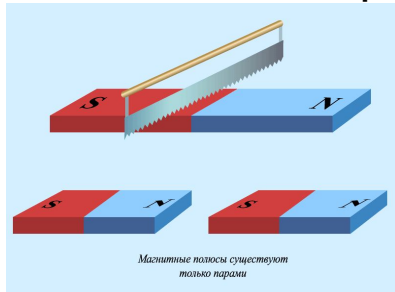


# Электродинамика

## Электромагнетизм

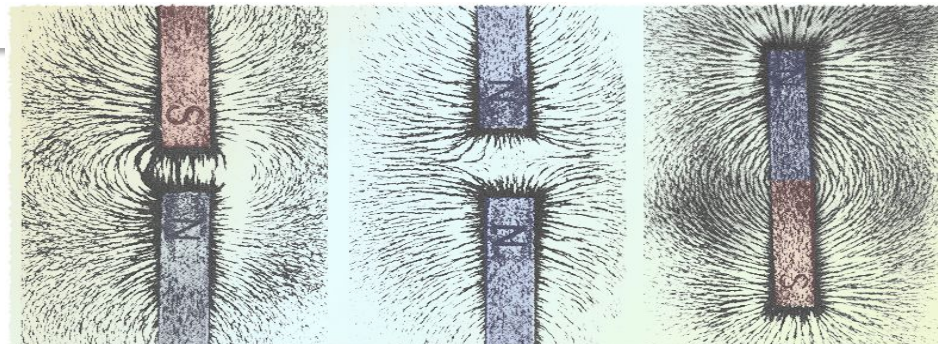
Магнетизм – это явление, которым сопровождается движение электрических зарядов.

Магнит имеет два полюса: северный и южный. Полюс – это места, где проявляются наибольшие силы взаимодействия. Одноименные полюса отталкиваются, разноименные притягиваются.



Магнитное поле – это особый вид материи, через которую передается действие магнитных сил.

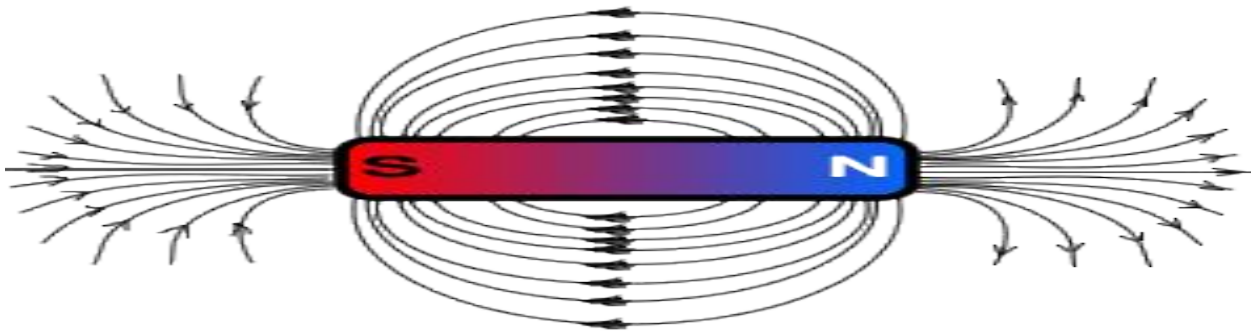
Условно графически магнитное поле изображается в виде силовых линий.





# Свойства силовых линий

- принято считать, что в пространстве силовые линии направлены из северного полюса в южный, внутри магнита из южного в северный оставаясь замкнутыми;



- никогда не пересекаются;

- стараются замкнуться по наикратчайшему пути;

- действуют друг на друга с силой, направленной перпендикулярно к ним.

# Классификация веществ по магнитным свойствам

- **ферромагнитные** (хорошо намагничиваются сами и могут намагничивать другие тела)- железо, сталь, чугун, никель, кобальт, специальные сплавы;
- **парамагнитные** (слабо намагничиваются и слабо притягиваются) марганец, алюминий, олово, платина;
- **диомагнитные** (слабо отталкиваются) медь, цинк, свинец, ртуть, серебро.

# Магнитные величины

**Магнитная индукция** – это число силовых линий, приходящееся на единицу площади поперечного сечения, расположенную перпендикулярно силовым линиям.

- Обозначается -  $B$
- Единица измерения:

СГС - Гс (Гаусс)

СИ  $\text{Вс}/\text{м}^2 = \text{Вб}/\text{м}^2 = \text{Тл}$  (Тесла)

- $1 \text{ Тл} = 10^4 \text{ Гс}$

**Магнитный поток** - полное число силовых линий, пронизывающих поверхность

$$\Phi = B S$$

$\Phi$  – магнитный поток, Вб (Вебер)

$B$  - магнитная индукция, Тл

$S$  - площадь сечения,  $\text{м}^2$

**Единицы измерения:**

СГС - Гс.  $\text{См}^2$  - Мкс (Максвелл)

СИ -  $\text{Вб}/\text{м}^2 \cdot \text{м}^2 = \text{Вб}$  (Вебер)

$1 \text{ Вб} = 10^8 \text{ МКс}$

## Магнитная проницаемость

Абсолютная- способность среды проводить магнитный поток  
 $\mu_a$

Единица измерения: Ом с\м

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  Ом с\м постоянная магнитная величина (абсолютная магнитная проницаемость вакуума)

Относительная – число, показывающее во сколько раз магнитная проницаемость данной среды лучше или хуже проводит магнитный поток, чем вакуум.

$$\mu = \mu_a \mu_0$$

**Напряжённость магнитного поля**- интенсивность магнитного поля без учета среды

$$H = B / \mu_a$$

Единица измерения      А\м

Величина напряженности зависит от причин, вызвавших это поле:

- постоянных магнитов - от степени их намагничивания;
- для полей созданных током - от величины тока и формы проводов.

# Магнитное поле проводника с током

- Вокруг проводника с током возникает магнитное поле по все его длине. Силовые линии замыкаются по концентрическим окружностям.
- Величина напряженности:

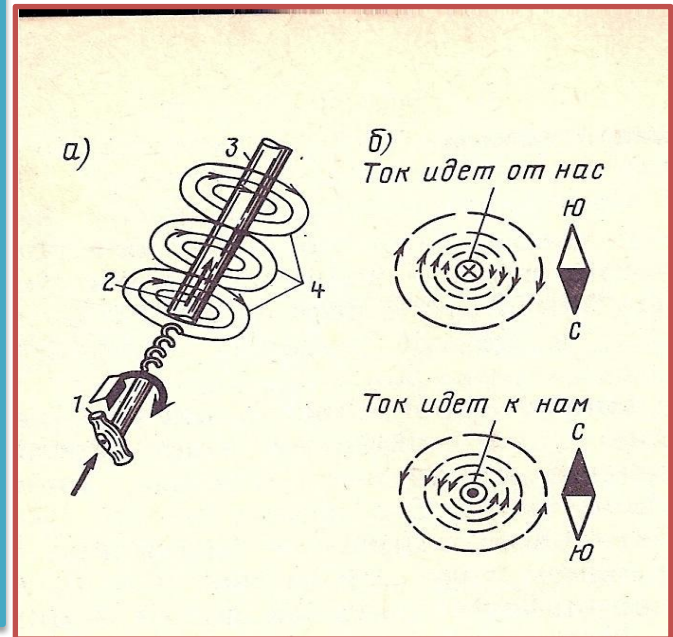
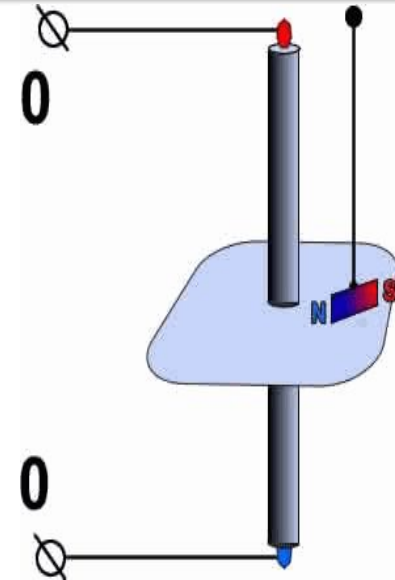
$$H = I/2\pi a$$

$I$  – величина ток, А

$a$  - расстояние от оси проводника до точки, в которой определяется напряженность, м

- Направление силовых линий зависит от направления тока и определяется по правилу буравчика

- Буравчик надо вращать так, чтобы его острие двигалось по направлению тока. Тогда направление вращения рукоятки укажет на направление магнитного поля.



Соленоид-это проводник, имеющий вид спирали. Магнитные поля отдельных витков складываются, образуя общее сконцентрированное магнитное поле.

Полюса соленоида расположены на его концах

Полярность магнитного поля соленоида зависит от направления тока и определяется по правилу правой руки.

Правой рукой надо обхватить соленоид так, чтобы четыре пальца показали направление тока. Тогда большой отогнутый палец укажет северный полюс

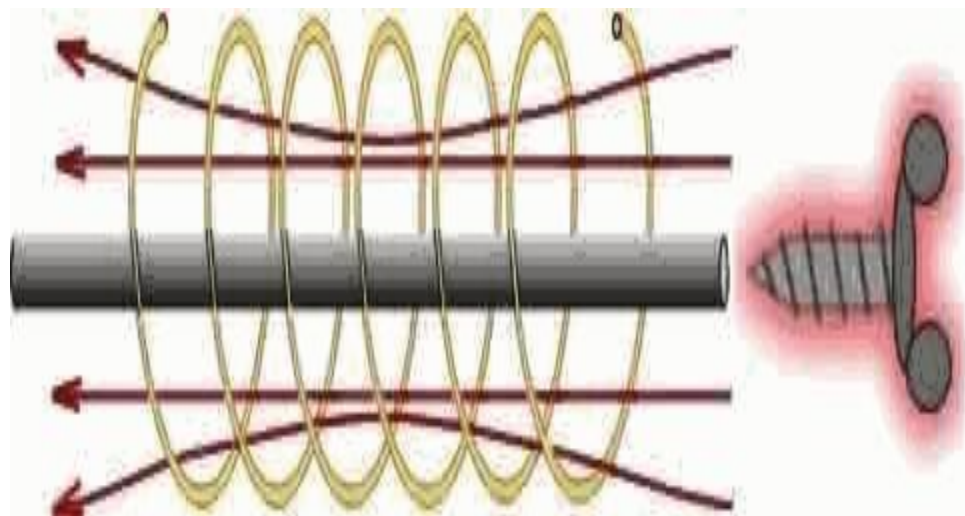
Напряженность поля внутри соленоида

$$H = I \omega \backslash l$$

электрический ток

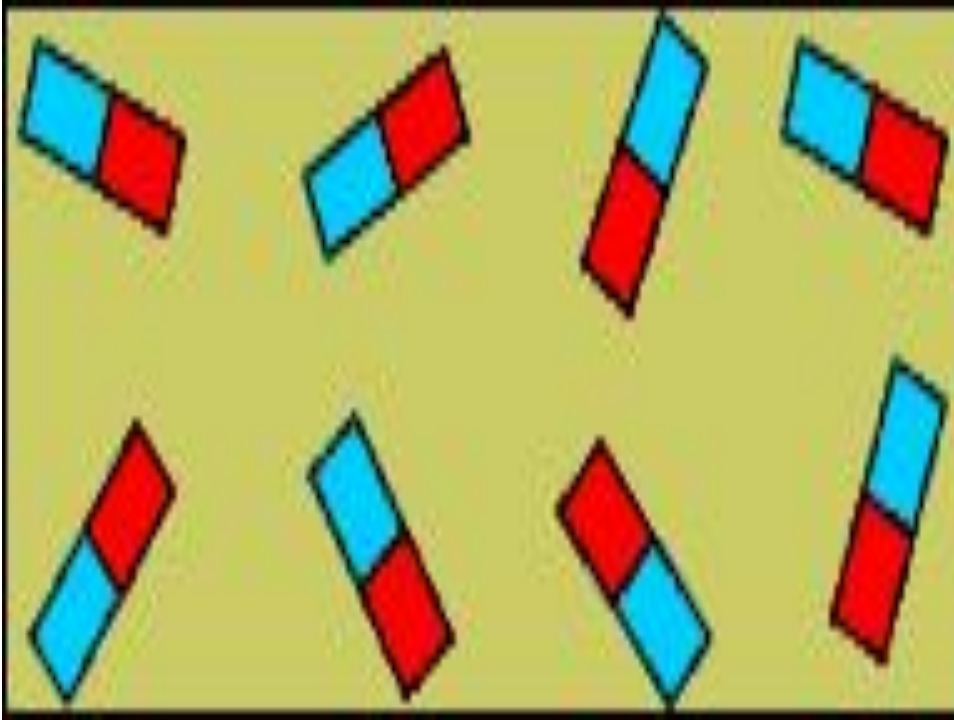
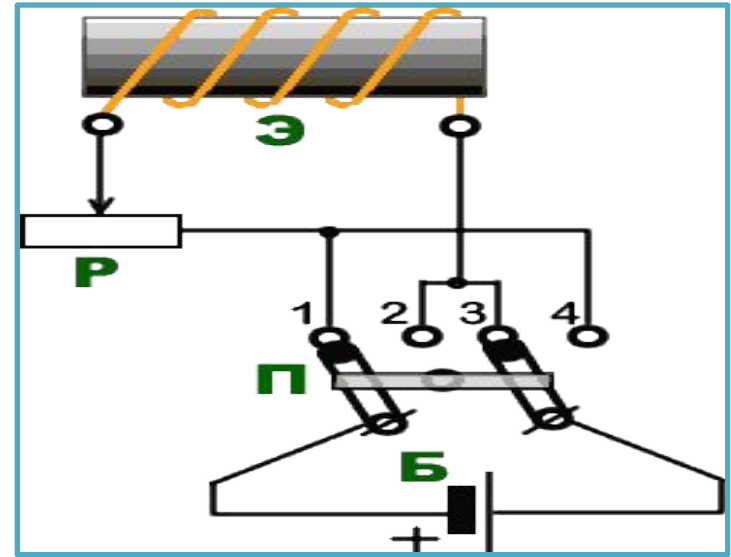
$\omega$  число витков

$l$  длина катушки



# Намагничивание ферромагнитных материалов

Электроны в атомах образуют круговой ток и создают магнитный поток, перпендикулярный плоскости орбиты. Поля отдельных электронов не намагниченного ферромагнитного материала расположены беспорядочно, тело в целом не проявляет магнитных свойств.



Для намагничивания магнитных материалов тело помещают внутрь катушки, по которой пропускают постоянный ток. В результате поля элементарных магнетиков приходят в упорядоченное положение, поля их складываются и тело намагничивается.





# Классификация ферромагнитных материалов

**Магнитотвердые** материалы обладают большим остаточным магнетизмом и коэрцитивной силой.

Используются для изготовления постоянных магнитов (хромистые, вольфрамистые, кобальтовые стали и специальные сплавы.)



## **Магнитомягкие**

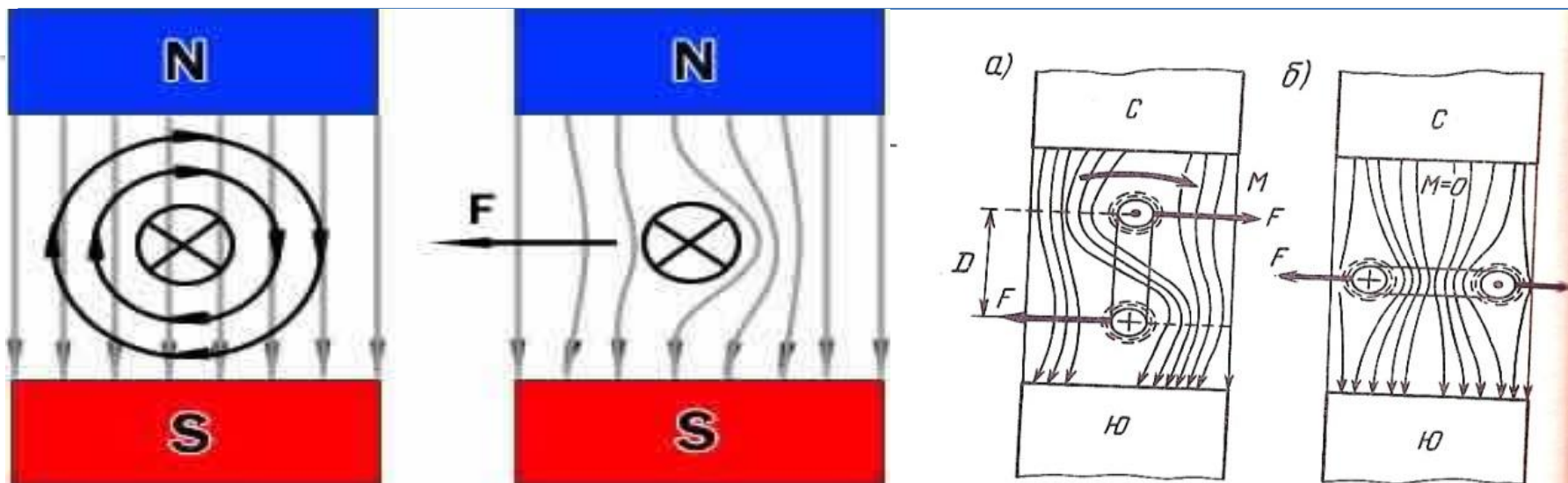
имеют небольшую остаточную магнитную индукцию и коэрцитивную силу.

Используются в качестве сердечников и магнитопроводов (железо, электротехническая сталь, перрмолой, альсифер, магнитодиэлектрики).



# Проводник с током в магнитном поле

Проводник с током, помещенный в магнитное поле испытывает со стороны поля действие электромагнитной механической силы (**силы АМПЕРА**), которая стремится двигать проводник под прямым углом к магнитным силовым линиям.

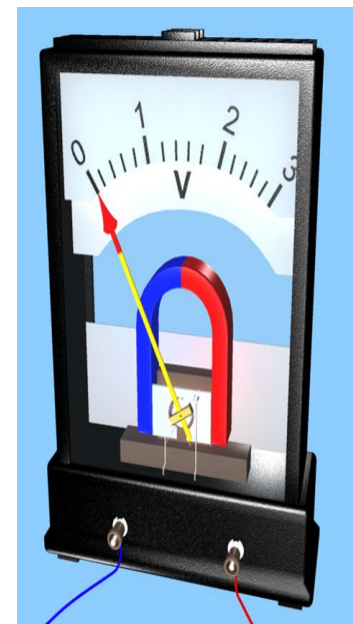
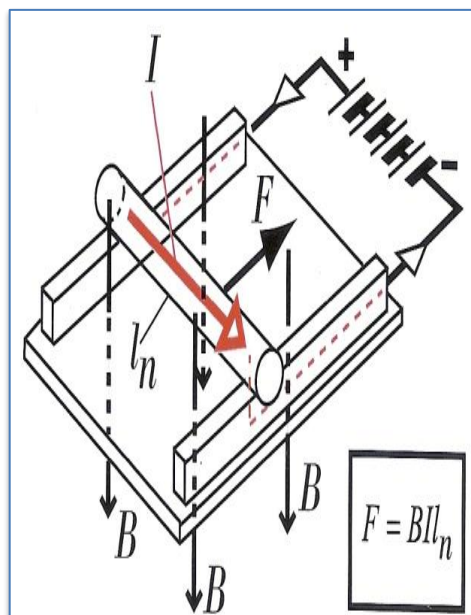


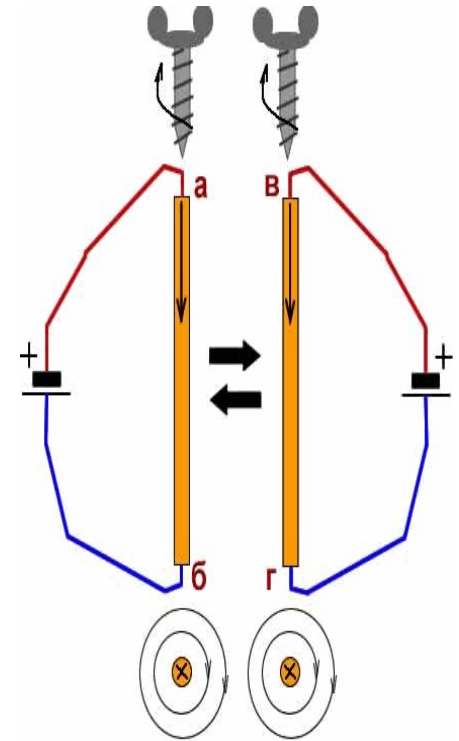
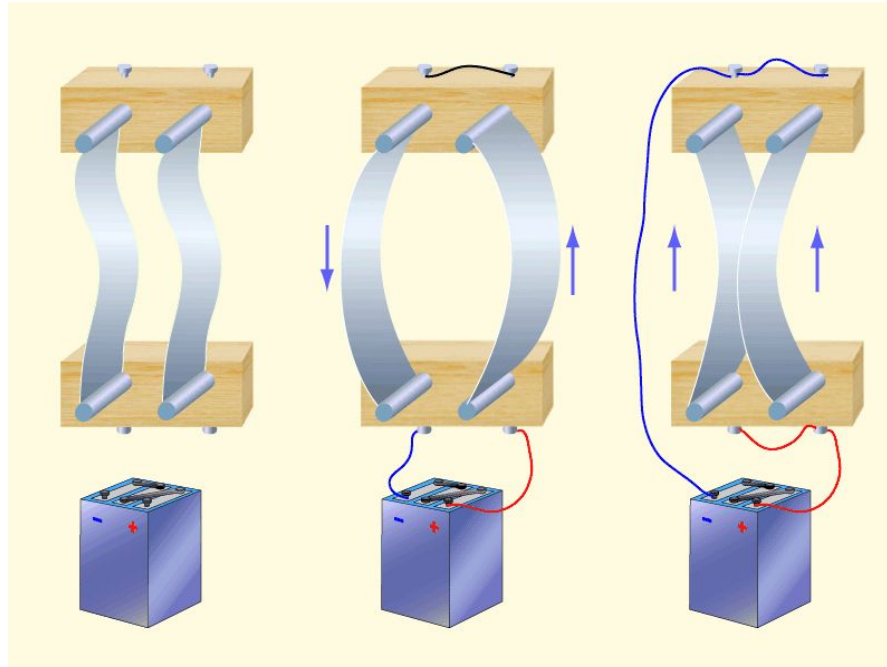
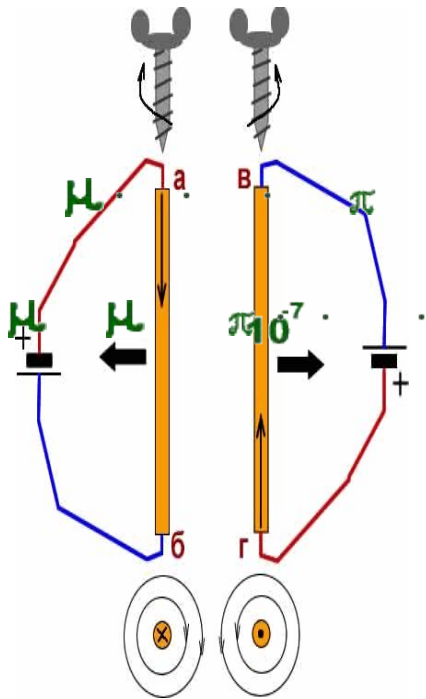
Если замкнутый контур поместить в магнитное поле и сдвинуть относительно нейтрали контур повернется до нейтрали, пройдет ее по инерции и начнет возвращаться назад. Чтобы создать вращение рамки необходимо при достижении контуром нейтрали менять в нем направление тока или полюса магнита.

# Направление и величина электромагнитной силы

Если расположить левую руку так, чтобы магнитные силовые линии входили в ладонь, перпендикулярно к ней, а четыре вытянутые пальца, указывали направление тока, то большой отогнутый палец покажет направление силы, действующей на проводник.

$$F = B l I \sin \alpha$$



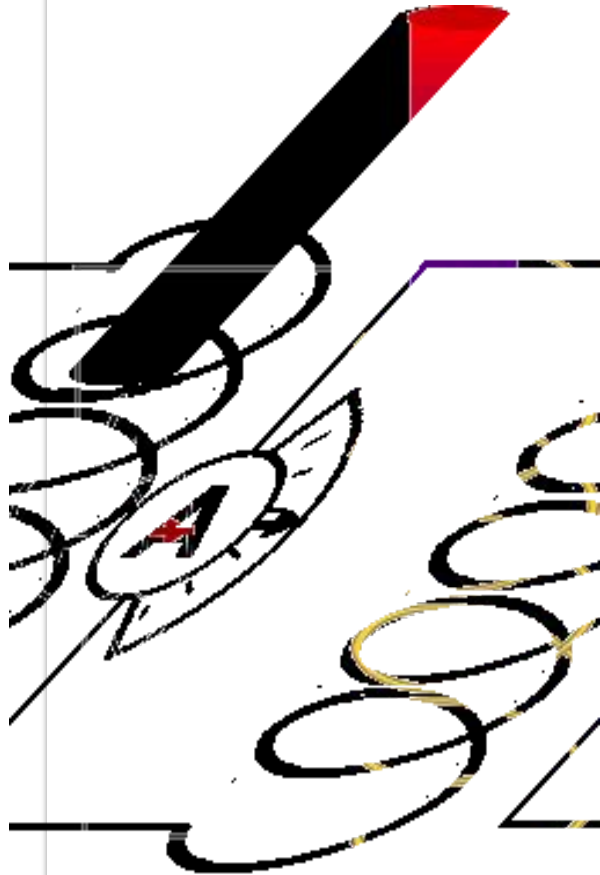
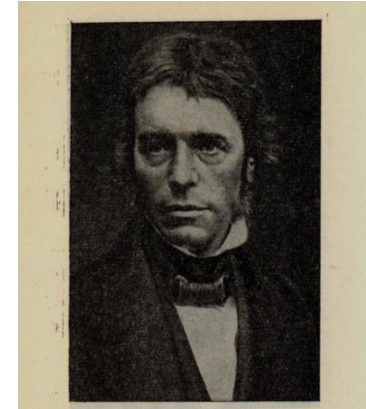


Если в проводниках направление тока в разные стороны эти проводники будут взаимно отталкиваться подобно тому, как взаимно отталкиваются одноименные полюсы магнитов.

Если через те же проводники пропустить токи одинаковых направлений то эти проводники будут притягиваться

# Электромагнитная индукция

Явление электромагнитной индукции открыто английским физиком Фарадеем в 1831 году.



Получить индуктированную ЭДС возможно:

- а) при пересечении проводника магнитным полем;
- б) при пересечении магнитного поля проводником.

Электроны проводника испытывают со стороны магнитного поля действие магнитной силы.

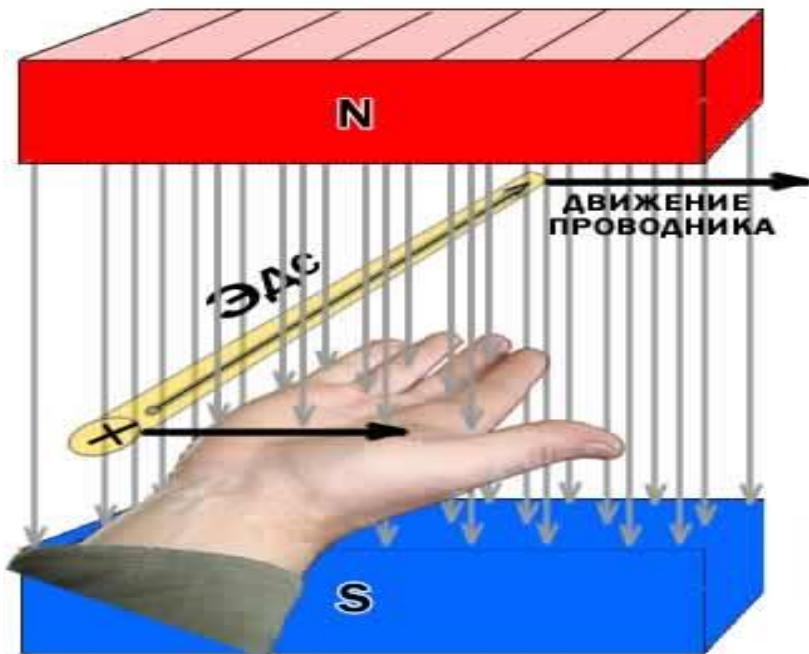
Под действием этой силы электроны смещаются в одну сторону, и на концах проводника появляется разность потенциалов.

# Направление и величина индуктированной ЭДС

Если правую руку расположить так чтобы силовые линии входили в ладонь, а большой отогнутый палец показал направление движения, то четыре вытянутых пальца укажут направление ЭДС.

Величина индуктированной ЭДС тем больше, чем больше силовых линий пересекается в единицу времени.

## Правило правой руки.



$$E = B l V \sin \alpha$$

$B$  - магнитная индуктивность, Тл

$l$  - активная длина проводника

$V$  - скорость, м/с

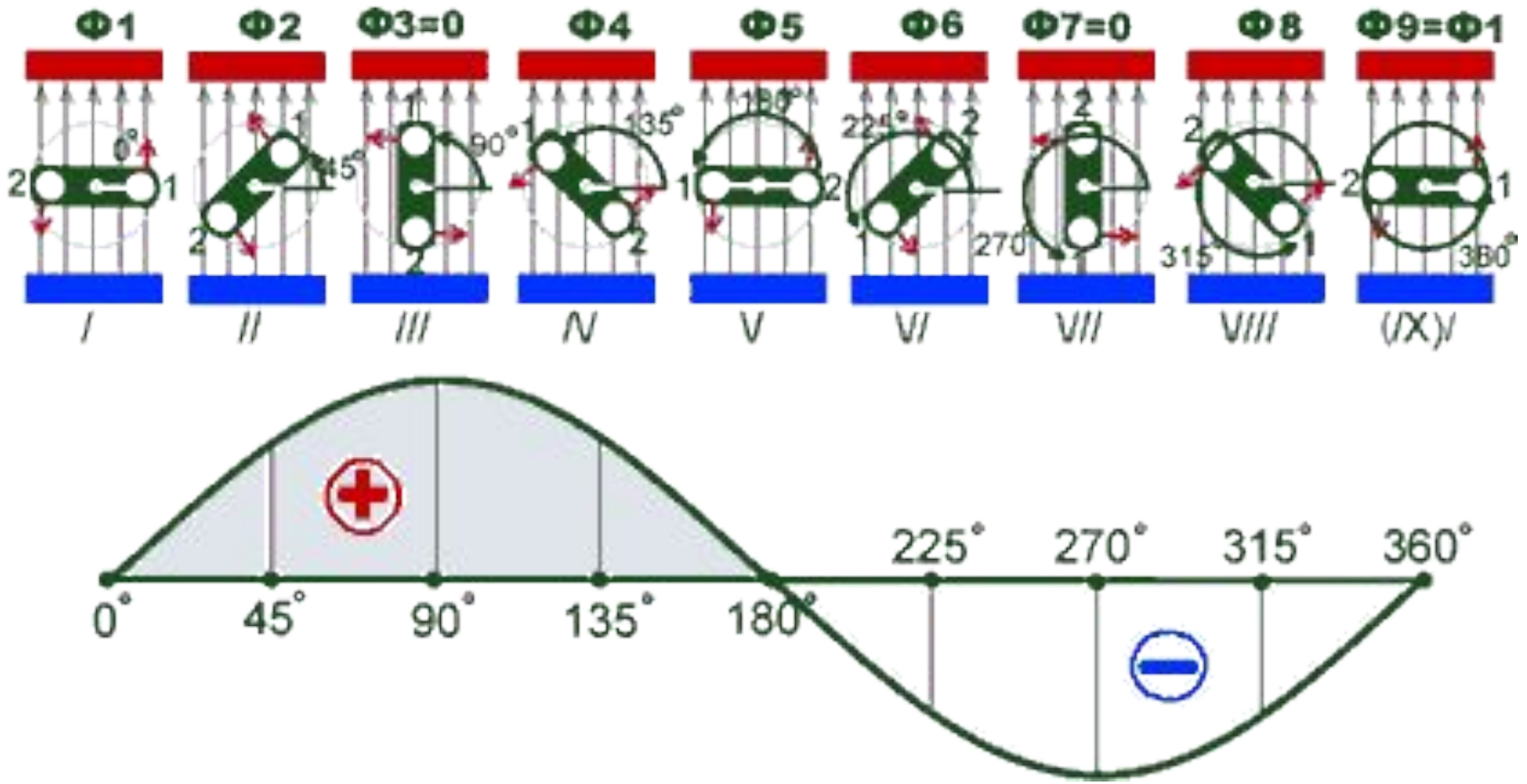
$\sin \alpha$  – синус угла между вектором скорости и силовыми линиями

Если проводник пересекает силовые линии под прямым углом ЭДС максимальна.

Если проводник движется вдоль силовых линий ЭДС равна нулю.

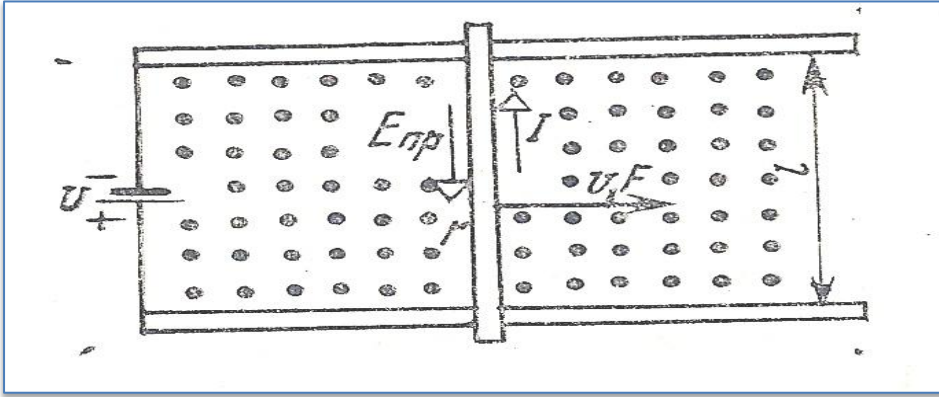


Временная диаграмма.



При вращении рамки в магнитном поле за один оборот ЭДС от нулевого значения возрастает до максимального, снижается до нуля и потом снова возрастает до максимального значения и снижается до нуля, но в другом направлении.

# ПРОТИВО ЭДС



ток в неподвижном проводнике равен:

$$I_H = U/R$$

На проводник с током, помещенный в магнитное поле действует электромагнитная сила, под действием которой проводник перемещается в направлении определенном по правилу левой руки со скоростью  $V$

$$F = B l I$$

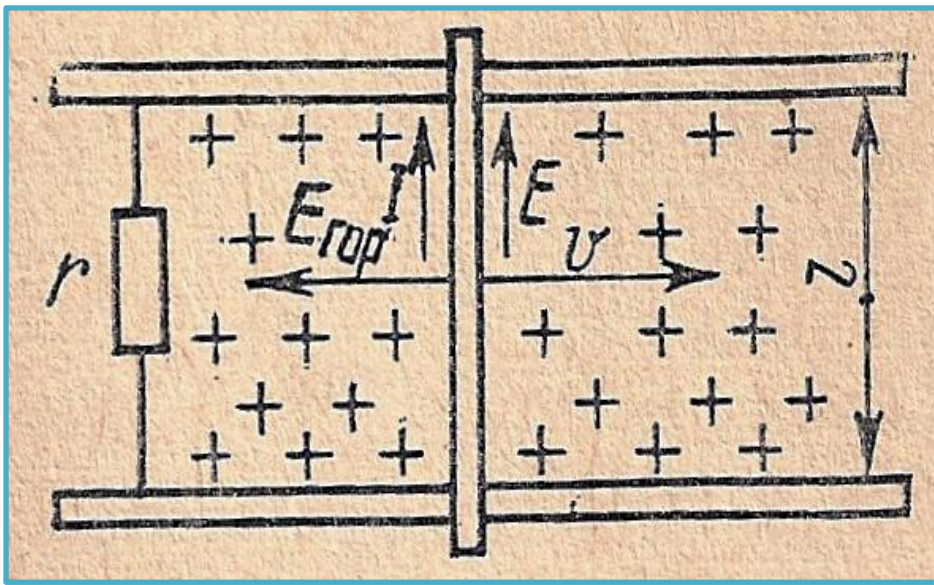
Перемещаясь проводник пересекает силовые линии, поэтому в нем наводится ЭДС, направленная навстречу приложенному напряжению

$$E = B l V$$

В результате ток в подвижном проводнике уменьшается и равен

$$I_H = U - E/R$$





В проводнике будет индуцироваться ЭДС, направление которой можно определить по правилу правой руки

$$\mathbf{E} = \mathbf{B} \mathbf{l} \mathbf{v}$$

при замыкании цепи начнет проходить ток, направление которого совпадает с направлением ЭДС

$$\mathbf{I} = \mathbf{E} / (\mathbf{R}_0 + \mathbf{R}_{\text{Вн}})$$

В результате взаимодействия магнитных полей постоянного магнита и поля, созданного током, проходящим по проводнику, на проводник начнет действовать электромагнитная сила, направление которой определяется по правилу левой руки. Действие силы всегда направлено встречно вектору скорости, поэтому это сила называется тормозящей.

$$\mathbf{F} = \mathbf{B} \mathbf{l} \mathbf{I}$$

# Самоиндукция

ЭДС самоиндукции возникает в проводнике за счет пересечения его магнитным полем, созданным изменяющимся по величине током, проходящим по этому же проводнику

$$E = - \frac{\Delta I}{\Delta t} L$$

Величина ЭДС самоиндукции зависит от скорости изменения магнитного потока и индуктивности. Направление ЭДС самоиндукции определяется по закону Ленца.

**ЭДС самоиндукции имеет всегда такое направление, при котором она препятствует изменению вызвавшего ее тока.**

Индуктивность – это способность катушки или проводника создавать ЭДС самоиндукции

Если при скорости изменения тока 1 А за 1 с в проводнике создается ЭДС равная 1 В индуктивность равна 1 Гн (генри).

Индуктивность цилиндрической катушки:

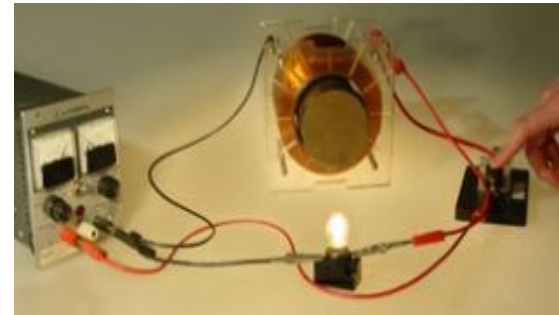
$$L = \mu_a \omega^2 S l$$

$\mu_a$  – абсолютная магнитная проницаемость

$\omega$ - число витков

$S$ - сечение

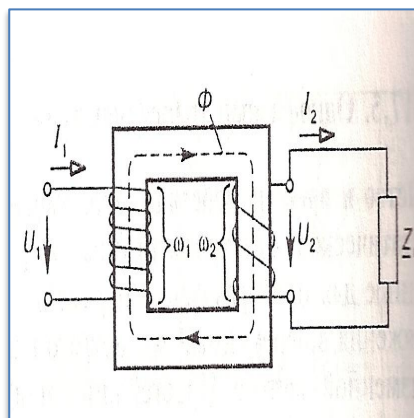
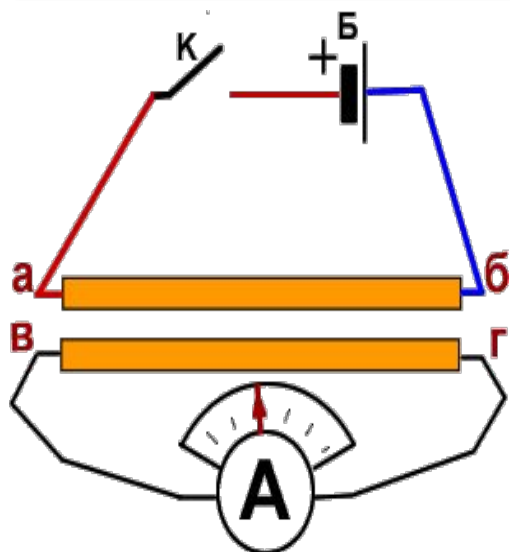
$l$ - длина магнитопровода ( для кольцевых катушек – длина средней силовой линии)



# Взаимоиндукция

Возникновение в проводнике индуцированной ЭДС вследствие изменения тока в другом проводнике называется взаимной индукцией.

Две катушки (электрически не связанные) располагают рядом. К одной подключается источник тока, к другой измерительный прибор. В момент изменения тока в первой катушке появляется ЭДС во второй.



$$E_B = - M_{1-2} \cdot \Delta I_1 / \Delta t$$

$M_{1-2}$  - взаимная индуктивность между первой и второй катушками, Гн

$\Delta I_1 / \Delta t$  скорость изменения тока в первой катушке, А/с

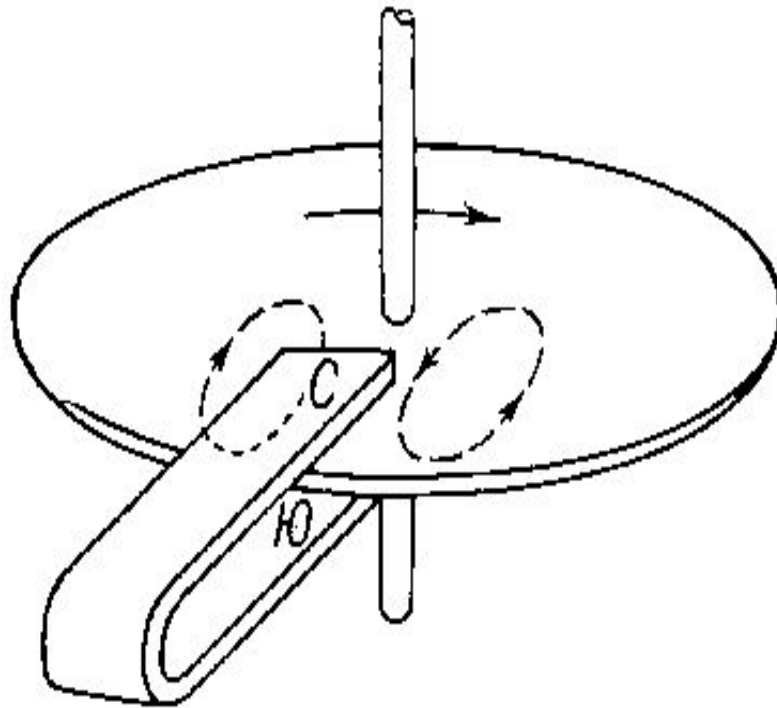
Величина взаимной индуктивности численно равна ЭДС взаимной индукции, которая индуцируется во второй катушке при изменении тока на 1 А в 1 с в первой катушке.

На величину взаимной индуктивности влияет индуктивность каждой катушки, их взаимное расположение, а также магнитная проницаемость разделяющей их среды.



# Вихревые токи

При пересечении проводников магнитным полем в них наводится ЭДС, которая создает между различными точками массивного проводника разность потенциалов, за счет которых возникают вихревые токи.



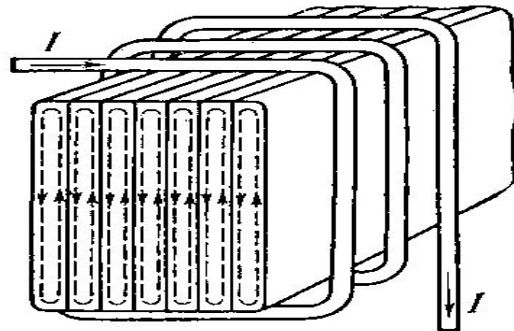
Так как массивные проводники имеют малое сопротивление, то даже малые ЭДС создают большие токи.

## Вредное действие вихревых токов

- В магнитных сердечниках вихревые токи вызывают нагрев, это приводит:
- к ухудшению изоляции обмоток,
  - снижению магнитной проницаемости,
  - созданию встречного магнитного поля.

### ***Для уменьшения вихревых токов:***

сердечники набирают из отдельных листов электротехнической стали (0,35-0,5 мм), расположенных параллельно магнитному потоку и изолированных друг от друга лаком, тонким слоем бумаги или их окаливают; вследствие малого поперечного сечения каждого стального листа, уменьшается величина проходящего через него магнитного потока, а, следовательно, уменьшается индуктируемая в нем ЭДС и ток.





## Закалка валов



## Закалка шестерен по впадине



Объёмная закалка с применением индукционного нагрева производится в индукционных соляных печах-ваннах. Индукционные печи-ванны позволяют быстро и равномерно нагреть изделие в расплаве солей до заданной температуры с высокой точностью

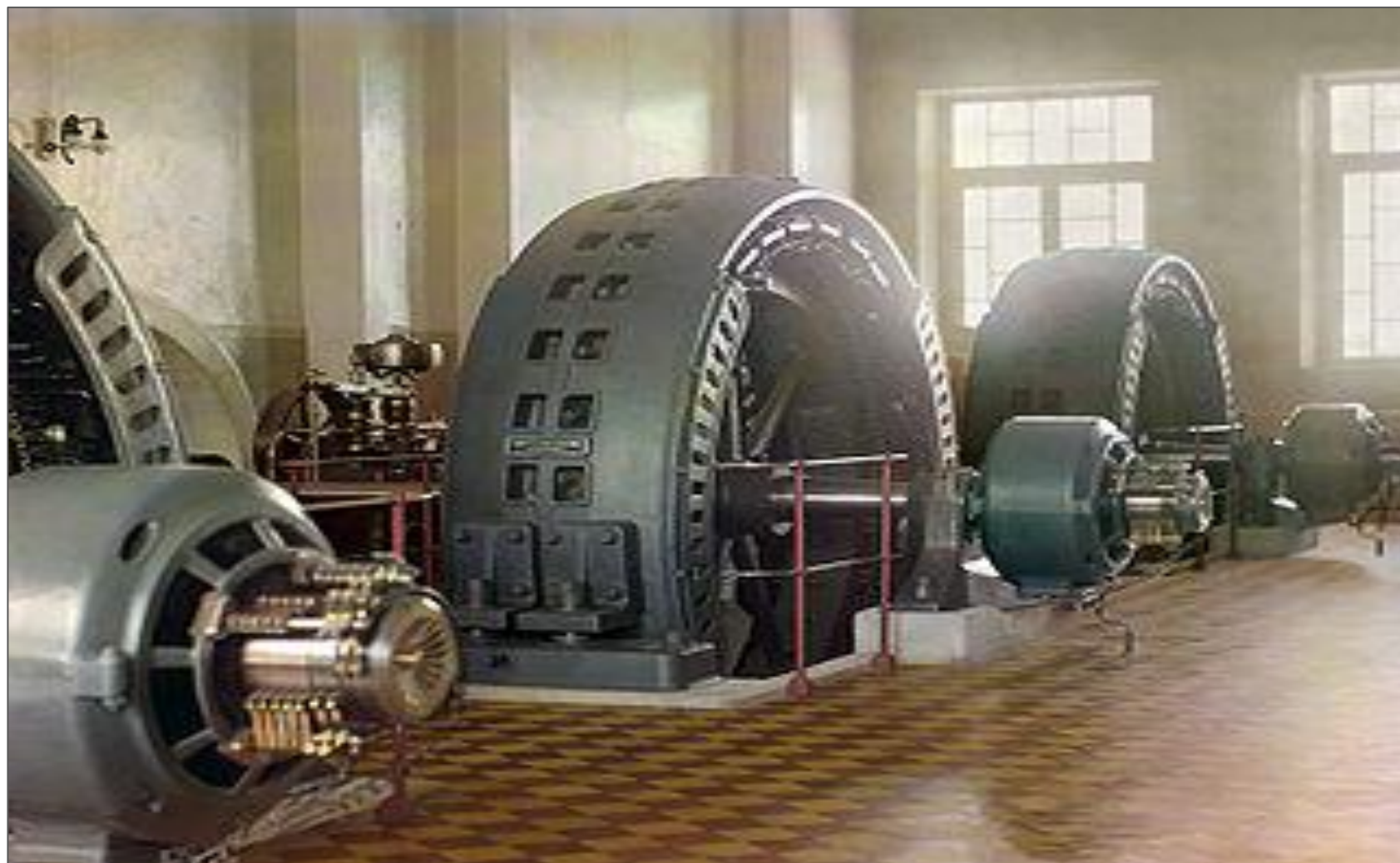


При индукционном нагреве теплота от вихревых токов выделяется непосредственно в самой заготовке. Это позволяет быстро нагреть заготовку.

Приборы дефектоскопии методом вихревых токов легко установить и легко эксплуатировать, они предоставляют надежные результаты



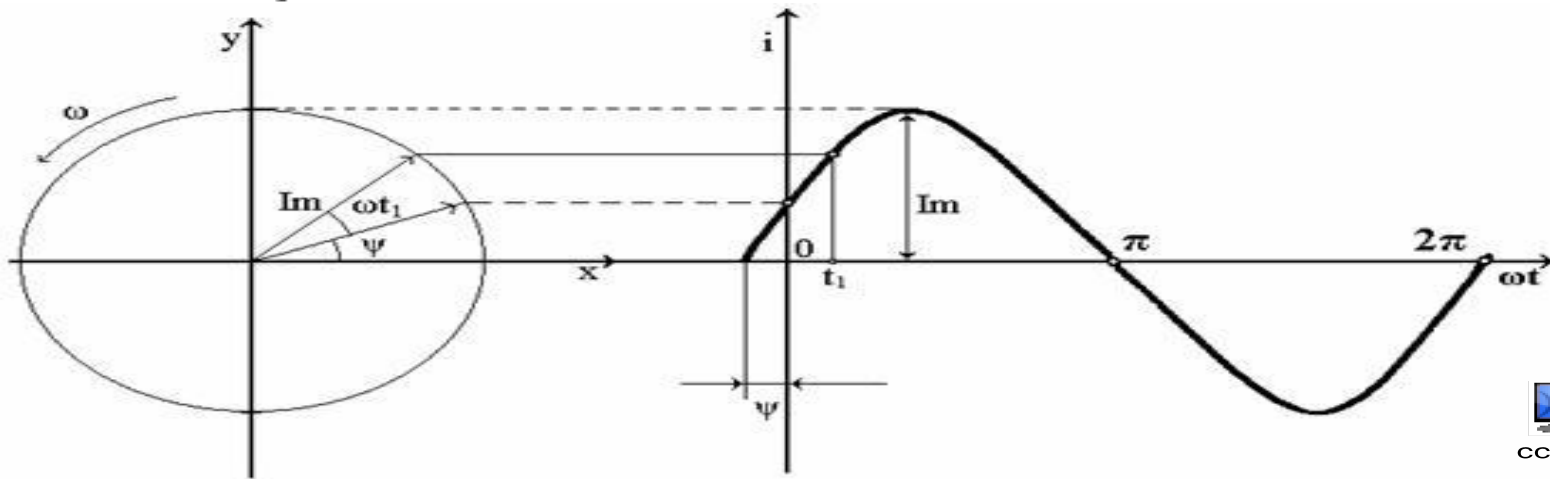
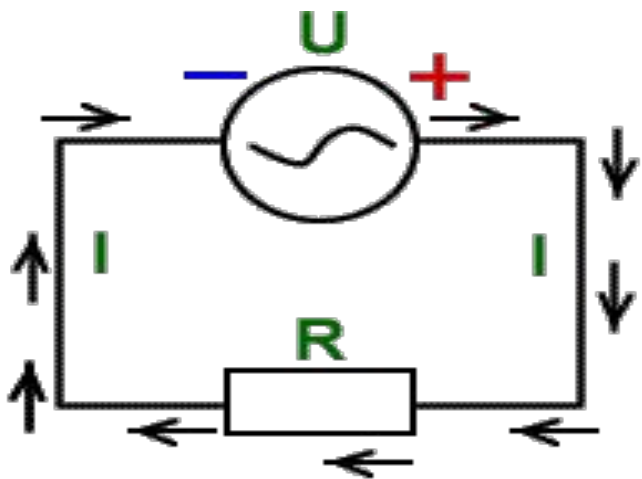
# Переменный ток и его основные законы





# Переменный ток

Переменный ток - это ток, который каждое мгновение изменяет свою величину и периодически направление. Для получения переменного тока используют генераторы переменного тока.



# Значения переменных величин

## **Мгновенное значение** –

значение переменной величины в конкретный момент времени

$i, u, e$

## **Амплитуда** –

наибольшее значение переменных величин

$I_m, U_m, E_m$

## **Действующее значение** –

под действующем значением переменного тока понимают силу такого постоянного тока, который проходя по проводнику в течение некоторого времени, выделит в нем такое же количество тепла, как и данный переменный ток.

$I, U, E$

$$I = 0.707 I_m$$

**Период**- промежуток времени в течении которого ЭДС, напряжение и ток совершают полный цикл изменений

$$T, \text{с}$$

**Частота** – число полных периодов изменения ЭДС, напряжения, тока за 1 секунду

Единица измерения- Гц (Герц)

$$f = \frac{1}{T}$$

**Переменный ток, применяемый в промышленности, имеет частоту  $f = 50$  Гц и называется током промышленной частоты.**

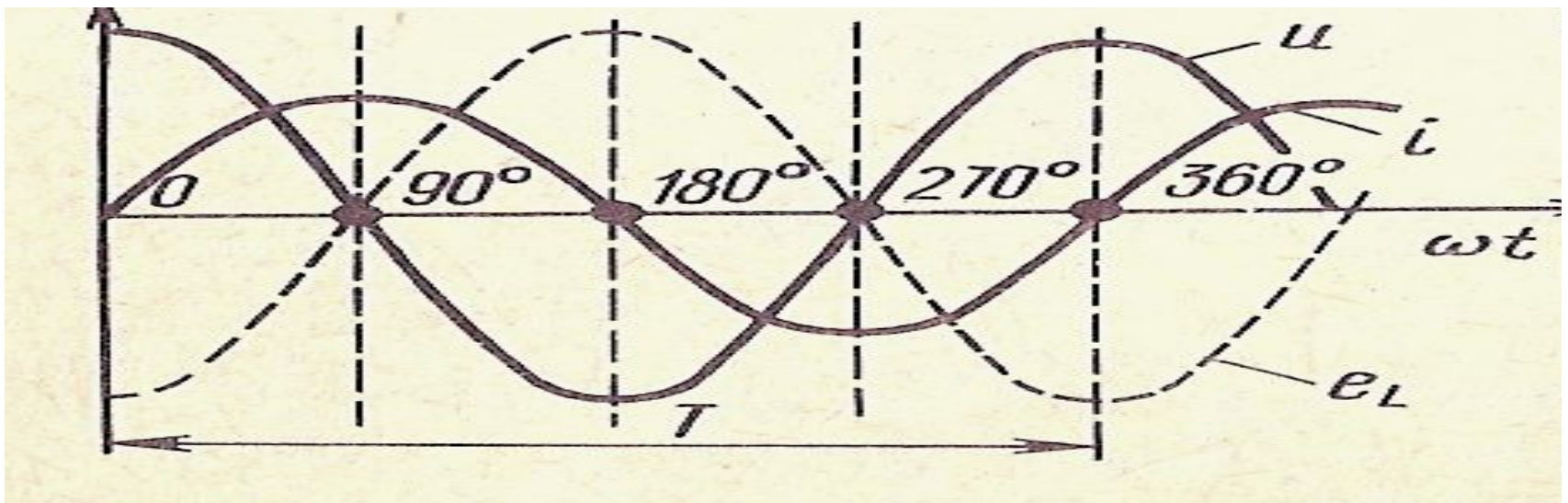
**Продолжительность периода такого тока 0,02 сек.**

**Угловая скорость** - Угловая скорость  $\omega$  характеризует скорость вращения катушки генератора в магнитном поле т.е. угол изменения тока, ЭДС, напряжения за 1 секунду

$$\omega = 2\pi f, \text{ рад/с}$$

# УГОЛ СДВИГА ФАЗ

Если у двух переменных величин одинаковой частоты нулевые и максимальные значения приходятся на разное время, считается, что они сдвинуты по фазе. При этом опережает та величина, которая раньше входит или выходит из положительного полупериода.



## Построение векторных диаграмм

Векторные диаграммы представляют собой совокупность векторов, изображающих синусоидально изменяющиеся величины, действующие в данной электрической цепи.

В качестве модулей векторов принимают действующие значения.

Сложение векторов можно производить, используя метод параллелограмма или многоугольника.

При отложении векторов необходимо учитывать, что опережающая величина откладывается против часовой стрелки, а отстающая по часовой стрелке.

# Пример построения векторной диаграммы

$I_1 = 3 \text{ A}$      $I_2 = 4 \text{ A}$   
опережает второй ток

$$\alpha = 90^\circ$$

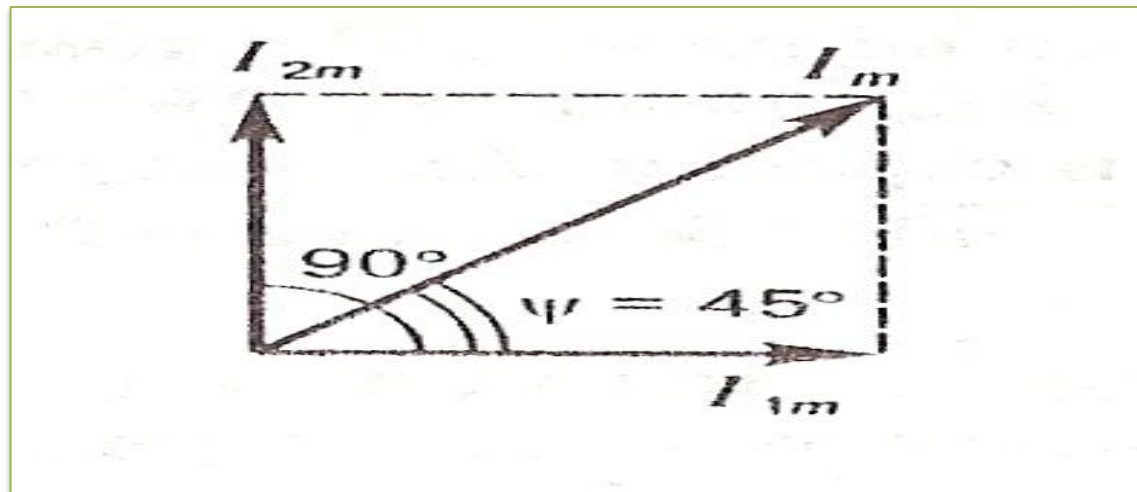
Масштаб:  $m_i = 1 \text{ A/cm}$

Так как второй ток опережает первый на угол  $90^\circ$ , вектор второго тока откладывается со смещением по часовой стрелки..

Величина общего тока

$$I = m_i l_B = 1 \text{ A/cm} \cdot 5 \text{ cm} = 5 \text{ A}$$

$l_B$  -длина вектора



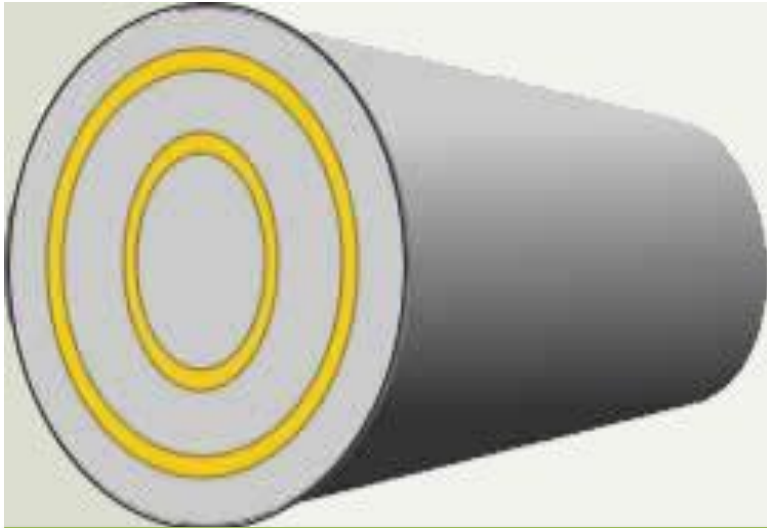
## СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Сопротивление препятствие на преодоление, которого затрачивается определенное количество энергии.

**Активное сопротивление** – при включении в цепь переменного тока энергия преобразуется в тепловую.

**Реактивное сопротивление** – в цепи переменного тока возникает обмен энергией между ним и источником тока. Подразделяется на **индуктивное и емкостное**.

# Поверхностный эффект



Явление поверхностного эффекта зависит:

- от частоты переменного тока;
- от материала проводника;
- диаметра;
- Вида проводника (цельного сечения или многопроволочный)

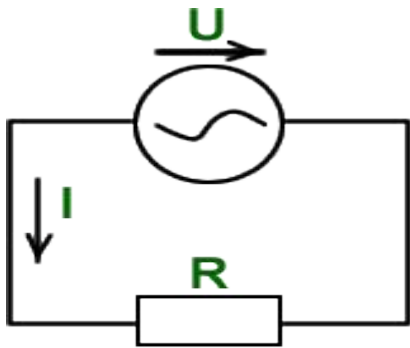
При прохождении по проводнику переменного тока в нем создается ЭДС самоиндукции, препятствующая изменению тока. Поэтому ток будет стремиться пройти там где ЭДС самоиндукции имеет наименьшее значение. Так как в центре проводника густота силовых линий больше, ток вытесняется к поверхности проводника. Тем самым уменьшается площадь полезного сечения. Это явление называется поверхностным эффектом.

**Как данные параметры влияют на степень поверхностного эффекта?**



# АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Сопротивление, включенное в цепь переменного тока, в котором происходит превращение электрической энергии в полезную работу или в тепловую энергию, называется *активным сопротивлением*.



$$R_a = \frac{\rho l}{S} K$$

$K$ -коэффициент поверхностного эффекта

Сопротивление проводника, измеренное при постоянном токе-

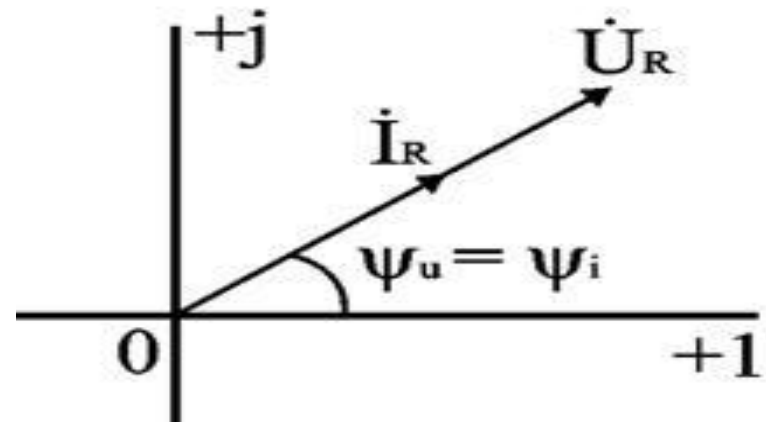
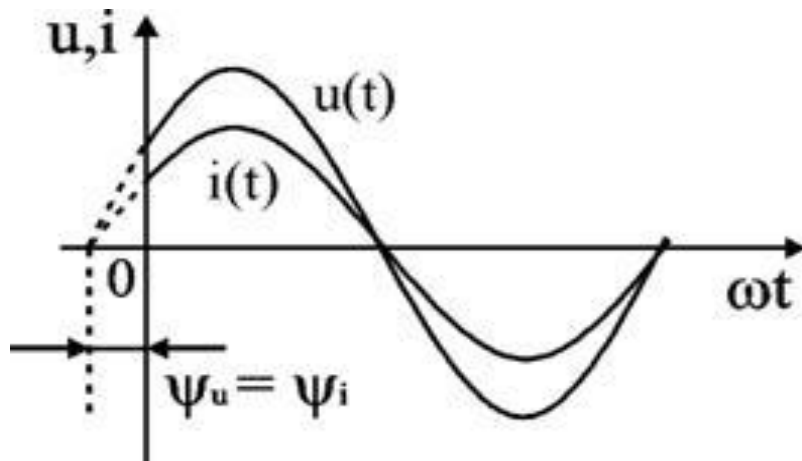
При низких частотах активное и омическое сопротивление приблизительно равны

$$K=1$$

При высоких частотах активное сопротивление в десятки раз больше омического

## Электрическая цепь с активным сопротивлением

В цепи переменного тока с активным сопротивлением по мере изменения по величине и направлению напряжения одновременно пропорционально меняются величина и направление тока. Это значит, что **ток и напряжение совпадают по фазе**.



**Закон Ома для цепи с активным сопротивлением**

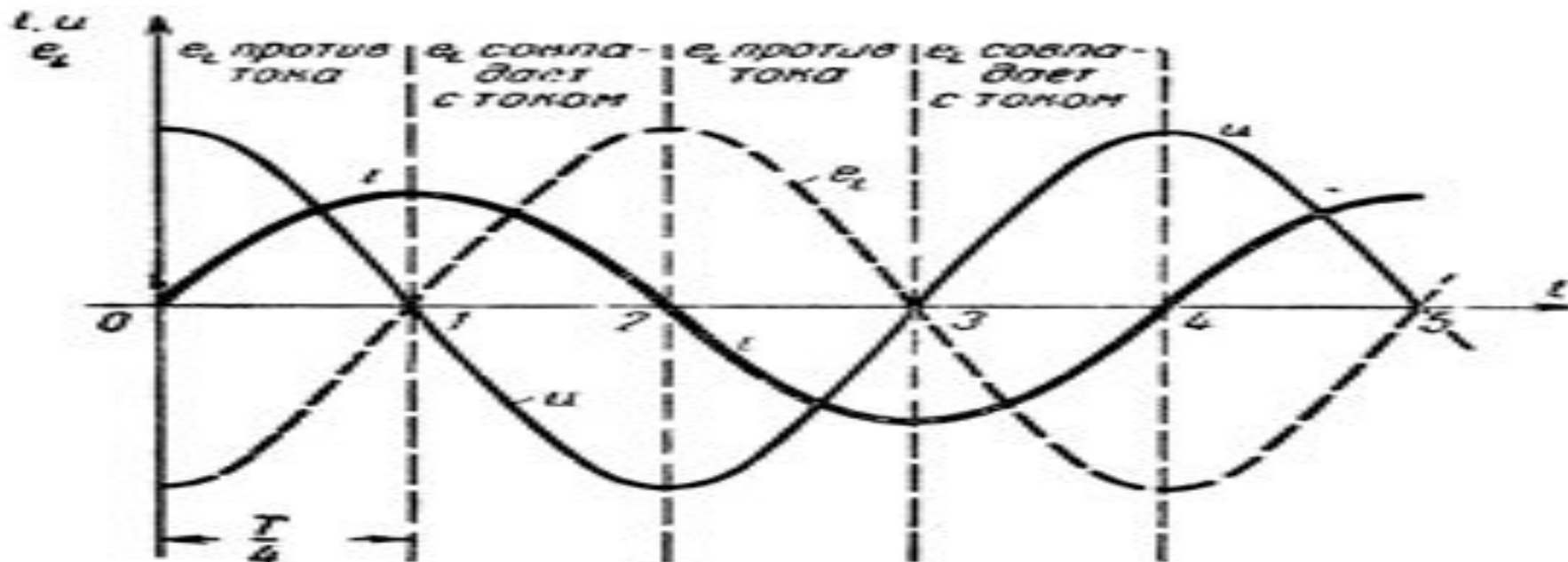
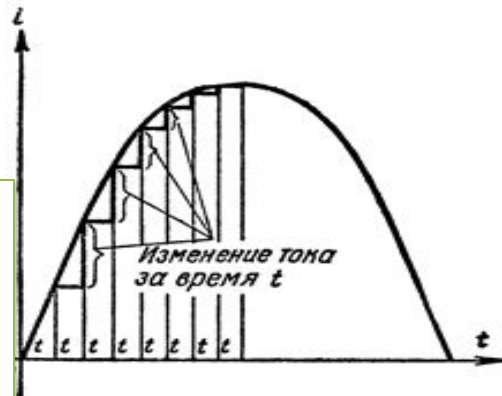
$$I = U/R$$

Активная мощность всегда положительна, т.е. энергия от источника тока передается потребителю.

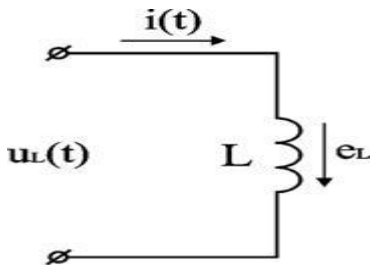
$$P = I U, \text{ Вт}$$

# ИНДУКТИВНОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО

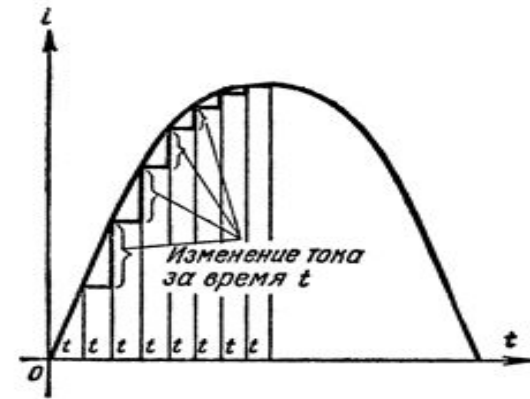
ЭДС самоиндукции, вызываемая самим переменным током, препятствует его возрастанию и, наоборот, поддерживает его при убывании



# ИНДУКТИВНОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО

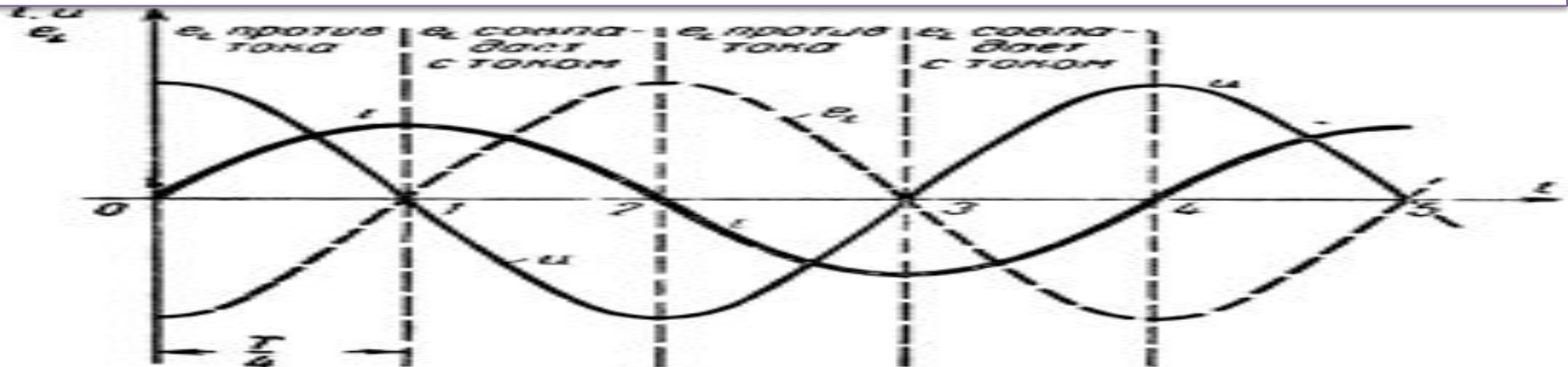


ЭДС самоиндукции, вызываемая самим переменным током, препятствует его возрастанию и, наоборот, поддерживает его при убывании

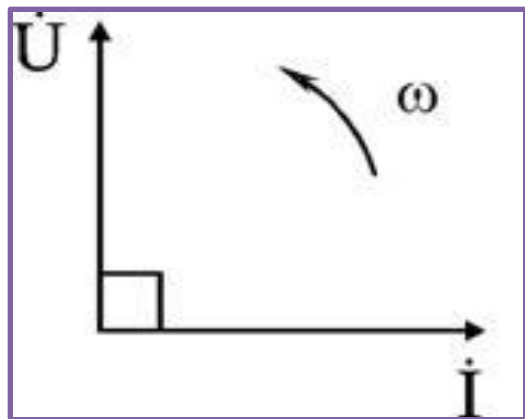
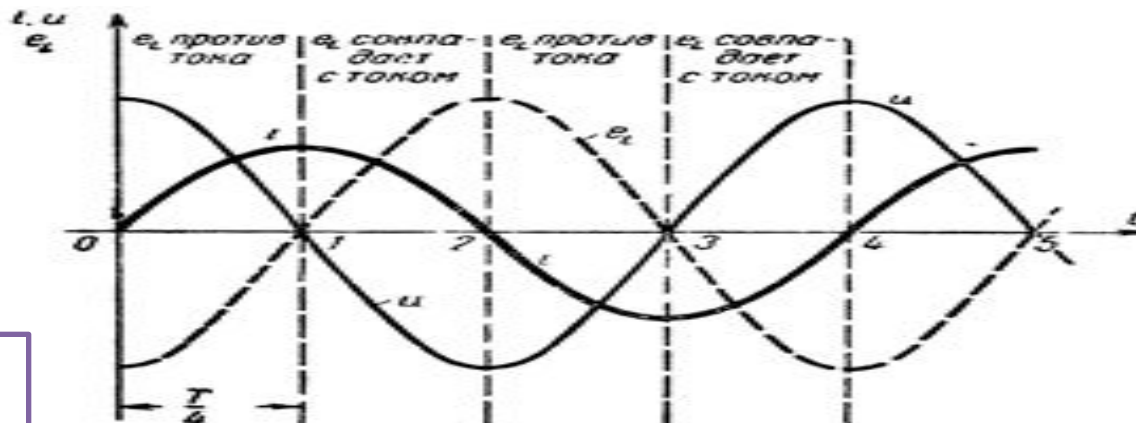
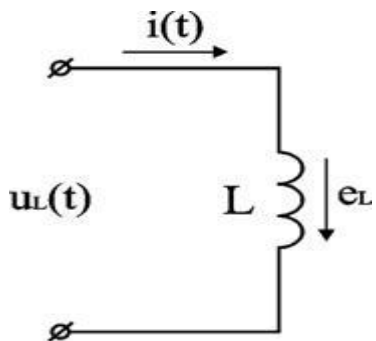


Напряжение на зажимах катушки в любой момент времени равно и противоположно ЭДС самоиндукции, возникающей в ней.

Напряжение это создается генератором переменного тока и идет на то, чтобы погасить действие в цепи ЭДС самоиндукции.



# ИНДУКТИВНОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА



**При включении катушки индуктивности в цепь переменного тока в цепи появляется сдвиг фаз между током и напряжением, причем ток отстает по фазе от напряжения на четверть периода**

**Если катушку индуктивности** (активным сопротивлением пренебречь) подключить к источнику постоянного тока произойдет короткое замыкание.

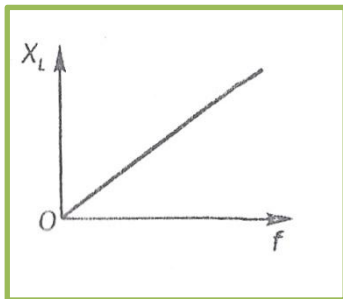
Если катушка присоединена к источнику переменного тока. Короткого замыкания в этом случае не происходит.

Это говорит о том, что катушка индуктивности оказывает сопротивление проходящему по ней переменному току.

Каков характер этого сопротивления и чем оно обуславливается?



Сопротивление, вызываемое эдс самоиндукции, называется индуктивным и обозначается буквой  $X_L$ .  
Единица измерения Ом



$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

$\omega$  - угловая частота переменного тока, рад/с;  
 $L$  - индуктивность катушки, Гн  
 $f$  - частота тока, Гц

$$L = \frac{\mu_a S \omega^2}{l}$$



**Закон Ома для цепи переменного тока, содержащей индуктивное сопротивление**

**Величина тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна индуктивному сопротивлению цепи**

$$I = U / X_L,$$

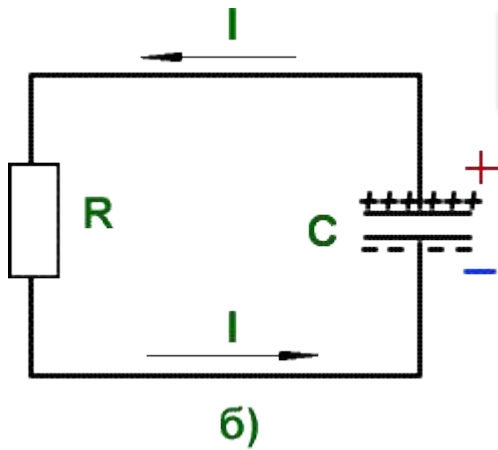
I и U — действующие значения тока и напряжения,  
а  $X_L$  — индуктивное сопротивление цепи.

Индуктивное сопротивление в цепи переменного тока в целом за период не потребляют электрической энергии.

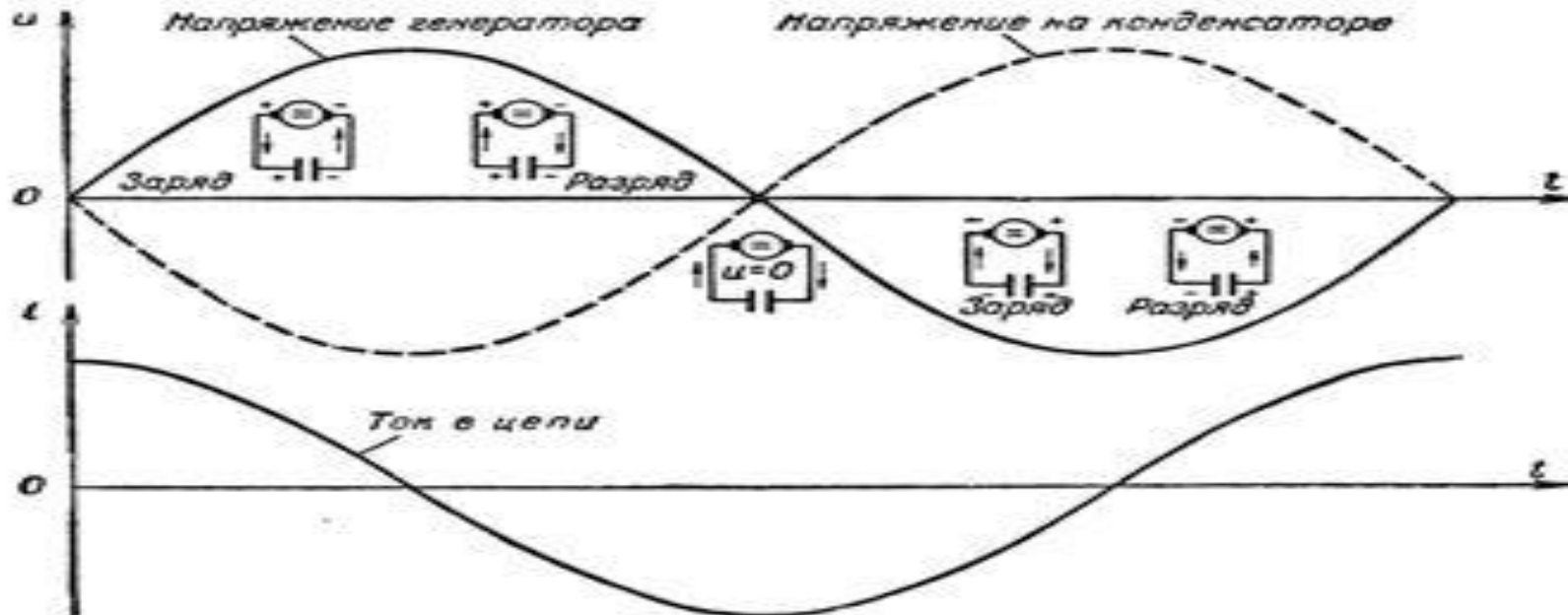
**Происходит обмен энергией между источником и индуктивностью**  
Реактивная (индуктивная емкость)

$$Q_L = U_L I, \text{ ВАр}$$

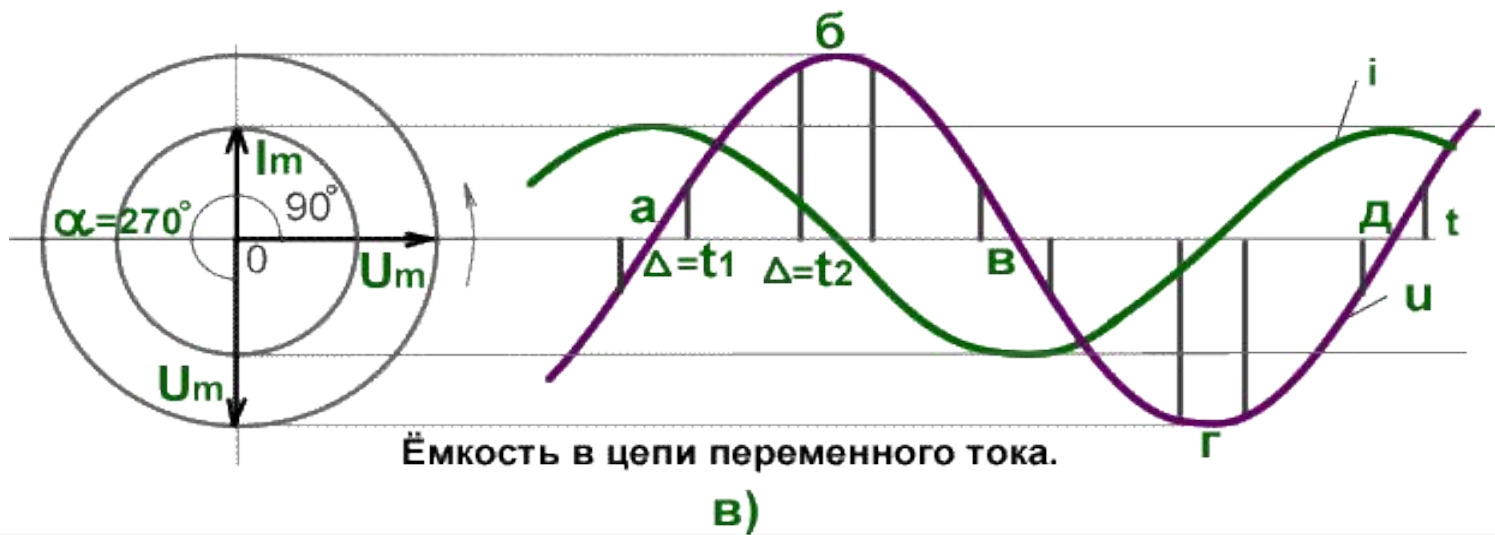
## Конденсатор в цепи переменного тока



С началом второй четверти периода, когда напряжение генератора начнет сначала убывать, заряженный конденсатор будет разряжаться на генератор, что вызовет в цепи ток разряда. По мере убывания напряжения генератора конденсатор все больше разряжается и ток разряда в цепи возрастает. Направление тока разряда в противоположно направлению тока заряда в первой четверти периода.







Под действием переменного напряжения генератора дважды за период происходят заряд конденсатора (первая и третья четверти периода) и дважды его разряд (вторая и четвертая четверти периода). Но так как чередующиеся один за другим заряды и разряды конденсатора сопровождаются каждый раз прохождением по цепи зарядного и разрядного токов, то можно заключить, что по цепи с емкостью проходит переменный ток. **частота которого совпадает с частотой приложенного напряжения**

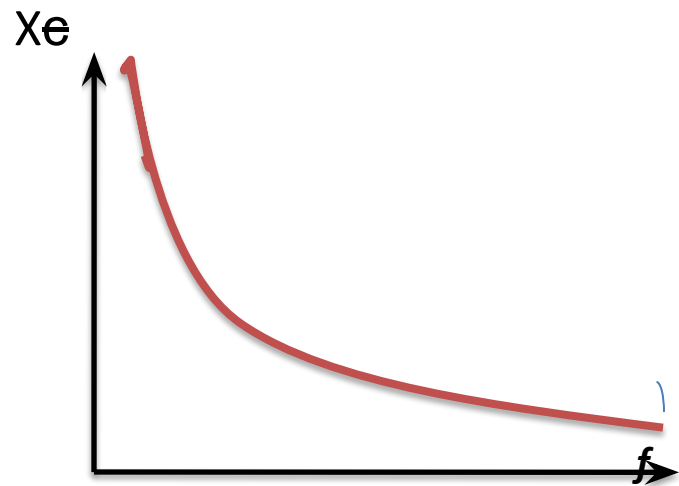
**При включении емкости в цепь переменного тока ток опережает напряжение на угол  $90^{\circ}$ .**

## Емкостное сопротивление

**Сопротивление, которое оказывает емкость переменному току, называется емкостным.**

Емкостное сопротивление обусловлено созданием в конденсаторе между его пластинами ЭДС, ЭДС направлена против его напряжения, так как заряженный конденсатор можно рассматривать как источник питания. Поэтому ЭДС препятствует изменению тока.

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$



тем больше емкость и частота приложенного напряжения тем меньше емкостное сопротивление.

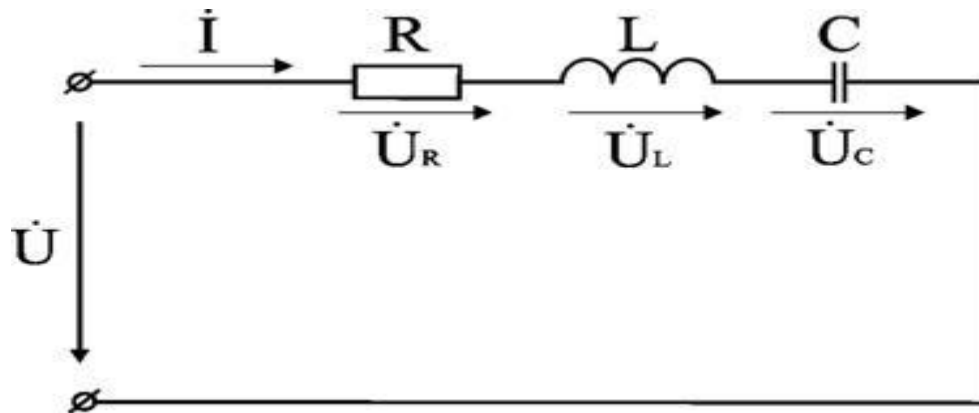
**Закон Ома для цепи с емкостью**

$$I = U / X_c$$

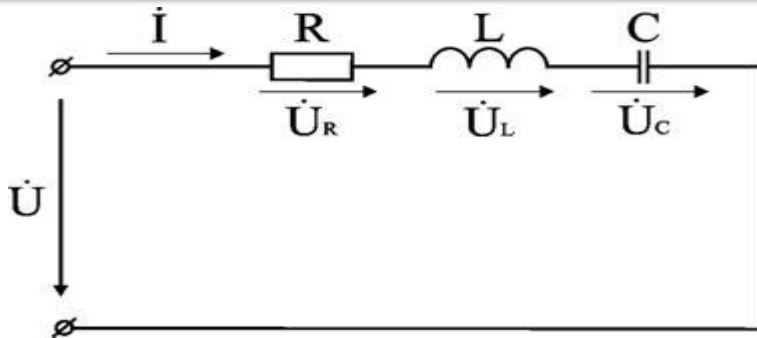
**Реактивная мощность емкости**

$$Q_c = U_c I, \text{ВАр}$$

# Последовательное соединение активного индуктивного и емкостного сопротивлений



# Последовательное соединение активного индуктивного и емкостного сопротивлений

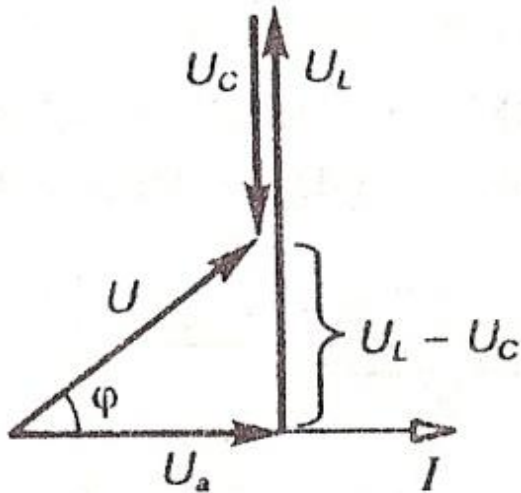


$$\cos Y = \frac{R_a}{Z} = \frac{U_a}{U}$$

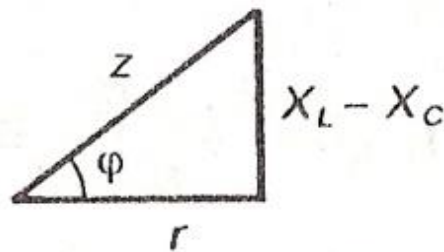
$$U = \sqrt{U_A^2 + (U_C - U_L)^2}$$

$$Z = \sqrt{R_a^2 + (X_C - X_L)^2}$$

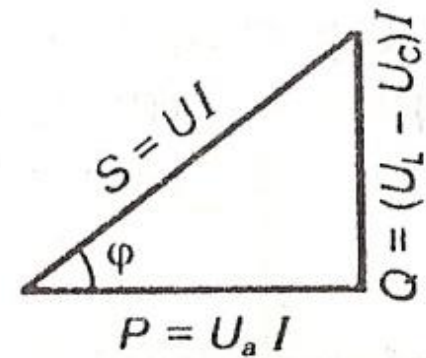
$$S = \sqrt{P^2 + (Q_C - Q_L)^2}$$



a)



б)



в)

## Резонанс напряжений

Резонанс напряжений получается тогда, когда источник внешней э.д.с. включен внутрь контура, т.е. соединен последовательно с катушкой индуктивности и конденсатором контура при условии:

$$X_C = X_L$$

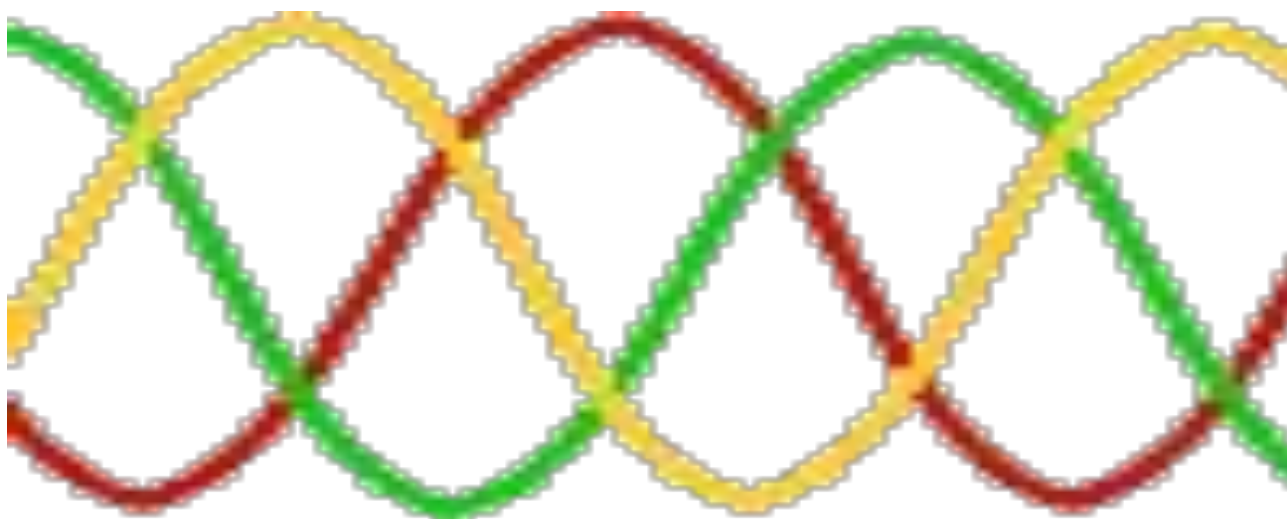
Полное сопротивление цепи самое маленькое и равно активному

$$Z=R$$

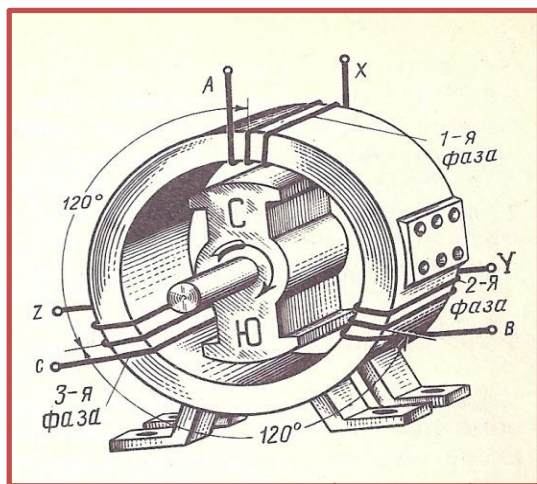
ток в цепи максимальный

$$I - \max$$

# Трехфазные системы



Трехфазной системой переменного тока или просто трехфазной системой называется цепь или сеть переменного тока, в которой действуют три эдс одинаковой частоты, но взаимно смещенные по фазе на одну треть периода (120 градусов).



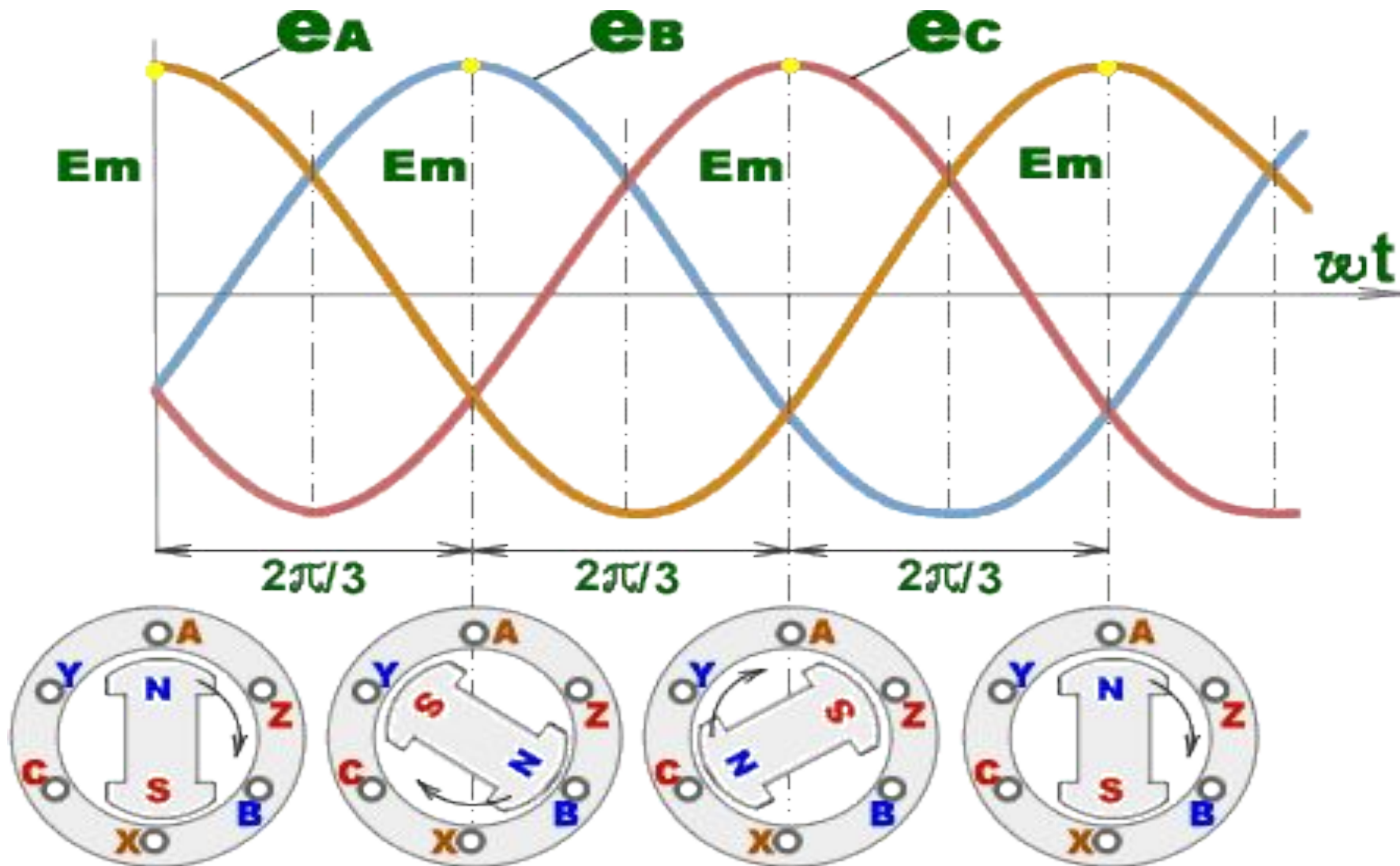
Отдельные цепи, составляющие трехфазную систему, называются **фазами**

Трехфазные системы по сравнению с однофазными имеют следующие преимущества:

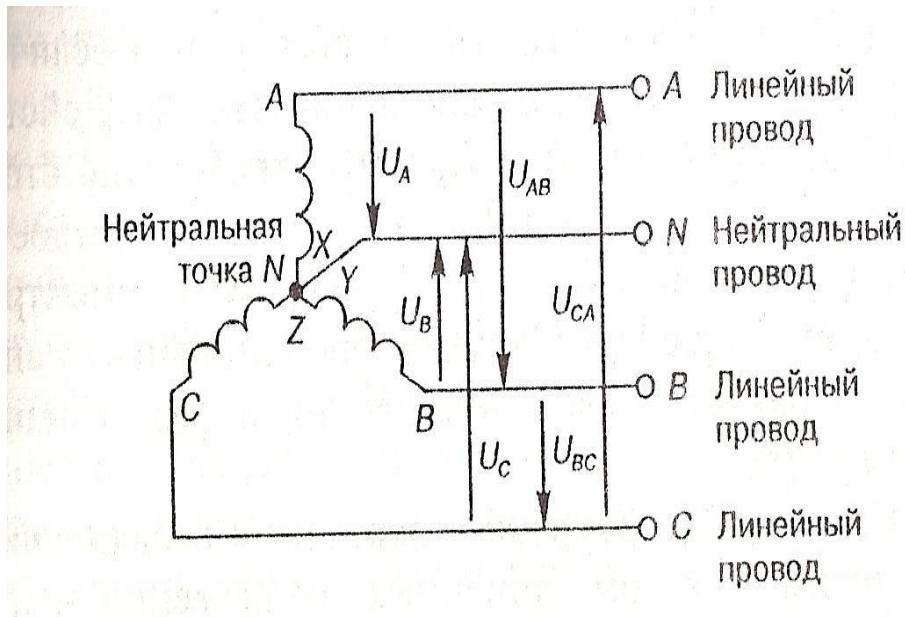
- наиболее выгодная передача электрической энергии. Сокращается количество линейных проводов.
- возможность подключения нагрузки к фазному и линейному напряжению.
- создание вращающегося магнитного поля, которое используется при работе асинхронных и синхронных двигателей.



# ГРАФИК ТРЕХФАЗНОЙ ЭДС



# СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТОК ГЕНЕРАТОРА «ЗВЕЗДОЙ»



Концы трех обмоток генератора соединяют в общий узел, который называют нулевой точкой

**От общей точки соединения концов (или начал) трех фаз (от нулевой точки звезды) отведен четвертый провод, называемый нулевым.**

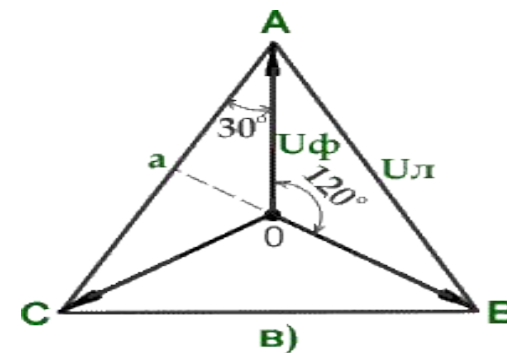
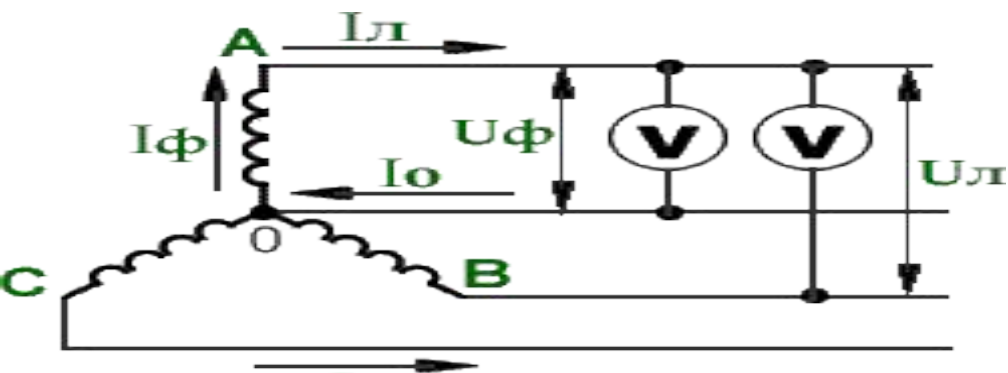
Провода подсоединенные к началам фазных обмоток называют линейными.

**Фазное напряжение** это напряжения между началами и концами обмоток отдельных фаз источника или фаз нагрузки .

**Фазными токами** называют токи, протекающие по обмоткам источника или фазам нагрузки.

**Линейное напряжение** – это напряжение между линейными проводами.

**Линейный ток**- токи протекающие по линейным проводам.



При соединении обмоток генератора по схеме «звезда» линейные и фазные токи равны

$$I_{л} = I_{ф}$$

Линейное напряжение равно разности векторов соответствующих фазных напряжений.

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

$$U_{BC} = U_B - U_C$$

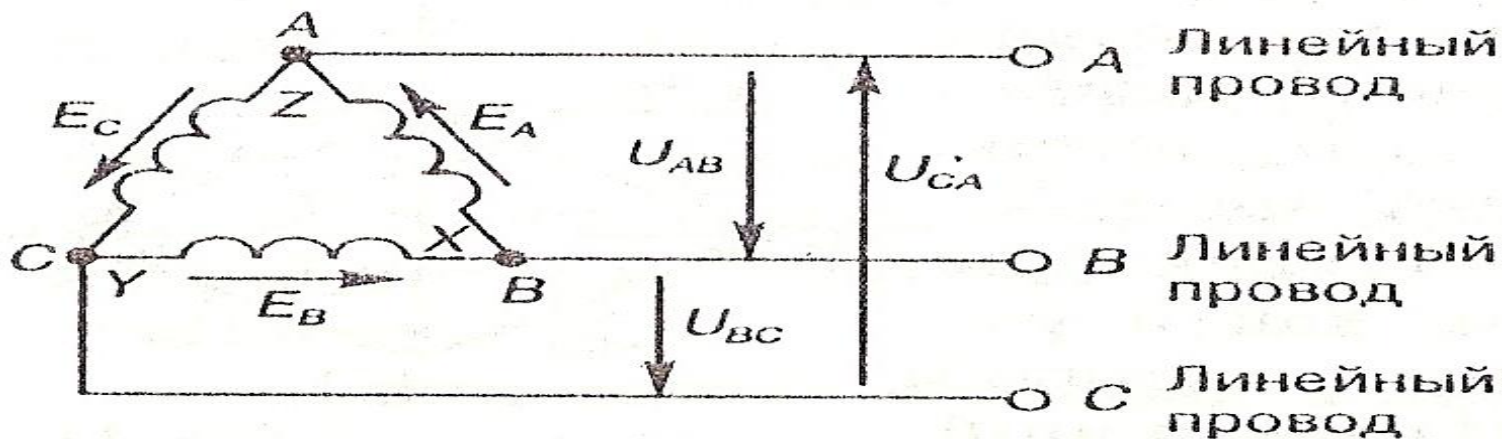
$$U_{AC} = U_A - U_C$$

В векторной диаграмме линейное напряжение является основанием равнобедренного треугольника.

Из построенной векторной диаграммы видно, что линейное напряжение больше фазного.

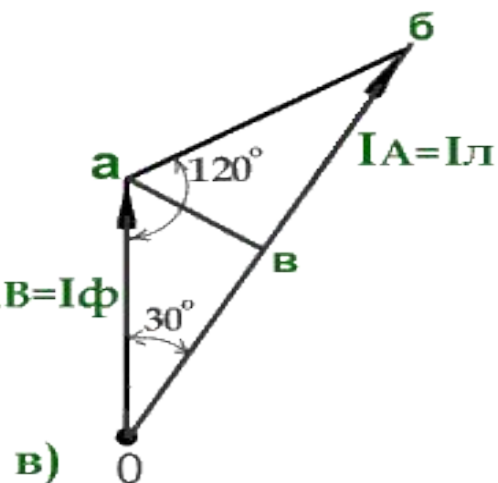
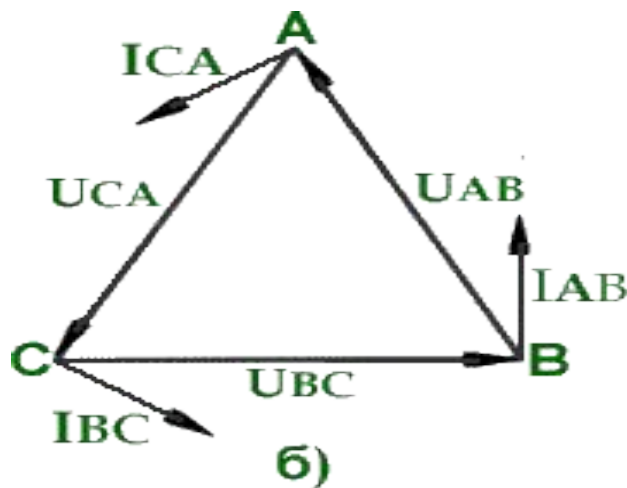
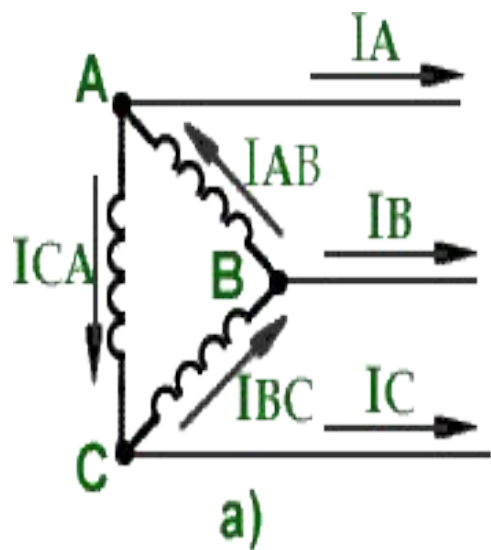
$$U_{л} = \sqrt{3}U_{ф}$$

## СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТОК ГЕНЕРАТОРА «ТРЕУГОЛЬНИКОМ»



При соединении обмоток генератора треугольником конец каждой обмотки соединяют с началом следующей.

К точкам соединения подключают три линейных провода А В С.



Между линейными проводами получается, включена только одна обмотка, поэтому линейное напряжение равно фазному напряжению.

$$U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$$

Линейный ток равен векторной разности соответствующих фазных токов

$$I_{\text{AB}} = I_{\text{A}} - I_{\text{B}}$$

$$I_{\text{BC}} = I_{\text{B}} - I_{\text{C}}$$

$$I_{\text{AC}} = I_{\text{A}} - I_{\text{C}}$$

При равномерной загрузке фаз линейный ток больше фазного

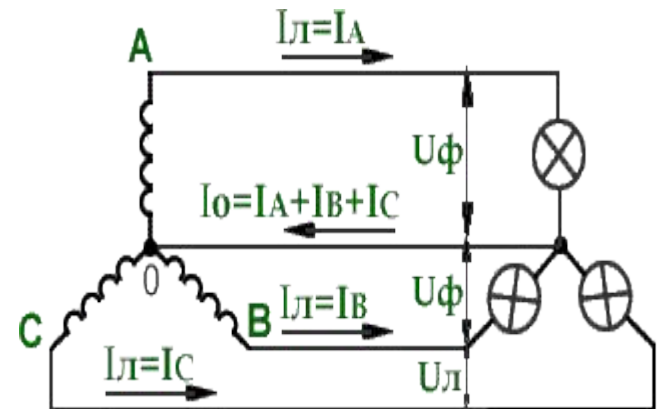
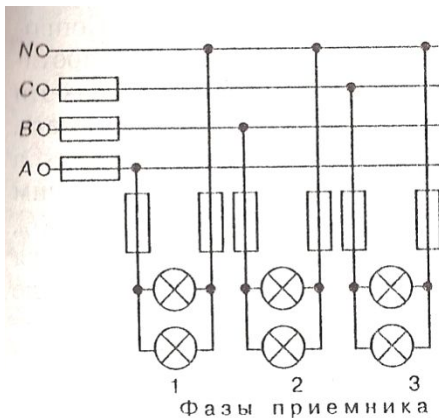
$$I_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{ф}}$$

# Включение потребителей в трехфазную систему

## Схема соединения «звездой» с нулевым проводом

Такое соединение применяют в том случае, когда каждая фаза приемника

рассчитана на напряжение в 1.73 раза меньше линейного, в основном для осветительных сетей. При этом нагрузку разделяют на три приблизительно одинаковые по мощности группы – фазы приемника. Каждую фазу подключают между линейным и нулевым проводом. Поэтому обмотки генератора, к которым будут включены приемники, тоже должны соединяться по схеме «звезда».

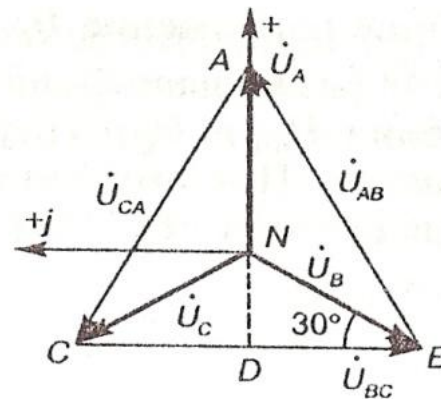
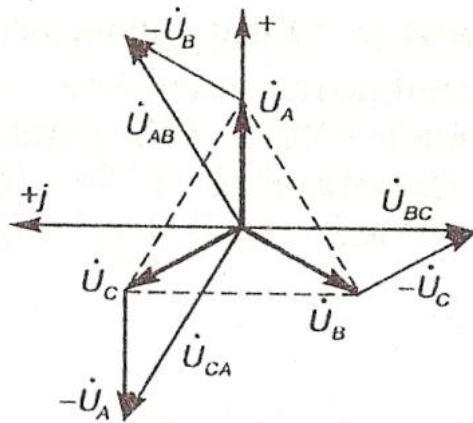


Фазные токи приемника линейные токи и фазные токи генератора равны

$$I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$$

Фазные напряжения приемника равны соответствующим фазным напряжениям генератора за минусом падения напряжения в проводах.

$$U_{\text{ф}} = \sqrt{3}U_{\text{л}}$$



В четырехпроводной трехфазной системе нейтральный провод надежно заземлен на электростанции, на ответвлениях сети и через определенные расстояния по линии.

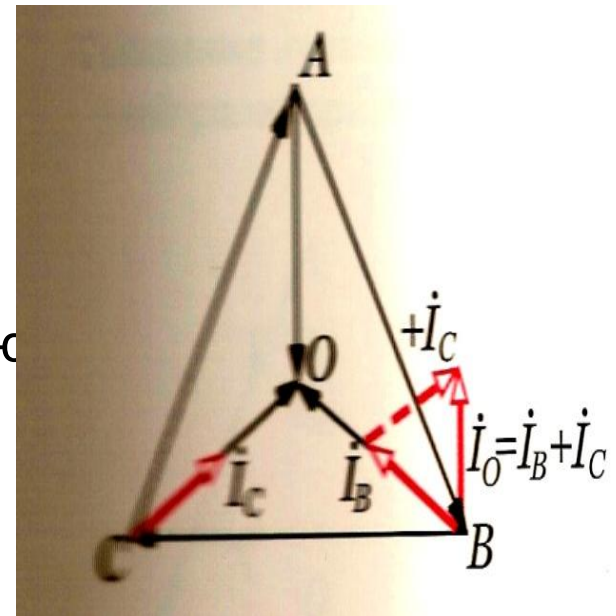


При нормальном режиме работы значение тока в нулевом проводе незначительное, сечение нулевого провода меньше сечения линейных проводов в 2-3 раза.

Увеличение тока в нулевом проводе может произойти при обрыве одного из линейных проводов или значительной неравномерной загрузки фаз (коротком замыкании)

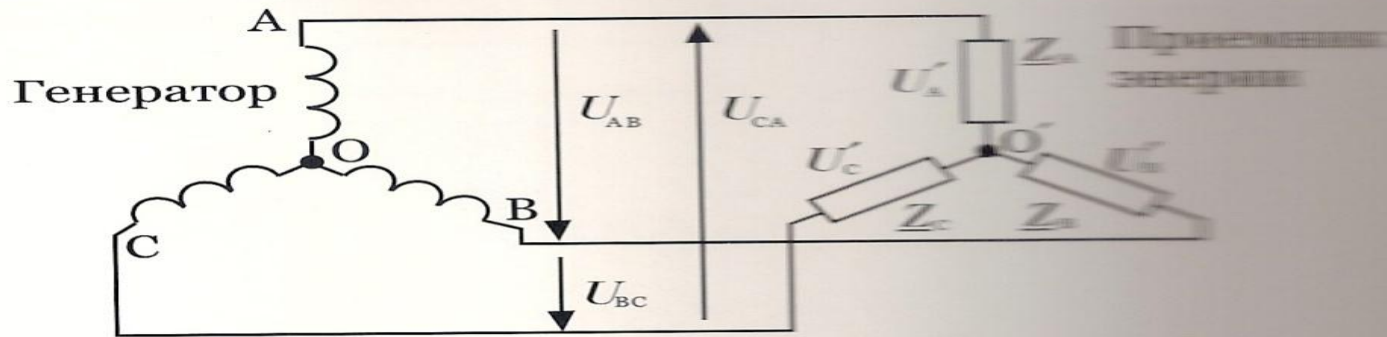
При обрыве нулевого провода две фазы оказываются включенными последовательно и находятся под линейным напряжением. Более загруженные фазы приемника (с меньшим полным сопротивлением) оказываются под меньшим фазным напряжением, а менее загруженные (с большим полным сопротивлением) – под большим напряжением.

В нулевой провод никогда не устанавливаются предохранители.





# ВКЛЮЧЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА БЕЗ НУЛЕВОГО ПРОВОДА»



**Фазное напряжение**

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} \sqrt{3}$$

**Фазный и линейный токи**

$$I_{\phi} = I_{\text{л}} = U_{\text{л}} \sqrt{Z}$$

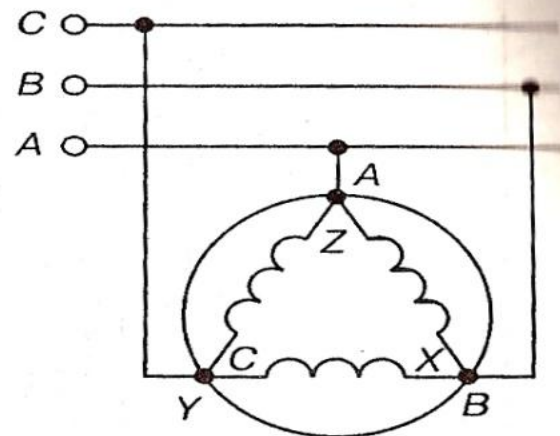
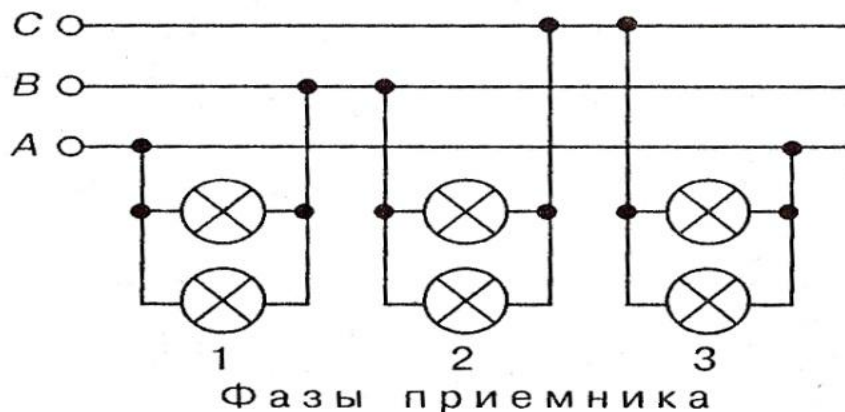
**Активная мощность фазы**

$$P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \gamma_{\phi}$$

**Реактивная мощность фазы**

$$Q_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \sin \gamma_{\phi}$$

# ВКЛЮЧЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПО СХЕМЕ «ТРЕУГОЛЬНИК»



Каждая фаза нагрузки присоединяется к двум линейным проводам идущих от источника, т.е. включается на линейное напряжение, которое одновременно также будет и фазным

$$U_{\text{ф пот}} = U_{\text{л}}$$

Фазные напряжения

равны линейным, и не зависят от сопротивления в фазах.

При отсутствии нагрузки тока нет.

Линейные токи, согласно первому закону Кирхгофа, для узлов А, В и С соответственно равны:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} \quad I_B = I_{BC} - I_{AB} \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}$$



## Задание 1

**Емкость конденсатора зависит от материала диэлектрика, площади обкладок и расстояния между ними**

**Ответы:**

**А. да**

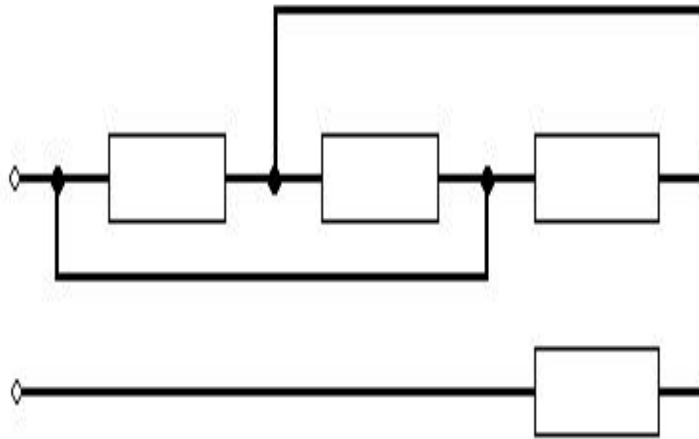
**Б. нет**

**В. от материала корпуса**



## Задание 2

Определите эквивалентное общее сопротивление электрической цепи, если сопротивление каждого резистора 3 Ом.



**Ответы:**

- А. 12 Ом;**
- Б. 3 Ом;**
- В. 4 Ом;**
- Г. 3,3 Ом**

## Задание 3

**Сопротивление проводника единичной длины с единичной площадью поперечного сечения называется**

Ответы:

- А. удельным сопротивлением;
- Б. силой тока;
- В. проводимостью.

## Задание 4

**Сопротивление проводника единичной длины с единичной площадью поперечного сечения называется**

Ответы:

- А. удельным сопротивлением;
- Б. силой тока;
- В. проводимостью.

## Задание 5

**Сила механического взаимодействия проводника с током и магнитного поля называется**

**Ответы:**

- А. электромагнитной;**
- Б. магнитоэлектрической;**
- В. силой Ампера.**

**Задание 6. Одинаково ли сопротивление катушки в цепях постоянного и переменного токов?**

**Ответы:**

**А. одинаковы**

**Б. не одинаковы.**

**В. одинаковы если провод медный на обеих**



**Задание 7. На цоколе лампочки написано: 100 Вт, 220 В. Определите сопротивление лампы.**

**Ответы:**

**А. 480 Ом**

**Б. 22000 Ом**

**В. 2,2 Ом.**

**Задание 8. Как изменится емкость батареи конденсаторов, соединенных последовательно, если один из них замкнуть накоротко?**

**Ответ:**

- А. увеличится;**
- Б. уменьшится;**
- В. не изменится**

## Задание 9.

По какой формуле можно определить удельное сопротивление образца сопротивлением  $R$  правильной формы, длиной  $L$  и площадью поперечного сечения  $S$

Ответ:

А.  $\rho = R \frac{L}{S}$

Б.  $\rho = R \frac{S}{L}$

В.  $\rho = R \cdot L \cdot S$

## Задание 10

Укажите формулу расчёта общего сопротивления цепи с двумя параллельно соединёнными сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$

Ответы:

А.  $R_{об.} = R_1 + R_2$

Б.  $R_{об.} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$

В.  $R_{об.} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 * R_2}$

## **Задание 11.**

**Укажите правильные выражения закона Ома для участка цепи.**

**Ответы:**

**А.  $I = U/R;$**

**Б.  $R = U/ I;$**

**В.  $U = IR;$**

**Г.  $U = I^2R$**

## Задание 12

**Сила механического взаимодействия проводника с током и магнитного поля называется**

**Ответы:**

- А. электромагнитной;**
- Б. магнитоэлектрической;**
- В. силой Ампера.**

### Задание 13.

Одинаково ли сопротивление катушки в цепях постоянного и переменного токов?

Ответы:

А. одинаковы

Б. не одинаковы.

В. одинаковы если провод медный на обеих

## **Задание 14.**

**Как изменится переменный ток в катушке, если внести в нее стальной сердечник?**

**Ответы:**

- А. Увеличится.**
- Б. Уменьшится.**
- В. Не изменится.**



## Задание 15.

Как изменится индуктивность катушки ( $L = \mu \mu_0 n^2 V$ ), если ее растянуть?

Ответы:

- А. увеличится;
- Б. уменьшится;
- В. не изменится.

## Задание 17.

Как изменится индуктивность катушки ( $L = \mu \mu_0 n^2 V$ ), если ее растянуть?

Ответы:

- А. увеличится;
- Б. уменьшится;
- В. не изменится.



# ЭЛЕКТРОНИКА



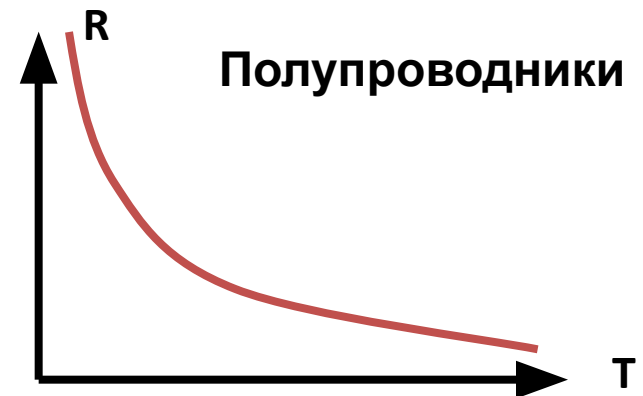
## Содержание

- Строение полупроводников
- Примесная проводимость
- Электронно – дырочный переход
- Диод
- Стабилитрон
- Фотодиод
- Светодиод
- Биполярные транзисторы
- Полевые транзисторы
- Тиристоры
- Симисторы
- Логические элементы
- Микропроцессор
- Выпрямители



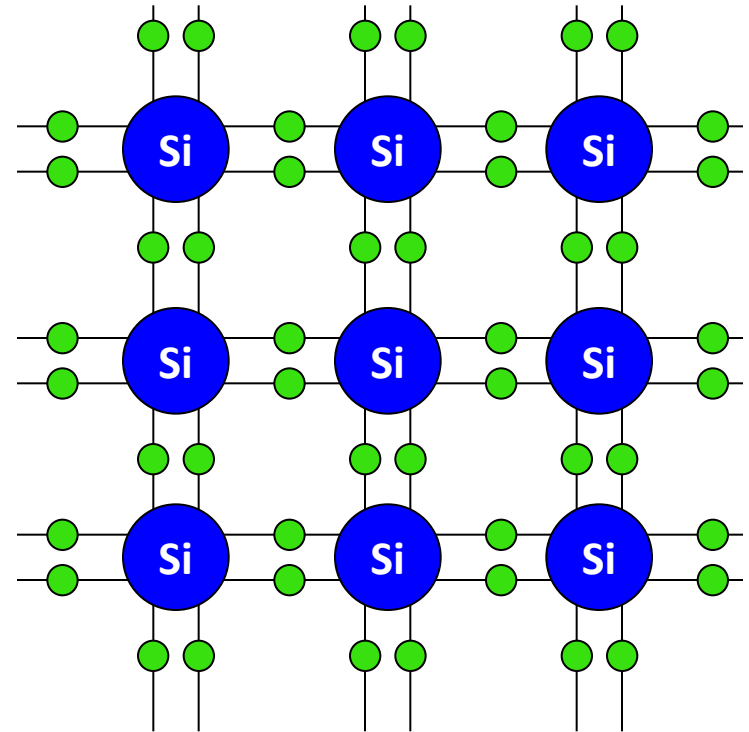
# Полупроводники

- Полупроводники – элементы IV группы таблицы Менделеева
- Наиболее часто используются Ge, Si
- При нагревании полупроводников их электрическое сопротивление падает, а не возрастает, как у металлов



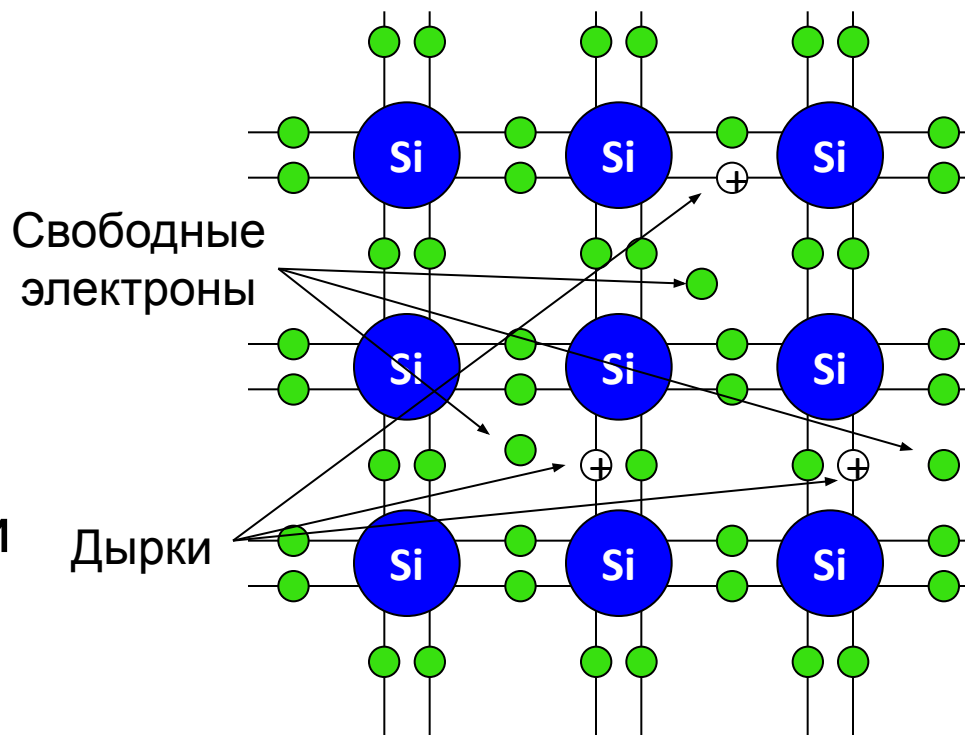
# Строение полупроводников

- При небольшой температуре все атомы полупроводника жестко связаны ковалентной парноэлектронной связью. Свободные носители заряда отсутствуют, и сопротивление полупроводника бесконечно высоко



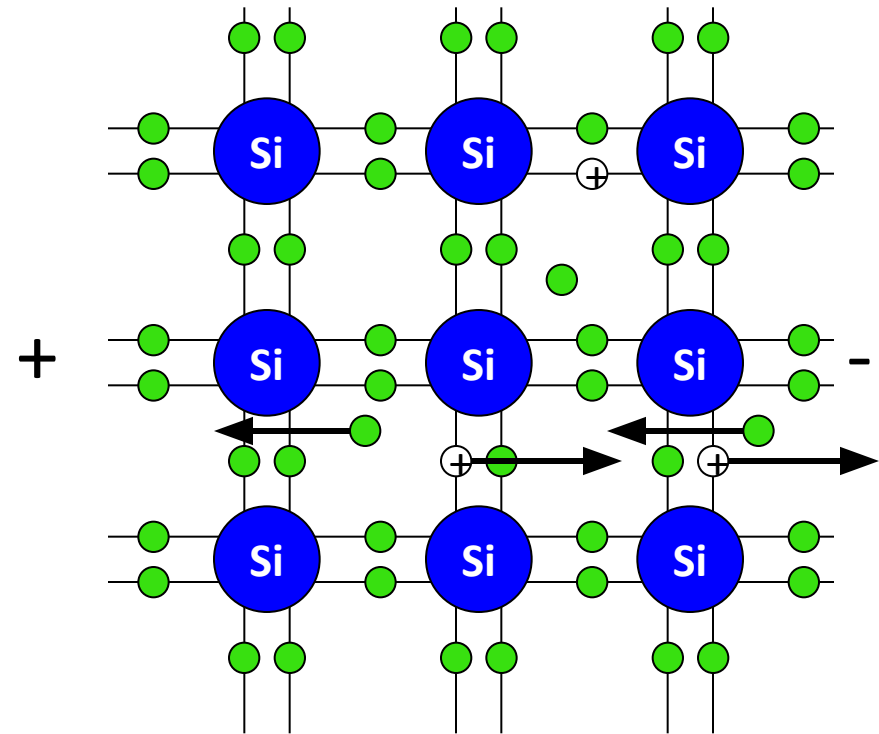
# Строение полупроводников

- При нагревании часть связей разрывается и некоторые электроны становятся свободными. На том месте, где были электроны, появляются положительные заряды - дырки



# Строение полупроводников

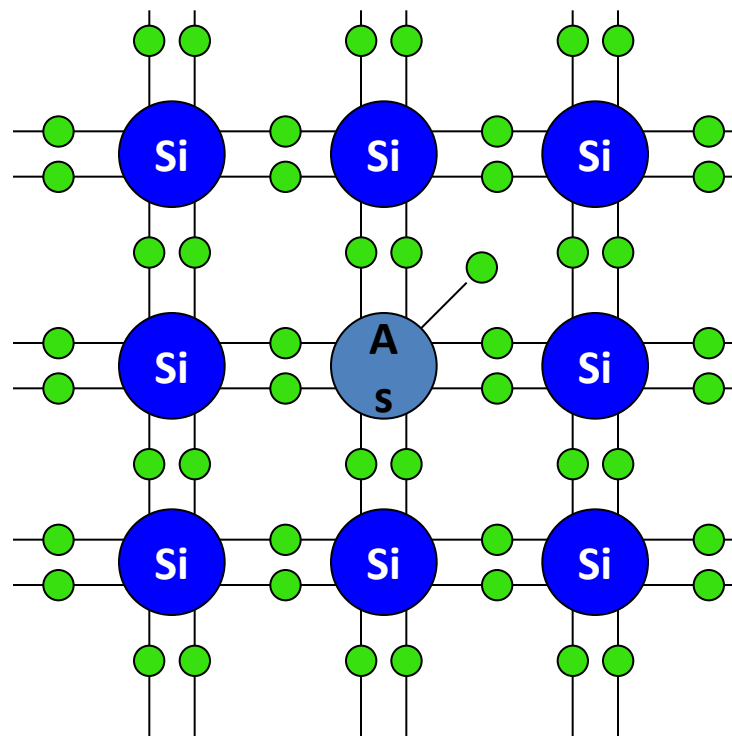
- Под действием электрического поля электроны начинают двигаться в одну сторону, а дырки – в противоположную, и через полупроводник течет ток.



# Строение полупроводников

Для обогащения полупроводника свободными электронами используют донорные примеси – пентавалентный мышьяк As.

Полупроводники с избыточными электронами называются полупроводниками **n-типа**



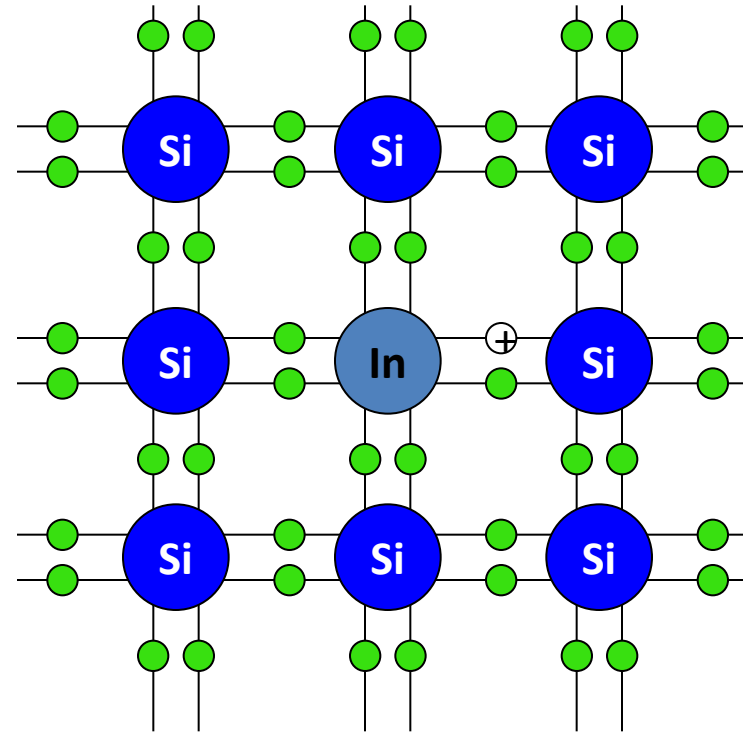


# Строение полупроводников

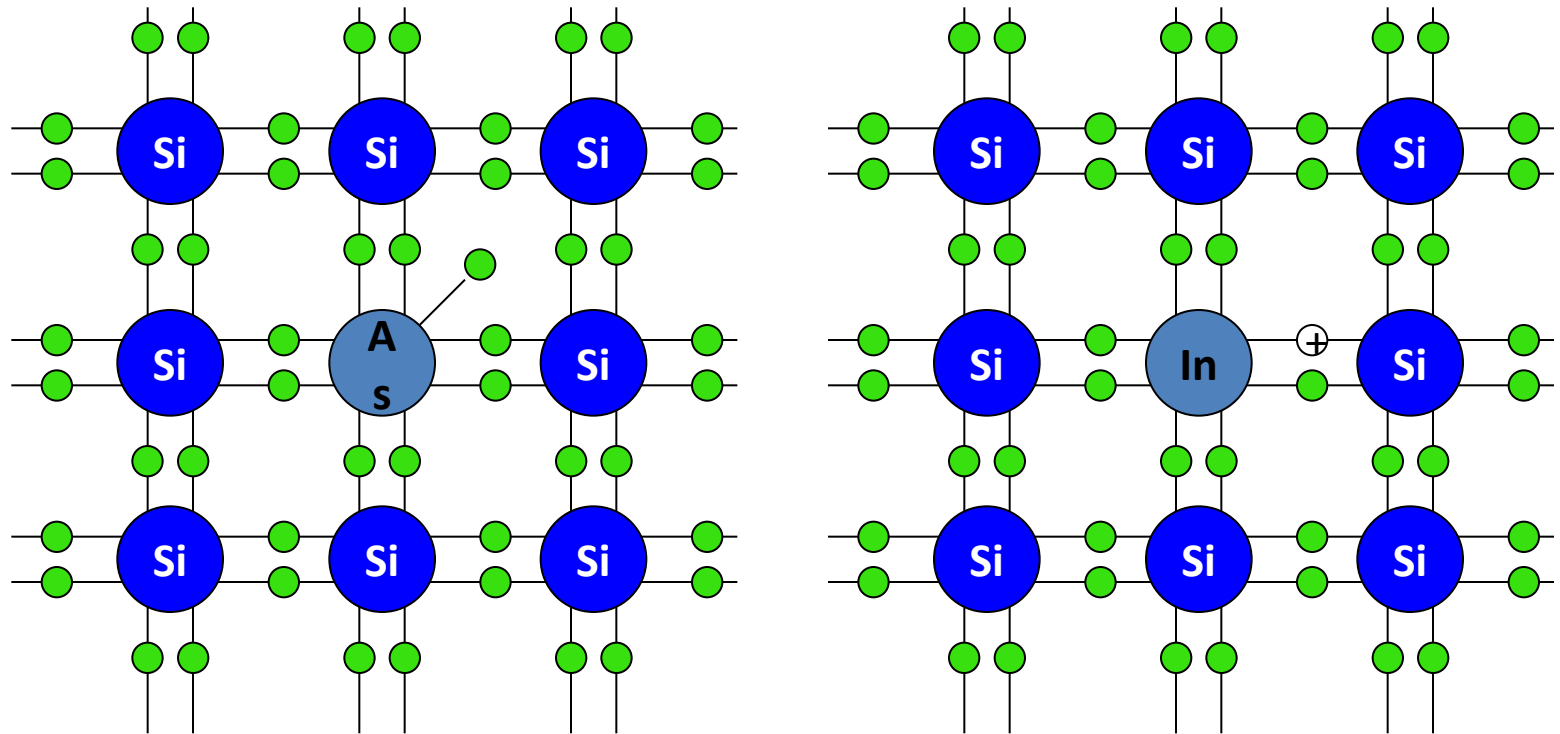
Для обогащения полупроводника свободными дырками используют акцепторные примеси – трехвалентный индий In.

Полупроводники с избыточными дырками называются полупроводниками

**P-типа**



# Примесная проводимость

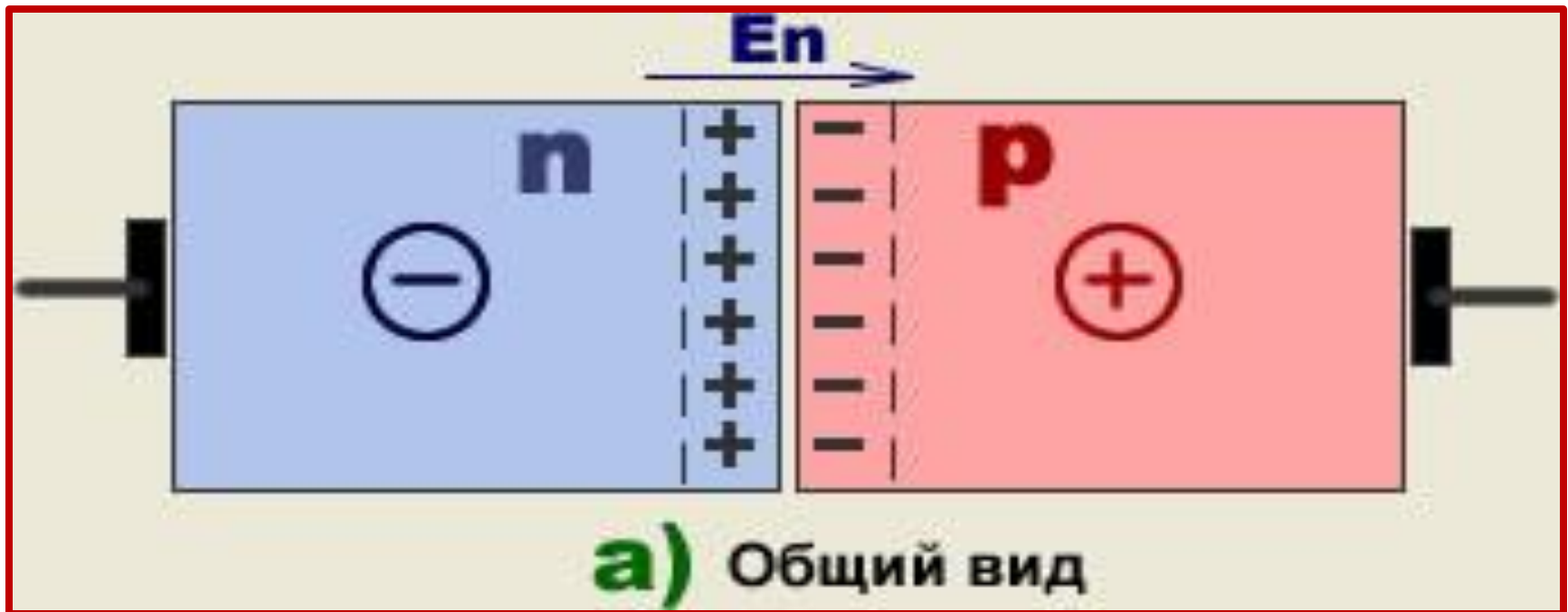


«Лишние электроны в полупроводниках n-типа и «лишние» дырки в полупроводниках p-типа обеспечивают **ПРИМЕСНУЮ ПРОВОДИМОСТЬ**»

# Электронно-дырочный переход

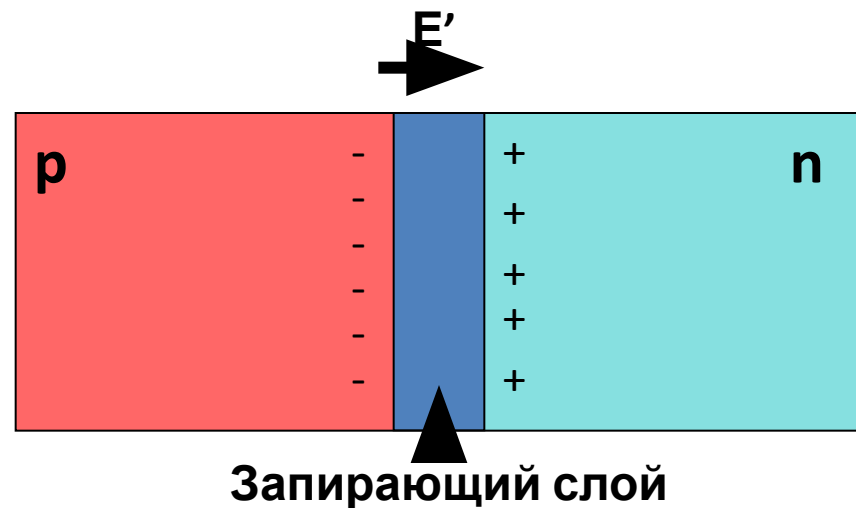
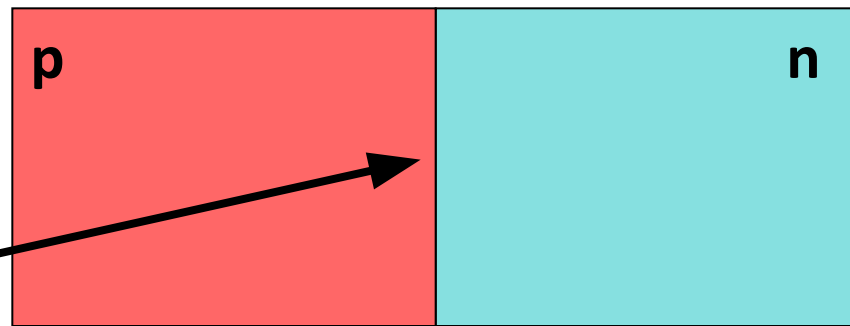
Образуется на границе двух полупроводников с различными типами проводимости

При приведении в контакт двух полупроводниковых приборов р-типа и n-типа вместе контакта начинается диффузия электронов из n-области в р-область, а «дырок» — наоборот, из р- в n-область. Этот процесс будет не бесконечным во времени, так как образуется запирающий слой, который будет препятствовать дальнейшей диффузии электронов и «дырок».



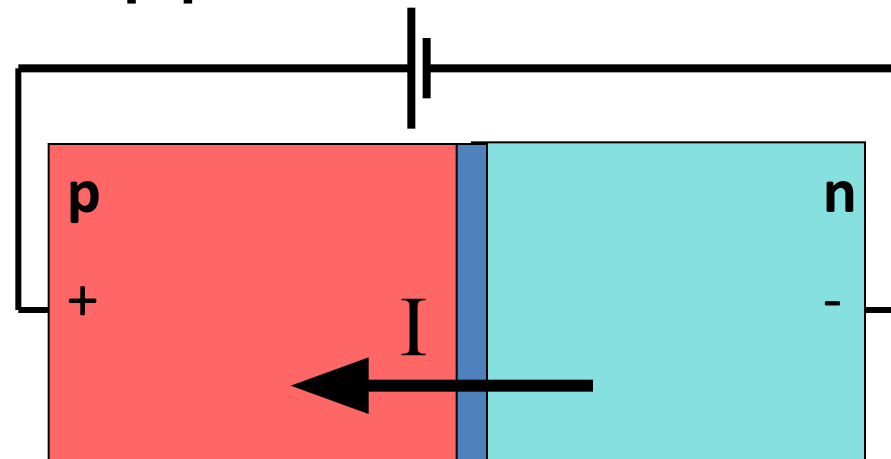
# Электронно-дырочный переход

При отсутствии напряжения на краях полупроводника в месте перехода существует собственное поле  $E'$ , зона перехода обеднена носителями заряда и имеет большое сопротивление

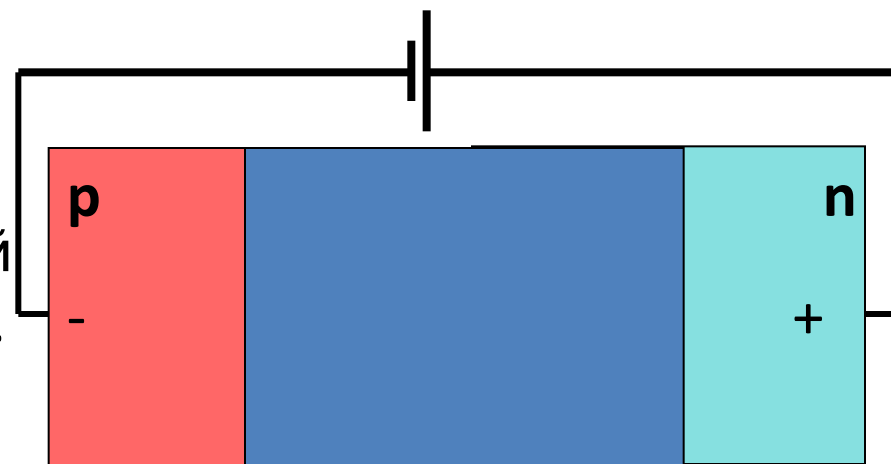


# Электронно-дырочный переход

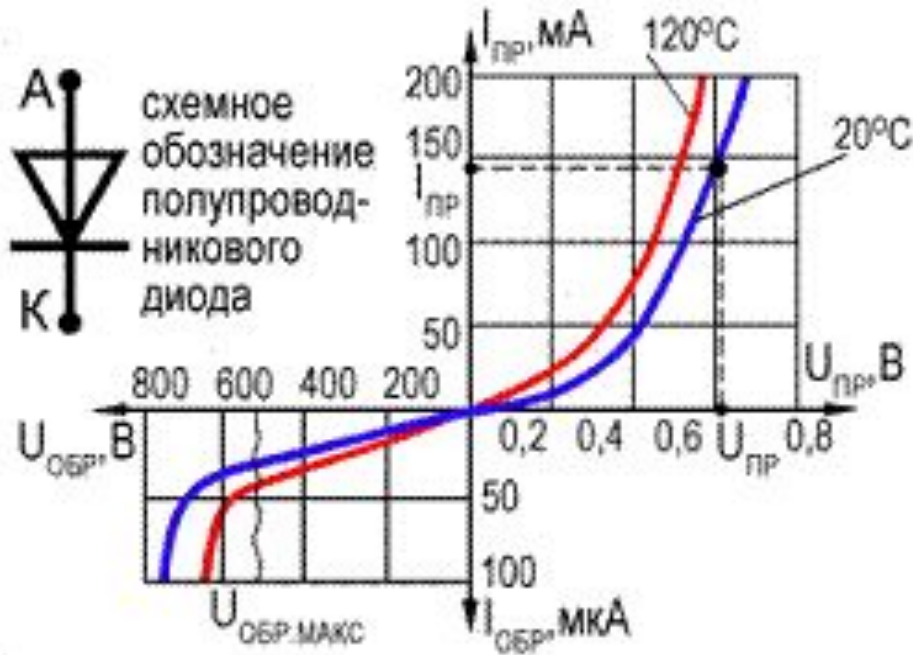
При подключении к краям полупроводника напряжения таким образом (прямое подключение), через зону перехода течет ток, она сужается и ее сопротивление резко падает. Через полупроводник идет большой ток.



При обратном включении внешнее поле усиливает поле запирающего слоя, запирающий слой увеличивается в размерах. Через полупроводник ток почти не идет.



# Вольт-амперная характеристика $p-n$ перехода



При увеличении прямого напряжения прямой ток через переход возрастает, в связи с уменьшением сопротивления перехода. При определенных значениях прямого напряжения может наступить тепловой пробой.

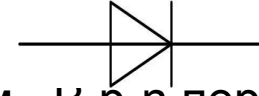
Обратная ветвь ВАХ  $p-n$  перехода определяется обратным током, который сильно возрастает при повышении температуры.

Сопротивление перехода возрастает, а ток становится малым так как он создается неосновными носителями заряда.

Однако при превышении определенного уровня  $U$  обратный ток  $p-n$  перехода быстро увеличивается, т. е. наступает электрический пробой

При дальнейшем увеличении обратного напряжения происходит тепловой пробой. Он приводит к выходу  $p-n$  перехода из строя.

# Диод

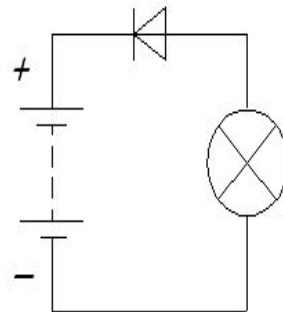
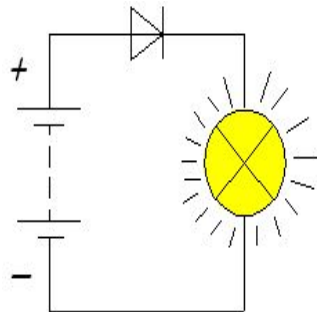


Это полупроводниковый прибор с одним р-п переходом. В р-п переходе носители заряда образуются при введении в кристалл акцепторной или донорной примеси.

полупроводниковый диод обладает односторонней проводимостью, т. е. является электрическим вентиляем.

Электрические вентиляки бывают германиевые, кремниевые, селеновые и меднозакисные. Германиевые и кремниевые вентиляки изготовляют двух типов: точечные и плоскостные.

Диоды оцениваются по двум основным параметрам: предельному обратному напряжению ( $U_{обр}$ ) и максимальной силой тока ( $I_{max}$ ), проходящей через него. Предельное обратное напряжение представляет собой максимальное напряжение на выводах диода, приложенное к нему в закрытом состоянии, то есть на анод минус, а на катод - плюс. Максимальный рабочий ток представляет собой ток при прямом включении диода, который диод может выдержать, не выходя из строя.



## ТОЧЕЧНЫЙ

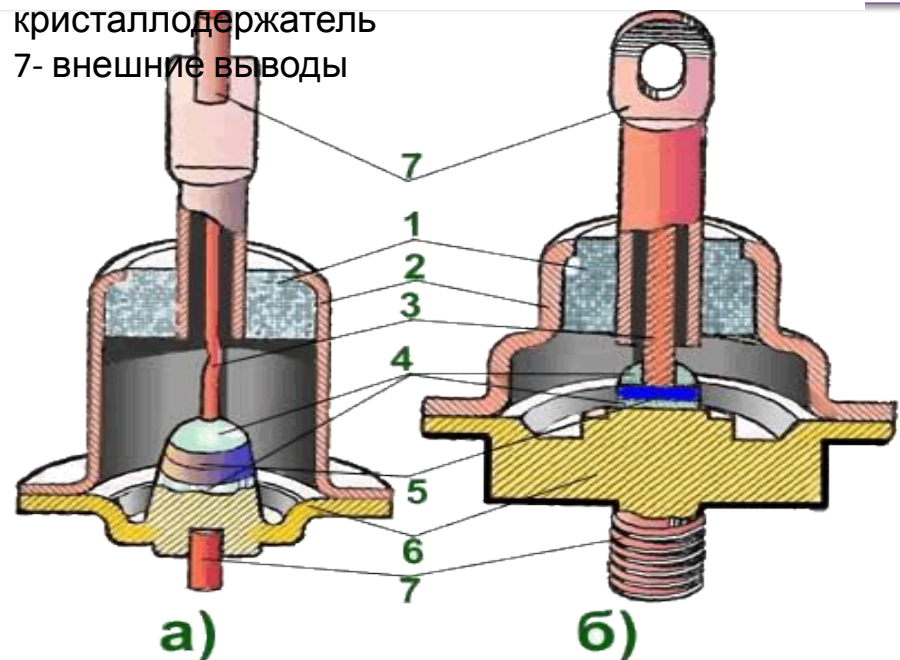
У точечного германиевого диода помещен кристалл германия **5** с электронной проводимостью, в который острием входит контактный пружинящий вывод анода **3**. Под контактным острием в результате специальной термической обработки создается область с дырочной проводимостью.

Как в точечном, так и в плоскостном диоде германий **5** припоем **4** укреплен на кристаллодержателе **6**, к которому приварен вывод катода (нижний) **7**. Вывод анода **3** также припоем **4** укрепляется в области с дырочной проводимостью и выводится наружу в верхней части диода. Металлический корпус **2** сварен с кристаллодержателем **6** и стеклянным изолятором **1**.

## ПЛОСКОСТНОЙ

В плоскостном германиевом диоде на пластину германия **5** с электронной проводимостью накладывається таблетка из индия, которая в процессе изготовления диода нагревается до  $500^{\circ}$  С и плавится так, что ее атомы диффундируют в германий, образуя область с дырочной проводимостью.

- 1 – стеклянный изолятор
- 2- металлический корпус
- 3- вывод анода
- 4- припой
- 5- кристалл
- 6- кристаллодержатель
- 7- внешние выводы





# Маркировка (обозначение) диодов

В обозначении диода используют буквы и цифры:

## Первый элемент (материал )

Г (или 1) – германиевый диод;

К (или 2) – кремниевый диод.

А-(или 3) – арсенид галия

## Второй элемент (подкласс приборов)

А-сверхвысокочастотные

В- варикапы

Д- выпрямительные, универсальные, импульсные

И- тунельные

С- стабилитроны

Ц- выпрямительные столбы, блоки

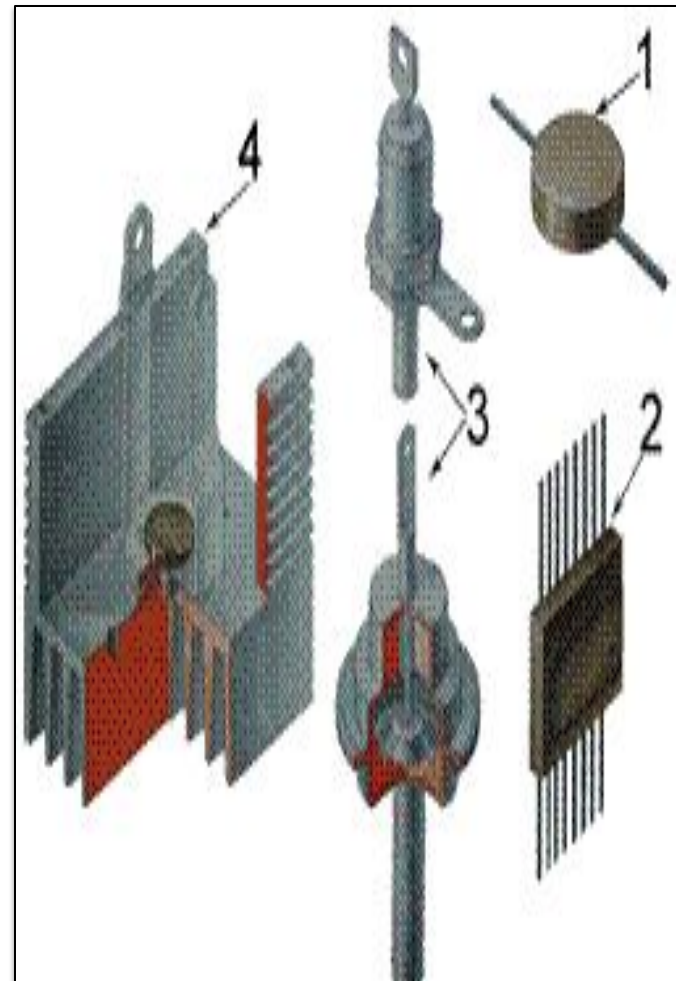
## Третий элемент (назначение прибора)

Выпрямительные 101-399)

Универсальные (401-499)

Импульсные (501-599)

## Четвертый элемент ( классификационная группа приборов)



# Стабилитрон

Повышая концентрацию примесей в кремниевых диодах можно добиться обратимости процесса электрического пробоя. При этом на обратной ветви ВАХ образуется участок, на котором большие изменения тока через переход вызывают небольшие изменения напряжения. Диоды, имеющие такую ВАХ, называются стабилитронами, или опорными диодами, так как они используются для стабилизации напряжения.

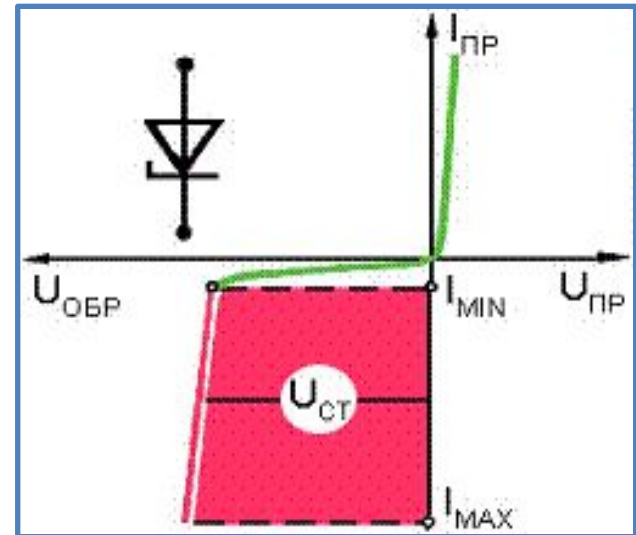
Основными параметрами стабилитронов являются:

$I_{\text{мин}}$ ,  $I_{\text{макс}}$  соответственно минимальный и максимальный токи стабилизации, определяющие рабочий участок ВАХ. Обычно значение  $I_{\text{мин}}$  лежит в пределах от 3 мА до 100 мА, а  $I_{\text{макс}}$  - от 10 мА до 3 А.

$U_{\text{стаб.ном}}$  - номинальное напряжение стабилизации, обычно от 1 до 200 В;



1-маломощный стабилитрон; 2-мощный стабилитрон.



Вольт амперная характеристика стабилитрона

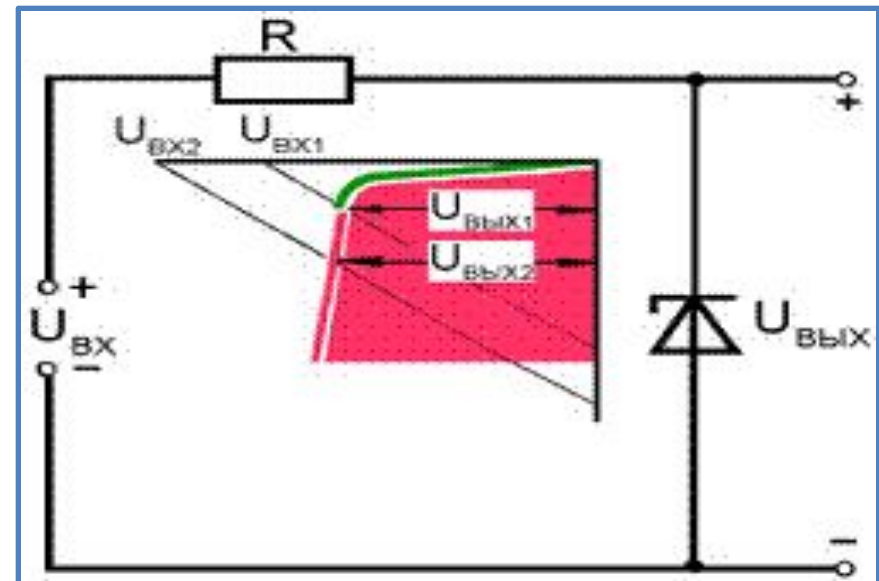
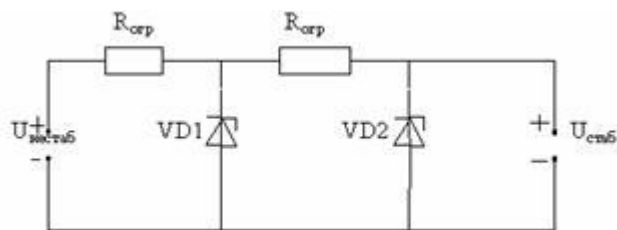
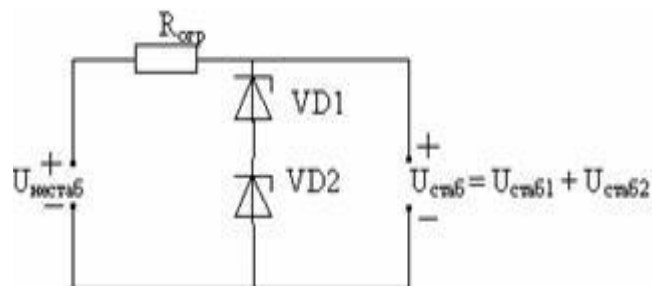


Схема включения стабилитрона

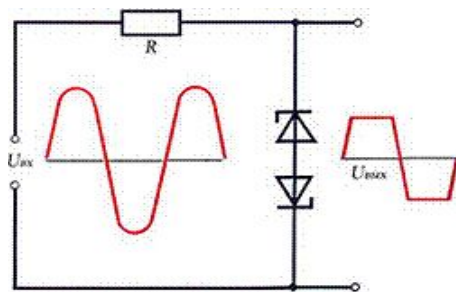
Для повышения коэффициента стабилизации применяется каскадное соединение стабилизирующих ячеек.



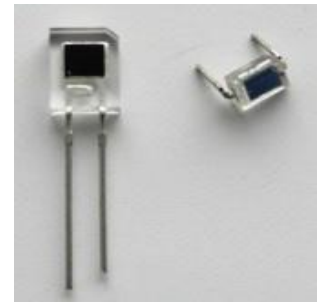
Недостаток многоячеечного стабилизатора - большие потери напряжения на ограничительных резисторах. Для увеличения стабилизированного напряжения применяется последовательное соединение стабилитронов.



Если стабилитроны включить встречно, то при подаче на них переменного напряжения происходит двустороннее ограничение выходного напряжения.



# ФОТОДИОД



**Простейший фотодиод** представляет собой обычный полупроводниковый диод, в котором обеспечивается возможность воздействия оптического излучения на р–n-переход.

В равновесном состоянии, когда поток излучения полностью отсутствует, концентрация носителей, распределение потенциала и энергетическая зонная диаграмма фотодиода полностью соответствуют обычной р-п-структуре.

При воздействии излучения в направлении, перпендикулярном плоскости р-п-перехода, в результате поглощения фотонов с энергией, большей, чем ширина запрещенной зоны, в п-области возникают электронно-дырочные пары. Эти электроны и дырки называют **фотоносителями**.

При диффузии фотоносителей в глубь п-области основная доля электронов и дырок не успевает рекомбинировать и доходит до границы р–п-перехода. Здесь фотоносители разделяются электрическим полем р–п-перехода, причем дырки переходят в р-область, а электроны не могут преодолеть поле перехода и скапливаются у границы р–п-перехода и п-области.

Таким образом, ток через р–п-переход обусловлен дрейфом неосновных носителей – дырок. Дрейфовый ток фотоносителей называется **фототоком**.

При работе фотодиода в фотопреобразовательном режиме источник питания  $E$  включается в цепь в запирающем направлении (рис., а). Используются обратные ветви ВАХ фотодиода при различных освещенностях (рис., б).

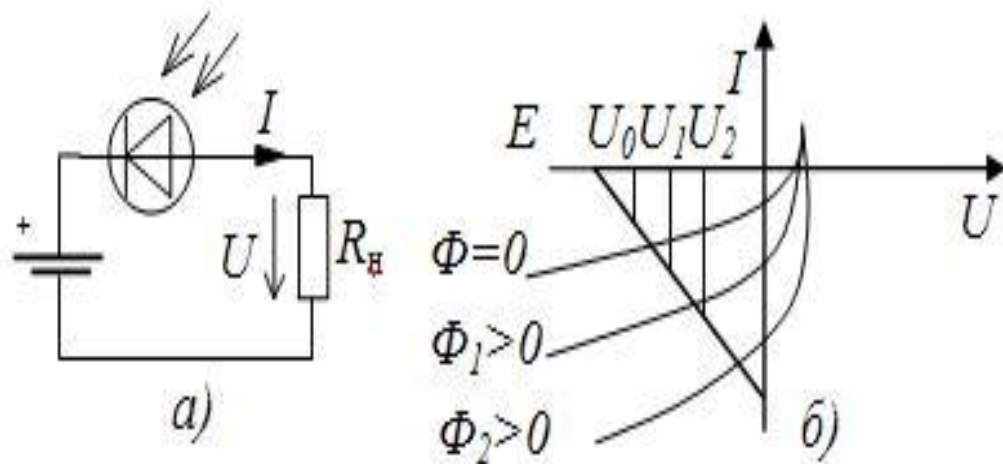
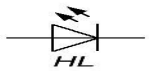


Схема включения фотодиода в фотопреобразовательном режиме: а - схема включения, б - ВАХ фотодиода

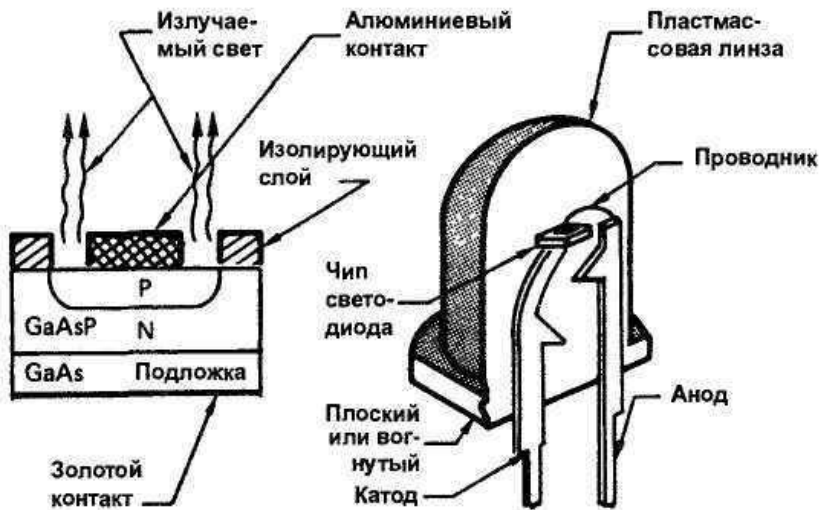
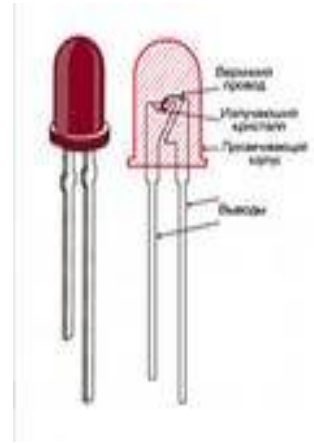
Ток и напряжение на нагрузочном резисторе  $R_n$  могут быть определены графически по точкам пересечения ВАХ фотодиода и линии нагрузки, соответствующей сопротивлению резистора  $R_n$ . При отсутствии освещенности фотодиод работает в режиме обычного диода. Темновой ток у германиевых фотодиодов равен 10 - 30 мкА, у кремниевых 1 - 3 мкА.



# СВЕТОДИОД

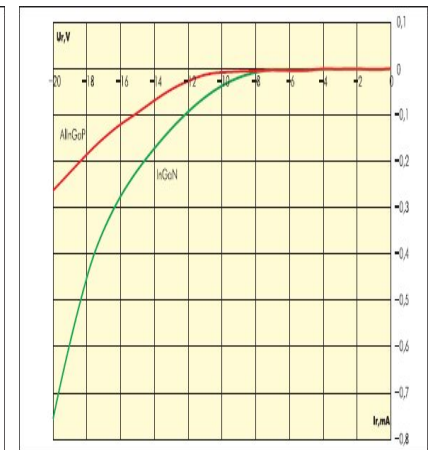
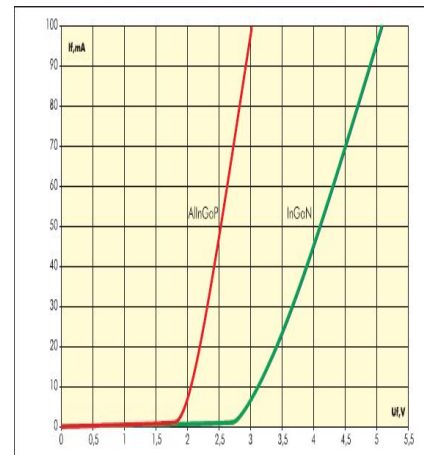
Светодиоды - особый класс диодов, которые излучают видимый и невидимый свет. Невидимый свет - это свет в инфракрасном или ультрафиолетовом диапазоне. Но для промышленности все таки большую роль играют светодиоды с видимым светом.

Светодиоды имеют такие же параметры, как и любые другие диоды, но обычно их максимальный ток значительно ниже. Предельное обратное напряжение ( $U_{обр}$ ) может достигать 10 Вольт. Максимальный ток ( $I_{max}$ ) будет ограничиваться для простых светодиодов порядка 50 мА. Поэтому при подключении обычного диода нужно вместе с ним последовательно подключать резистор.



(А) СХЕМА СВЕТОДИОДА

(Б) ВНУТРИ СВЕТОДИОДА



## **Достоинства:**

- Светодиоды не имеют никаких стеклянных колб и нитей накаливания, что обеспечивает высокую механическую прочность и надежность (ударная и вибрационная устойчивость)
- 2. Отсутствие разогрева и высоких напряжений гарантирует высокий уровень электро- и пожаробезопасности
- 3. Безынерционность делает светодиоды незаменимыми, когда требуется высокое быстродействие
- 4. Миниатюрность
- 5. Долгий срок службы (долговечность)
- 6. Высокий КПД,
- 7. Относительно низкие напряжения питания и потребляемые токи, низкое энергопотребление
- 8. Большое количество различных цветов свечения, направленность излучения
- 9. Регулируемая интенсивность

## **Недостатки:**

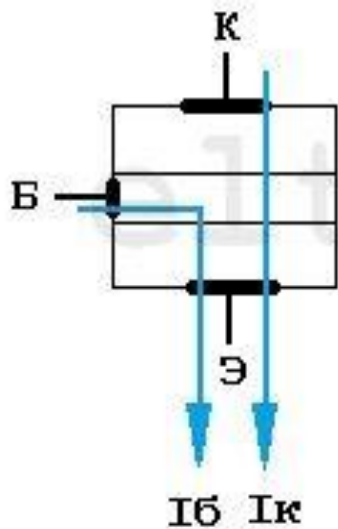
- 1. Относительно высокая стоимость. Отношение деньги/люмен для обычной лампы накаливания по сравнению со светодиодами составляет примерно 100 раз
- 2. Малый световой поток от одного элемента
- 3. Деградация параметров светодиодов со временем
- 4. Повышенные требования к питающему источнику



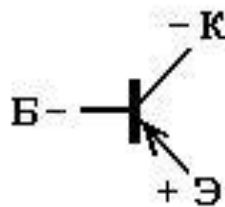
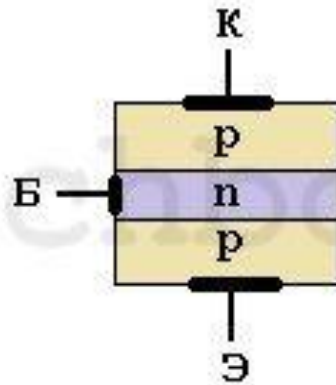
Технология изготовления транзисторов определяет основные их типы:

- биполярные,  
полевые

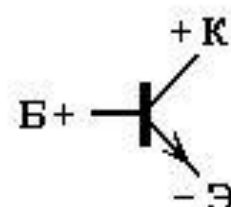
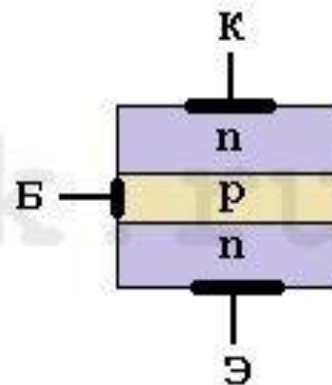
каждый из перечисленных типов можно классифицировать по типу проводимости, определяемой материалами, комбинациями (сочетаниями) полупроводников, используемых при их производстве.



1.



2.





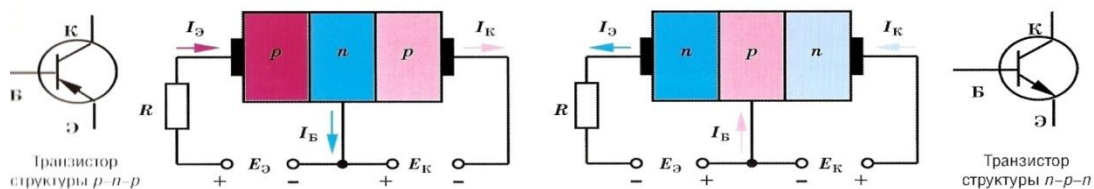
# Транзисторы биполярные

Транзистором называется полупроводниковый прибор с двумя **p-n**-переходами, предназначенный для усиления и генерирования электрических колебаний и представляющий собой пластину кремния или германия, состоящую из трех областей.

Две крайние области всегда обладают одинаковым типом проводимости, а средняя - противоположной проводимостью. Транзисторы, у которых крайние области обладают электронной проводимостью, а средняя - дырочной проводимостью, называются транзисторами **n-p-n** - типа транзисторы, у которых крайние области обладают дырочной, а средняя электронной проводимостями - транзисторами **p-n-p** - типа.

## БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

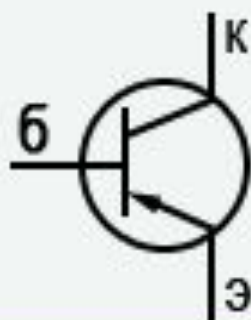
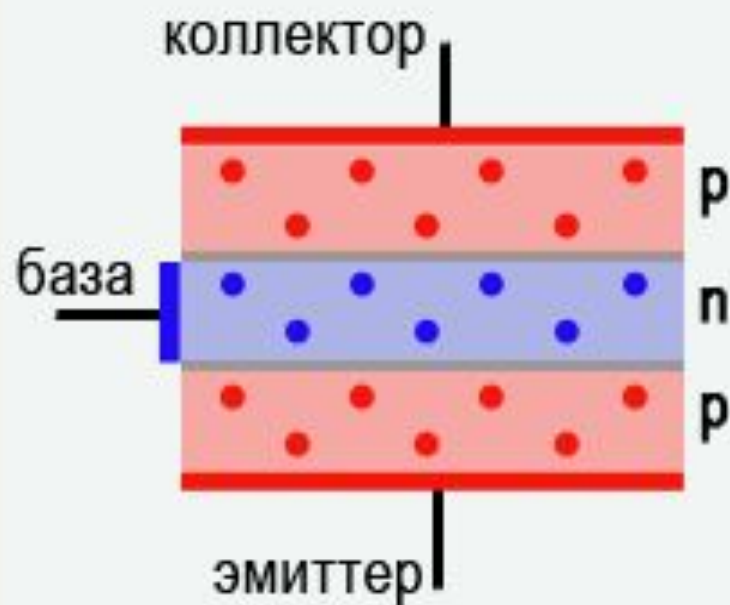
Структура биполярного транзистора



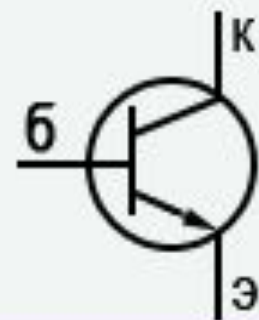
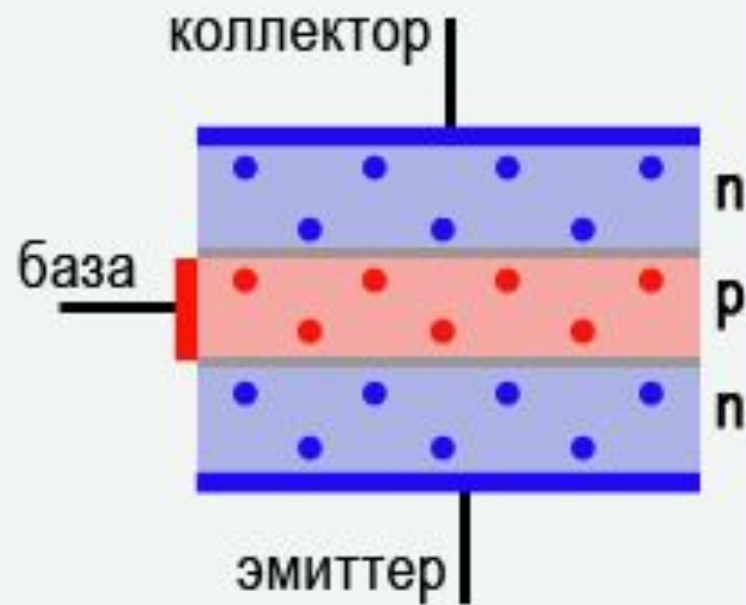
Биполярный транзистор в ключевом режиме

Смежные области, отделенные друг от друга **p-n**-переходами, называются **эмиттером Э**, **базой Б** и **коллектором К**.

Транзистор структуры **p-n-p**

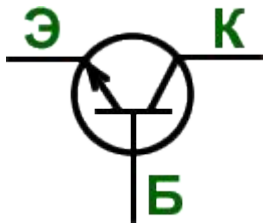


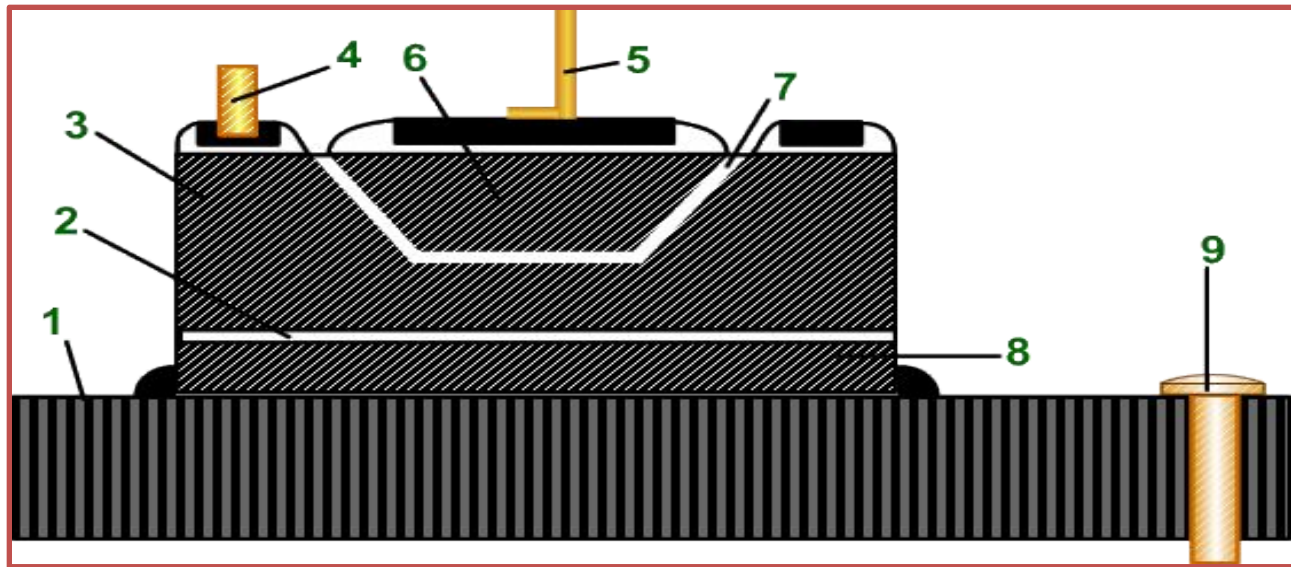
Транзистор структуры **n-p-n**



## Принцип работы и условное обозначение транзистора п-р-п

Ток, протекающий через переход база - эмиттер ( $I_b$ ) вызывает изменения сопротивления зоны эмиттер - коллектор, соответственно изменяется ток коллектора  $I_k$ , причем его значения больше базового. Поскольку материал транзистора полупроводник, то ток может протекать только в одном направлении, определяемом типом перехода. Соответственно этим определяется полярность подключения (тип проводимости) транзистора (прямая - р-п-р, обратная - п-р-п).





Устройства плоскостного германиевого транзистора типа р-п-р:

- 1 - кристаллодержатель; 2 - коллекторный переход; 3 - база;
- 4 - вывод базы; 5 - вывод эмиттера; 6 - эмиттер;
- 7 - эмиттерный переход; 8 - коллектор; 9 - вывод коллектора

Базой является пластина 3 из кристаллического германия с электронной проводимостью. С двух сторон в пластину вплавлены индиевые электроды, служащие эмиттером 6 и коллектором 8. При плавлении индия между каждым из этих электродов и германиевой пластиной - базой образуются области с дырочной проводимостью и создаются эмиттерный 7 и коллекторный 2 р-п-переходы. Коллектор 8 крепится на кристаллодержателе 1, от которого наружу проходит вывод коллектора 9. Выводы от эмиттера 5 и базы 4 изолированы от корпуса стеклянными проходными изоляторами. Транзистор помещается в металлический корпус.

Первый элемент — буква **Г, К, А** или цифра **1, 2, 3** — характеризует полупроводниковый материал и температурные условия работы транзистора.

**1.** Буква **Г** или цифра **1** присваивается **германиевым** транзисторам;

**2.** Буква **К** или цифра **2** присваивается **кремниевым** транзисторам;

**3.** Буква **А** или цифра **3** присваивается транзисторам, полупроводниковым материалом которых служит **арсенид галлия**.

Цифра, стоящая вместо буквы, указывает на то, что данный транзистор может работать при повышенных температурах: германий — выше 60°C, а кремний — выше 85°C.

Второй элемент — буква **Т** от начального слова «транзистор». Третий элемент — трехзначное число от **101** до **999** — указывает порядковый заводской номер разработки и назначение транзистора. Эти параметры даны в справочнике по транзисторам.

Четвертый элемент — буква от **А** до **К** —

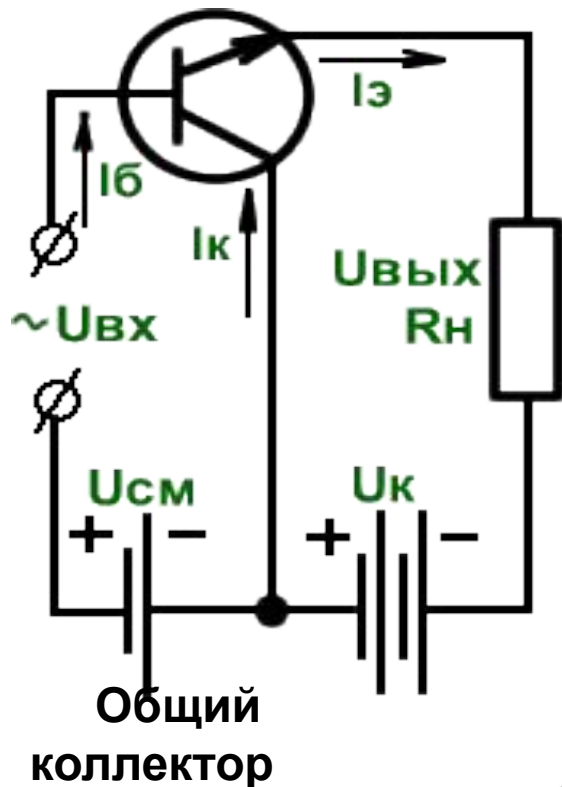
## Режимы работы биполярного транзистора

Нормальный активный режим- переход эмиттер-база включен в прямом направлении (открыт), а переход коллектор-база — в обратном (закрит).

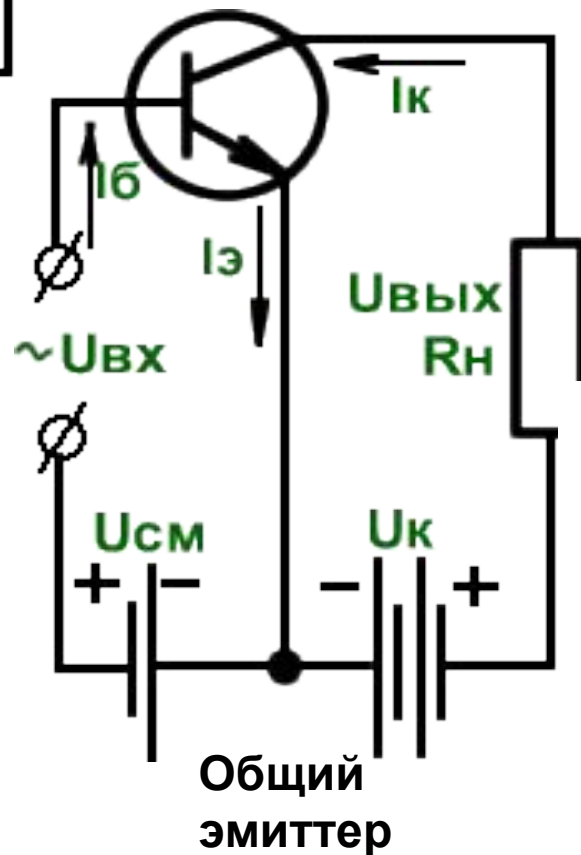
Инверсный активный режим- эмиттерный переход имеет обратное включение, а коллекторный переход — прямое.

Режим насыщения - оба р-п перехода смещены в прямом направлении (оба открыты).

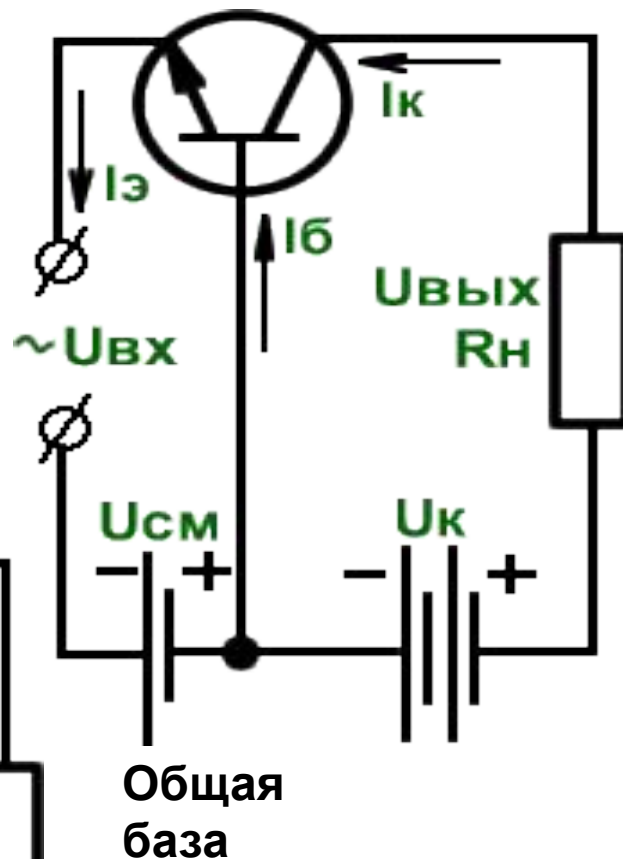
Режим отсечки- в данном режиме оба р-п перехода прибора смещены в обратном направлении (оба закрыты).



Общий коллектор



Общий эмиттер

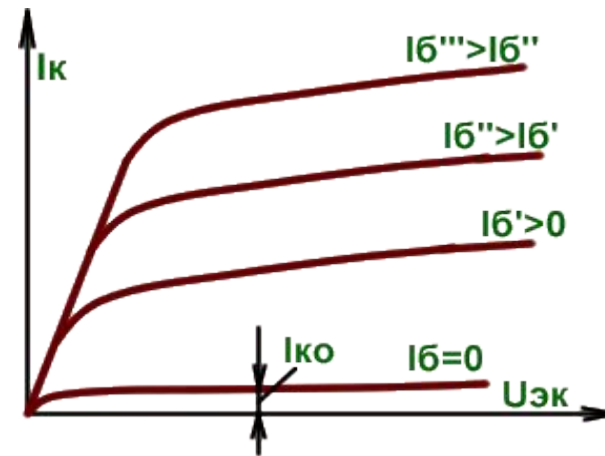
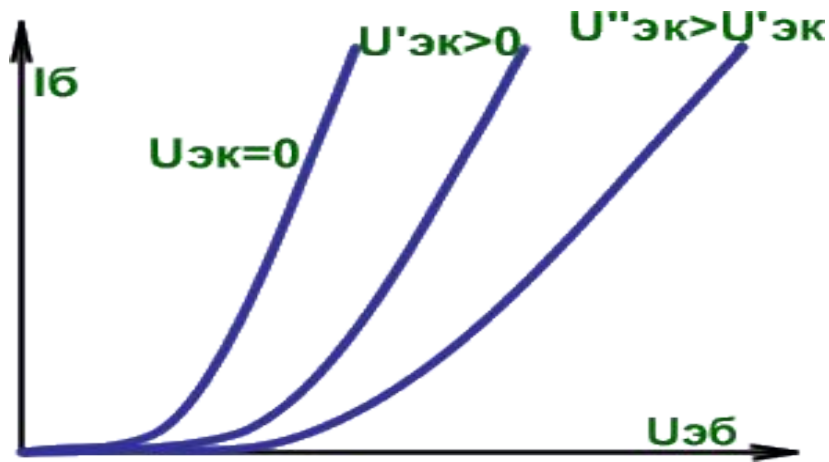


Общая база

Схемы  
включения

n-p-n

## Статические характеристики транзистора типа р-п-р, включенного по схеме с общим эмиттером.



Для схемы с общим эмиттером **ОЭ** входной цепью является цепь базы и входная характеристика отражает зависимость тока базы от напряжения эмиттер - база при постоянном напряжении между эмиттером и коллектором, т. е.  $I_B = f(U_{ЭБ})$  при  $U_{ЭК} = \text{const}$ .

Выходной цепью для этой схемы является цепь коллектора и выходной характеристикой - зависимость тока коллектора от напряжения эмиттер - коллектор при неизменном токе базы, т. е.  $I_C = f(U_{ЭК})$  при  $I_B = \text{const}$ . **ВЫХОДНЫЕ**

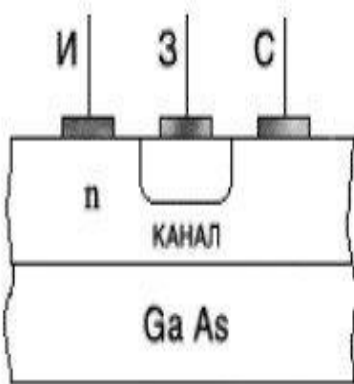
**ВХОДНЫ**

**е**



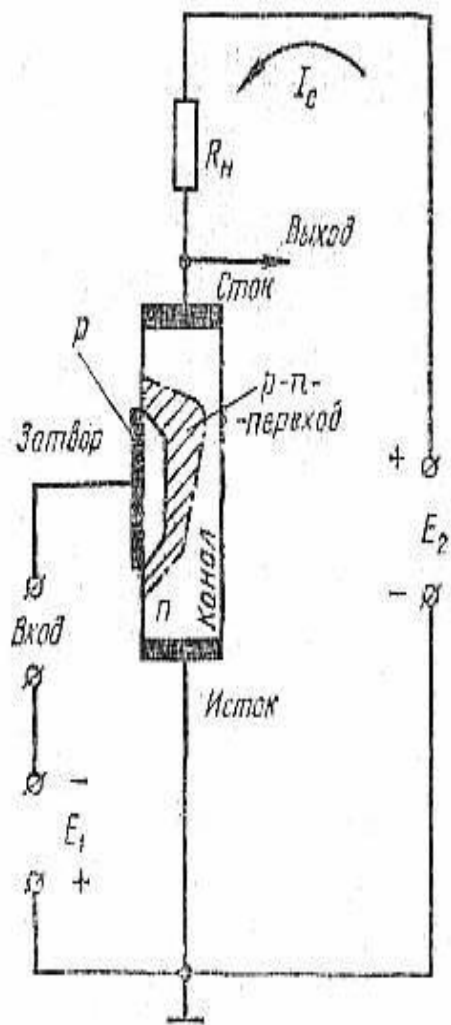
## ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Полевым транзистором называется полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал, управляемый электрическим полем. Действие полевого транзистора обусловлено носителями заряда одной полярности.



Электрод полевого транзистора, через который в проводящий канал втекают носители заряда, называют истоком, а электрод, через который они вытекают из канала, — стоком

Электрод полевого транзистора, на который подается электрический сигнал» используемый для управления величиной тока, протекающего через канал, называют затвором. Сопротивление этого канала зависит от величины напряжения, приложенного к затвору, значит ток, протекающий от истока к стоку ( $I_c$ ) зависит от напряжения между затвором и истоком. В зависимости от проводимости кристалла различают полевые приборы с р каналом и n каналом.



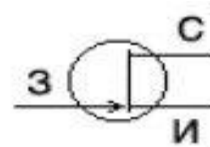
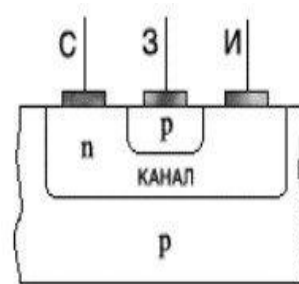
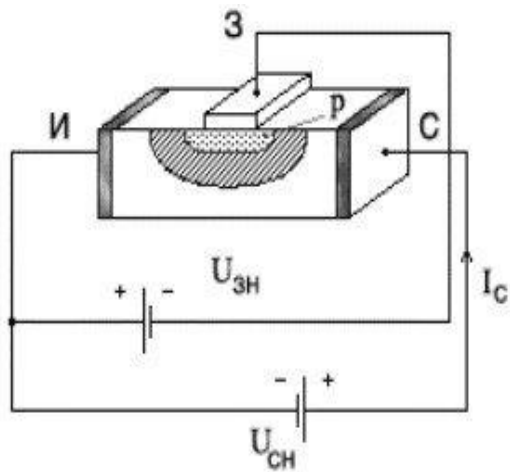
Простейший, полевой транзистор состоит из пластинки полупроводникового материала с одним р-п-переходом в центральной части и с невыпрямляющими контактами по краям. Действие этого прибора основано на зависимости толщины области пространственного заряда (ОПЗ) р-п-перехода от приложенного к нему напряжения. Поскольку запирающий слой, почти полностью лишен подвижных носителей заряда, его проводимость близка к нулю.

Таким образом, в пластинке полупроводника, не охваченной запирающим слоем, образуется токопроводящий канал, сечение которого зависит от толщины ОПЗ. Если включить источник питания  $E_2$ , как, показано на рисунке то через пластинку полупроводника, между выпрямляющими контактами потечет ток. Область в полупроводнике, в которой регулируется поток носителей заряда, называют проводящим каналом.

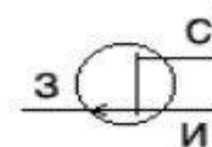
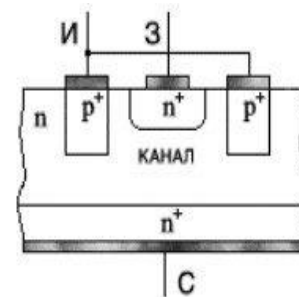
## Полевые транзисторы бывают двух видов:

- с управляющим р-п-переходом;
- со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП)

Транзистор с управляющим р-п-переходом представляет собой пластину (участок) из полупроводникового материала с электропроводностью р- либо n-типа, к торцам которой подсоединены электроды - сток и исток. Вдоль пластины выполнен электрический переход (р-п-переход или барьер Шотки), от которого выведен электрод - затвор.



п-типа



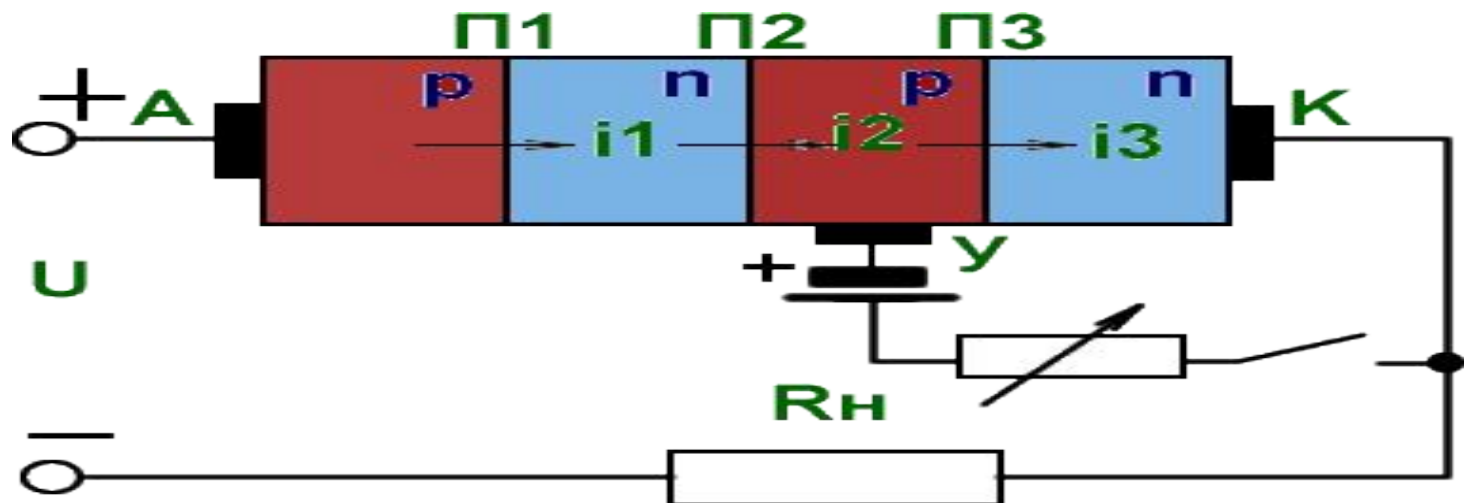
р-типа

Канал:

# ТИРИСТОР

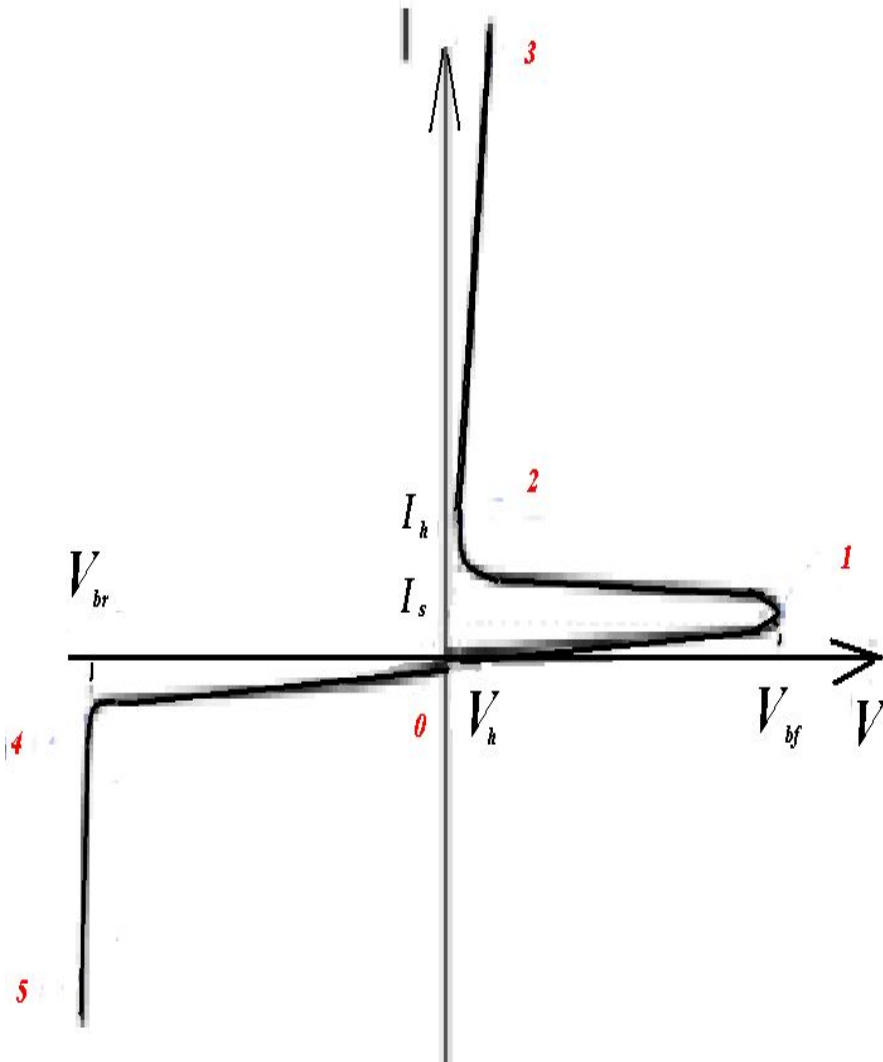
**Тири́стор** — полупроводниковый прибор, выполненный на основе монокристалла полупроводника с четырёхслойной структурой *p-n-p-n*-типа, обладающий в прямом направлении двумя устойчивыми состояниями — состоянием низкой проводимости (тиристор заперт) и состоянием высокой проводимости (тиристор открыт). В обратном направлении тиристор обладает только запирающими свойствами. Т.е тиристор — это управляемый диод. Тиристоры подразделяются на тринисторы, динисторы и симисторы.

Перевод тиристора из закрытого состояния в открытое в электрической цепи осуществляется внешним воздействием на прибор: либо воздействием напряжением (током), либо светом (фототиристор).



# Вольт – амперная характеристика

Тиристор имеет нелинейную разрывную вольтамперную характеристику (ВАХ).



0 - 1 участок, высокого сопротивления прибора — прямое запираение.

1 - включение тиристора.

1-и 2 участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

2 - 3 открытое состояние (прямая проводимость).

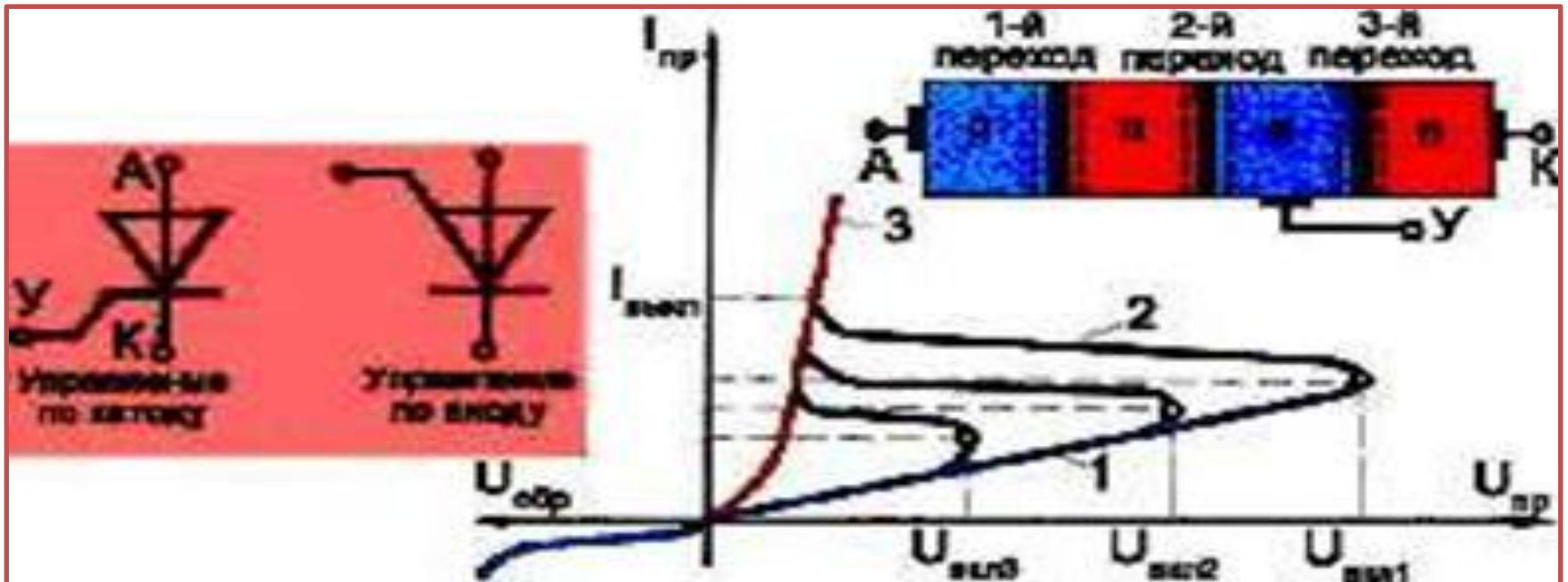
2- через прибор протекает минимальный удерживающий ток  $I_h$ .

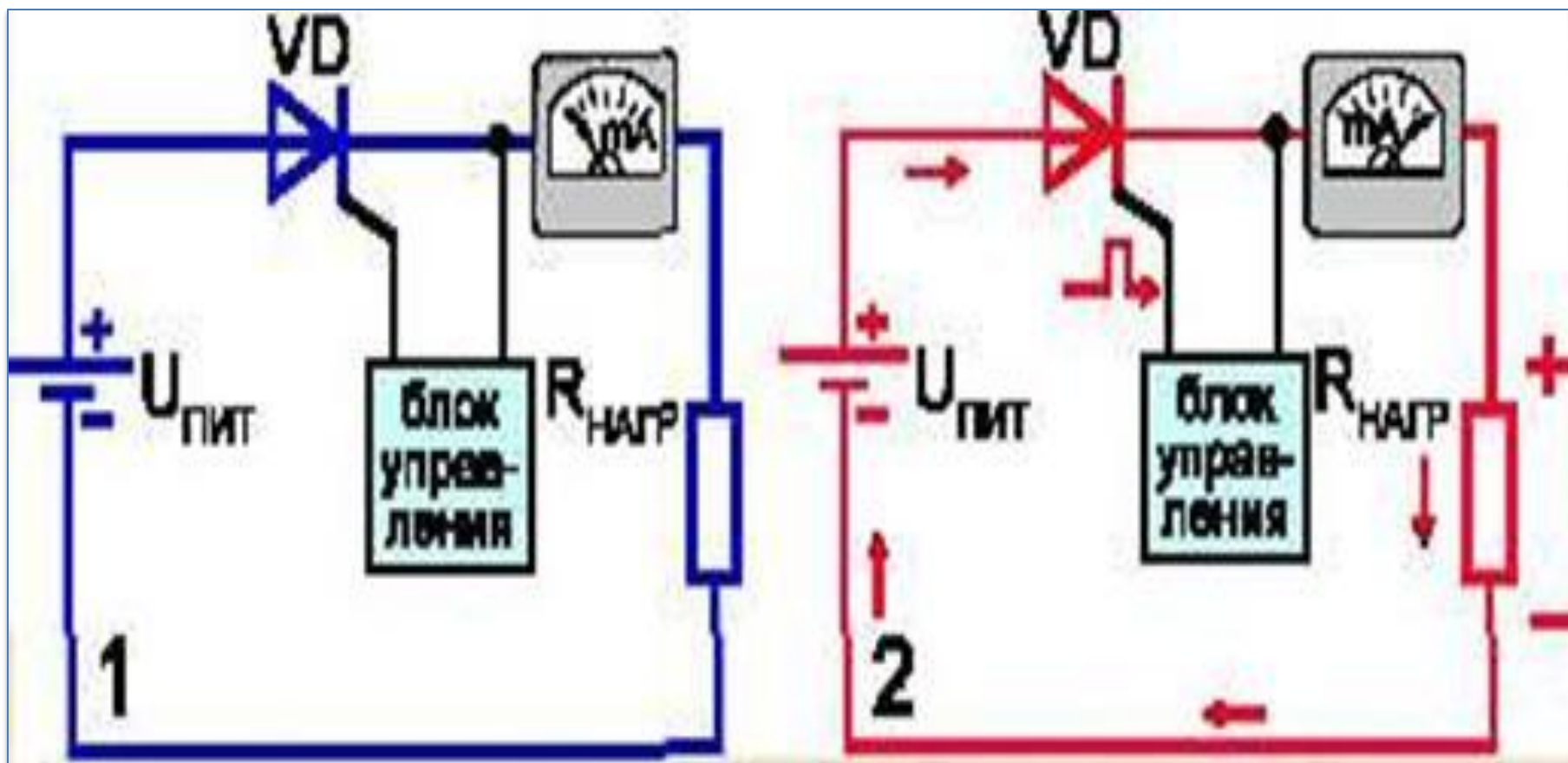
0- 4 описывает режим обратного запираения прибора.

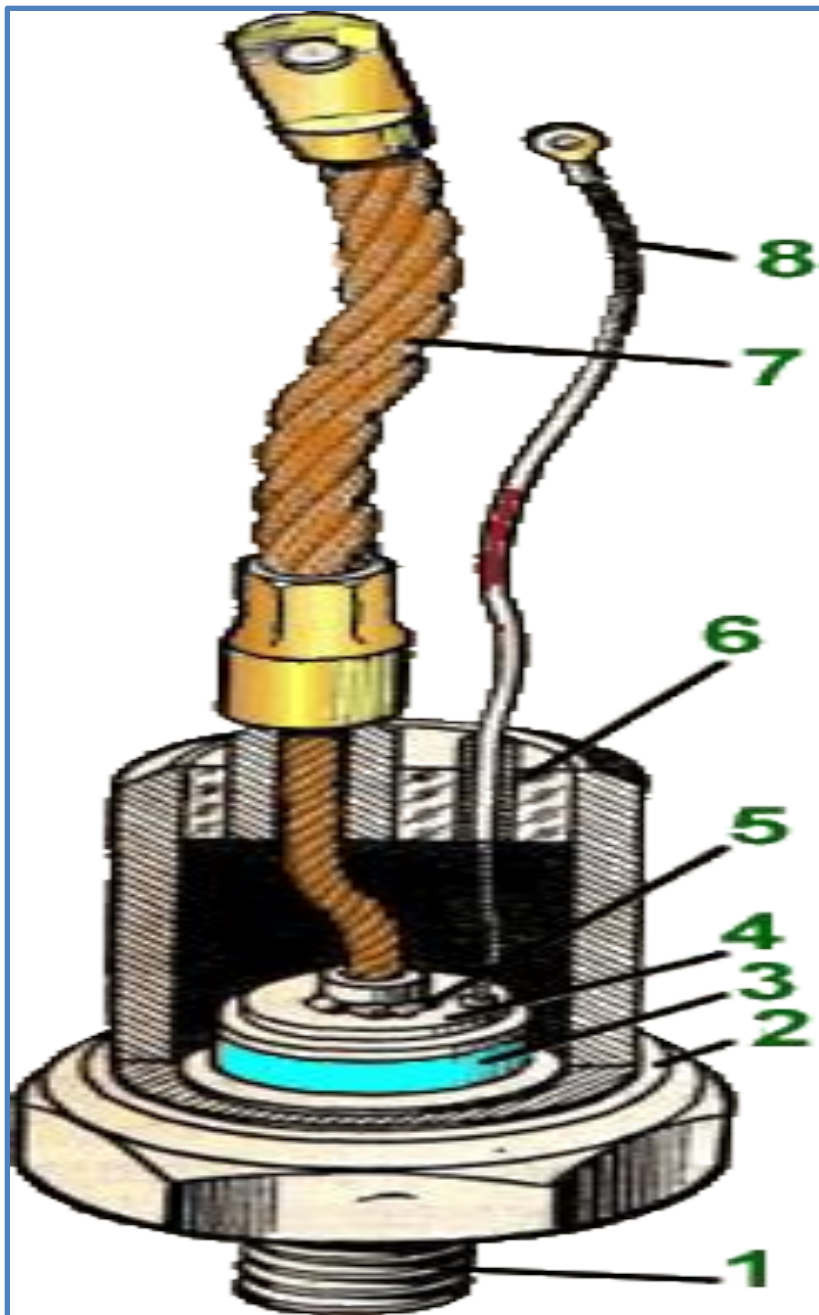
4 - 5 — режим обратного пробоя

# ТРИНИСТОР

В тринисторе напряжение включения может быть специально снижено, путём подачи импульса тока определённой длительности и величины на его управляющий электрод при положительной разности потенциалов между анодом и катодом, и конструктивно тринистор отличается только наличием управляющего электрода.







## Тиристор:

1 - вывод катода,

2 - корпус,

3 -

кристаллодержатель,

4 - кристаллическая  
структура,

5 - припой,

6 - изолятор,

7 - вывод анода,

8 - вывод

управляющего

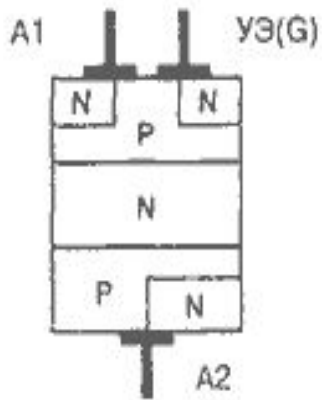
электрода



# Симистор

Симистор - полупроводниковый прибор, который широко используется в системах, питающихся переменным напряжением. Упрощенно он может рассматриваться как управляемый выключатель.

При отсутствии управляющего тока симистор во время любого полупериода переменного напряжения питания неизбежно переходит из состояния проводимости в закрытое состояние.



Симистор можно представить двумя тиристорами, включенными встречно-параллельно. Он пропускает ток в обоих направлениях. Симистор имеет три электрода: один управляющий и два основных для пропускания рабочего тока.

## Структура симистора

Симистор открывается, если через управляющий электрод проходит отпирающий ток или если напряжение между его электродами A1 и A2 превышает некоторую максимальную величину.

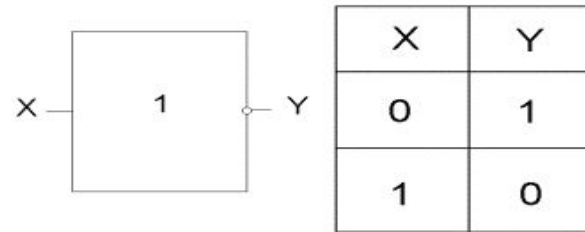
Симистор переходит в закрытое состояние после изменения полярности между его выводами A1 и A2 или если значение рабочего тока меньше тока удержания  $I_y$ .

# ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

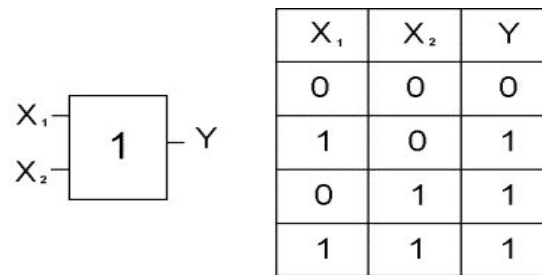
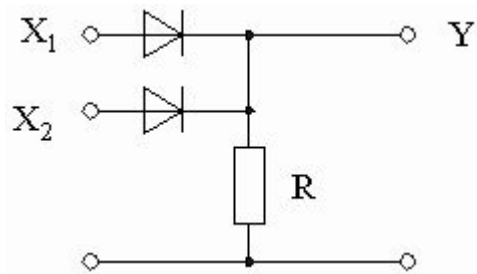
Логические элементы — устройства, предназначенные для обработки информации в цифровой форме (последовательности сигналов высокого — «1» и низкого — «0» уровней в двоичной логике). Физически логические элементы могут быть выполнены механическими, электромеханическими (на электромагнитных реле), электронными (на диодах и транзисторах), пневматическими, гидравлическими, оптическими и др.

Логические элементы выполняют логическую функцию (операцию) с входными сигналами (операндами, данными).

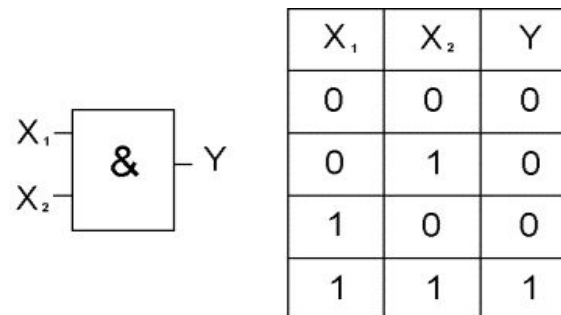
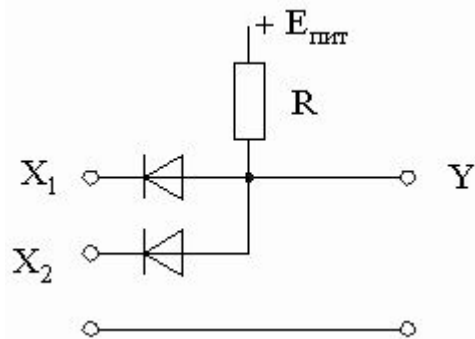
Элемент “НЕ”, реализующий функцию логического отрицания  $Y = \bar{X}$



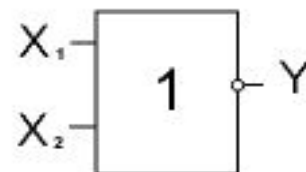
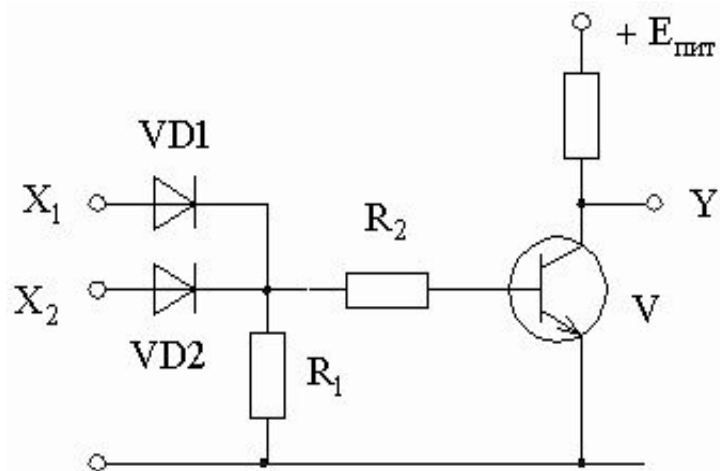
Элемент “ИЛИ” реализуют функции логического сложения



Элемент “И” реализуют функции логического умножения

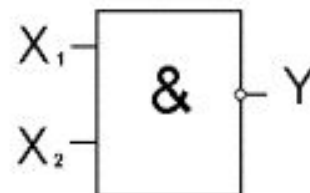
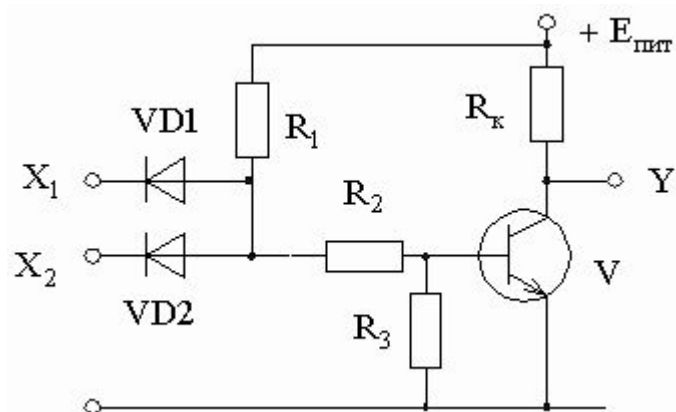


## Элемент “ИЛИ-НЕ”

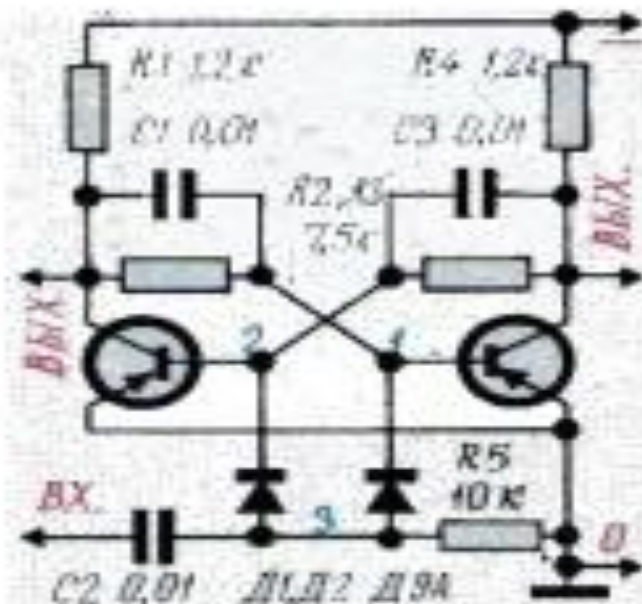
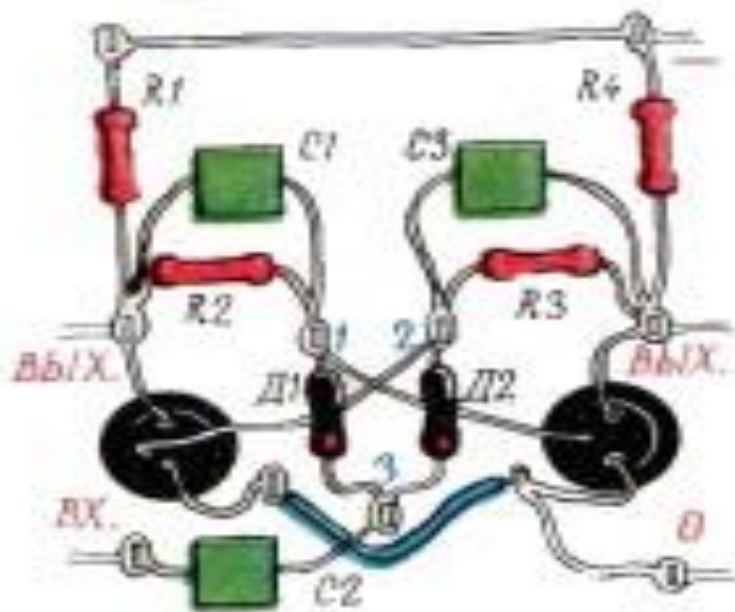


$X_1$	$X_2$	$Y$
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

## Элемент “И-НЕ”,



$X_1$	$X_2$	$Y$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Импульсное напряжение, например с выхода того же мультивибратора, подается на **вход триггера** (конденсатор  $C2$ ) и переводит его из одного устойчивого состояния в другое. При этом на **выходах триггера** поочередно появляются отрицательные напряжения — когда какой-либо из транзисторов открыт, на его коллекторе почти нулевое напряжение, а когда транзистор закрыт — на его коллекторе почти полный «минус»

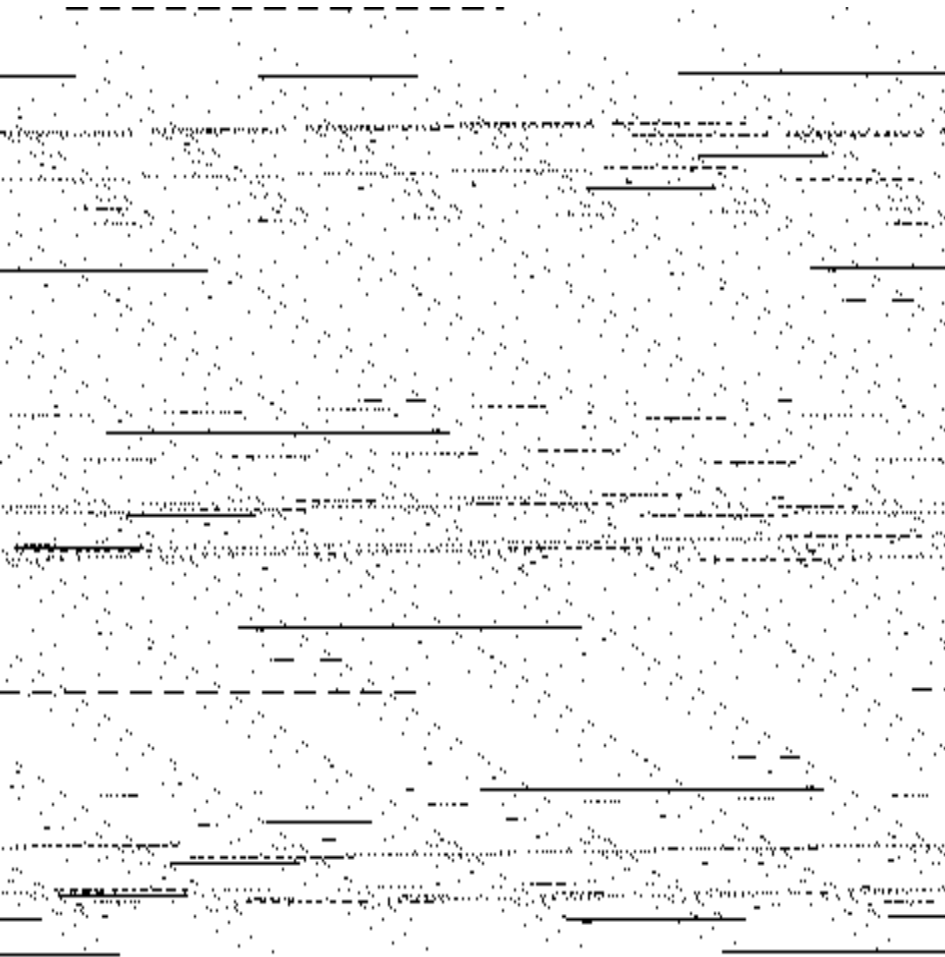
# МИКРОПРОЦЕССОР

**Микропроцессор** - это программно управляемое устройство предназначенное для обработки цифровой информации и управления процессами этой обработки, выполненной в виде одной или нескольких интегральных схем с высокой степенью интеграции электронных компонентов.

Микропроцессорный комплект - это набор микросхем необходимых для реализации одного функционально завершённого вычислительного устройства.

Архитектура МП - это совокупность аппаратных, микропрограммных и программных средств, определяющая технические, эксплуатационные характеристики.

Микропроцессорная система - это управляемая и контрольно - измерительная система, обрабатывающим элементом в которой является микропроцессор.



**Арифметическо-логическое устройство** состоит из двоичного сумматора со схемами ускоренного переноса, сдвигающего регистры и регистров для временного хранения операндов.

**Устройство управления** управляет работой АЛУ и внутренних регистров в процессе выполнения команды. Согласно коду операций, содержащемуся в команде, оно формирует внутренние сигналы управления блоками МП. Адресная часть команды совместно с сигналами управления используется для считывания данных из определенной ячейке памяти или для записи данных в ячейку. По сигналам УУ осуществляется выборка каждой новой, очередной команды.

# ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Выпрямительное устройство, предназначенное для преобразования энергии источника переменного тока в постоянный ток называется выпрямителем.

Для преобразования переменного тока в постоянный служат электрические вентили различных типов: электронные (кенотроны), полупроводниковые (германиевые, кремниевые и др.), ионные (газотроны, тиратроны и др.). Каждый вентиль характеризуется следующими параметрами: амплитудой тока, средним значением тока, амплитудой обратного напряжения, внутренним





# СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ

**Схема выпрямления это соединения обмоток трансформатора и порядок присоединения вентилей ко вторичным обмоткам трансформатора**



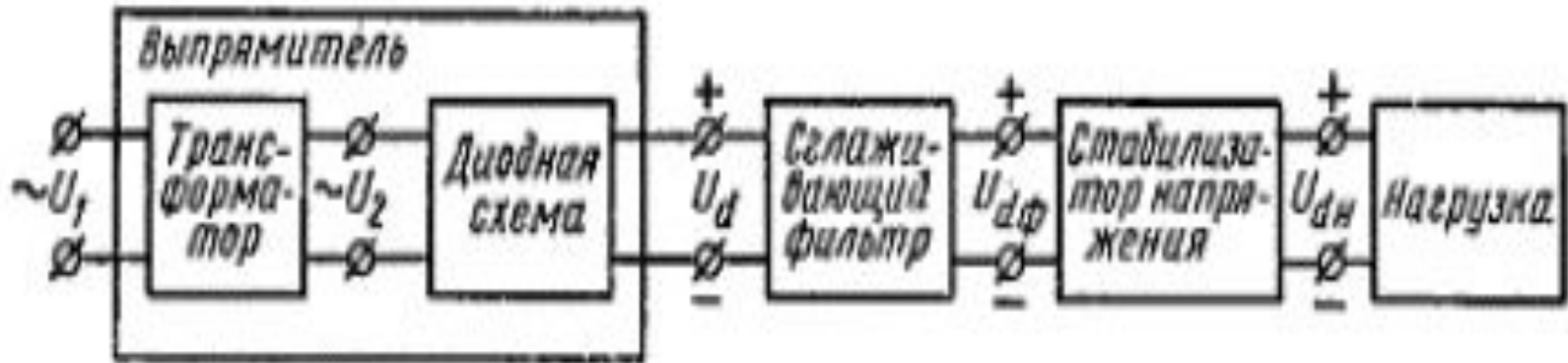
**По числу фаз источника питания переменного напряжения различают выпрямители однофазного тока и выпрямители трехфазного тока.**

**2. По способу подключения вентилей ко вторичной обмотке трансформатора – нулевые схемы, с использованием нулевой (средней) точки вторичной обмотки трансформатора и мостовые схемы, в которых нулевая точка изолирована или вторичные обмотки трансформатора соединены в треугольник.**

**3. По потребляемой нагрузкой мощности выпрямители делятся на маломощные (единицы кВт), средней мощности (десятки кВт) и большой мощности ( $P_{пот} > 100$  кВт).**

**4. Независимо от мощности выпрямителя все схемы делятся на одноктактные или однополупериодные и двухтактные (двухполупериодные).**

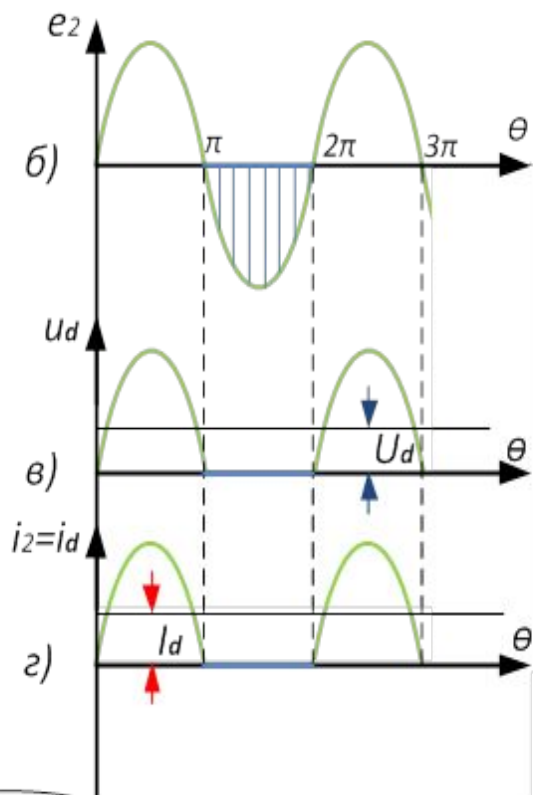
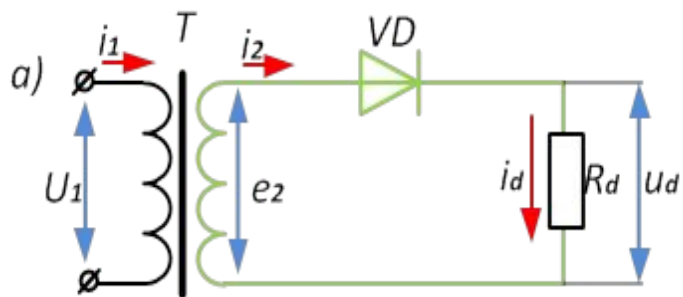
# ВЫПРЯМИТЕЛИ



Основные элементы схемы:

- а) **силовой трансформатор** служит для согласования входного и выходного напряжения выпрямителя и электрического разделения отдельных цепей выпрямителя (т.е. разделяет питающую сеть и сеть нагрузки);
- б) **блок диодов** обеспечивает одностороннее протекание тока в цепи нагрузки, в результате чего переменное напряжение преобразуется в пульсирующее;
- в) **сглаживающий фильтр** предназначен для уменьшения пульсации напряжения на нагрузке до требуемого значения;
- г) **стабилизатор напряжения**, служащий для стабилизации среднего значения выпрямленного напряжения при колебаниях напряжения питающей сети или при изменении тока нагрузки.

# Однополупериодная

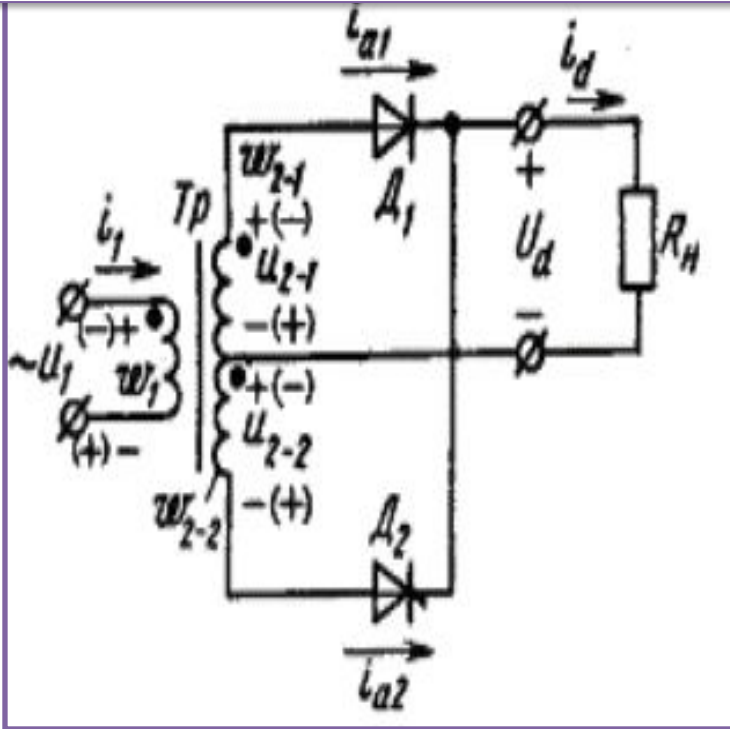


Во время положительной полуволны плюс напряжения на вторичной обмотке трансформатора приложен к аноду диода, а минус - к катоду. Диод открывается, и ток проходит от плюса вторичной обмотки трансформатора через диод и сопротивление нагрузки  $R_n$  на минус вторичной обмотки трансформатора.

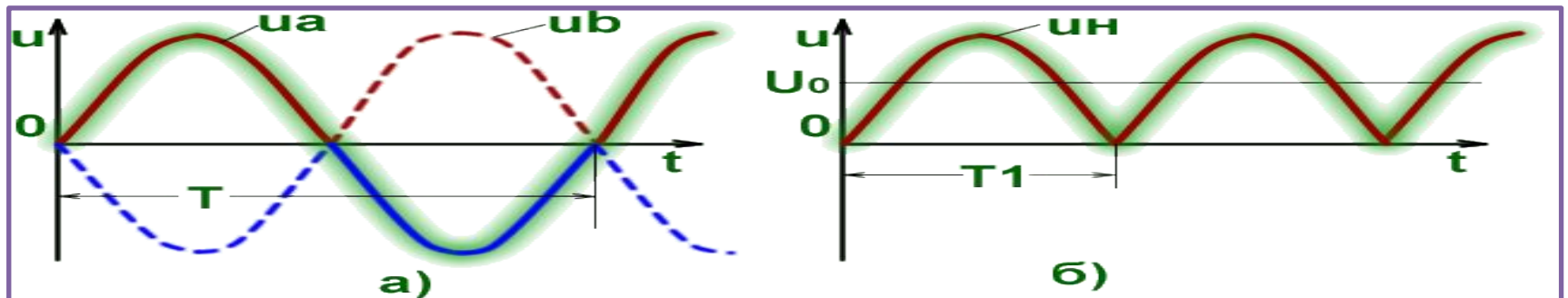
Во время отрицательной полуволны на анод диода поступает минус, а на катод - плюс входного напряжения, т.е. к диоду прикладывается обратное напряжение, и он закрыт.

Трансформатор  $T$  играет двойную роль: он служит для подачи на вход выпрямителя ЭДС соответствующей заданной величине выпрямленного напряжения и обеспечивает гальваническую развязку цепи нагрузки и питающей сети.

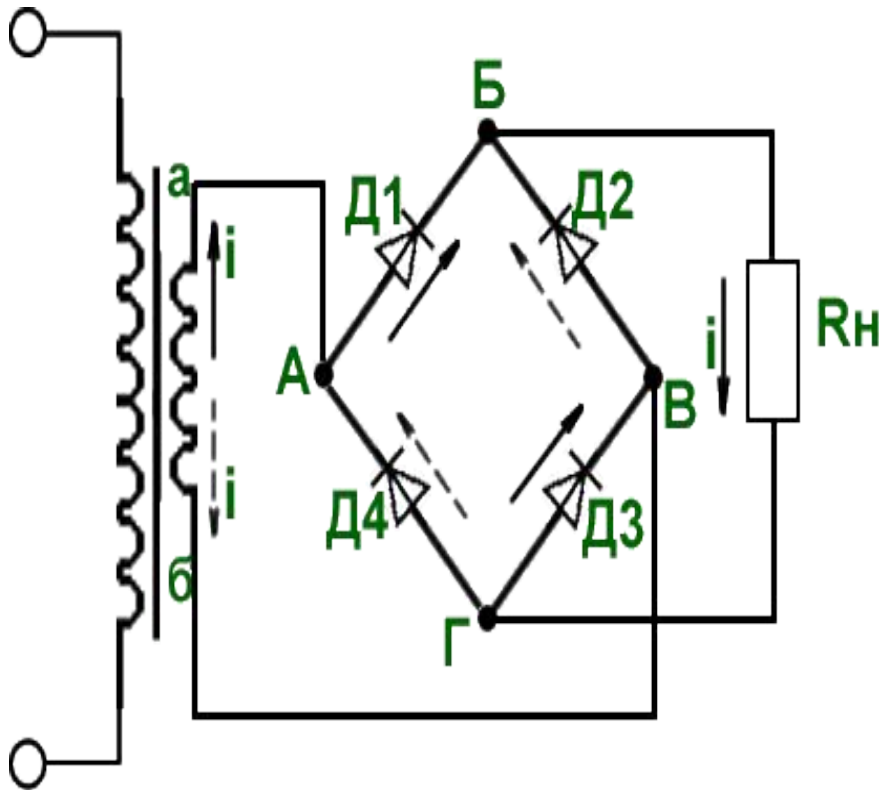
# Двухполупериодная схема выпрямления



В цепь вторичной обмотки включены два полупроводниковых диода. К средней точке этой обмотки присоединена нагрузка. Допустим, что в точке 3 вторичной обмотки в первый полупериод будет положительный потенциал относительно точки 5, а в точке 4 — отрицательный. Тогда ток пройдет через диод Д1, дроссель Др и приемник в точку 5 трансформатора. В это время диод Д2 тока не пропускает. В течение второго полупериода потенциал на концах вторичной обмотки трансформатора изменится, в точке 3 будет отрицательный потенциал, а в точке 4 — положительный. Ток пройдет через диод Д2, дроссель Др и приемник в точку 5. В это время диод Д1 тока пропускать не будет.



## Мостовая однофазная схема

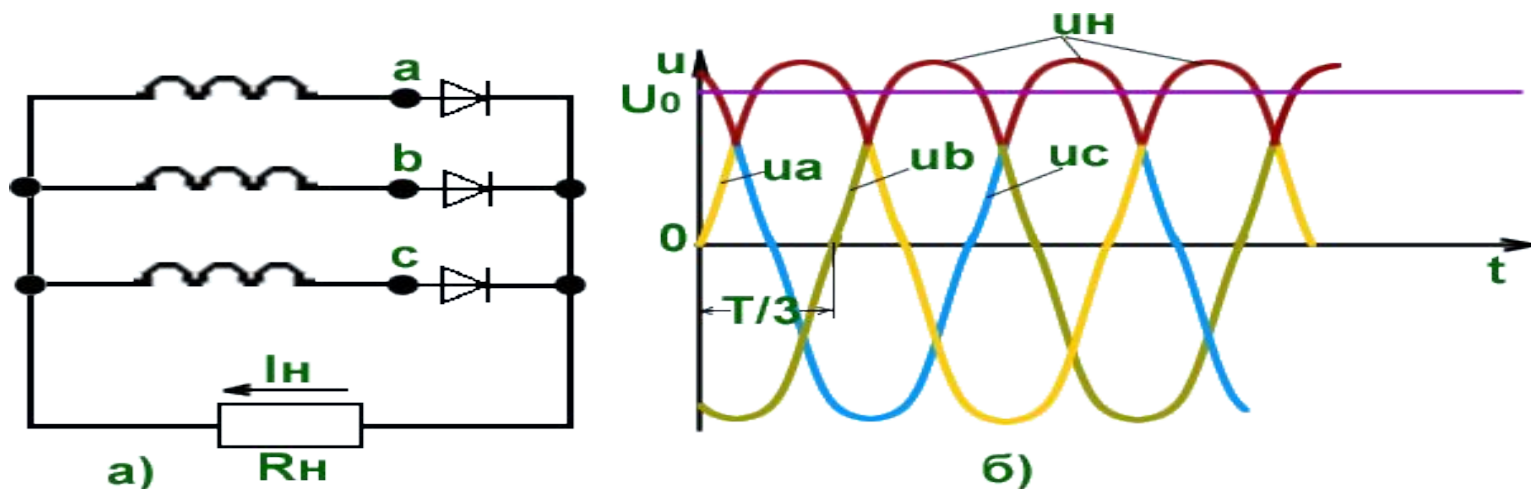


В этой схеме общее напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора равно половине общего напряжения на зажимах вторичных обмоток (двух половин) обычной двухполупериодной схемы. В связи с этим на изготовление трансформатора для мостовой схемы затрачивается меньше материалов и он получается более легким и дешевым. Первичная обмотка I трансформатора Тр включена в сеть переменного тока. В цепь вторичной обмотки II включены четыре диода, а к точкам а и б присоединен приемник.

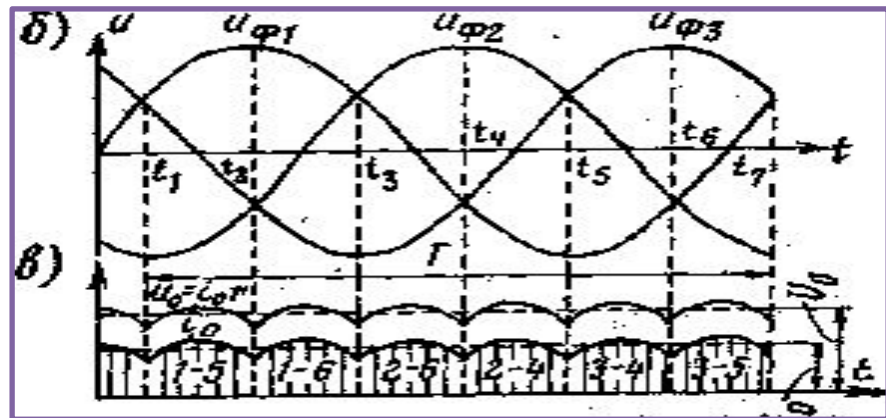
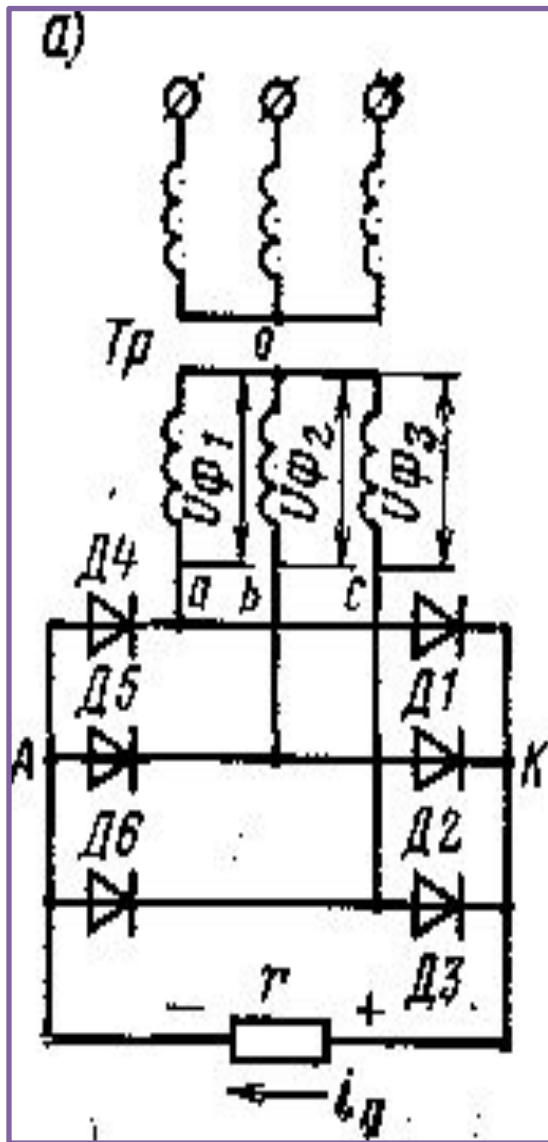
## Выпрямление трехфазного тока

В трехфазной схеме выпрямления три вентиля анодами соединены с началами фаз трехфазной вторичной обмотки. Катоды трех вентилей образуют общую точку, являющуюся плюсовым полюсом на выходе выпрямителя; минусовый полюс - средняя точка вторичной обмотки. В любой момент будет открыт тот вентиль, напряжение на аноде которого наиболее положительно.

Напряжения в фазах вторичной обмотки равны между собой по амплитуде и частоте, но сдвинуты по фазе на одну треть периода  $T/3$ . На каждом вентиле наиболее положительное напряжение будет также в течение одной трети периода  $T/3$  и напряжение на нагрузке будет представлять огибающую синусоид эдс в фазах вторичной обмотки.



# Трёхфазная мостовая схема выпрямления



Первичную обмотку трансформатора  $T_p$  в зависимости от напряжения сети соединяют звездой или треугольником, а вторичную для получения нулевой точки  $O$  — всегда звездой. Начало вторичных обмоток  $a$ ,  $b$  и  $c$  соединяют с анодами вентилей  $D1$ ,  $D2$  и  $D3$ . Нагрузка  $R$  включается между общей точкой  $K$  катодов вентилей и нулевой точкой вторичной обмотки трансформатора  $O$ . Ток через каждый диод может проходить только тогда, когда потенциал на аноде выше потенциала на катоде. Это возможно в течении одной трети периода, тогда напряжение в данной фазе, выше напряжения в двух других фазах. Так например, когда открыт диод  $D1$ , через него на нагрузку  $R$ , течёт ток. В это время диоды  $D2$  и  $D3$  заперты.



### Пример:

Для питания постоянным током потребителя мощностью  $P=200$  Вт при напряжении  $U=20$  В необходимо собрать схему однополупериодного выпрямителя, используя имеющиеся стандартные диоды типа Д 242 А.

### Решение:

1. Выписываем из таблицы параметры диода:  $I_{\text{доп}}=10$  А;  $U_{\text{обр}}=100$  В.
2. Определяем ток потребителя из формул  $P=UI$ ;

$$I = \frac{P}{U} = \frac{200}{20} = 10 \text{ А}$$

3. Определяем напряжение, действующее на диод в не проводящий период;

$$U_{\text{в}} = 3,14 * 20 = 63 \text{ В.}$$

4. Проверяем диод по параметрам  $I_{\text{доп}}$ .

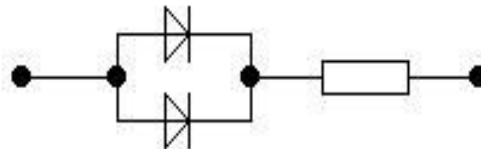
Для данной схемы диод должен удовлетворять условию:  $I_{\text{доп}} > 2 I_{\text{н}}$   
В данном случае это условие не соблюдается.

5. Проверяем диод по напряжению

Для данной схемы диод должен удовлетворять условию  $U_{\text{обр}} > U_{\text{в}}$

Это условие выполняется т.к.  $100 \text{ В} > 63 \text{ В}$ .

6. Составляем схему выпрямителя. Для того чтобы выполнить условие, надо два диода соединить параллельно, тогда  $2 * 10 \text{ А} = 2 * 10 \text{ А}$ .



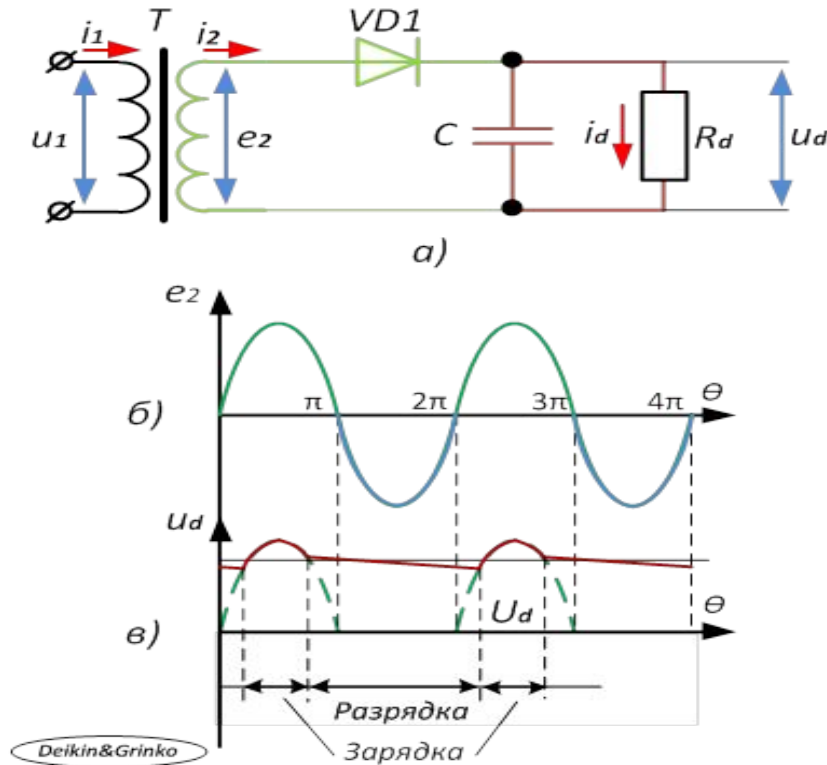


# Сглаживающие фильтры

Выпрямленное напряжение при любой схеме выпрямления помимо постоянной составляющей  $U_0$  (среднее значение) содержит переменную составляющую (пульсацию), амплитуда  $U_m$  и частота  $f_1$  которой зависят от схемы выпрямления.

Для сглаживания пульсирующего напряжения используются сглаживающие фильтры, которые состоят в большинстве случаев из конденсатора и дросселя. Конденсатор сглаживает пульсирующее напряжение, а дроссель задерживает переменную составляющую сглаженного напряжения от попадания в нагрузку. В настоящее время функции дросселя выполняют стабилизаторы напряжения.

Применение ёмкостного фильтра рационально при достаточно больших значениях сопротивления нагрузки и коэффициента пульсаций на нагрузке. Фильтр состоит из конденсатора, включенного параллельно нагрузке.

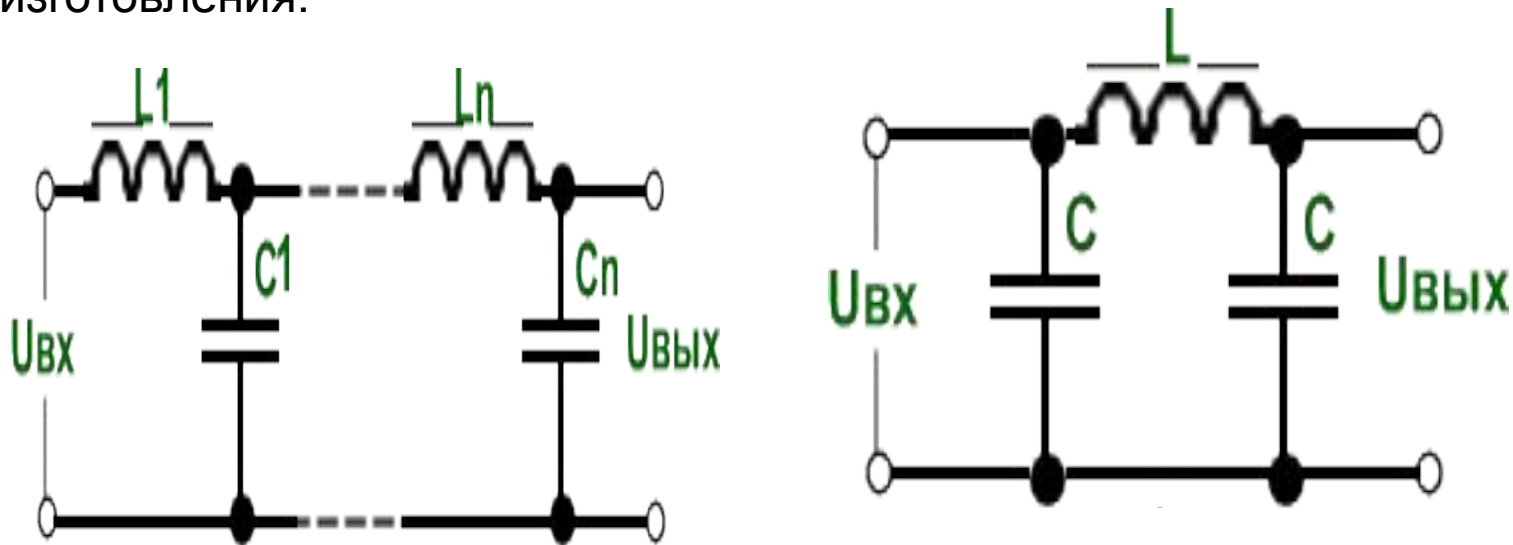


Красной линией показано напряжение на конденсаторе (или сопротивлении нагрузки). Сглаживание напряжения происходит за счёт того, что во время уменьшения пульсирующего напряжения ток в нагрузке, а, следовательно, и напряжение на  $R_n$ , поддерживаются напряжением зарядившегося конденсатора. При возрастании пульсирующего напряжения конденсатор снова подзарядается и так далее.

Конденсатор хорошо сглаживает пульсации, если его емкость такова, что выполняется условие:

$X_c = 1/m\omega C$ , где  $m$  - пульсность схемы, т.е. количество пульсаций за период. Для однофазного однополупериодного выпрямителя  $m = 1$ , для однофазного двухполупериодного со средней точкой и мостового выпрямителя  $m = 2$ .

**Индуктивно-ёмкостные фильтры** (Г-образный LC-фильтр и П-образный CLC-фильтр) широко применяются при повышенных токах нагрузки, поскольку падение напряжения на них можно сделать сравнительно небольшим. КПД у таких фильтров достаточно высокий. Недостатки индуктивно-ёмкостных фильтров: большие габаритные размеры и масса, повышенный уровень электромагнитного излучения от элементов фильтра, сравнительно высокая стоимость и трудоемкость изготовления.



## Задание 2.

Задание 4. Мостовая схема выпрямления на

полупроводниковые приборы, имеющие три или более p-n переходов. Диоды в мостовой схеме соединены попарно. В мостовой схеме выпрямления диоды соединены попарно. В мостовой схеме выпрямления диоды соединены попарно.

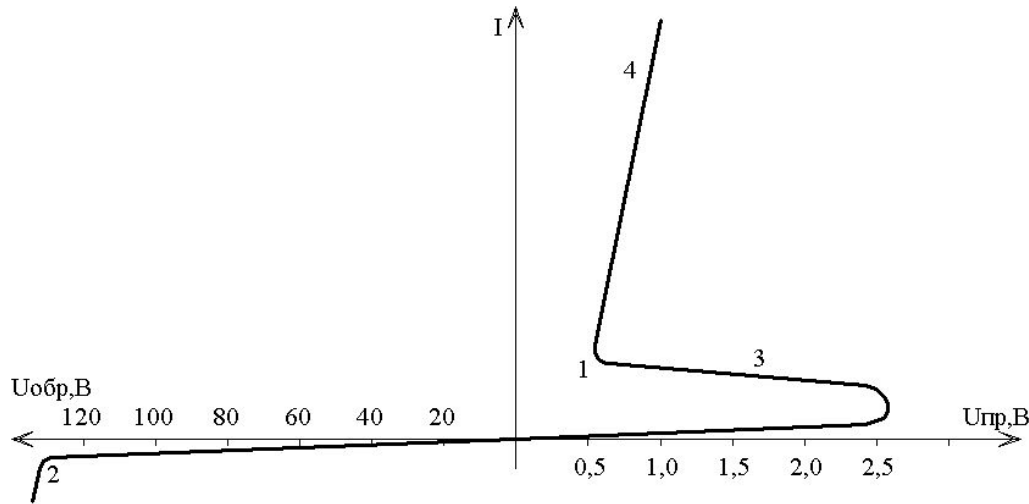
Внутренние переходы в диодах соединены попарно. Внутренние переходы в диодах соединены попарно.

- А. Диодами;
- Б. Транзисторами;
- В. Тиристорами;
- Г. Магнитомягкими



## Задание 6

Укажите на вольт – амперной характеристике тиристора участок открытого состояния



**Ответы:**

**А. 1**

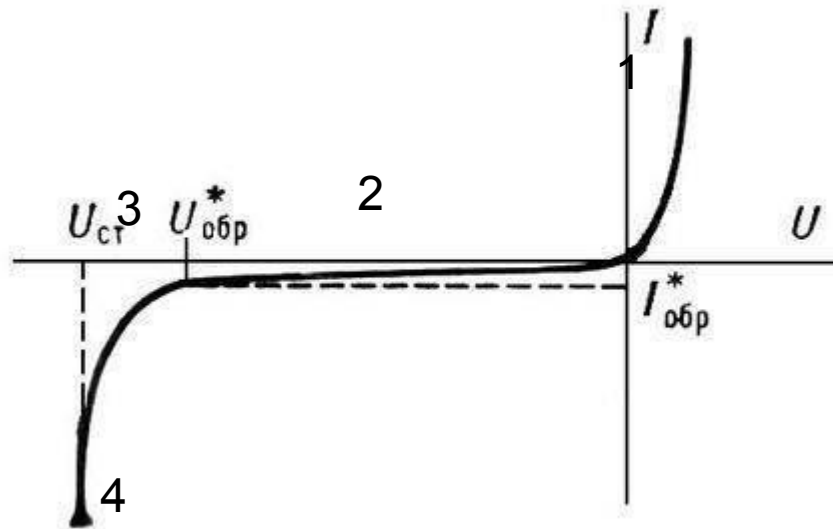
**Б. 2;**

**В. 3;**

**Г. 4;**

## Задание 7

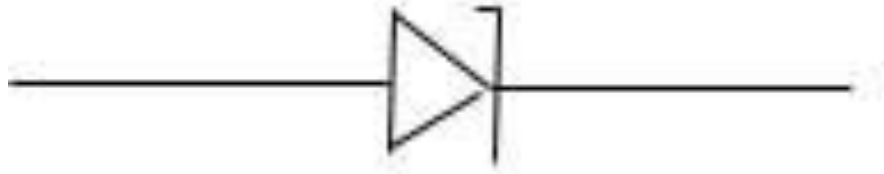
Укажите, какой участок вольт - амперной характеристики диода соответствует электрическому пробую диода



- А. 1
- Б. 2
- В. 3
- Г. 4

## Задание 8

**Какой элемент цепи изображен схемой?**



Ответы:

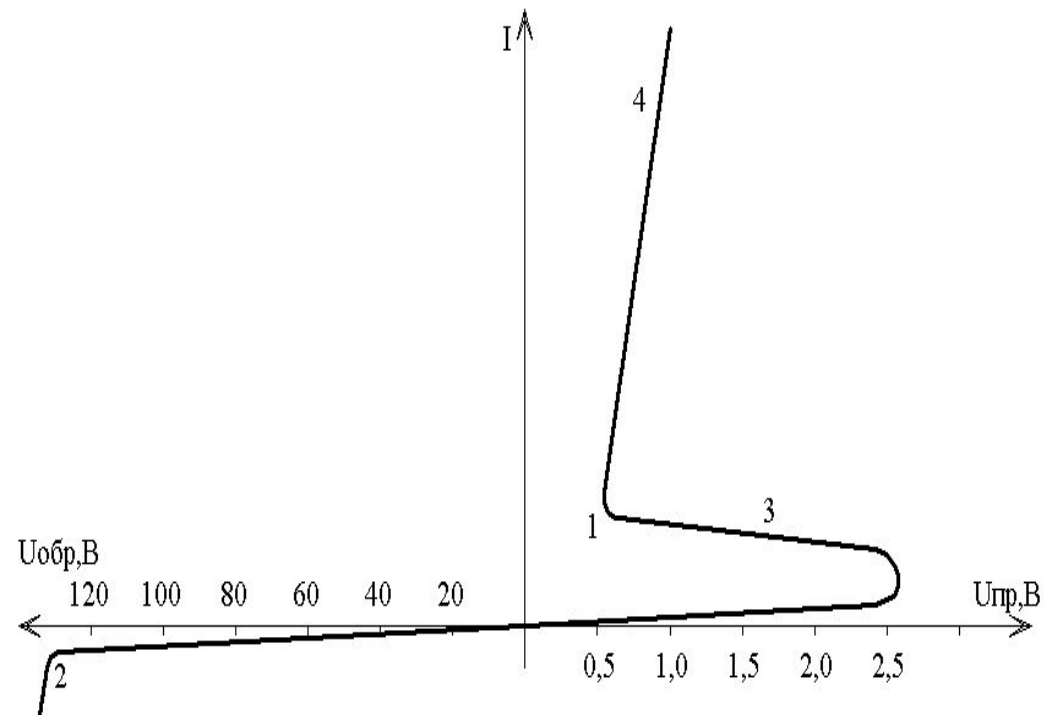
А. диод;

Б. стабилитрон;

В. Тиристор.

## Задание 9

Укажите на вольт – амперной характеристике тиристора участок пробоя.



- А. 1**
- Б. 2**
- В. 3**
- Г. 4**



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## СОДЕРЖАНИЕ

- Общие сведения  
Методы измерений
- Основная классификация  
электроизмерительных приборов
- Общие свойства приборов
- Общие детали измерительных  
приборов
- Приборы магнитоэлектрической  
системы
- Приборы выпрямительной системы
- Расширение пределов измерения
- Приборы для измерения  
сопротивлений
- Приборы электромагнитной системы
- Приборы электродинамической  
системы
- Измерение сопротивления  
постоянному току
- Цифровые измерительные приборы
- Устройство электронного счетчика



# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерить какую-либо величину – это значит сравнить ее с другой условно принятой за единицу.

Для производства электрических измерений необходимы:

## МЕРЫ

- вещественное воспроизведение единицы измерения или ее дробного или кратного..
- Меры разделяются на эталонные, образцовые и рабочие

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

- класс устройств, применяемых для измерения различных электрических величин

## ВСПОМОГАТЕЛЬН ЫЕ УСТРОЙСТВА

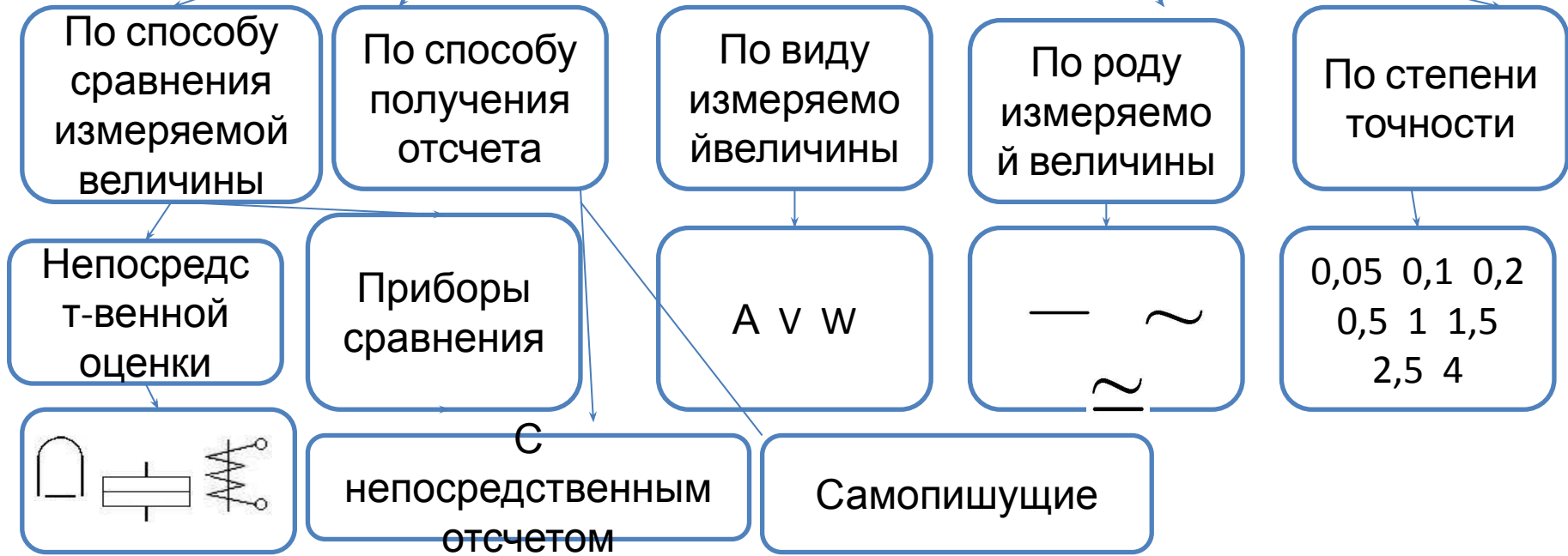
- выпрямители, шунты, добавочные резисторы и т.д.).
- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

# Методы измерений

--	--	--

Прямое измерение величины осуществляется непосредственно по сравнению измеряемой величины с образцом, являющимся эталоном, с помощью измерительного прибора, градуированного в единицах измеряемой величины. Прямые измерения могут быть простыми и сложными. Простые измерения осуществляются с помощью одного измерительного прибора, градуированного в единицах измеряемой величины. Сложные измерения осуществляются с помощью нескольких измерительных приборов, градуированных в единицах измеряемой величины. Прямые измерения могут быть первичными и вторичными. Первичные измерения осуществляются с помощью эталонов, а вторичные — с помощью измерительных приборов, градуированных в единицах измеряемой величины.

# Классификация измерительных приборов



По способу сравнения измеряемой величины приборы подразделяются на приборы непосредственной оценки, или показывающие, и приборы сравнения. Приборами непосредственной оценки называются такие, которые позволяют производить отсчет измеряемой величины непосредственно на шкале. По способу получения отсчета приборы подразделяются на приборы с непосредственным отсчетом и приборы с отсчетом по образцовой мере или эталону. К ним относятся счетчики, частотомеры, индукционные, индукционные, индукционные и др. По виду измеряемой величины приборы подразделяются на приборы для измерения электрической энергии — счетчик; частоты переменного тока — частотомер; коэффициента мощности — погрешности в процентах.

По роду измеряемой величины приборы подразделяются на магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические (ферродинамические), индукционные, тепловые, термоэлектрические и др.

# Погрешности приборов. Класс точности

Основная погрешность – это погрешность средства измерения, используемого в нормальных условиях, которые обычно определены в нормативно-технической документации на данное средство измерения.

*Абсолютная погрешность* – величина равная разности между измеренным  $A_{из}$  и действительным  $A$  значениями измеряемой величины:

$$\Delta A = A_{из} - A.$$

Точность измерения оценивается обычно не абсолютной, а *относительной погрешностью* – выраженной процентным отношением абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_{из}} \cdot 100\%$$

А так как разница между  $A$  и  $A_{из}$  обычно относительно мала, то можно считать, что

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100\%$$

# Погрешности приборов. Класс точности

Для оценки точности электроизмерительных приборов служит *приведенная погрешность*, определяемая следующим выражением

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta A}{A_{\text{пред}}} \cdot 100\%$$

где  $A_{\text{пред}}$  – номинальное значение шкалы прибора, т.е. максимальное значение шкалы на выбранном пределе измерения прибора. Приведенная погрешность определяет класс точности прибора.

**Класс точности** – наибольшая приведенная погрешность:

**0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4**

Числа, указывающие класс точности прибора  $\gamma_0$ , обозначают наибольшую допустимую приведенную погрешность в процентах.

При нормальной эксплуатации максимальное значение приведенной погрешности не должно превышать класс точности.

# Дополнительные погрешности

Дополнительные погрешности могут возникать за счет:

- неправильной установки прибора;
- отклонения от предусмотренной температуры
  - А- (+10 - +35 °С) закрытые отапливаемые помещения
  - Б- (-30 - +40°С) закрытые неотапливаемые помещения
  - В<sub>1</sub> – (-40 -+ 50°С)
  - В<sub>2</sub> – (-50 -+ 60°С)
  - ( Буква А на шкале прибора не ставится);
- влияния внешних магнитных полей
  - I II III;
- влияния частоты измеряемых величин от частоты 50 Гц.

# Чувствительность и цена деления электроизмерительного прибора

Чувствительностью  $s$  электроизмерительного прибора называется отношение линейного или углового перемещения стрелки  $n$  к изменению измеряемой величины  $x$ , вызвавшему это перемещение:

$$s = n/x$$

Величина, обратная чувствительности, называется ценой деления прибора:

$$c = 1/s$$

Цена деления определяет значение измеряемой величины, вызывающей отклонение на одно деление. В общем случае цена деления представляет собой разность значений измеряемой величины для двух соседних меток.

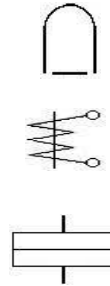
Чтобы определить цену деления шкалы, нужно предел измерения прибора разделить на общее число делений шкалы.

*Пример:* предельное значение силы тока  $I_{пред.} = 75 \text{ А}$ , шкала амперметра имеет 150 делений. В этом случае цена деления шкалы:  
 $C_I = 0,5 \text{ А/дел.}$



## Система прибора

1. Магнитоэлектрический с подвижной рамкой
2. Электромагнитный
3. Электродинамический



## Обозначения рода тока

1. Постоянный —
2. Переменный однофазный ~
3. Постоянный и переменный ≈

## Обозначения положения прибора

1. Горизонтальное положение шкалы
2. Вертикальное положение шкалы
3. Наклонное положение шкалы под углом к горизонту



# Общие детали измерительных приборов

**Корпус**- для защиты прибора от механических воздействий

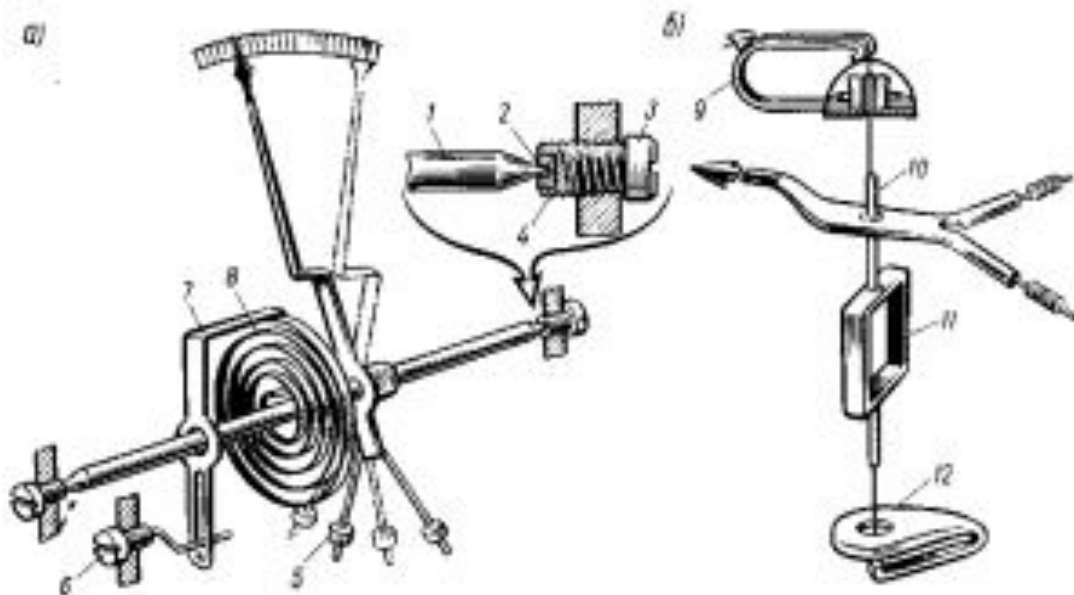
**Шкала** Шкала обычно представляет собой светлую поверхность с черными делениями и цифрами, соответствующими определенным значениям измеряемой величины

На шкале даются краткие сведения о приборе:

Завод изготовитель, год изготовления, ГОСТ по которому выпущен прибор, марка прибора, система прибора, буквенные символы измеряемых величин А (амперметр), V (вольтметр),  $\Omega$  (омметр), W (ваттметр), род тока, при котором он может применяться, испытательное напряжение при котором проверялась изоляция прибора, класс точности, положение прибора, температурный показатель, степень защиты от внешних магнитных полей, частота тока



## Отсчетное приспособление – стрелка или световой луч



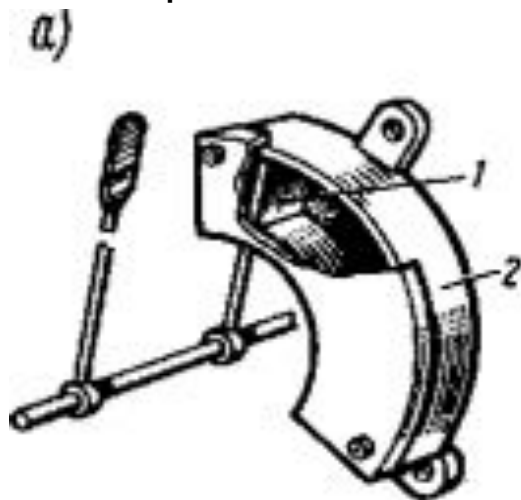
**Противодействующий механизм** служит для возврата стрелки в исходное положение. Выполняется из пружины, один конец которой жестко соединен с осью, а второй прикреплен к корректору.

**Корректор** – Для установки указателя на требуемую отметку в электромеханических приборах применяют устройство, называемое корректором. Корректор содержит винт, укрепленный на корпусе прибора, поворачивая который, можно закручивать пружинки, растяжки или подвес и тем самым поворачивать подвижную часть прибора и устанавливая указатель на требуемую отметку.

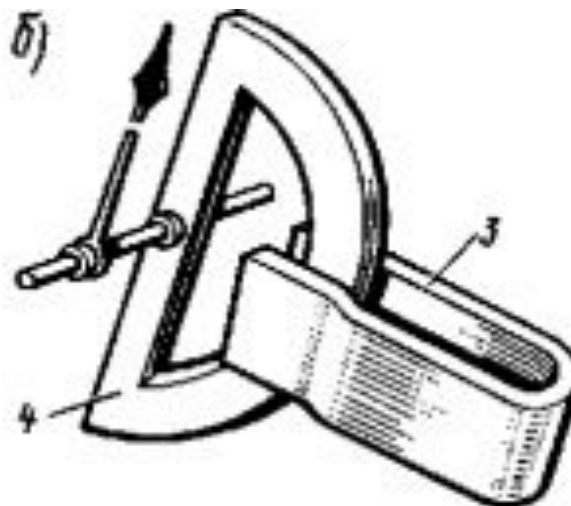
**Успокоители** служат для успокоения стрелки. Время успокоения не должно превышать 4 секунды. Временем успокоения считается с момента подключения к прибору измеряемой величины до момента, когда амплитуда колебаний стрелки не будет превышать 1% длины шкалы.

**Магнитоиндукционный успокоитель** состоит из постоянного магнита и перемещающейся в его рабочем зазоре металлической пластины (из алюминия), укрепленной на подвижной части.

**Воздушный успокоитель** состоит из камеры и находящейся внутри нее пластины, скрепленной с подвижной частью.



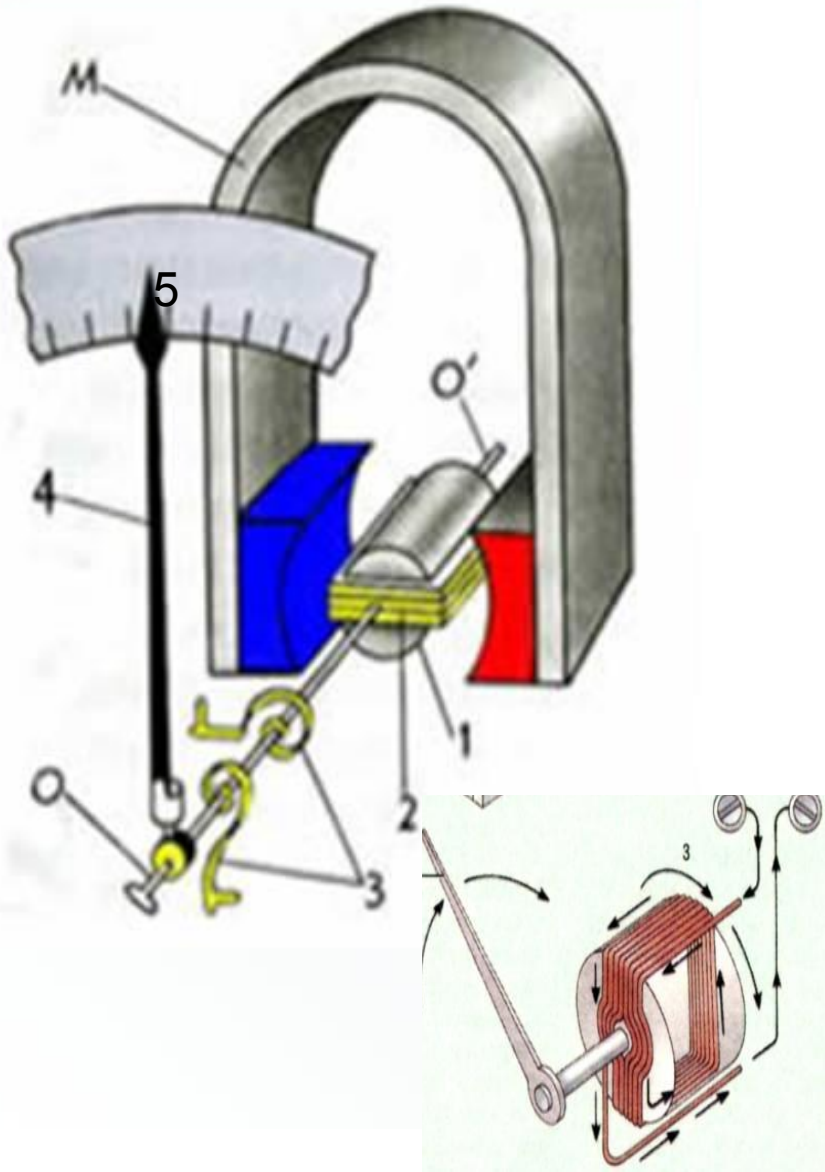
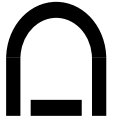
а) воздушный



б) магнитоиндукционный

**Арретир** — устройство, затормаживающие подвижную часть прибора.

# Приборы магнитоэлектрической системы



Принцип действия приборов магнитоэлектрической системы основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита и магнитного поля тока протекающего по катушке.

Состоит:

1- стальной сердечник

2- подвижная катушка

3- пружины противодействующего механизма

4-отсчетное приспособление

5- постоянный магнит, снабженный полюсными надставками

Для успокоения использован алюминиевый каркас рамки.

При прохождении тока по катушке на каждый из ее проводников будет действовать электромагнитная сила. Суммарное действие всех электромагнитных сил создает вращающий момент

$$M_{\text{вр}} = I B S \omega$$

$B$  – магнитная индукция

$S$  – площадь сечения рамки

$\omega$  – число витков

$I$  – ток

Момент противодействия, созданный пружиной

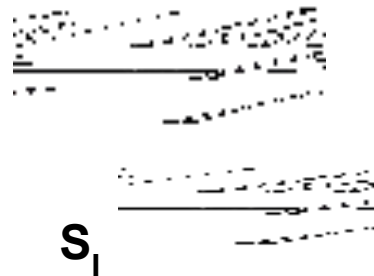
$$M_{\text{пр}} = K \alpha$$

$\alpha$  – угол поворота

$K$  – коэффициент, учитывающий свойства пружины

В момент равновесия

$$M_{\text{вр}} = M_{\text{пр}}$$



$S_I$  – чувствительность прибора по току

Применяются в качестве амперметров, вольтметров, омметров.

## **Достоинства:**

- шкала прибора равномерная;
- температура окружающей среды не влияет на показания прибора ( при снижении температуры В увеличивается, а К – снижается);
- незначительное влияние внешних магнитных полей, так как сильное собственное магнитное поле;
- маленькая потребляемая энергия. Это самые чувствительные приборы.

## **Недостатки:**

- возможно применение только в цепях постоянного тока. В цепях переменного тока для измерений необходимо подключать выпрямитель;
- чувствителен к перегрузкам. Для расширения предела измерений к прибору необходимо подключать шунты или добавочные сопротивления;
- сложные по конструкции и дорогостоящие.

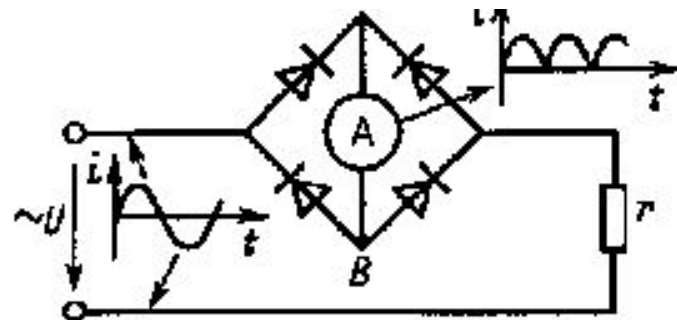
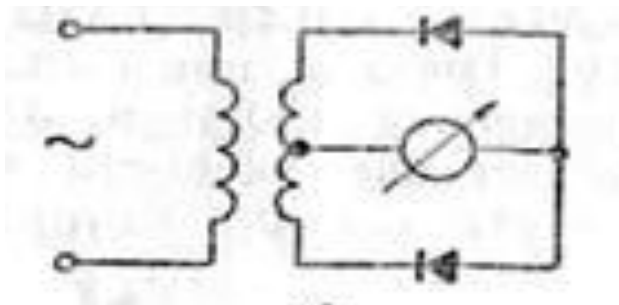


# Приборы выпрямительной системы

Выпрямительные приборы представляют собой сочетание измерительного магнитоэлектрического механизма и одного или нескольких полупроводниковых выпрямителей.

Все схемы соединения выпрямителей с измерительными механизмами можно разбить на две группы – однополупериодные и двухполупериодные.

Измерительный прибор включен в диагональ  $AB$  моста, собранного из четырех выпрямительных полупроводниковых элементов. При переменном токе в диагонали  $AB$  возникает пульсирующий ток, не меняющий своего направления. Этот ток, взаимодействуя с магнитным полем постоянного магнита, создает изменяющийся по значению, но действующий в одном направлении вращающий момент, пропорциональный току  $I$ .





## ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Термоэлектрические измерительные приборы служат преимущественно для измерений переменных токов высокой частоты (до 25 МГц).

Принцип действия такого прибора основан на использовании двух явлений: 1) выделении тепла при прохождении электрического тока по проводнику; 2) появлении постоянной э. д. с. при нагревании места спая термопары.

Термоэлектрический измерительный прибор представляет собой сочетание гальванометра магнитоэлектрической системы с термопреобразователем, состоящим из нагревателя и термопары.



Рис. 80. Схема прибора термоэлектрической системы

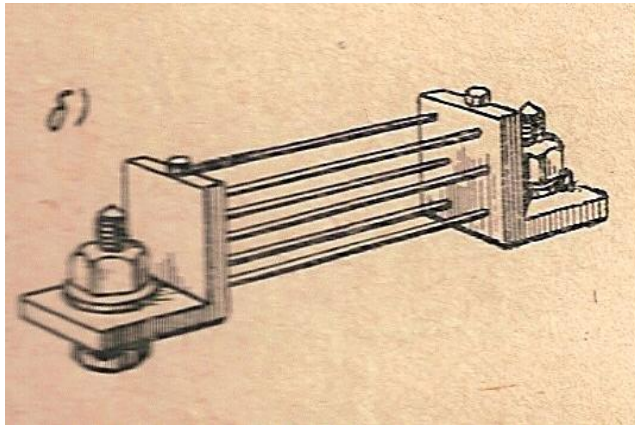
# Расширение пределов измерения по току

Для расширения пределов измерения по току применяют шунты. Шунт это сопротивление которое подключают к прибору параллельно. Изготавливают шунт из манганиновых стержней или пластин.

Шунт имеет четыре зажима. Крайние –токовые , при помощи них подключаются в цепь.

Внутренние- потенциальные, к ним подключается измерительный механизм.

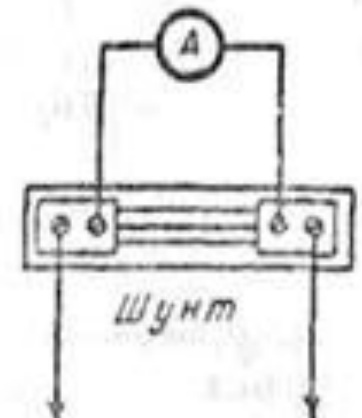
Шунты бывают внутренние на токи до 20 А (индивидуальные для работы с одним прибором), и внешние. На шунте указывается номинальный ток, номинальное напряжение и класс точности



$$I = I_A + I_{\text{ш}}$$

$$I = I_A (R_A + R_{\text{ш}}) \setminus R_{\text{ш}} = I_A K_{\text{ш}}$$

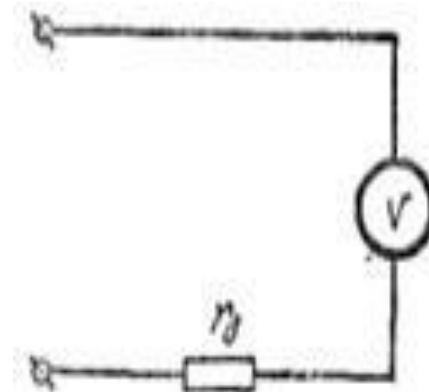
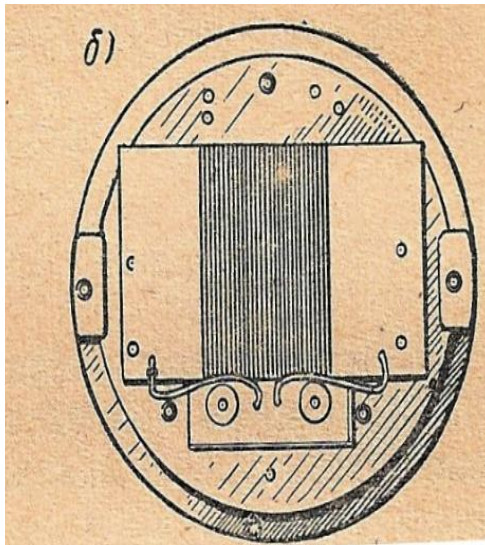
$$K_{\text{ш}} = R_A + R_{\text{ш}} \setminus R_{\text{ш}} = M_A$$



# Расширение пределов измерения по напряжению

Для расширения пределов измерения по напряжению применяются добавочные сопротивления. Добавочное сопротивление включают последовательно с измерительным механизмом и изготавливают из манганиновой проволоки.

$$U = U_V (R_D + R_V) / R_V$$

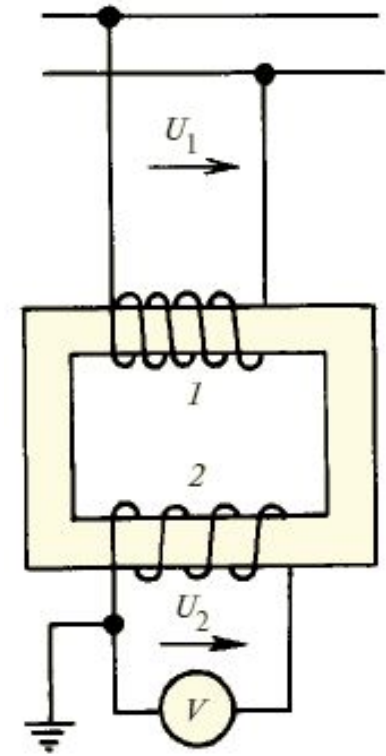
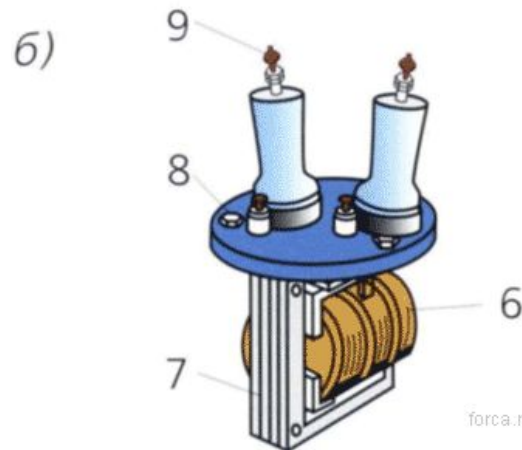
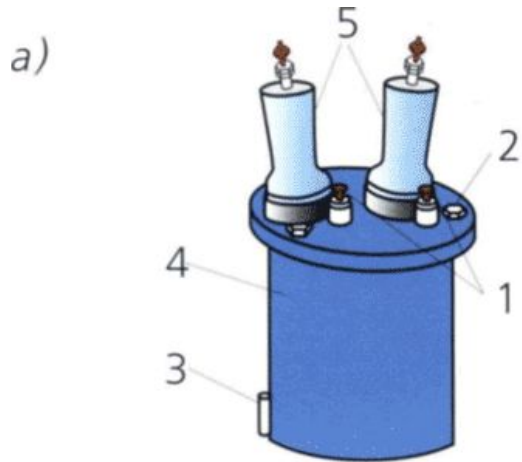


# ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Измерительные трансформаторы используют главным образом для подключения электроизмерительных приборов в цепи переменного тока высокого напряжения. При этом электроизмерительные приборы оказываются изолированными от цепей высокого напряжения, что обеспечивает безопасность работы обслуживающего персонала. Кроме того, измерительные трансформаторы дают возможность расширять пределы измерения приборов, т. е. измерять большие токи и напряжения с помощью сравнительно несложных приборов, рассчитанных для измерения малых токов и напряжений



# Устройство однофазного трансформатора напряжения



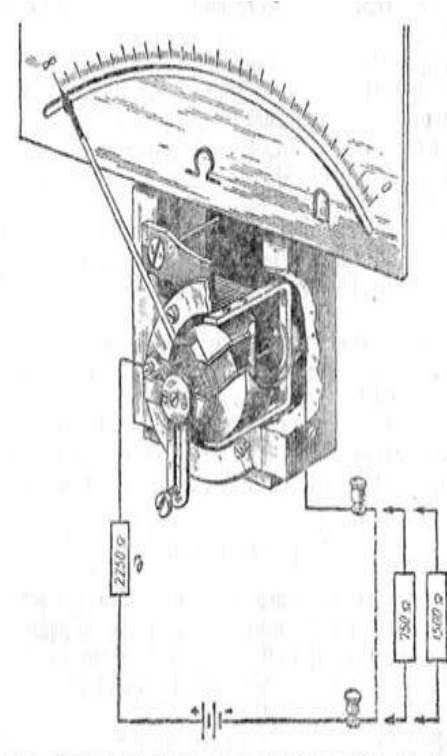
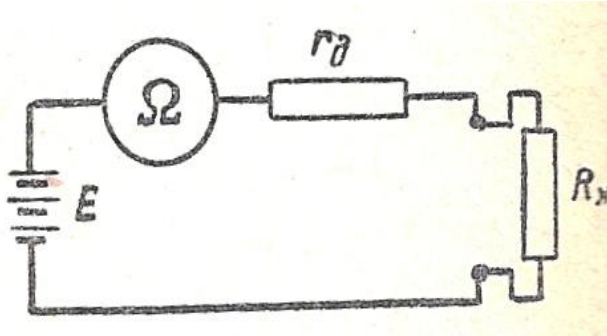
1 — первичная обмотка;  
2 — вторичная обмотка

forca.ru

а - общий вид трансформатора напряжения; б - выемная часть; 1,5 - проходные изоляторы; 2 - болт для заземления; 3 - сливная пробка; 4 - бак; 6 - обмотка; 7 - сердечник; 8 - винтовая пробка; 9 - контакт высоковольтного ввода

# Приборы для измерения сопротивлений. Омметр

К измерительному механизму подключается источник питания. В цепь последовательно включены: измеряемое сопротивление, добавочное сопротивление, ограничивающее ток и прибор магнитоэлектрической системы.



Из схемы имеем :  $I = U / R_V + R_D + R_X$      $R_V + R_D = R$      $I = \alpha C_i$   
 $\alpha = U / C_i \cdot 1 / R + R_X$

если  $U / C_i = \text{const}$  и  $R = \text{const}$  то  $\alpha = f(1 / R_X)$

если  $R_X = 0$  то  $\alpha = \infty$ , а если  $R = \infty$  то  $\alpha = 0$

Шкала прибора градуирована в омах.

Для того чтобы величина  $U / C_i$  оставалась постоянной применяют регулируемое сопротивление или магнитный шунт. Перед каждым измерением сначала при помощи регулятора «Установка нуля» при замкнутом внешнем сопротивлении стрелка прибора устанавливается в нулевую позицию. Этим устраняются погрешности, возникающие по причине изменения ЭДС батареи.

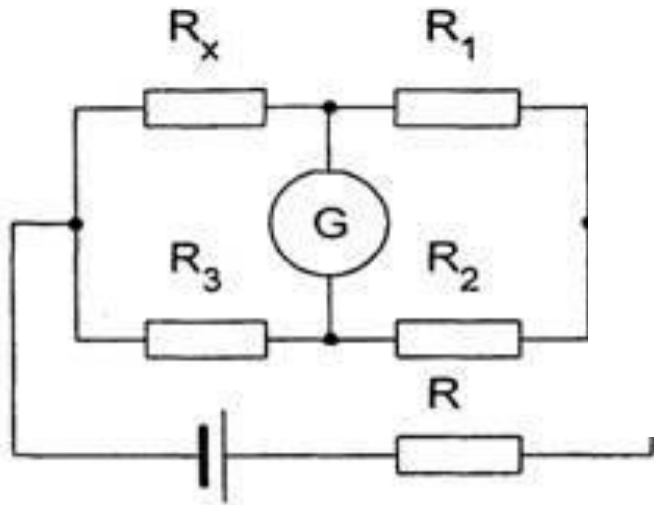


## Одинарные мосты постоянного тока

Одинарные мосты постоянного тока используются для измерения сопротивлений от 10 Ом и выше и представляют собой четырехплечные мосты с питанием от источника постоянного тока.

Мост уравновешен, если ток в диагонали моста равен нулю.

Условием равновесия одинарного моста является равенство:  $R_1 R_4 = R_2 R_3$ , отсюда



$$R_x = R_1 \frac{R_2 R_3}{R_4}$$



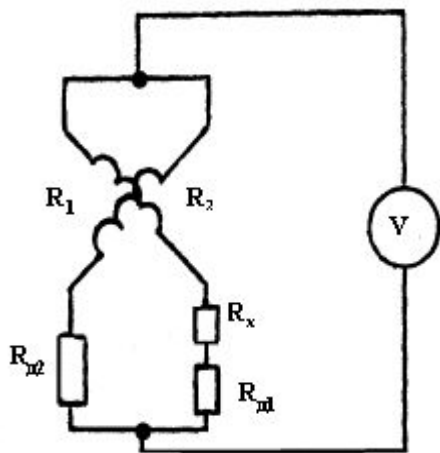
Плечи одинарных мостов выполняют из магазинов сопротивлений. С помощью R1 устанавливают отношение R1/R2, обычно кратное 10, а с помощью R3 уравновешивают мост.





## Мегомметр

Мегомметр применяют для измерения сопротивления изоляции. Эти приборы снабжаются собственными генераторами-индукторами. Индуктор состоит из постоянного магнита, между полюсами которого вращается якорь за счет рукоятки и редуктора, повышающего обороты. Напряжение, вырабатываемое генератором, подается на измеритель, состоящий из двух жестко скрепленных катушек, расположенных под углом  $90^\circ$  друг к другу. Электрические цепи катушек параллельны. В цепь катушки один включено сопротивление  $R$ . В цепь катушки измеряемое сопротивление. На подвижную часть прибора действуют два вращающих момента, направленные в разные стороны.



Якорь генератора достигает номинального числа оборотов при вращении рукоятки прибора со скоростью 120 об/мин. На валу якоря помещен центробежный регулятор, обеспечивающий постоянство напряжения при увеличении скорости.

**Поэтому показания на зависят от скорости вращения, если она больше 120 об\мин.**

Измерение сопротивления изоляции обмоток преследует цель установить возможность проведения её испытаний высоким напряжением без повышенного риска повреждения хорошей, но имеющей большую влажность изоляции.

Измерения проводятся мегомметром, номинальное напряжение которого выбирается в зависимости от номинального напряжения обмотки.

**Для обмоток с номинальным напряжением до 500 В (660) В применяют мегомметры на 500 В, для обмоток с напряжением до 3000 В — мегомметры на 1000 В, для обмоток с номинальным напряжением 3000 В и более — мегомметры на 2500 В и выше.**

# ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

**К ВЫПОЛНЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ДОПУСКАЕТСЯ ОБУЧЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ПЕРСОНАЛ, ИМЕЮЩИЙ УДОСТОВЕРЕНИЕ О ПРОВЕРКЕ ЗНАНИЙ И КВАЛИФИКАЦИОННУЮ ГРУППУ ПО ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ НЕ НИЖЕ 3-Й, ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИЗМЕРЕНИЙ В УСТРОЙСТВАХ ДО 1000 В, И НЕ НИЖЕ 4-Й, ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИЗМЕРЕНИЙ В УСТРОЙСТВАХ СВЫШЕ 1000 В.**

Перед началом проведения измерений необходимо:

- мегаомметр должен быть подвергнут контрольной проверке, которая заключается в проверке показаний прибора при разомкнутых проводах (стрелка прибора должна находиться у отметки бесконечность ) и замкнутых проводах (стрелка прибора должна находиться на отметке 0);
  - убедиться, что на испытуемом кабеле нет напряжения (проверять отсутствие напряжения необходимо испытанным указателем напряжения, исправность которого должна быть проверена на заведомо находящихся под напряжением частях электроустановки;
  - заземлить токоведущие жилы испытываемого кабеля (заземление с токоведущих частей можно снимать только после подключения мегаомметра).
- необходимо снять накопленный заряд путем наложения заземления.

# Коэффициент абсорбции

**Абсорбция – водопоглощение .**

Степень увлажненности изоляции определяется не только по показаниям прибора в момент отсчета, но и характером изменения показания мегаомметра в процессе измерения, которое проводят в течение 1 мин.

Запись показаний прибора делают через 15 с (обычное время установления показаний) после начала измерения (R15") и в конце измерения - через 60 с после начала (R60").

**Отношение этих показаний  $K_{Ab} = R60/R15$  называют коэффициентом абсорбции.**

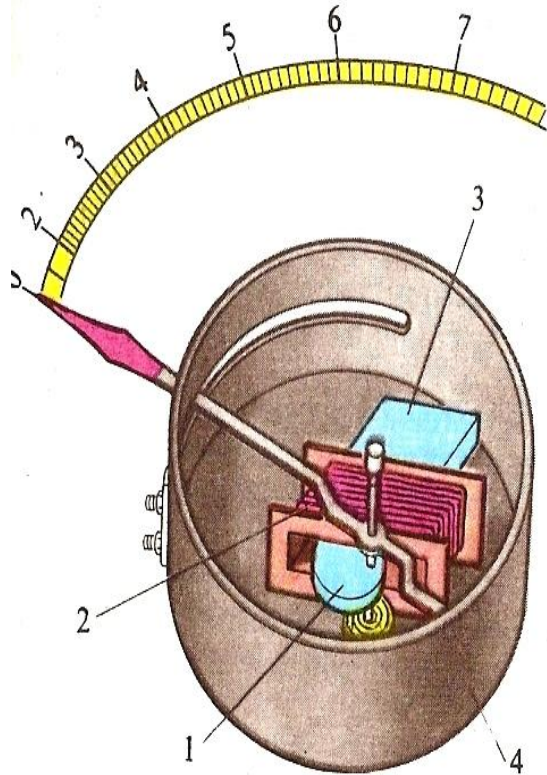
Его значение определяется отношением тока поляризации к току утечки через диэлектрик - изоляцию обмотки. При влажной изоляции коэффициент абсорбции близок к 1. При сухой изоляции при температуре 10-30°  $K_{Ab}=1,3-2$ .

# ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ

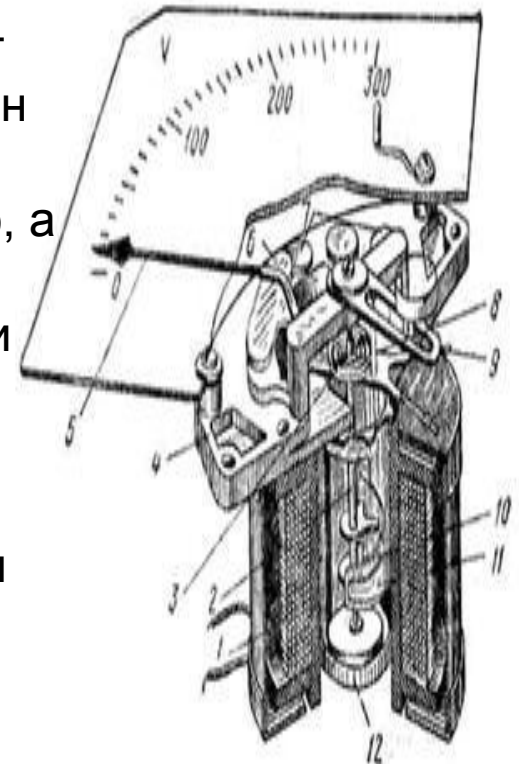


Принцип действия основан на взаимодействии магнитного поля, созданного током, проходящим по катушке с ферромагнитным сердечником.

Основными элементами являются катушка и стальной сердечник, эксцентрично насаженный на ось. Приборы бывают двух видов с плоской и круглой катушками.



В приборах с круглой катушкой внутри проходит ось, на которой расположен неподвижной катушкой подвижный сердечник закрепленный неподвижно, а расположен сердечник из другой сердечник жестко электротехнической соединена с катушкой. При прохождении тока находится стрелка с сердечники противовесом, пружина, намагничиваются поршень воздушного одинаковой полярностью и усложняются. При прохождении тока сердечник втягивается угол отклонения внутри катушки.



$$\alpha = C I^2$$

Используются в качестве амперметров и вольтметр

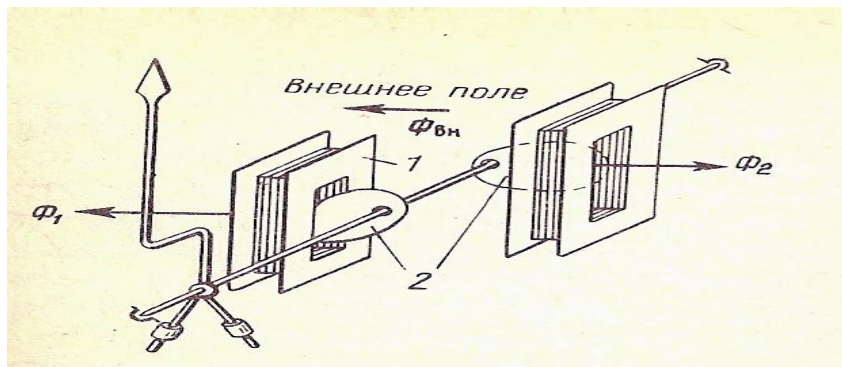
## Достоинства:

- простота конструкции и небольшая стоимость;
- возможность применения в цепях постоянного и переменного тока;
- способность к перегрузкам.

## Недостатки:

- неравномерная шкала;
- большая потребляемая мощность;
- значительное влияние внешних магнитных полей.

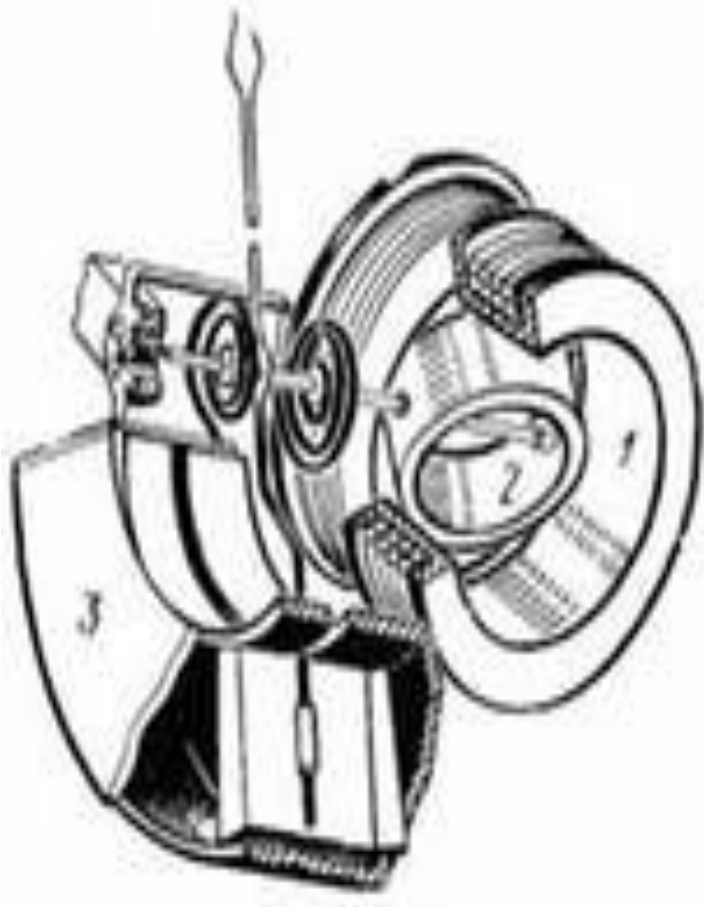
Для устранения влияния внешних магнитных полей используют экранирование или астатический механизм.



Две катушки соединяют последовательно и располагают по разным сторонам оси. Намотка катушек осуществляется таким образом, что магнитные поля катушек направлены в разные стороны, а вращающие моменты действуют в одну сторону. При этом равномерное внешнее магнитное поле в одной катушке усиливает магнитный поток, а в другой ослабляет.

# Приборы электродинамической системы

Принцип действия основан на взаимодействии магнитных полей двух катушек с током.



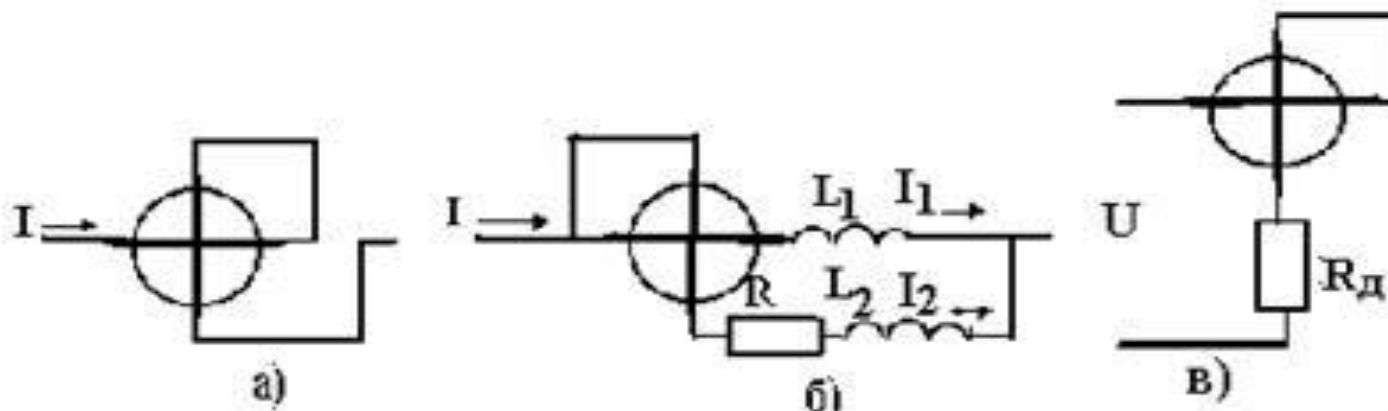
**Достоинства** электродинамических приборов :

- возможность использования в цепях как постоянного, так и переменного токов;
- возможность градуировки на постоянном токе;
- высокая стабильность показаний во времени;
- высокий класс точности (например, выпускаются электродинамические амперметры и миллиамперметры, вольтметры, однофазные ваттметры класса точности 0,05, частотомеры - класса 0,5). Высокая точность приборов обусловлена отсутствием в них, в отличие от других электромеханических приборов, ферромагнитных элементов.

**В качестве недостатков** таких приборов можно отметить следующие:

- влияние внешних магнитных полей и механических воздействий;
- большую мощность потребления.

Электродинамические приборы применяют в качестве: ваттметров постоянного тока и однофазных, трехфазных, ваттметров переменного тока, амперметров и вольтметров переменного и постоянного токов. Электродинамические логометрические измерительные механизмы применяются в фазометрах, частотомерах, фарадомерах.



Схемы включения катушек электродинамического механизма

Последовательное соединение катушек а) используется в амперметрах, предназначенных для измерения малых токов (до 0,5 А).

В параллельной схеме б), которая используется при больших токах (до 10 А), подбором индуктивностей  $L_1$ ,  $L_2$  и резистора  $R$  в цепях катушек .

Для выполнения электродинамического вольтметра последовательно с катушками включается добавочный резистор  $R_d$ , как показано на рис. в.

где  $R = R_d + R_v$  - общее сопротивление цепи..



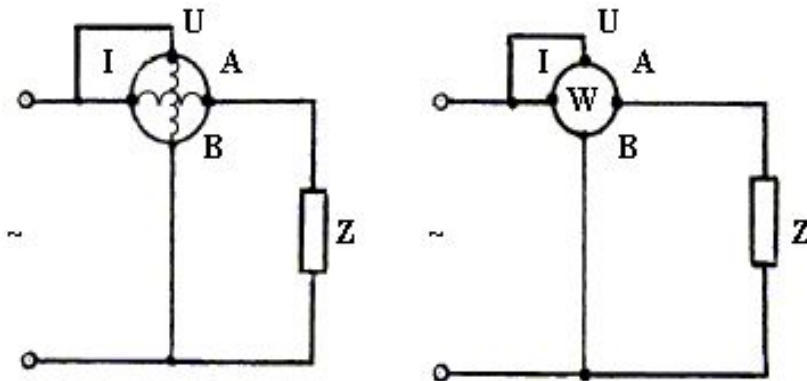
# ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ

Для измерения мощности постоянного тока достаточно измерить напряжение и ток. Результат определяется по формуле:

Метод амперметра и вольтметра пригоден и для измерения полной мощности, а также активной мощности переменного тока, если  $\cos j = 1$ .

Измерение мощности одним прибором - ваттметром. Для измерения мощности лучшей является электродинамическая система. Ваттметр снабжен двумя измерительными элементами в виде двух катушек: последовательной и параллельной. По первой катушке течет ток, пропорциональный нагрузке, а по второй - пропорциональный напряжению в сети.

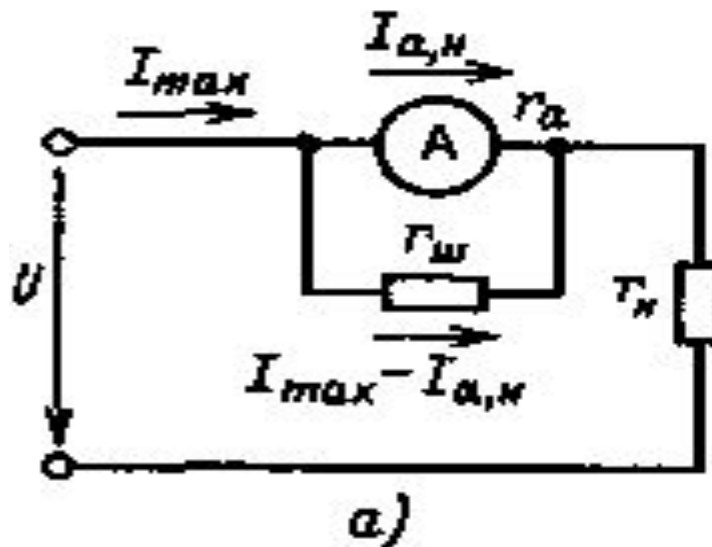
Угол поворота подвижной части электродинамического ваттметра пропорционален произведению тока и напряжения в измерительных катушках:



# Измерение тока

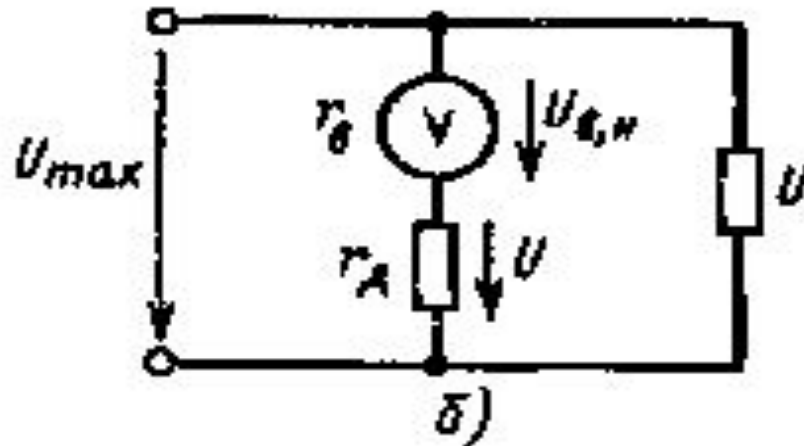
Для измерения силы тока последовательно в цепь с сопротивлением  $R$  включают амперметр  $A$ , считая, что  $R_{\text{ш}}$  в цепи отсутствует. В цепях постоянного тока для этой цели применяются главным образом приборы магнитоэлектрической системы. В цепях переменного синусоидального тока используются преимущественно амперметры электромагнитной системы.

Последовательное включение амперметра  $A$  в измеряемую цепь обуславливается тем, что его внутреннее (собственное) сопротивление  $R_A$  практически равно нулю. Следовательно, наличие его в цепи никак не сказывается на истинном значении измеряемого тока  $I$ .

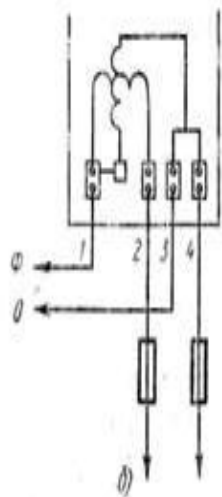
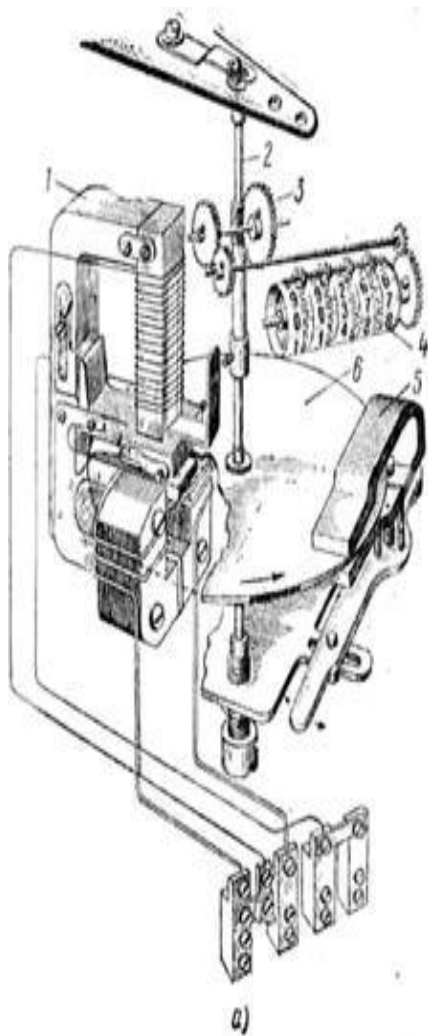


# Измерение напряжения

Для измерения величины напряжения на любом участке электрической цепи параллельно к нему включают вольтметр  $V$ , считая, что  $R_D$  отсутствует в цепи. Параллельное включение вольтметра  $V$  в измеряемую цепь обусловлено тем, что его внутреннее сопротивление  $R_V$  очень большое (в идеале  $R_V = \infty$ ). Следовательно, наличие его в цепи никак не сказывается на истинном значении измеряемого напряжения  $U$  (ток, протекающий через вольтметр  $I_V = 0$ ), следовательно,  
 $U_V = R \cdot I_R = R \cdot I$  при  $I_V = 0$ .



# ИНДУКЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ



К приборам индукционной системы относится счетчик служащий для учета потребления электрической энергии. Основная часть счетчика — магнитная система 1 с двумя обмотками. Одна обмотка включается в цепь последовательно, а другая — параллельно. Переменные токи, протекающие по каждой обмотке, возбуждают переменные магнитные потоки, которые образуют вращающееся магнитное поле. Эти потоки пронизывают алюминиевый диск 6 счетчика и индуцируют в нем вихревые токи. Воздействие вращающегося магнитного поля, образованного магнитными потоками, на вихревые токи приводит диск во вращение. Ось 2 диска через шестерни 3 передает движение счетному механизму 4. Для торможения диска служит постоянный магнит 5.

# Цифровые измерительные приборы

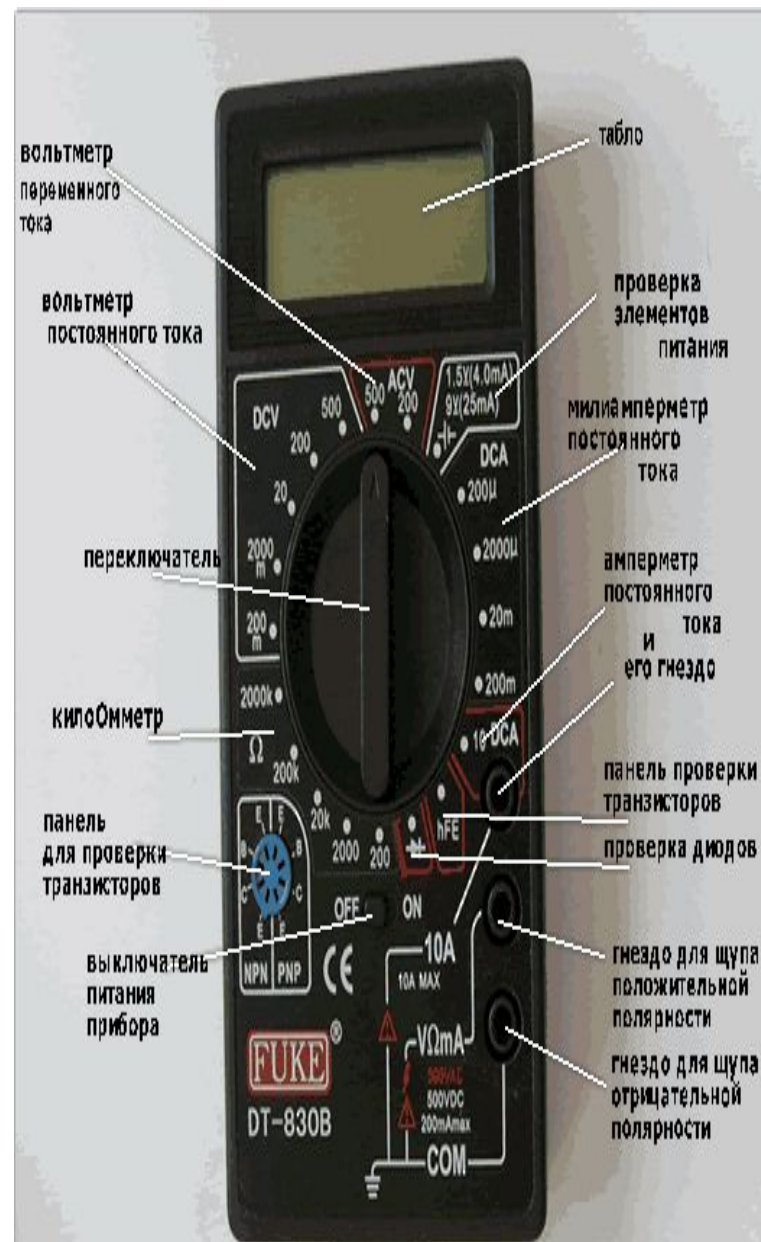
## МУЛЬТИМЕТР DT-830B

Состоит из:

- дисплей ж/к
- переключатель многопозиционный
- гнезда для подключения щупов
- панель для проверки транзисторов
- задняя крышка(будет нужна для замены элемента питания прибора, элемент типа "Крона" 9 вольт)

Положения переключателя разделены на сектора:

- OFF/on** -выключатель питания прибора
- DCV** - измерение напряжения постоянного тока(вольтметр)
- ACV** - измерение напряжения переменного тока(вольтметр)
- DCA** - измерение постоянного тока (амперметр).
- hFe** - сектор включения измерения транзисторов .
- 10A** - сектор амперметра для измерения больших значений постоянного тока (по инструкции измерения проводятся в течение нескольких секунд).
- Диод** -сектор для проверки диодов.
- Ом** -сектор измерения сопротивления.
- 1.5v-9v** - проверка элементов питания.



# Устройство электронного счетчика

Конструктивно электросчётчик счетчик состоит из:

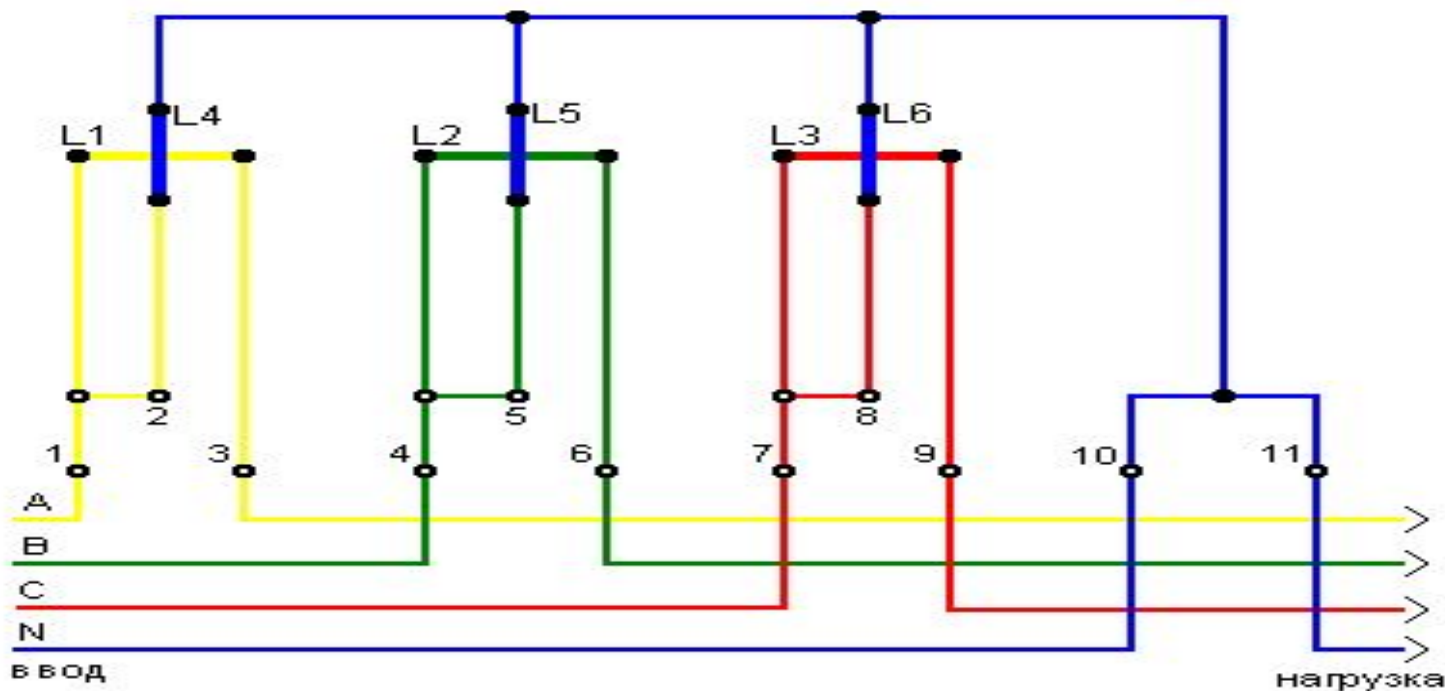
- корпуса с клеммной колодкой,
- измерительного трансформатора тока
- печатной платы, на которой установлены все электронные компоненты.

**Основные компоненты современного электронного счётчика :**

- **трансформатор тока,**
- **дисплей ЖКИ** ( многоразрядный буквенно-цифровой индикатор и предназначен для индикации режимов работы, информации о потребленной электроэнергии, отображении даты и текущего времени),
- **источник питания электронной схемы** (для получения напряжения питания микроконтроллера и других элементов электронной схемы),
- **микроконтроллер** (главная часть электросчётчика, анализирует этот сигнал, рассчитывая количество потребляемой электроэнергии и осуществляет передачу информации на устройства вывода и мн.др.),
- **часы реального времени** (для отсчета текущего времени и даты),
- **телеметрический выход** (для подключения к автоматизированной системе контроля учета эл/эн. или непосредственно к компьютеру,)
- **Супервизор**(формирует сигнал сброса для микроконтроллера при включении и отключении питания, а также следит за изменениями входного напряжения),
- **органы управления,**  
**оптический порт** (есть не во всех эл.счетчиках, позволяет снимать информацию непосредственно с электросчётчика и в некоторых случаях служит для их программирования)

# Схема соединений трехфазного счетчика прямого включения для четырехпроводной сети напряжением 380 вольт

Трехфазные счетчики применяются в электроустановках, где используется трехфазный ток, а также на вводе установок, где используется однофазный ток, но подводятся три фазы, например, в жилых домах и учреждениях. Когда трехфазные счетчики не могут пропустить ток, потребляемый установкой, то они применяются с трансформаторами тока.



# Ответить на вопросы теста

Задание 13.  
Задание 5.

Балансировка пределов измерения вольтметра в  
длинах ширин пределов измерения зонда в марме  
Цилиндрические стержни стальной проволоки более точное  
в ширину пределов измерения зонда в марме  
А. Методы измерения сопротивления  
Д. Двойные сопротивления  
Е. Шунты  
В. Трансформатор тока  
В. Трансформатор тока  
В. Трансформатор напряжения  
В. Трансформатор напряжения.  
В. Индукционной.





## Задание 4.

Укажите тип измерительного механизма по условным обозначениям на шкале прибора.

А  
-1,5 Ω ☆ В, ⊥  
НШ 75 mV КП

- А. электромагнитный ;
- Б. магнитоэлектрический;
- В. индукционный.