

Электромонтер по ремонту электрооборудования

# ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЙ КУРС



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

## **5 часов**

Цепи постоянного тока. Понятие о нелинейных цепях постоянного тока. Типы нелинейных элементов, их вольтамперные характеристики. Основные параметры электрической цепи. Последовательное, параллельное и смешанное соединение потребителей и источников электрической энергии. Трехфазные электрические сети. Параметры и особенности работы трехфазных электрических сетей с различными видами нагрузки в различных режимах.

Электрические двигатели. Параметры и особенности работы асинхронного двигателя (АД) и электродвигателей постоянного тока (ДПТ). (Пуск, реверс, остановка, регулировка скорости). Механическая характеристика и ее характеристические точки (идеальный холостой ход, точка номинального режима, точка критического режима, точка пускового режима). Релейные схемы прямого пуска АД и ДПТ. Методы ограничения пусковых токов.

## **12 часов**

Тиристоры, симисторы, устройство, принцип работы, маркировка и применение. Основные принципы управления тиристорами (амплитудный и фазовый способы), схемы управления и их особенности.

Транзисторы, устройство, принцип работы. Режимы работы. Схемы включения. Основные схемы усилителей (ОБ, ОЭ, ОК), их характеристики и область применения. Основные параметры, маркировка. Усилители: Элементная база, назначение, классификация, параметры, характеристики. Магнитные усилители, назначение принцип работы. Электронные усилители, назначение принцип работы. Понятие классов режима работа усилителя (класс А, класс В, класс С, класс АВ). Коэффициент усиления усилителя. Основные схемы электронных и магнитных усилителей.

Логические элементы. Общие сведения о логических элементах. Понятие об основных логических функциях («И», «ИЛИ», «НЕ»). Таблицы истинности основных логических функций. Логические устройства электроавтоматики. Бесконтактные выходные устройства.

Понятие об электробезопасности. Виды действия электрического тока на человека. Электрические травмы. Виды поражения электрическим током. Основные неблагоприятные последствия, которые могут наступить вследствие поражения электрическим током. Факторы, определяющие исход поражения.

Категории работ на электроустановках. Работы, относящиеся к работам со снятием напряжения. Работы, относящиеся к работам без снятия напряжения на токоведущих частях, и вблизи них. Работы, относящиеся к работам без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением. Порядок и условия безопасного производства работ в электроустановках (п.1.4.ПТЭЭП).

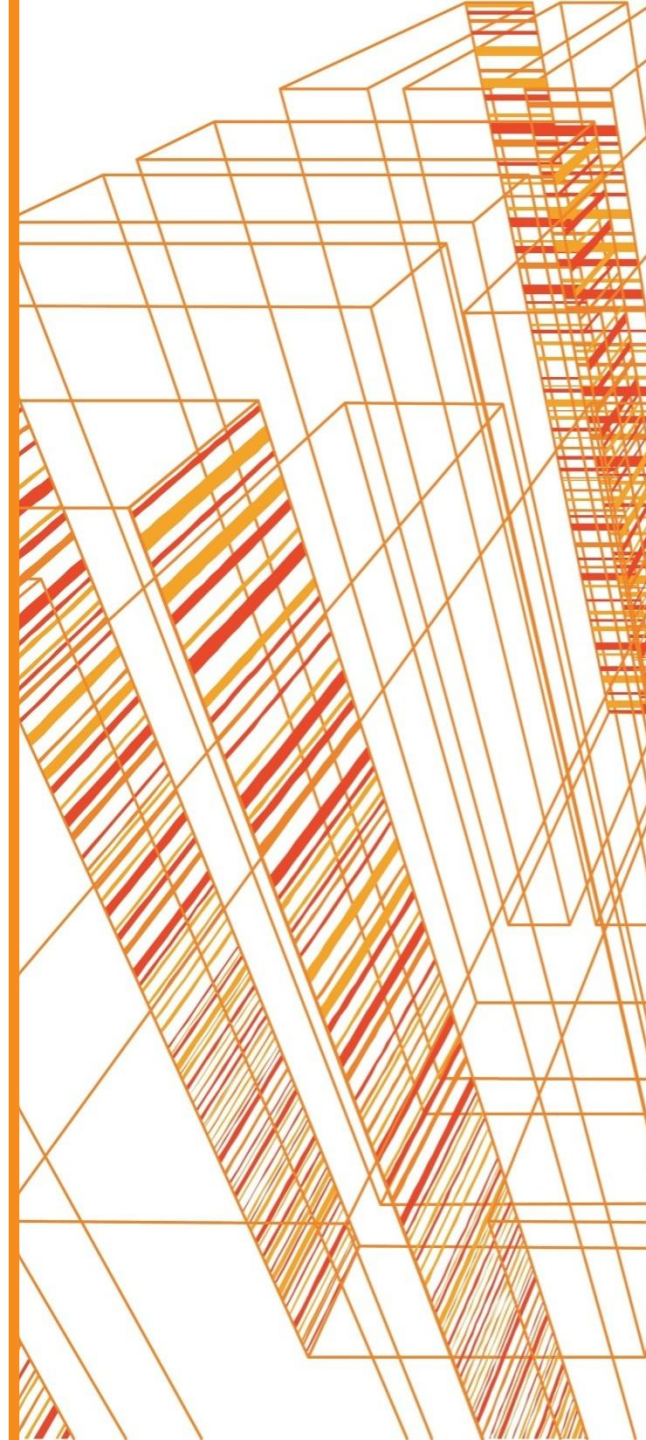
Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках.

Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения.

Меры безопасности при выполнении отдельных видов работ (при работах с ручным электроинструментом и электрическими машинами, переносными светильниками, на электродвигателях, коммутационных аппаратах, трансформаторах, на кабельных и воздушных линиях электропередачи, конденсаторах и т.д.).

Основные и дополнительные изолирующие электрозащитные средства в электроустановках.

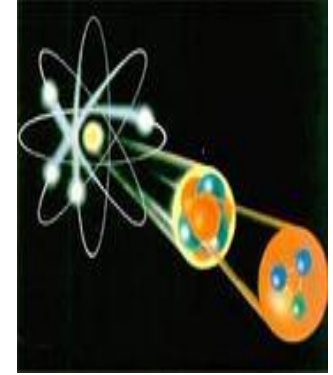
# ТЕМА 3.1 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА



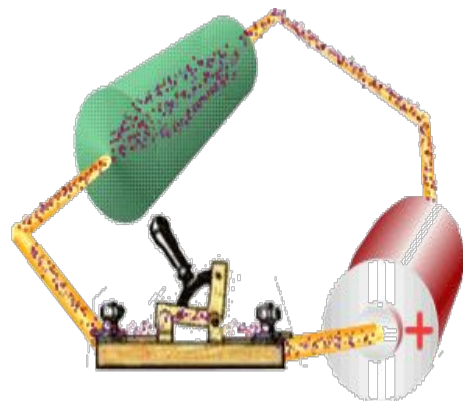


# ТЕМА 3.1 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## СОДЕРЖАНИЕ



- Постоянный ток и его основные законы
- Конденсаторы
- Электромагнетизм
- Переменный ток и его основные законы
- Трехфазные системы





# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## 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.

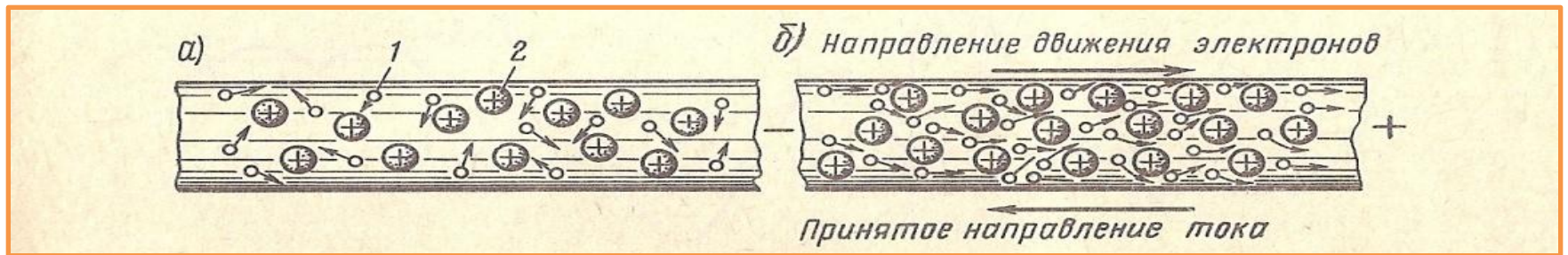
Для отрыва электрон должен извне получить дополнительную энергию (тепловую, световую, механическую).



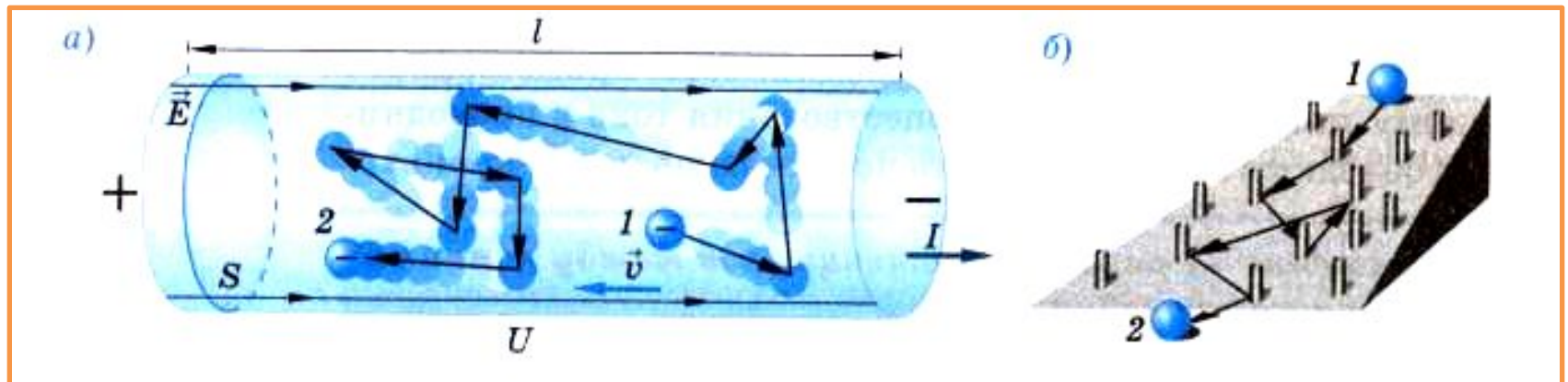
# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ



**Направленное движение электронов в проводнике называется электрическим током в металлах**



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### УСЛОВИЯ НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ 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.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ВЕЛИЧИНА ТОКА

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

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

Q - заряд, Кл (Кулон)

t - время, сек

$$1\text{А} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{с}}$$

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

Для измерения тока используется прибор **амперметр**.

Амперметр включается в электрическую цепь

последовательно.



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### Плотность тока

**Плотность тока**-это величина заряда, проходящего в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной направлению движения зарядов

$$j = \frac{I}{S}$$

Плотность тока –это вектор, направление которого совпадает с направлением скорости заряженных частиц

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

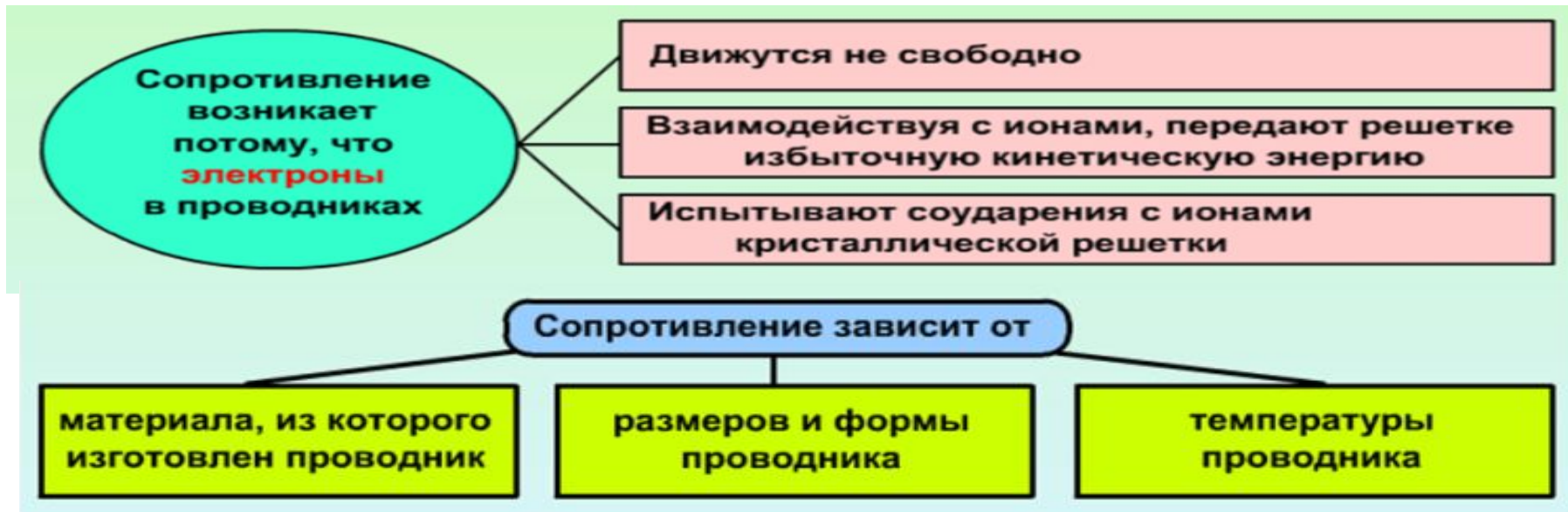
### ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

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

Обозначается –R или r

Единица измерения- Ом

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



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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 $\rho$
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

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ МАТЕРИАЛА И РАЗМЕРА ПРОВОДНИКА

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>

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

$$\pi = 3.14$$

$D$  - диаметр проводника

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

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

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



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

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



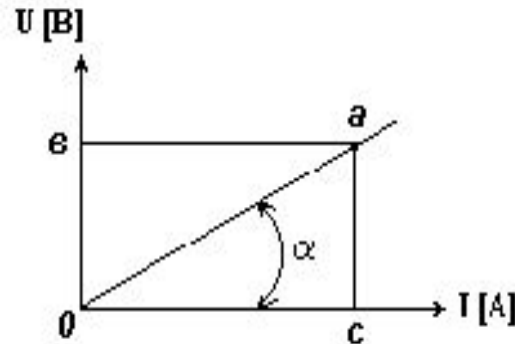
Переменные сопротивления (потенциометры), могут иметь три вывода, один из которых связан с подвижным контактом, скользящим по поверхности проводящего слоя.

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

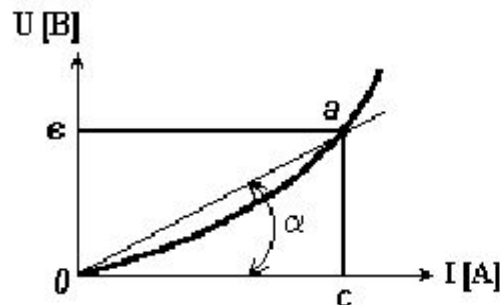
# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

**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.. К нелинейным относятся многие полупроводниковые приборы.



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

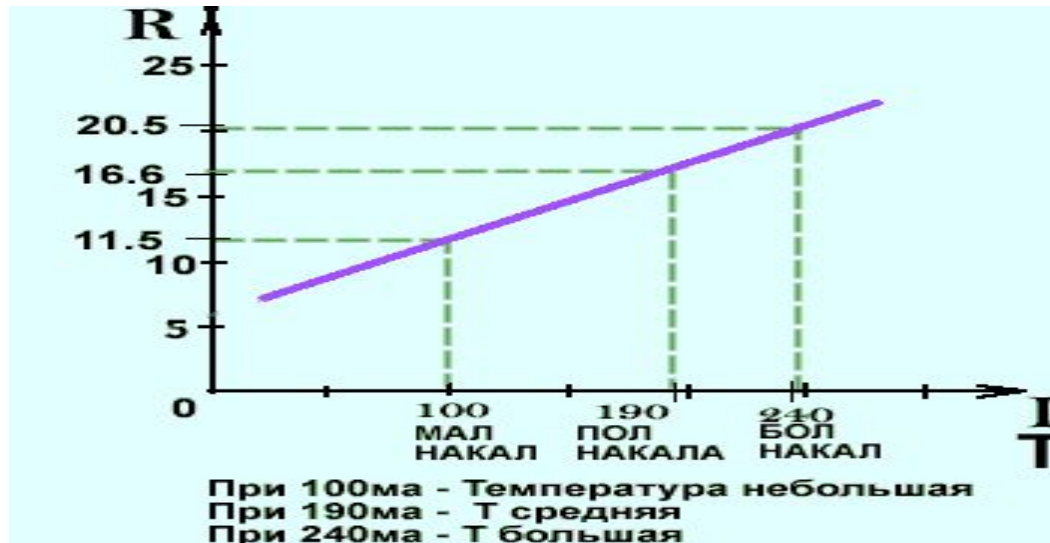
## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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 уменьшается



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ

**Величина обратная сопротивлению  
называется проводимостью**

$$g = 1/R$$

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



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ

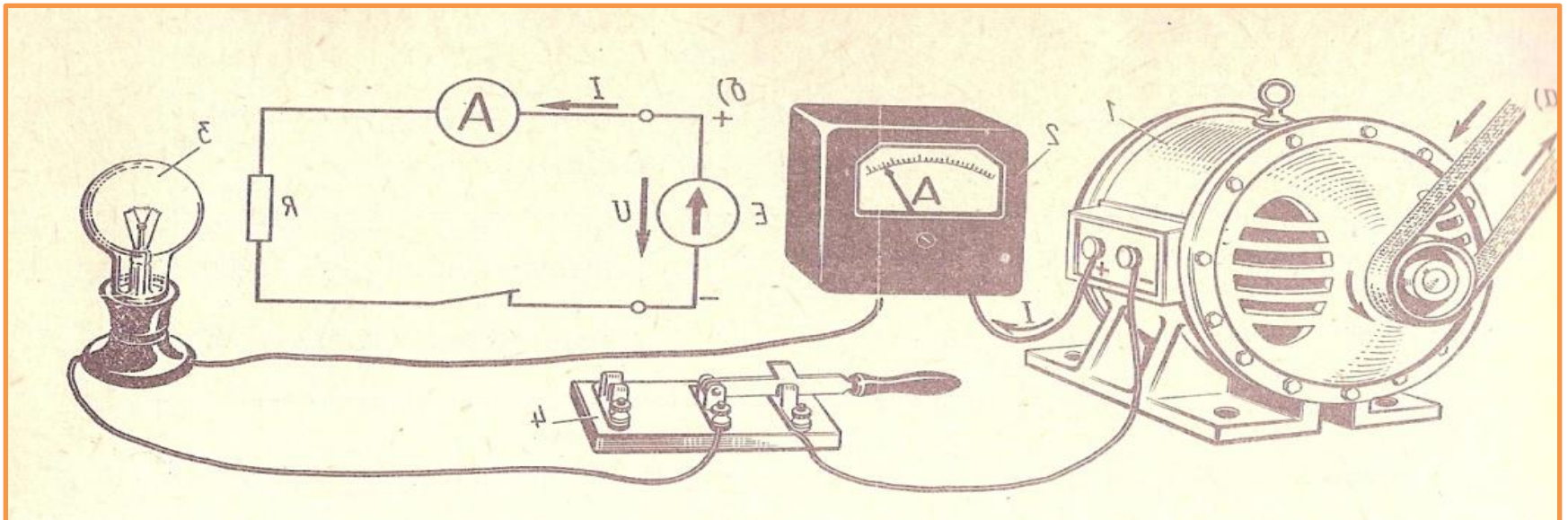
**Электрическая цепь это замкнутый контур, по которому проходит ток.**

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.



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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.

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

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ЗАКОН ОМА ДЛЯ ВСЕЙ ЦЕПИ

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

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

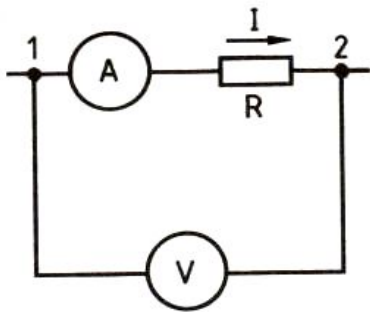
**Сила тока в цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе  $E$  источника электрической энергии и обратно пропорциональна полному сопротивлению  $R$  цепи**

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ

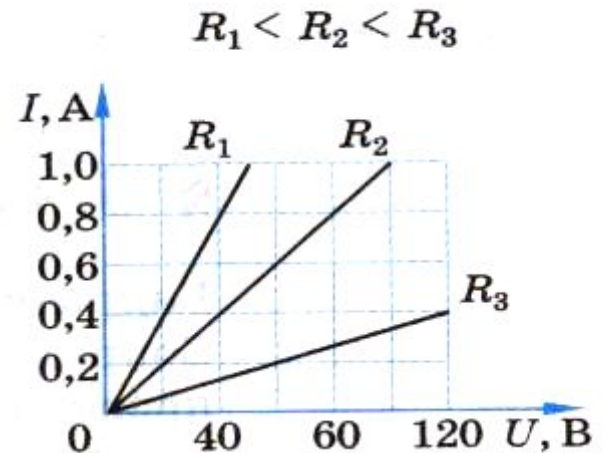
**Сила тока прямо пропорциональна напряжению участка цепи и обратно пропорциональна сопротивлению этого участка цепи**



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

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

$R, \text{Ом}$  — сопротивление



*Вольт-амперные характеристики проводников*



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

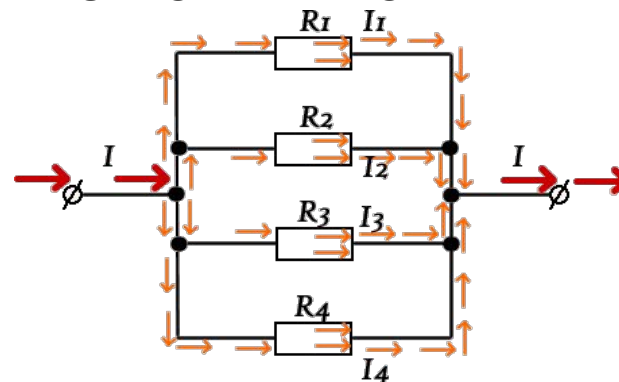
## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ЗАКОНЫ КИРХГОФА

#### ПЕРВЫЙ ЗАКОН КИРХГОФА

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

n - ЧИСЛО ТОКОВ В УЗЛЕ



**Сумма токов, направленных к точке разветвления, равна сумме токов, направленных от нее т.е. алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю**

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

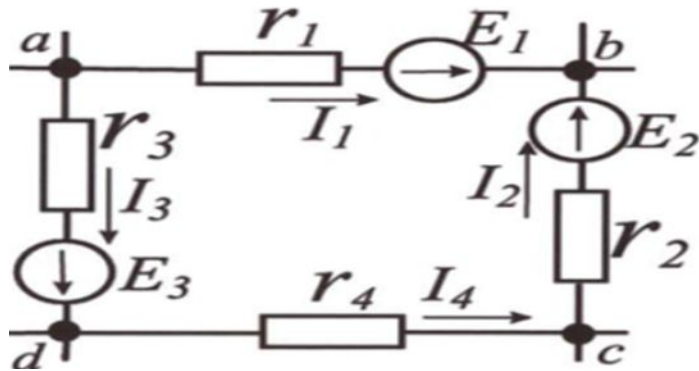
# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ЗАКОНЫ КИРХГОФА

#### ВТОРОЙ ЗАКОН КИРХГОФА

Алгебраическая сумма ЭДС в замкнутом контуре  
равна алгебраической сумме падений  
напряжений



:  $\sum I r$

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^m I_k \cdot r_k$$

n - число ЭДС в контуре

m - число сопротивлений  
в контуре

$$E_1 - E_2 - E_3 = I_1 \cdot r_1 - I_2 \cdot r_2 - I_4 \cdot r_4 - I_3 \cdot r_3$$

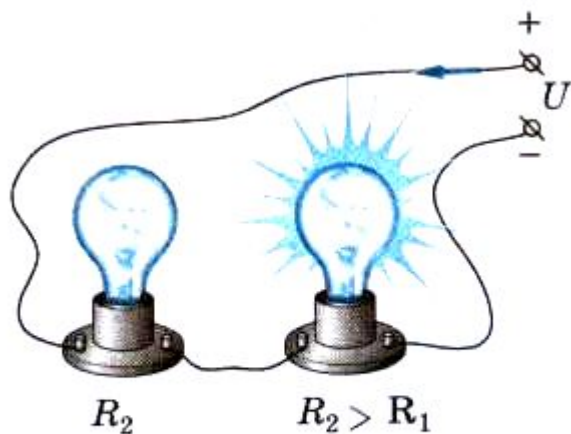
# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

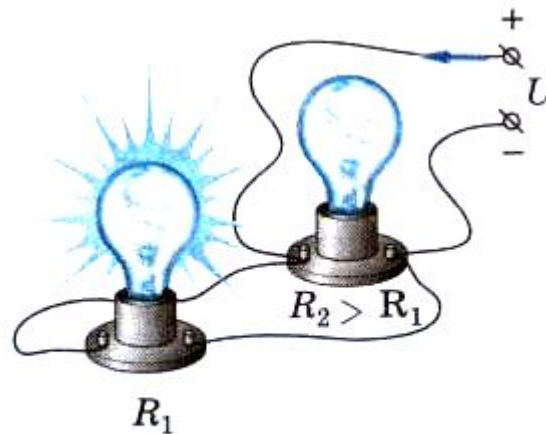
### ЗАКОН ДЖОУЛЯ ЛЕНЦА

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



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ 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.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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**.

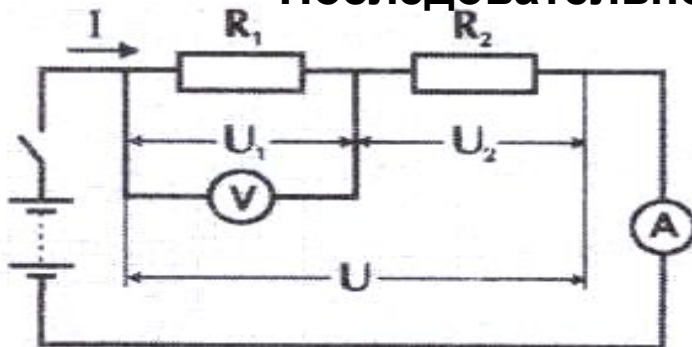
**Баланс мощностей**

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

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### Последовательное соединение



$$R_{\text{э}} = R_1 + R_2 = \sum_{k=1}^n R_k$$

Эквивалентное  
(о б щ е е)  
сопротивление

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{U}{\sum R_k} \quad \text{Ток в цепи}$$

$$U_1 = I \cdot R_1 \quad U_2 = I \cdot R_2$$

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

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

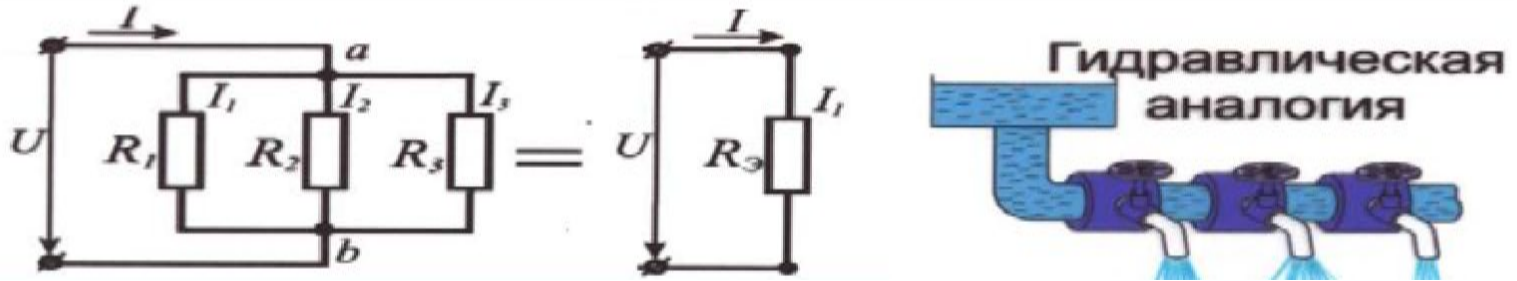
Мощность всей цепи равна сумме мощностей отдельных участков:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### Параллельное соединение проводников



Сумма токов, направленных к точке разветвления, равна сумме токов, направленных от нее

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

По закону Ома токи в отдельных ветвях равны

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

Разделение тока между отдельными ветвями прямо пропорционально проводимостям ветвей или обратно пропорционально их сопротивлениям.

Общая проводимость цепи равна сумме проводимостей отдельных ветвей:

$$g = g_1 + g_2 + g_3$$

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

Эквивалентное сопротивление при параллельном соединении

$$\frac{1}{R_{\text{э}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

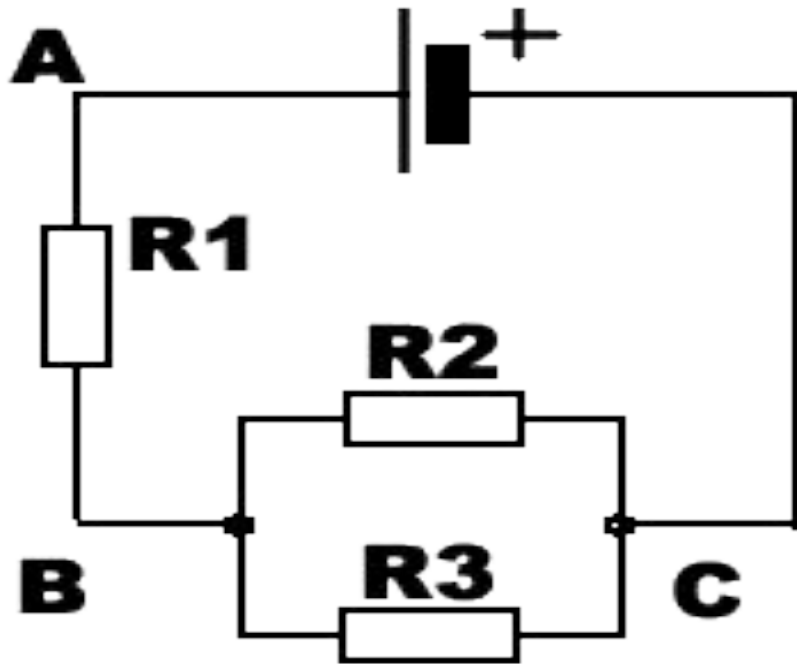
Эквивалентное сопротивление двух параллельно включенных сопротивлений

$$R_{\text{э}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Эквивалентное сопротивление параллельно включенных одинаковых сопротивлений

$$R_{\text{э}} = \frac{R_1}{n}$$

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**  
**ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ**  
**СМЕШАННОЕ СОЕДИНЕНИЕ**



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

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### РАСЧЕТ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ЦЕПИ

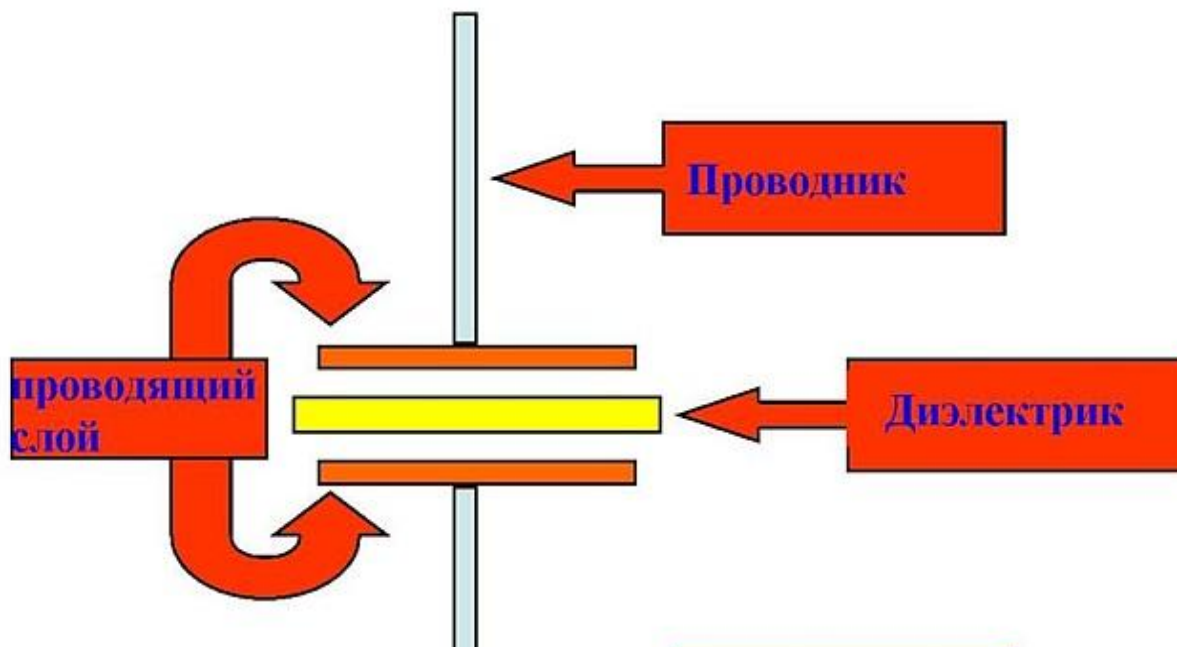
1. Выделить участки, в которых элементы соединены или последовательно, или параллельно.
2. Заменить резисторы на этих участках одним резистором, общее сопротивление  $R_{\text{общ}}$  которого не изменит силу тока на остальных участках цепи.
3. Повторить такие действия еще раз, если вновь образовавшаяся 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,
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.



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## КОНДЕНСАТОР

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



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## КОНДЕНСАТОР

### ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ КОНДЕНСАТОРА

Емкость конденсатора – это отношение заряда накопленного в конденсаторе к разности потенциалов на его обкладках

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

Основной единицей емкости в системе единиц СИ является фарад (Ф).

$$1\text{Ф} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}}$$

микрофарада (мкФ),  $1\text{мкФ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ ,  
нанофарада (нФ),  $1\text{нФ} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$ , и  
пикофарада (пФ),  $1\text{пФ} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$

Конденсатор является накопителем, он должен обладать определенной емкостью (объемом для накопления зарядов).

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## КОНДЕНСАТОР

На емкость конденсатора влияют площадь пластин (еще их называют "обкладками"), расстояние между обкладками и качество диэлектрика.

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

C- электрическая емкость плоского конденсатора, ф

$\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды между пластинами конденсатора

$\epsilon_0$ - постоянная диэлектрическая проницаемость

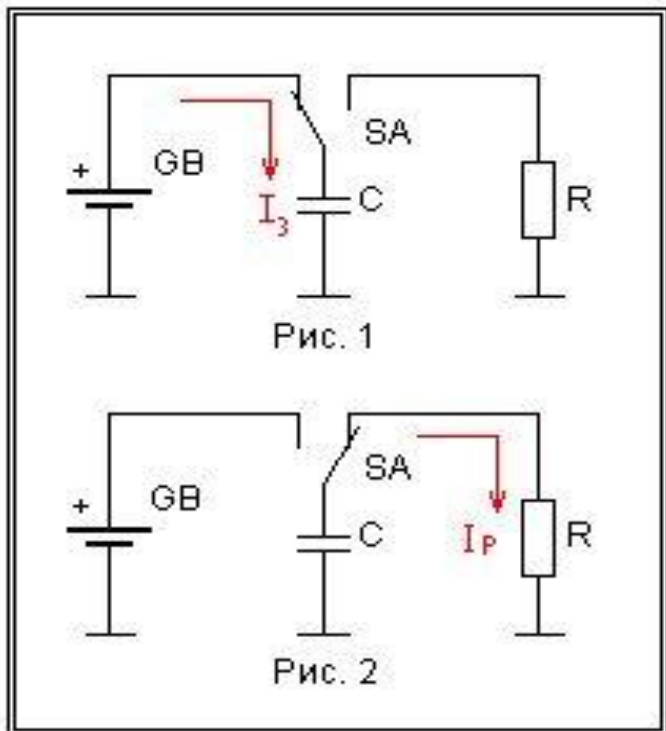
S- площадь пластин конденсатора м<sup>2</sup>

D – расстояние между пластинами, м

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## КОНДЕНСАТОР

### ЗАРЯД И РАЗРЯД КОНДЕНСАТОРА

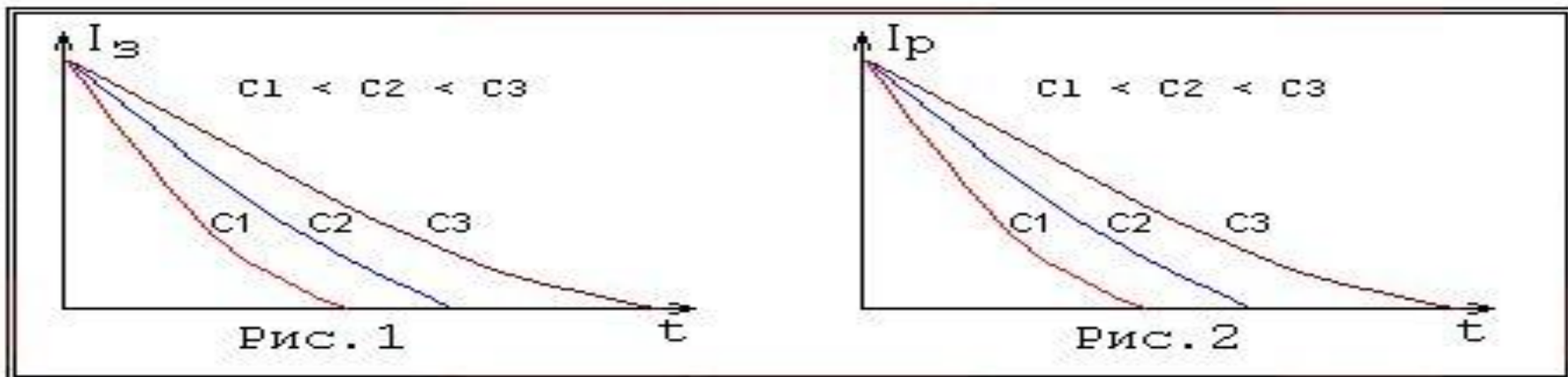


В момент включения источника энергии через конденсатор потечет ток  $I_3$  зарядки конденсатора

Как только конденсатор зарядится, ток в цепи станет равным 0.

При отключить от источника , то заряд накопленный в конденсаторе сохраниться.

При отключении от источника и подключении к резистору  $R$  то через резистор потечет ток разряда конденсатора  $I_p$ . Заряд накопленный в конденсаторе расходуется на разогрев резистора и в конечном итоге конденсатор разрядится.



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## КОНДЕНСАТОР

### 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 цепи увеличивает длительность накопления 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 %

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## КОНДЕНСАТОР

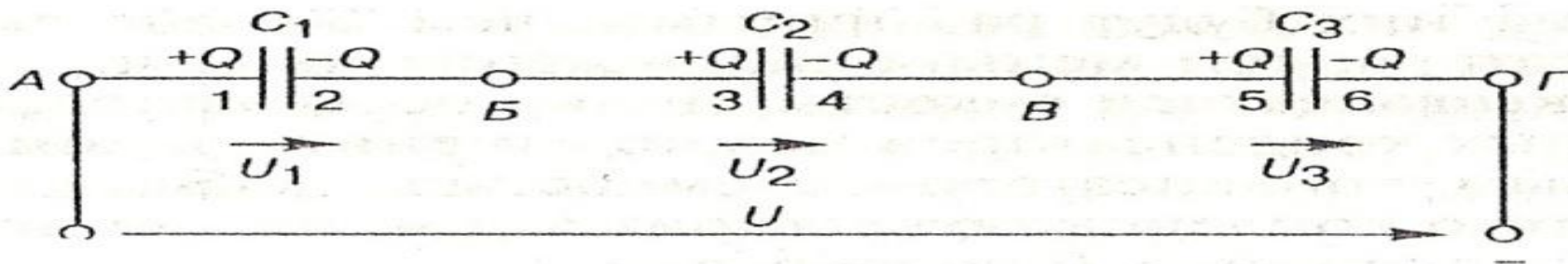
### **ВЫВОД:**

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

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## КОНДЕНСАТОР

### 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:

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



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## КОНДЕНСАТОР

### ПАРАЛЛЕЛЬНО СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

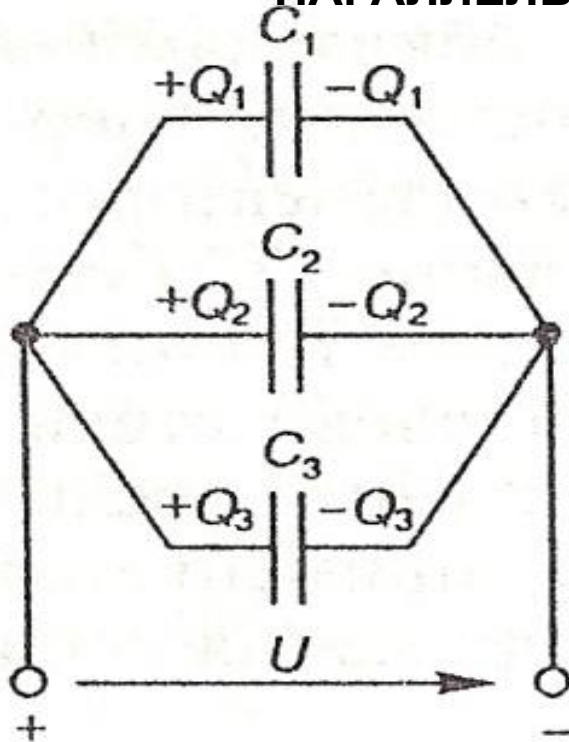
Напряжение на каждом конденсаторе равно приложенному напряжению.

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

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,**

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

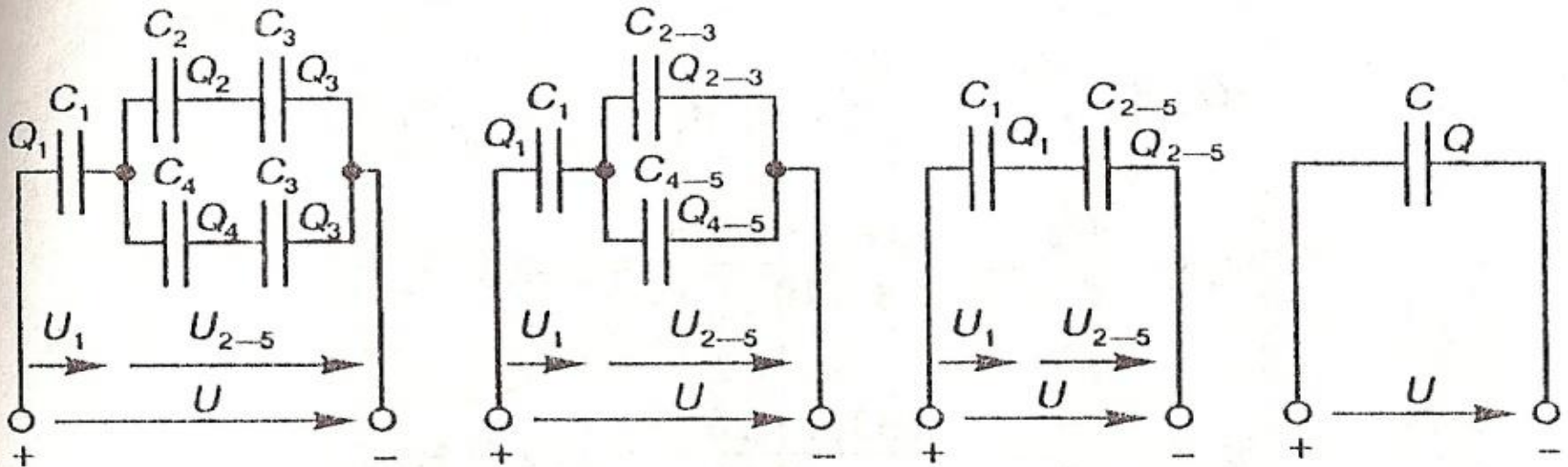
## КОНДЕНСАТОР

### СМЕШАННОЕ СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

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.

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

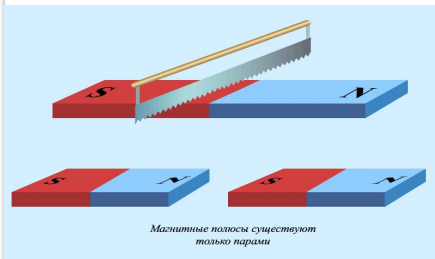


# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

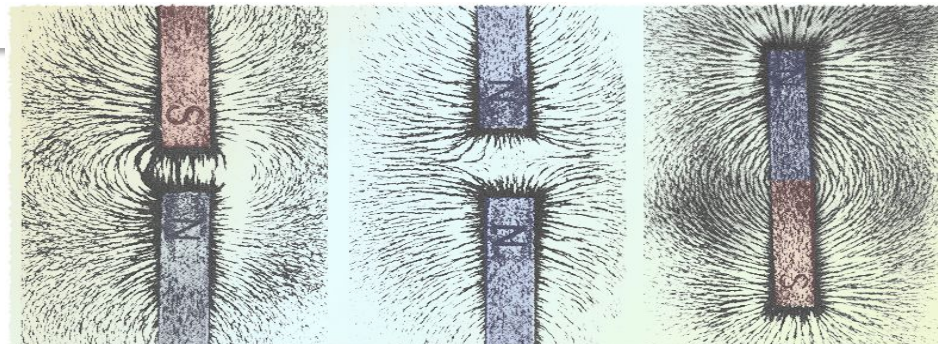
Магнетизм – это явление, которым сопровождается движение электрических зарядов.

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.

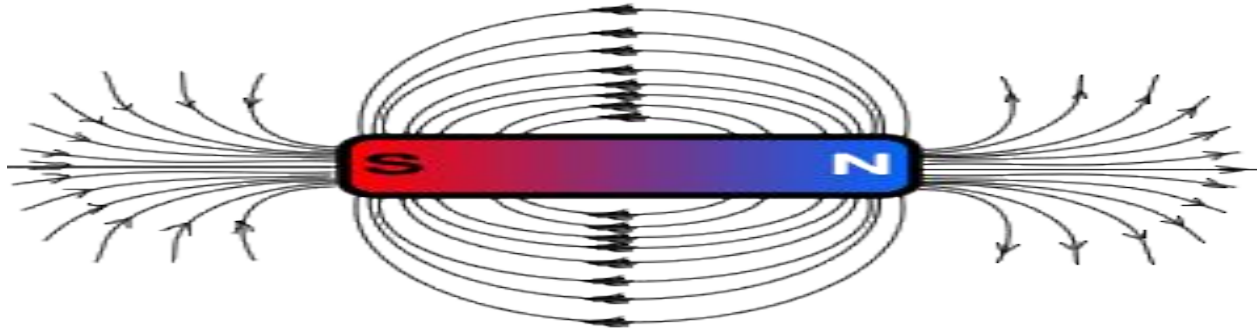


# -ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### 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.

# **-ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

## **ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ**

### **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.

# -ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### МАГНИТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

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

- Обозначается - В
- Единица измерения

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

**МАГНИТНЫЙ ПОТОК** полное число силовых линий, пронизывающих поверхность

$$\Phi = B S$$

$\Phi$  – магнитный поток, Вб (Вебер)

В- магнитная индукция, Тл

S- площадь сечения,  $\text{м}^2$

**Единицы измерения:**

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

# -ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### 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.

$$\mu = \mu_a \mu_0$$

**НАПРЯЖЕННОСТЬ 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.



# -ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРОВОДНИКА С ТОКОМ

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

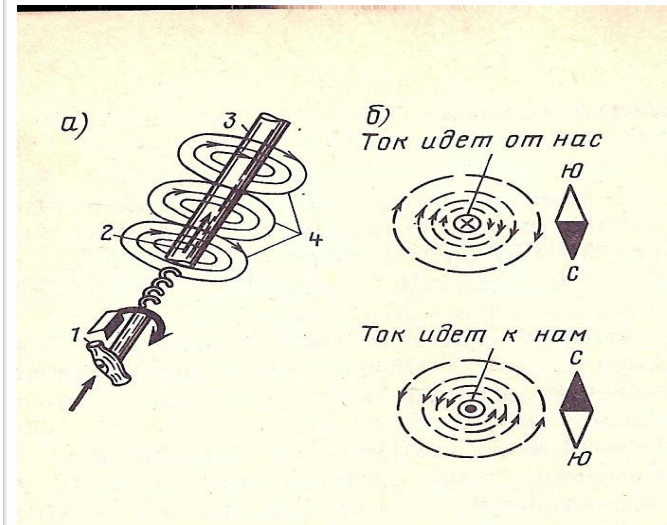
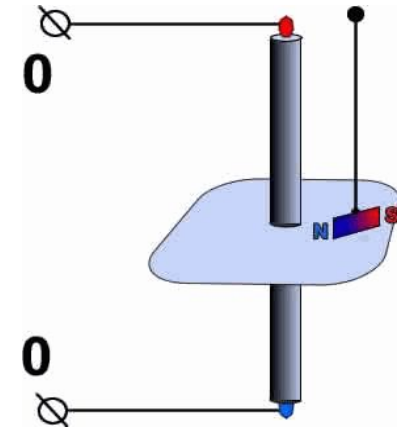
$$H = I/2\pi a$$

$I$  – 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.



# -ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### СОЛЕНОИД

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

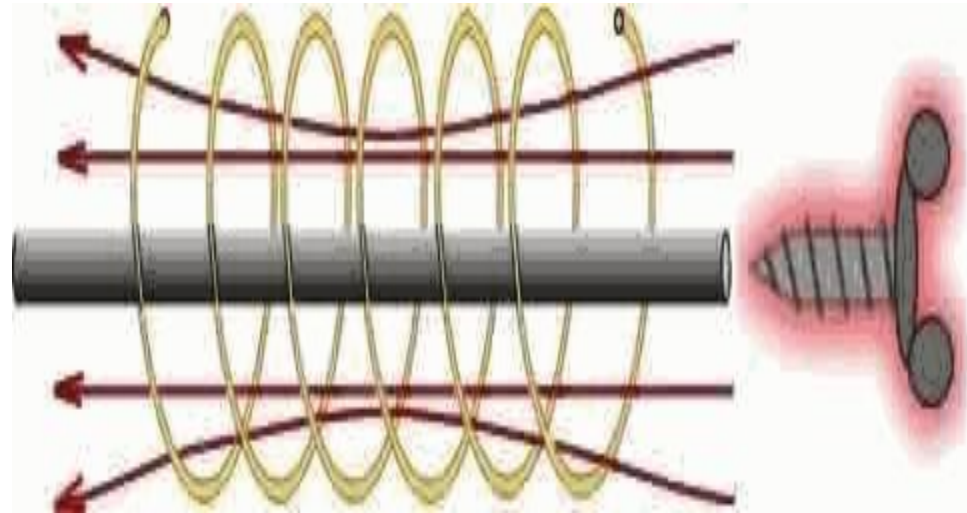
Напряженность поля внутри соленоида

$$H = I \omega l$$

электрический ток

$\omega$  число витков

$l$  длина катушки

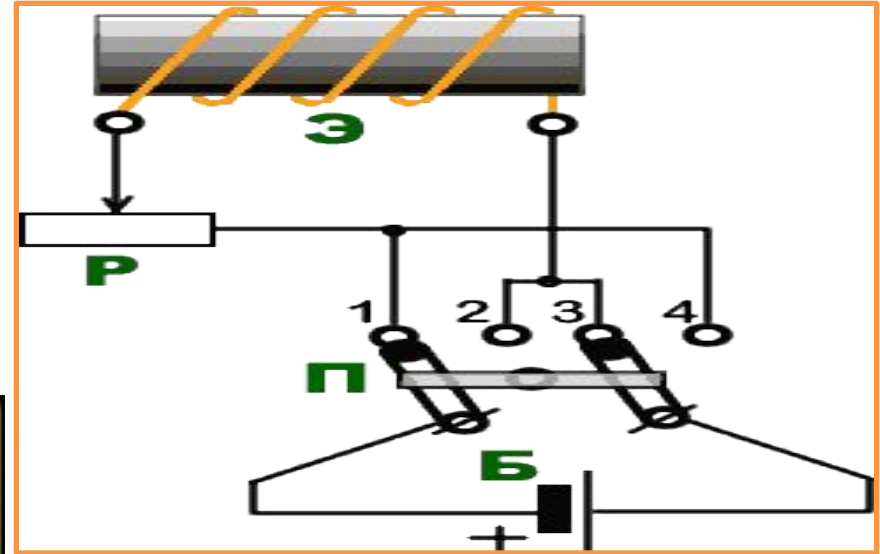
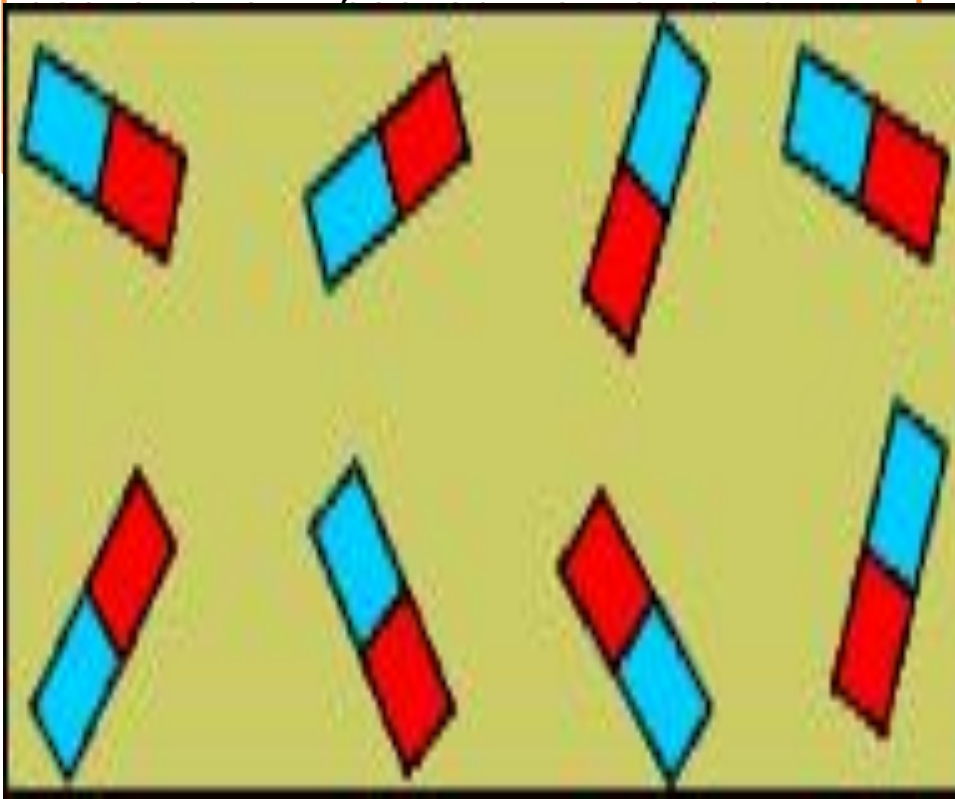


# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### НАМАГНИЧЕВАНИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Электроны в атомах образуют круговой ток и создают магнитный поток, перпендикулярный плоскости орбиты. Поля отдельных электронов не намагниченного ферромагнитного материала



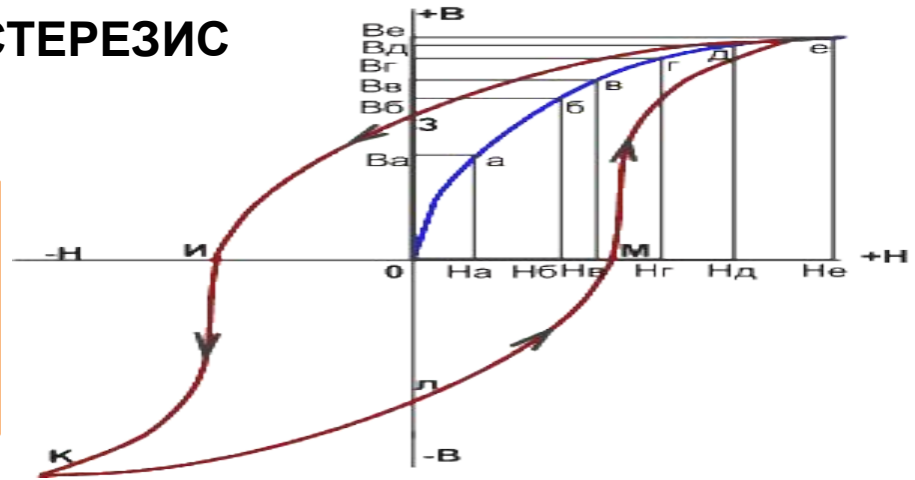
Для намагничивания магнитных материалов тело помещают внутрь катушки, по которой пропускают постоянный ток. В результате поля элементарных магнетиков приходят в упорядоченное положение, поля их складываются и тело намагничивается.

# -ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### ГИСТЕРЕЗИС

При изменении полярности приложенного напряжения тело сначала размагничивается, а потом перемагничивается.



Процесс намагничивания и перемагничивания ферромагнитных материалов называется **гистерезис**.

График, отображающий этот процесс — **петлей гистерезиса**. Магнитная проницаемость ферромагнитных материалов величина переменная и зависит от напряжения.

**Остаточная магнитная индукция** — величина магнитной индукции при размагничивании соответствующая нулевой напряженности.

**Коэрцитивная сила** — величина напряженности, при которой происходит полное размагничивание.

При гистерезисе процесс перемагничивания требует затрат энергии на преодоление коэрцитивной силы. Эта энергия выделяется в виде тепла.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### 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).

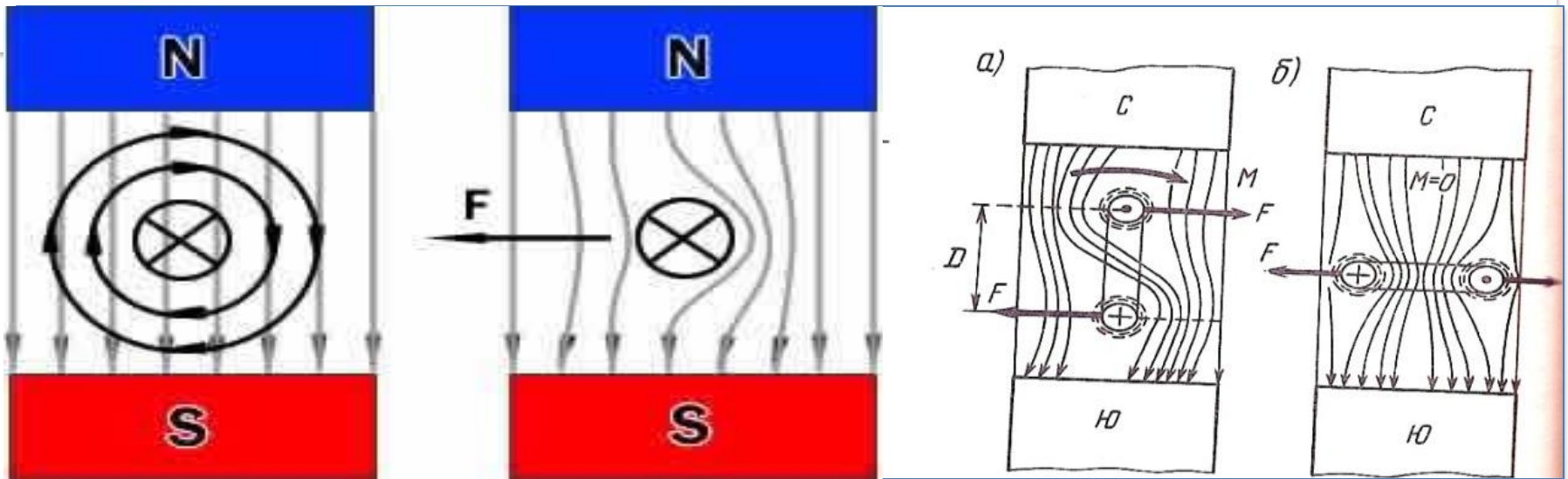


# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### 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.



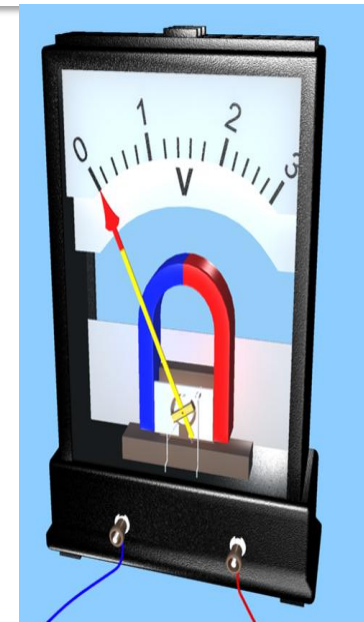
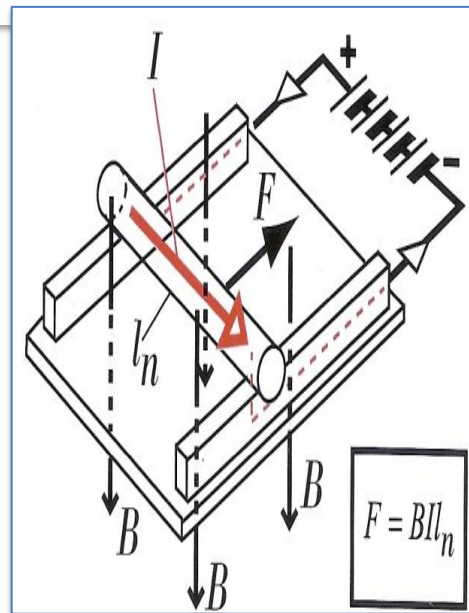
# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### НАПРАВЛЕНИЕ 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

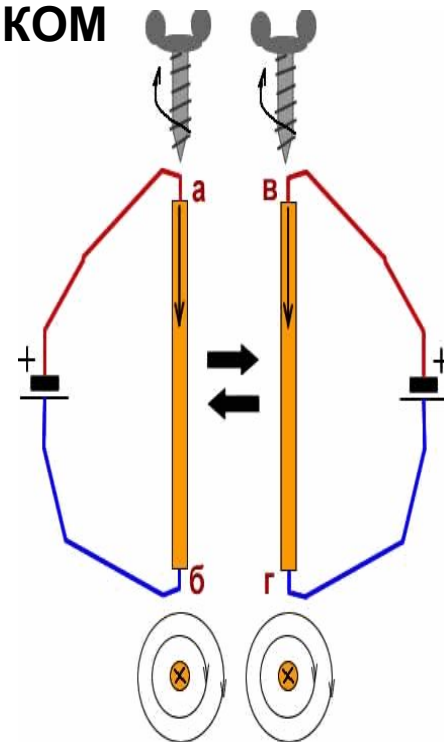
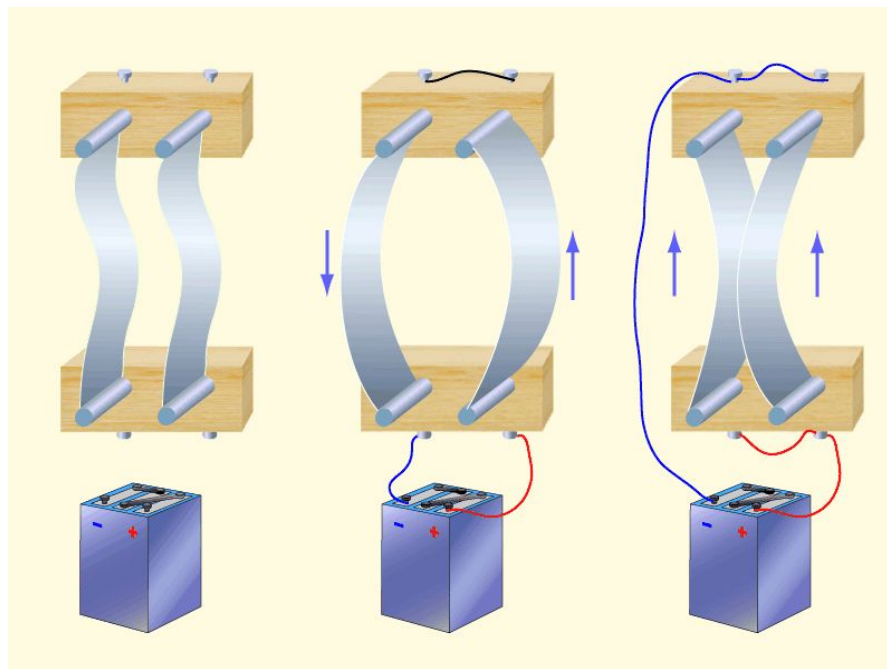
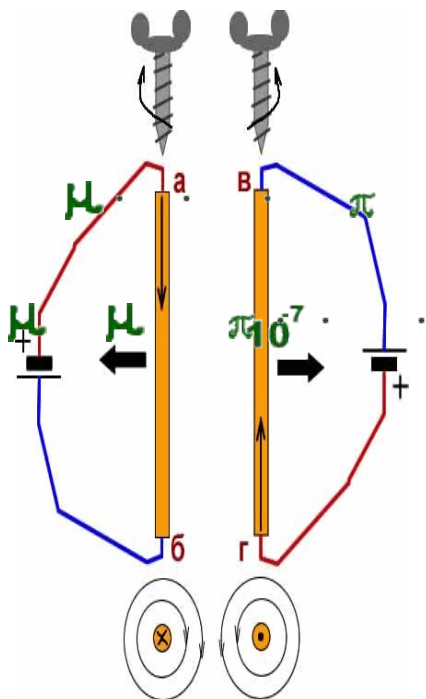
$$F = B l I \sin \alpha$$



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОВОДНИКОВ С ТОКОМ



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

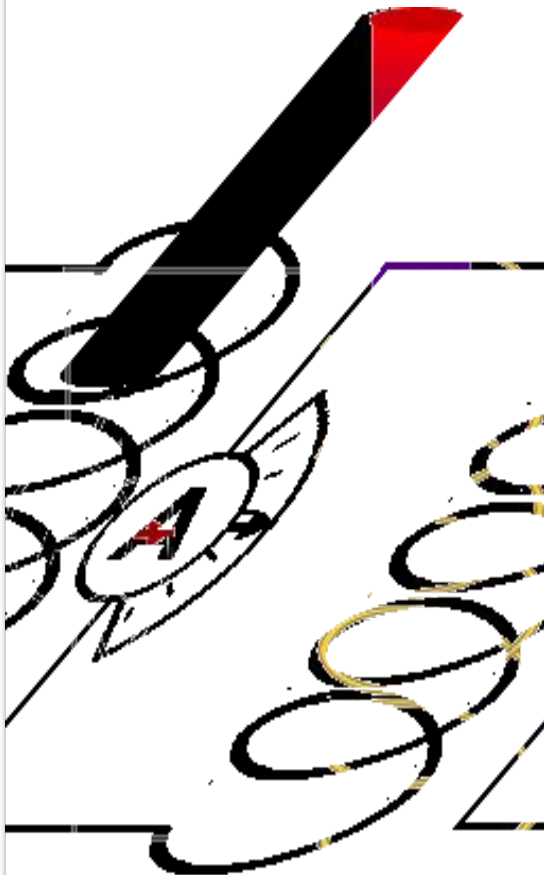
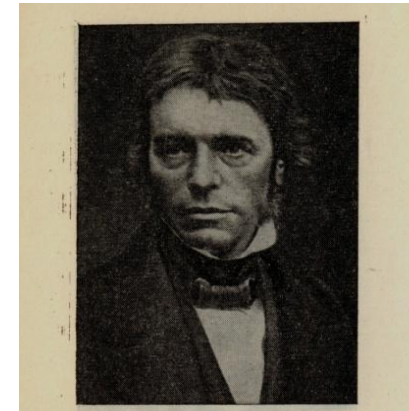


# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### 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.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

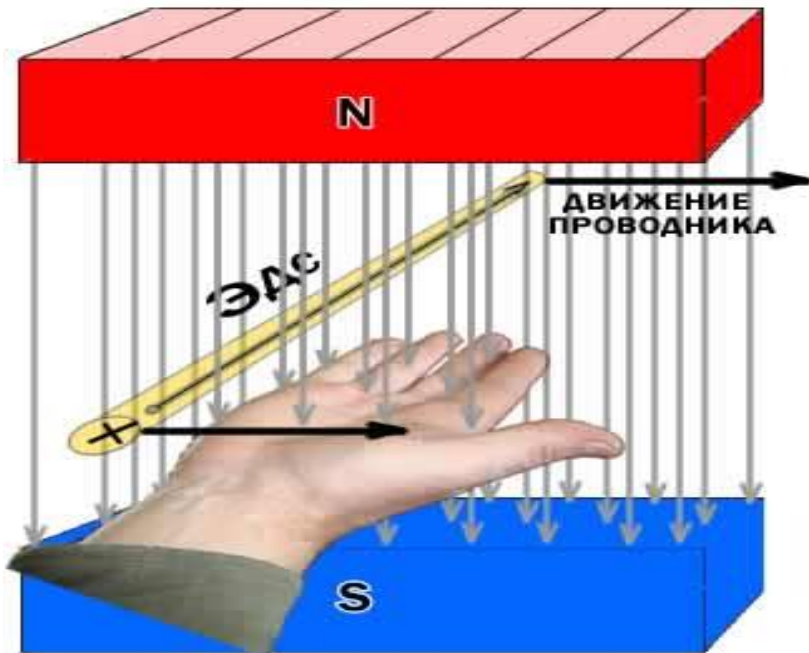
## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### 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

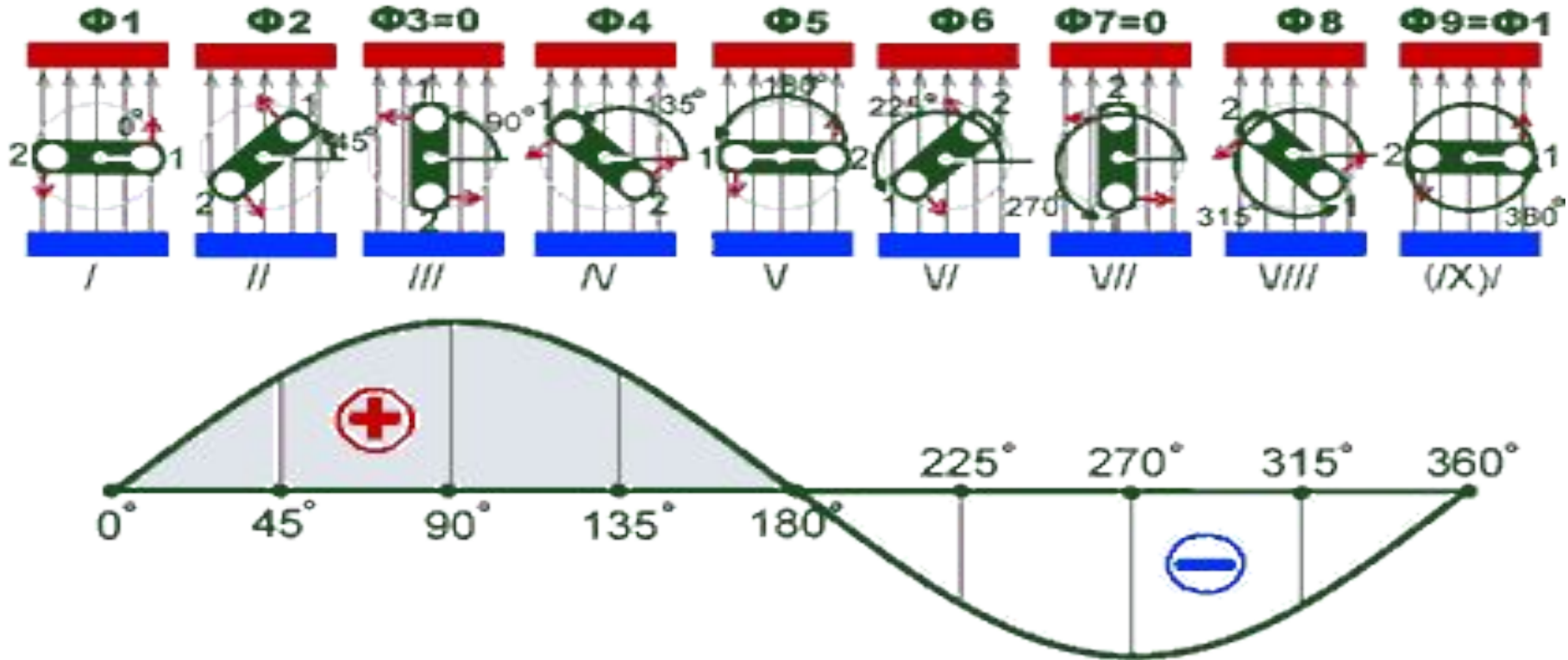
Если проводник пересекает силовые линии под прямым углом ЭДС максимальна.

Если проводник движется вдоль силовых линий ЭДС равна нулю.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### ВРЕМЕННАЯ ДИАГРАММА

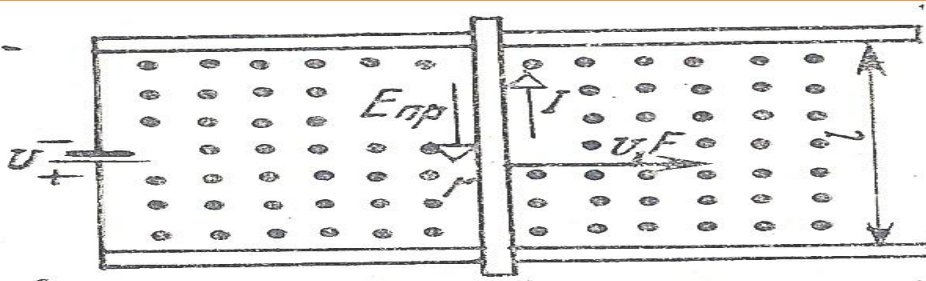


При вращении рамки в магнитном поле за один оборот ЭДС от нулевого значения возрастает до максимального, снижается до нуля и потом снова возрастает до максимального значения и снижается до нуля, но в другом направлении.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### 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

$$E = B l v$$

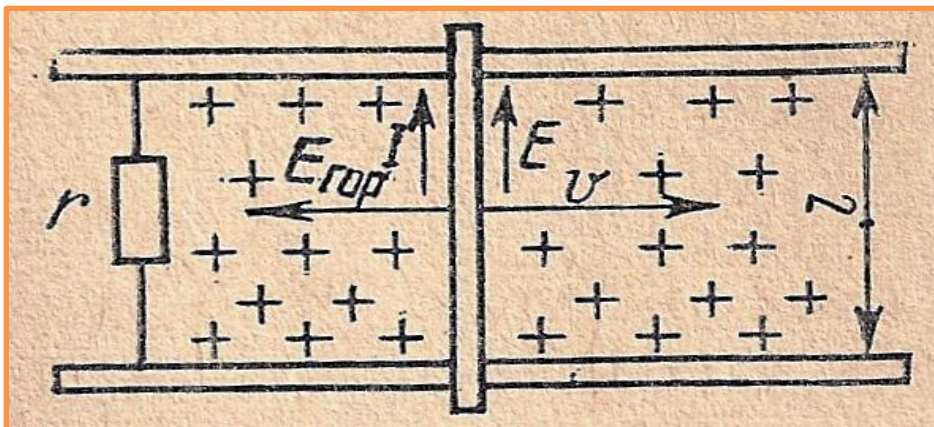
В результате ток в подвижном проводнике уменьшается и равен

$$I_n = U - E/R$$

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### ТОРМОЗЯЩАЯ СИЛА



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

$$E = B l v$$

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

$$I = E / (R_0 + R_{вн})$$

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.

$$F = B l I$$

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

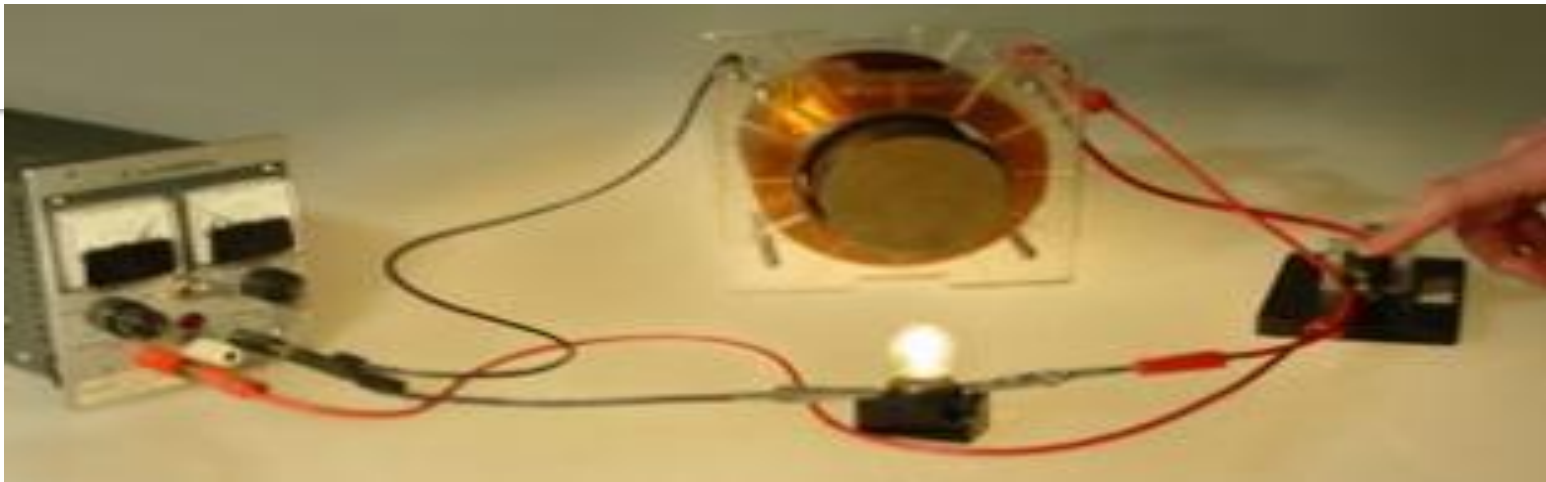
### САМОИНДУКЦИЯ

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

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

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.**





# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### ИНДУКТИВНОСТЬ

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)

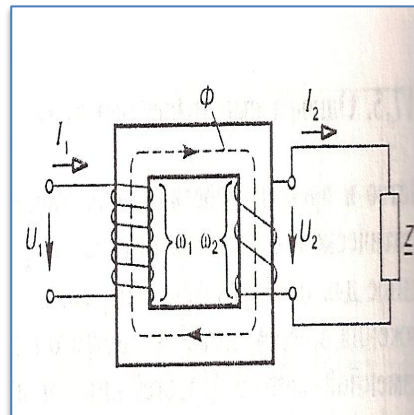
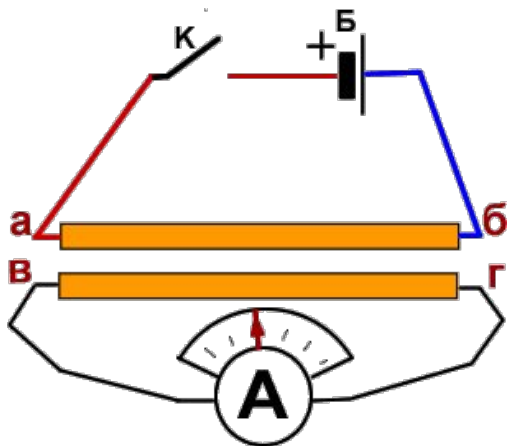
# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### 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.



$$E_{\text{в}} = - M_{1-2} \cdot \Delta I_1 \setminus \Delta t$$

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

$\Delta I_1 \setminus \Delta t$  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.

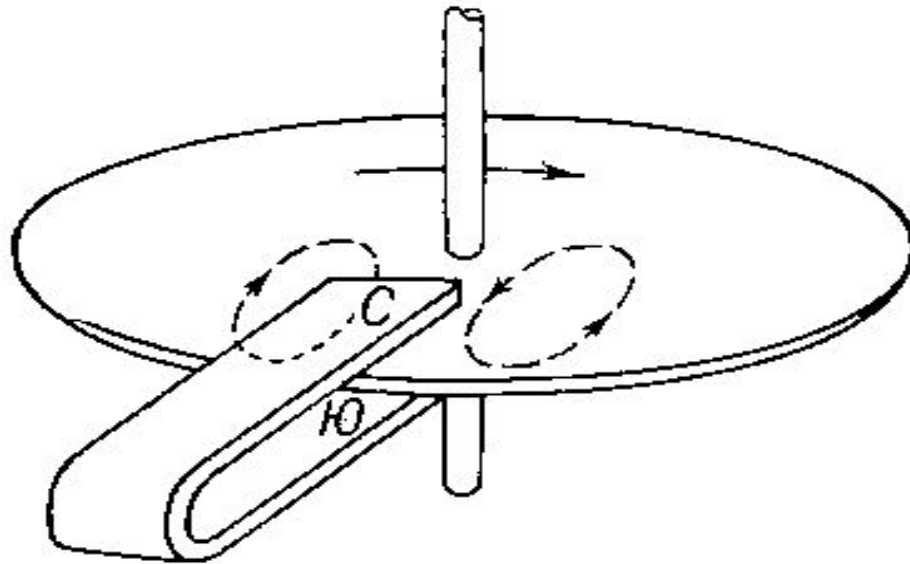


# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### 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.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

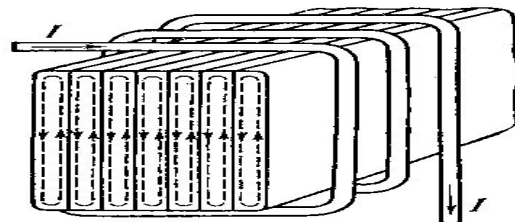
## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### 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.



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

#### 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



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

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

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

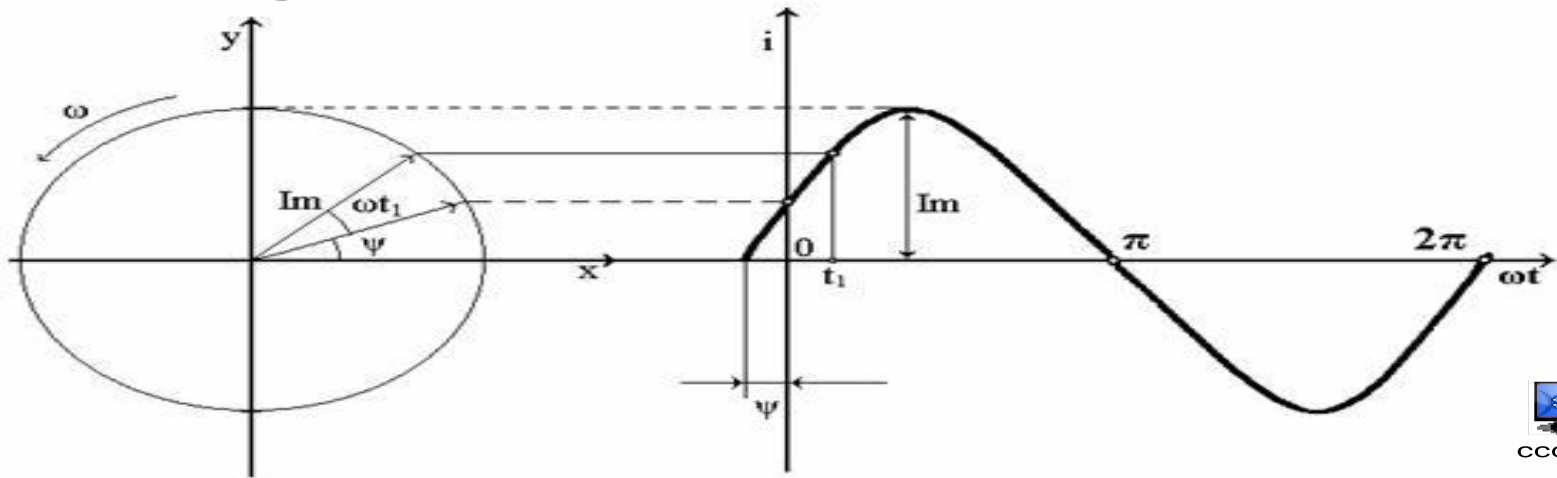
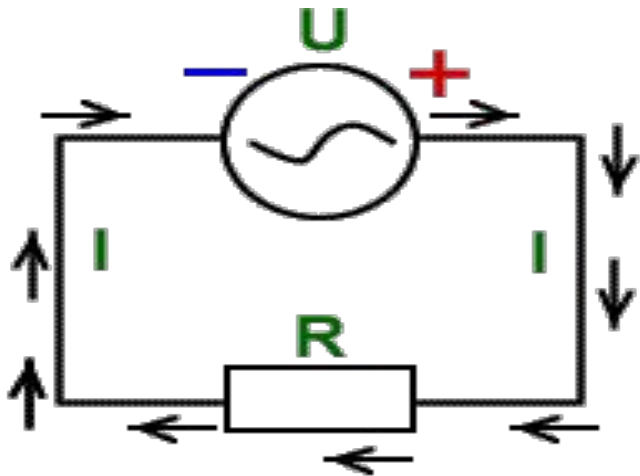
## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

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



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ЗНАЧЕНИЕ 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.

**$I, U, E$**

$$I = 0.707 I_m$$

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

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

**T,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

$$\omega = 2\pi f, \text{ p/c}$$



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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.

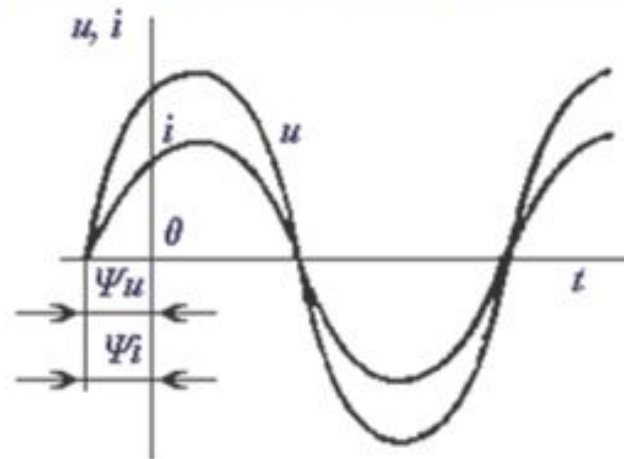
Разница начальных фаз  $\varphi = \psi_i - \psi_u$  определяет **угол сдвига фаз**



$\psi_i$  - Начальная фаза тока

$\psi_u$  - Начальная фаза напряжения

$\varphi$  - Сдвиг фаз между током и напряжением





# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ ВЕКТОРНЫХ ДИАГРАММ

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

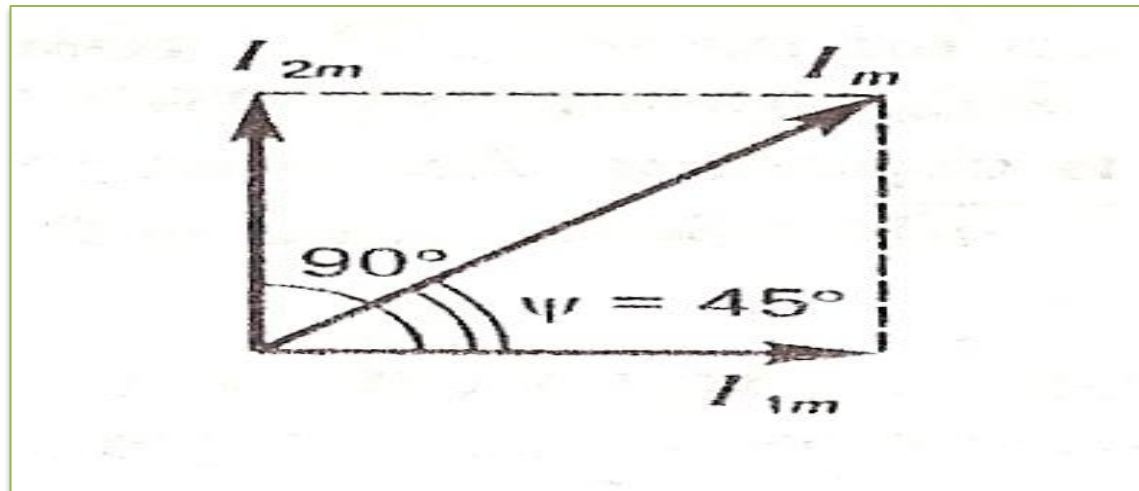
угол сдвига фаз  $90^\circ$

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..

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

$l_B$  -длина вектора



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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.

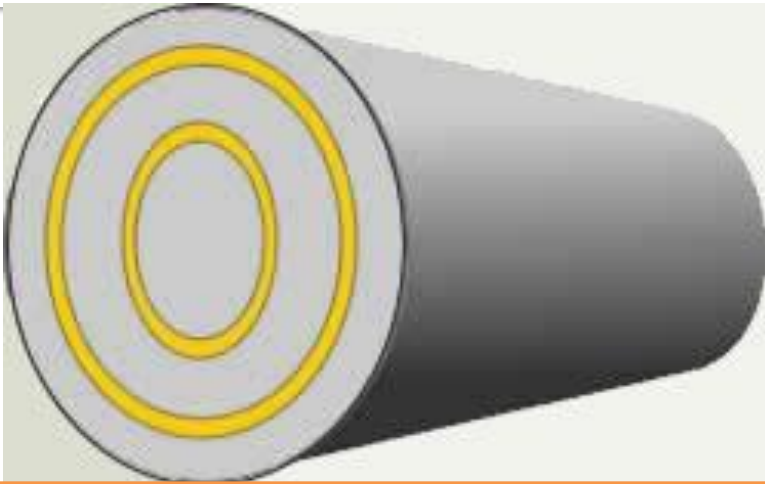
**Реактивное сопротивление** – в цепи переменного тока возникает обмен энергией между ним и источником тока.

Подразделяется на **индуктивное и емкостное**.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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.

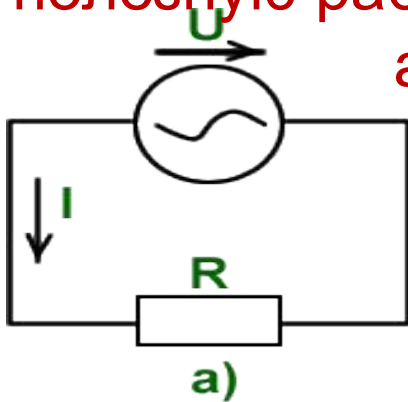
**Как данные параметры влияют на степень поверхностного эффекта?**

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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

При низких частотах активное и омическое сопротивление приблизительно равны

$$K=1$$

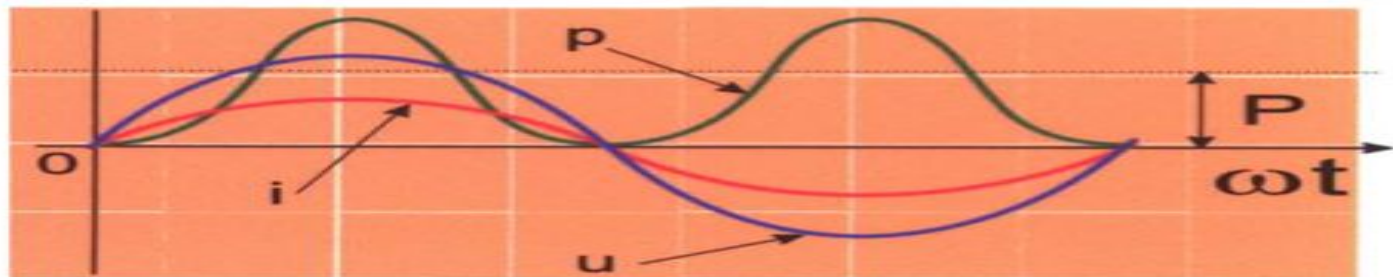
При высоких частотах активное сопротивление в десятки раз больше омического.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ 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**.

Векторная диаграмма участка с R



Волновая диаграмма участка с R

**Закон Ома для цепи с активным сопротивлением**

$$I = U/R$$

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

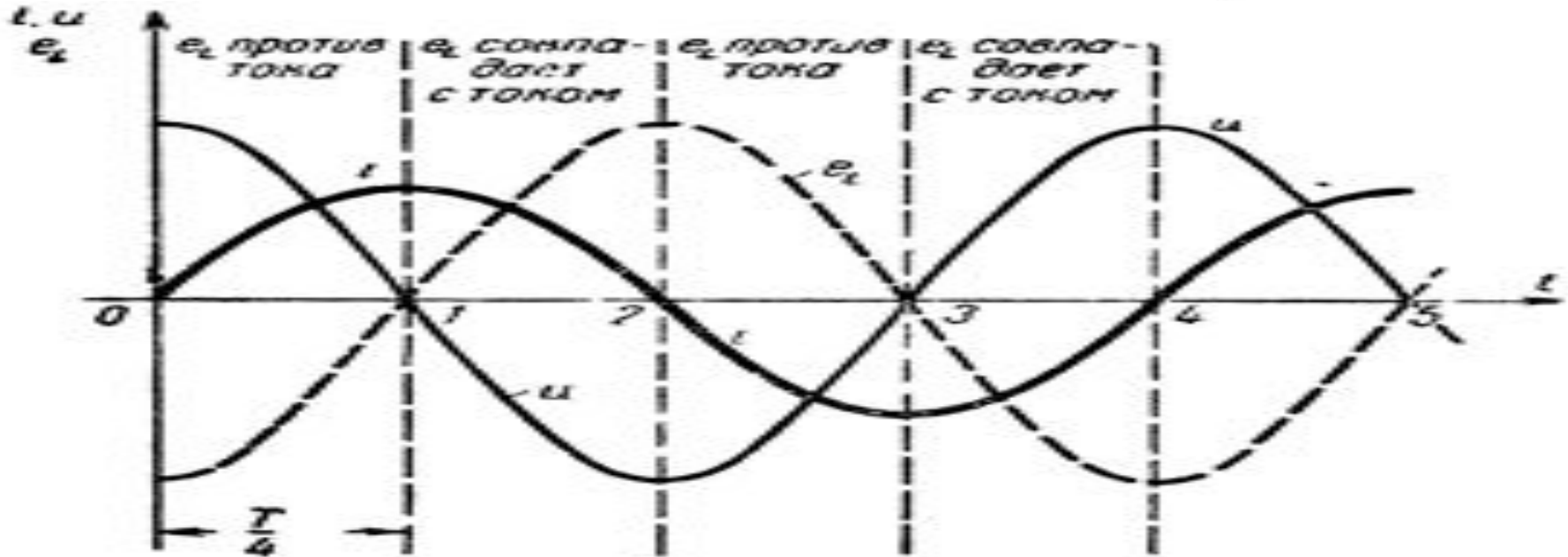
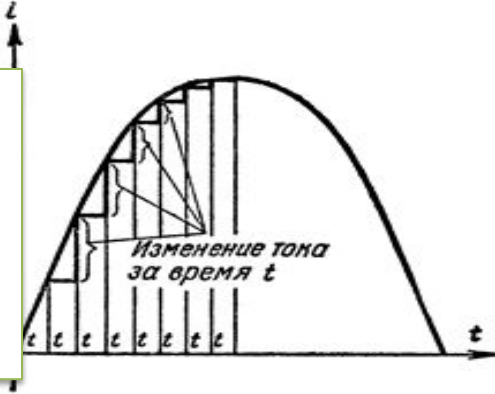
$$P = I U, \text{ Вт}$$

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ИНДУКТИВНОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

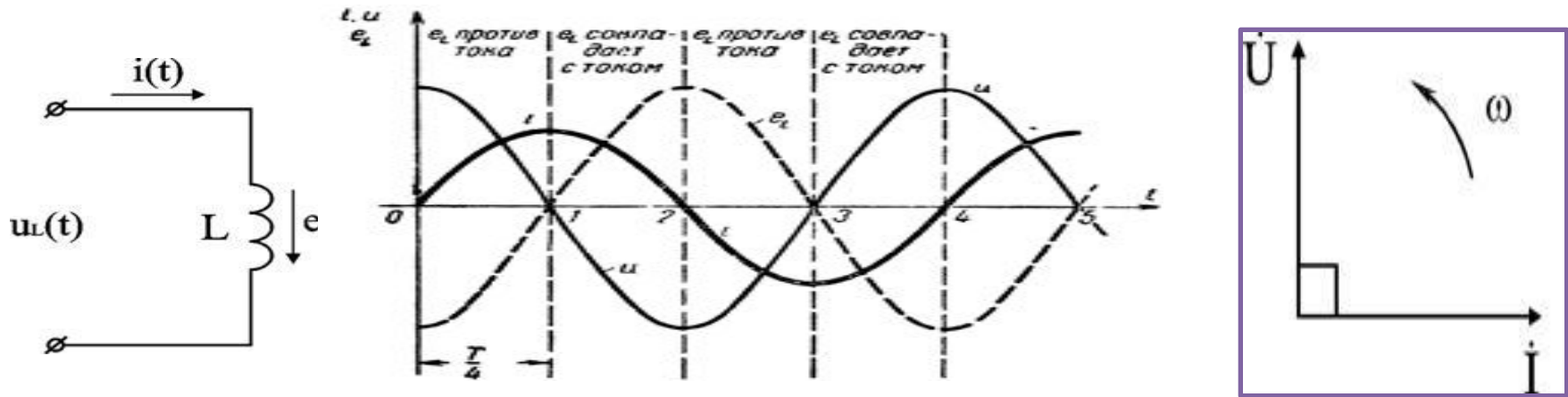
ЭДС самоиндукции, вызываемая самим переменным током, препятствует его возрастанию и, наоборот, поддерживает его при убывании



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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**



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

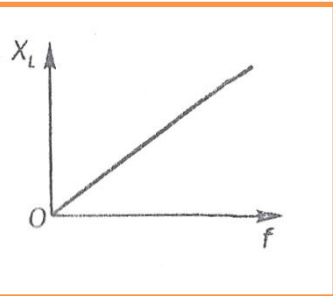
Если катушку индуктивности (активным сопротивлением пренебречь) подключить к источнику постоянного тока произойдет короткое замыкание.

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

**Катушка индуктивности оказывает сопротивление проходящему по ней переменному току.**



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

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



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ЗАКОН ОМА ДЛЯ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ИНДУКТИВНОСТЬЮ

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.

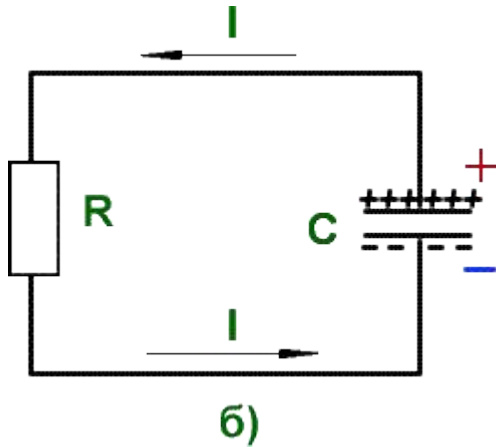
Происходит обмен энергией между источником и индуктивностью  
Реактивная (индуктивная емкость)

$$Q_L = U_L I, \text{ ВАр}$$

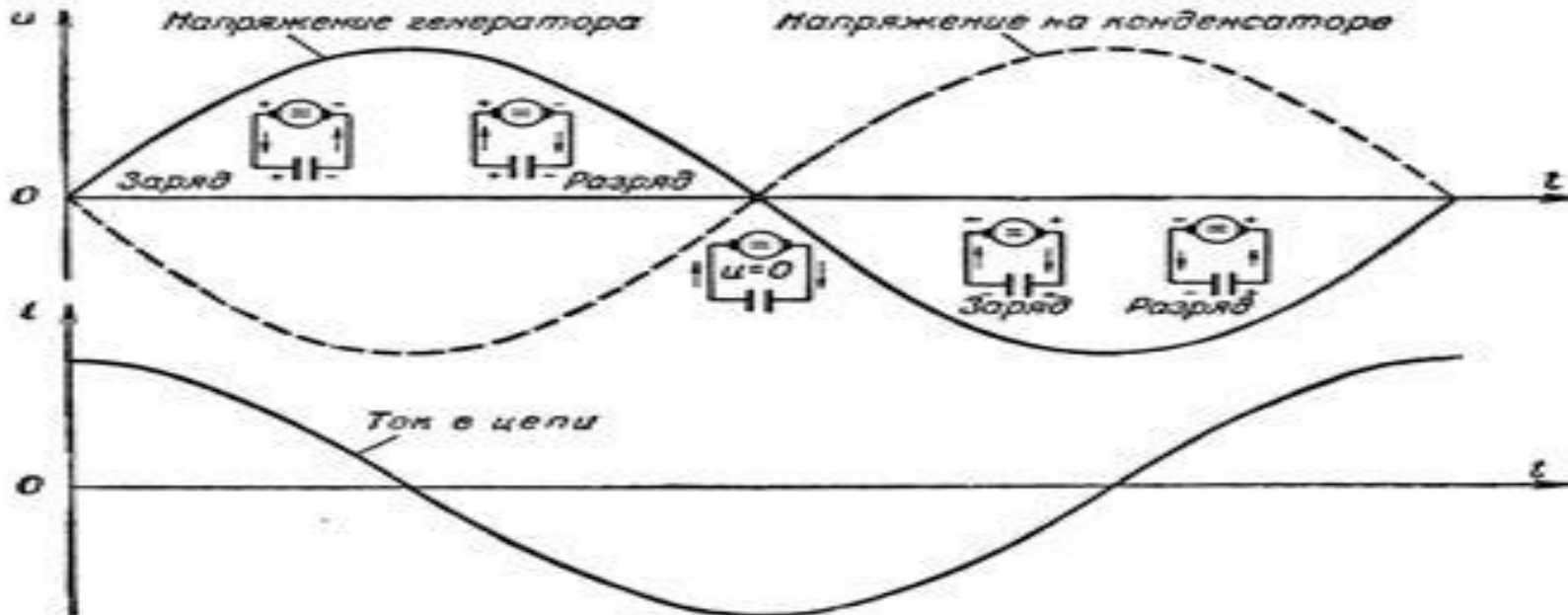
# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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.



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ



Ёмкость в цепи переменного тока.

**в)**  
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  $90^{\circ}$ .**

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

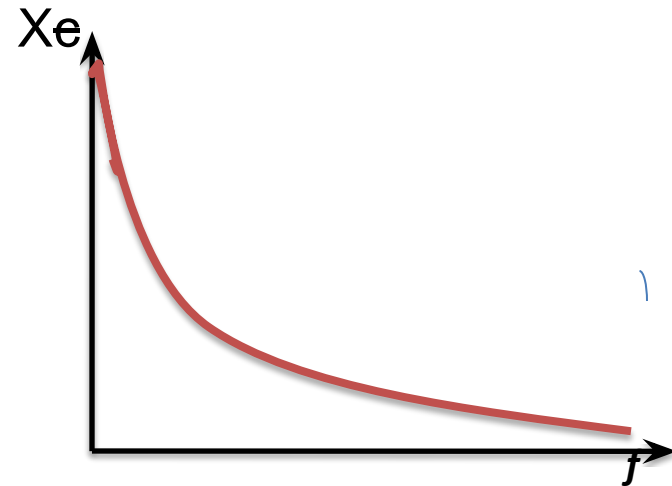
## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

**Закон Ома для цепи с емкостью**

$$I = U / X_c$$

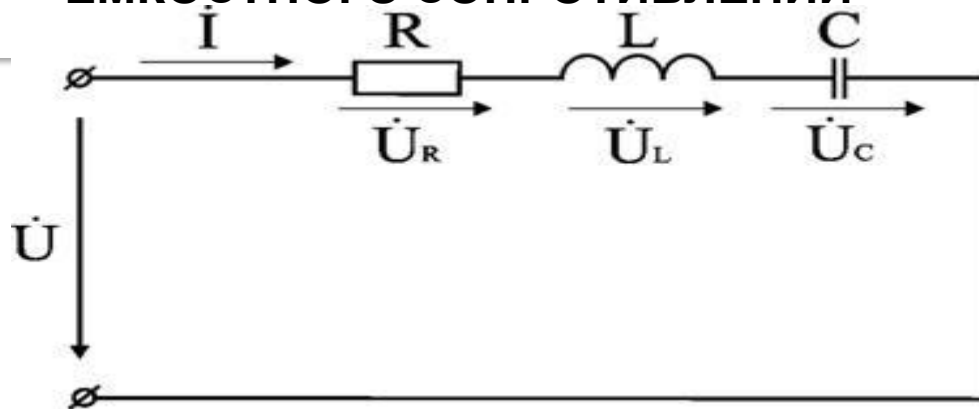
**Реактивная мощность емкости**

$$Q_c = U_c I, \text{ВАр}$$

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

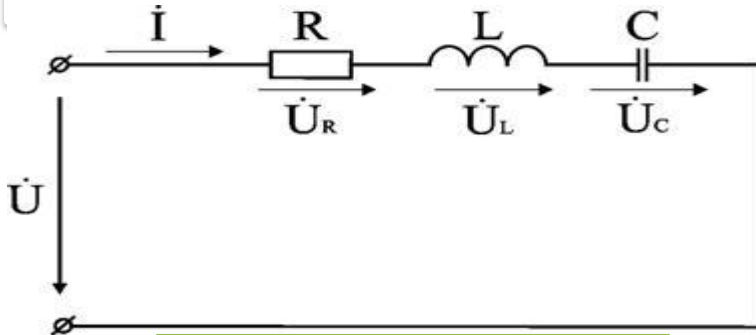
### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ АКТИВНОГО, ИНДУКТИВНОГО И ЕМКОСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ АКТИВНОГО, ИНДУКТИВНОГО И ЕМКОСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ

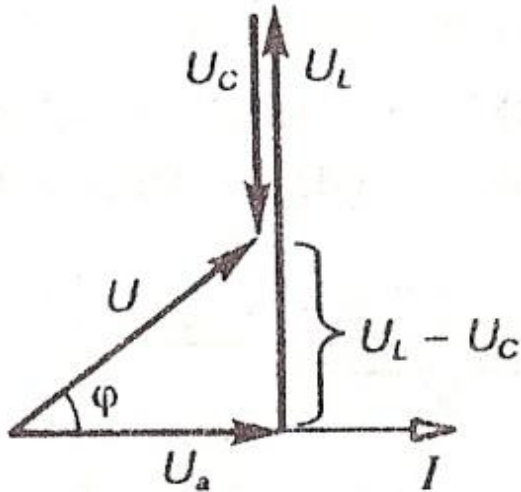


$$\cos Y = \frac{R_a}{Z} = \frac{U_a}{U}$$

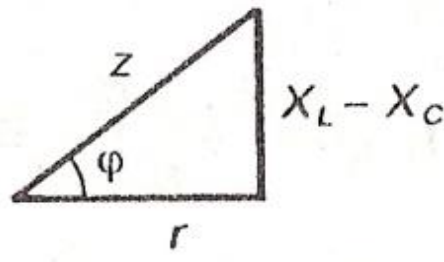
$$U = \sqrt{U_A^2 + (U_C - U_L)^2}$$

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

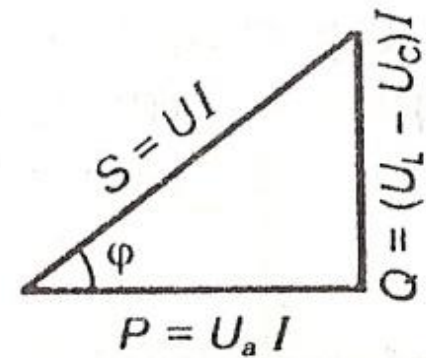
$$S = \sqrt{P^2 + (Q_C - Q_L)^2}$$



a)



б)



в)



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ

### 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

$$I - \max$$

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

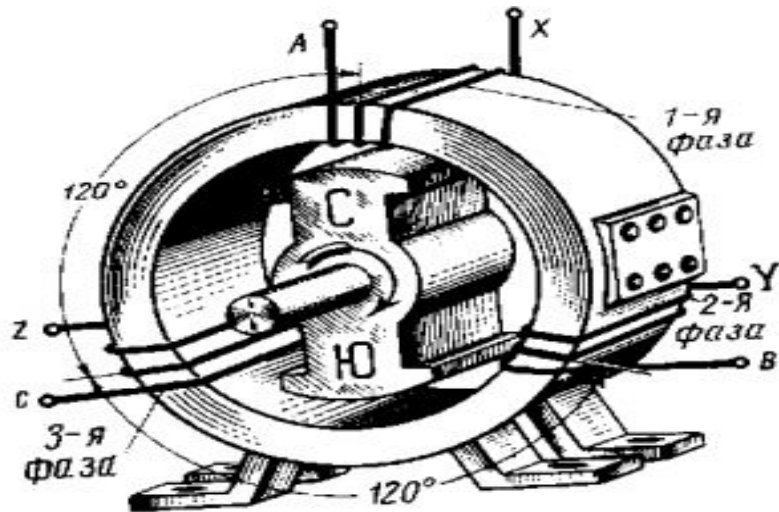


**Трехфазной системой переменного тока или просто трехфазной системой называется цепь или сеть переменного тока, в которой действуют три эдс одинаковой частоты, но взаимно смещенные по фазе на одну треть периода (120 градусов).**

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

### ПРЕИМУЩЕСТВА ТРЕХФАЗНЫХ СИСТЕМ



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

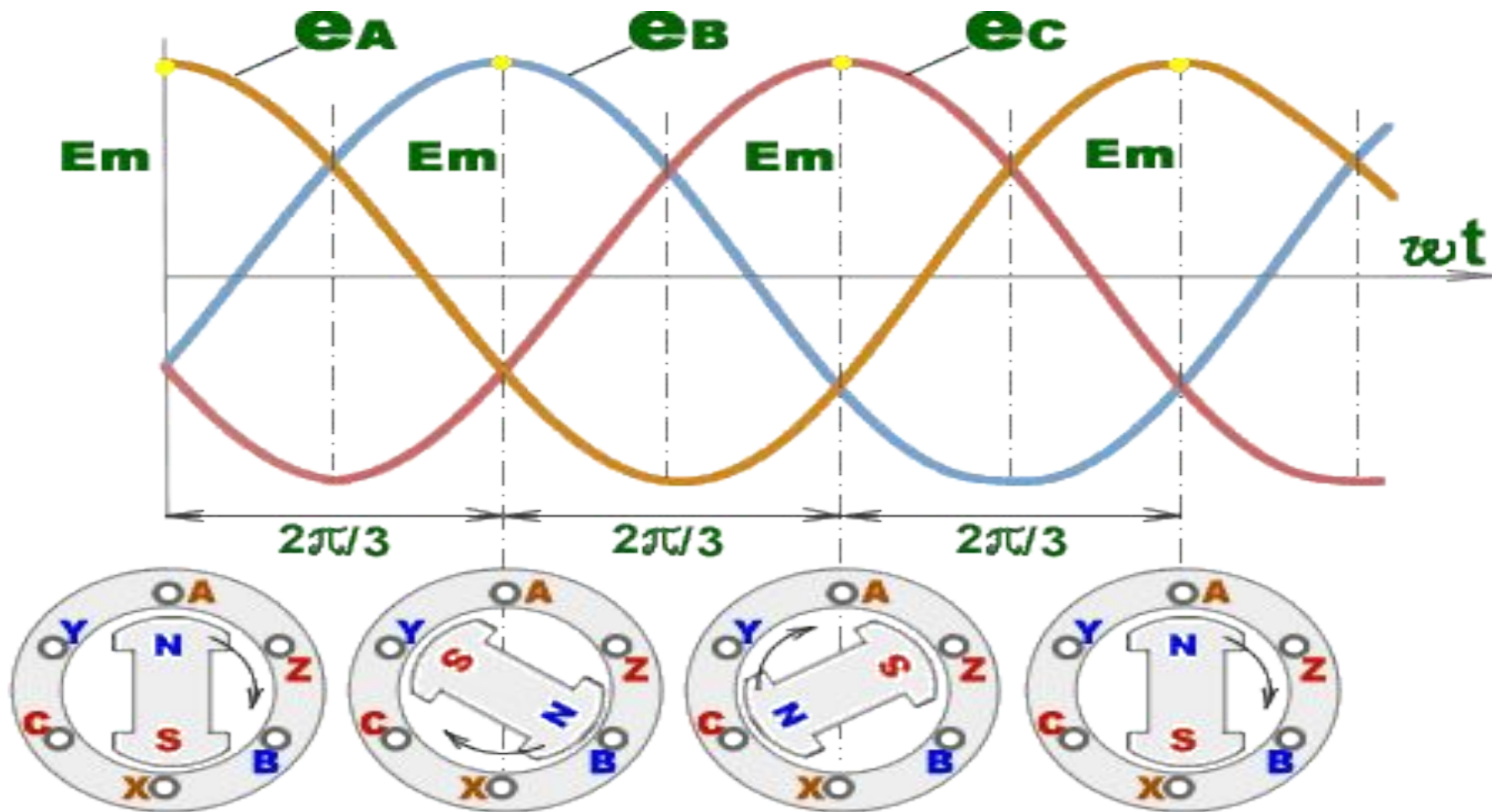
Трехфазные системы по сравнению с однофазными имеют следующие преимущества:

- 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.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

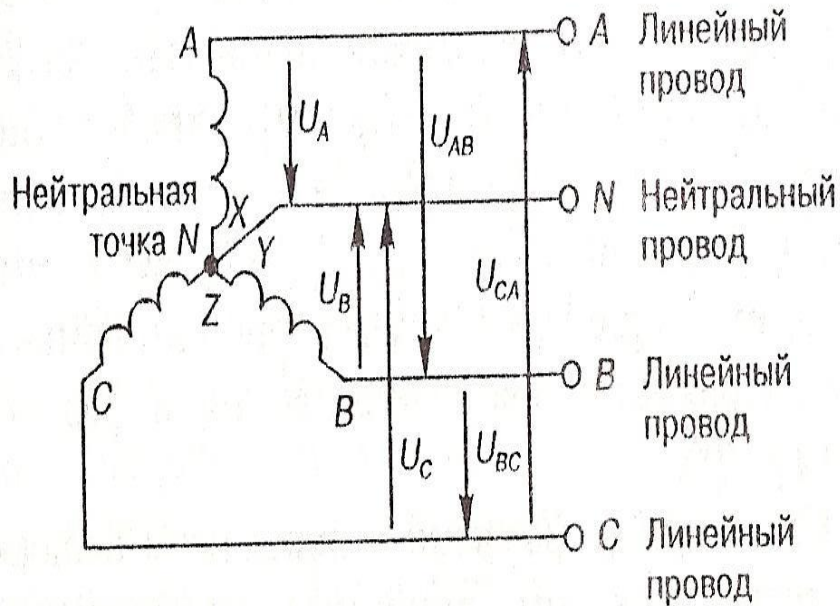
### ГРАФИК ТРЕХФАЗНОЙ ЭДС



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

### 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.

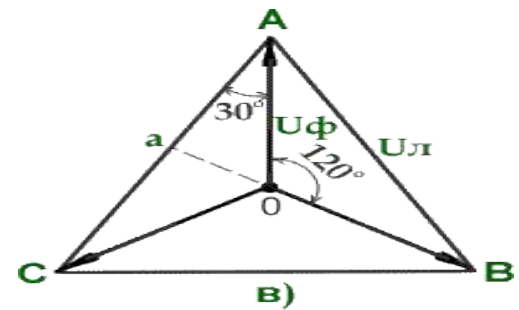
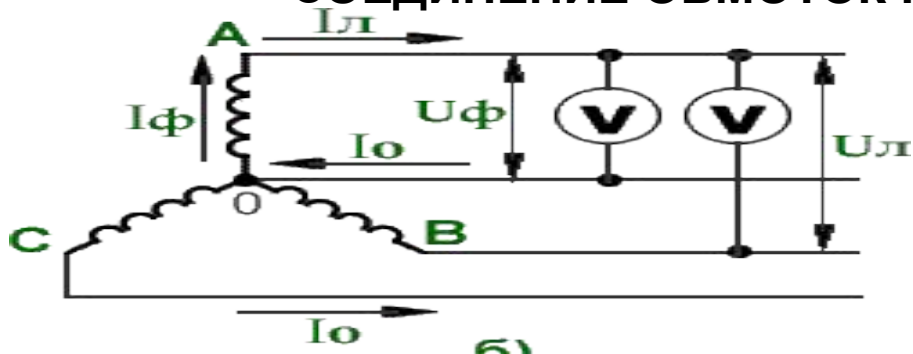
**Линейное напряжение** – это напряжение между линейными проводами.

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

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

### СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТКОВ ГЕНЕРАТОРА «ЗВЕЗДОЙ»



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.

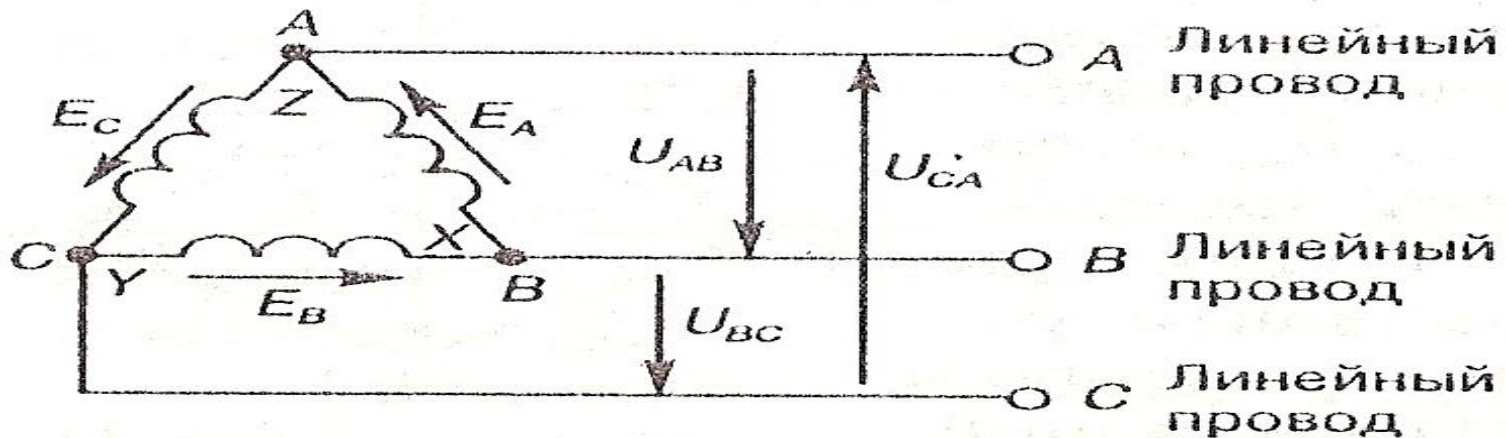
Из построенной векторной диаграммы видно, что линейное напряжение больше фазного.

$$U_{л} = \sqrt{3}U_{ф}$$

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

### СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТОК ГЕНЕРАТОРА «ТРЕУГОЛЬНИКОМ»



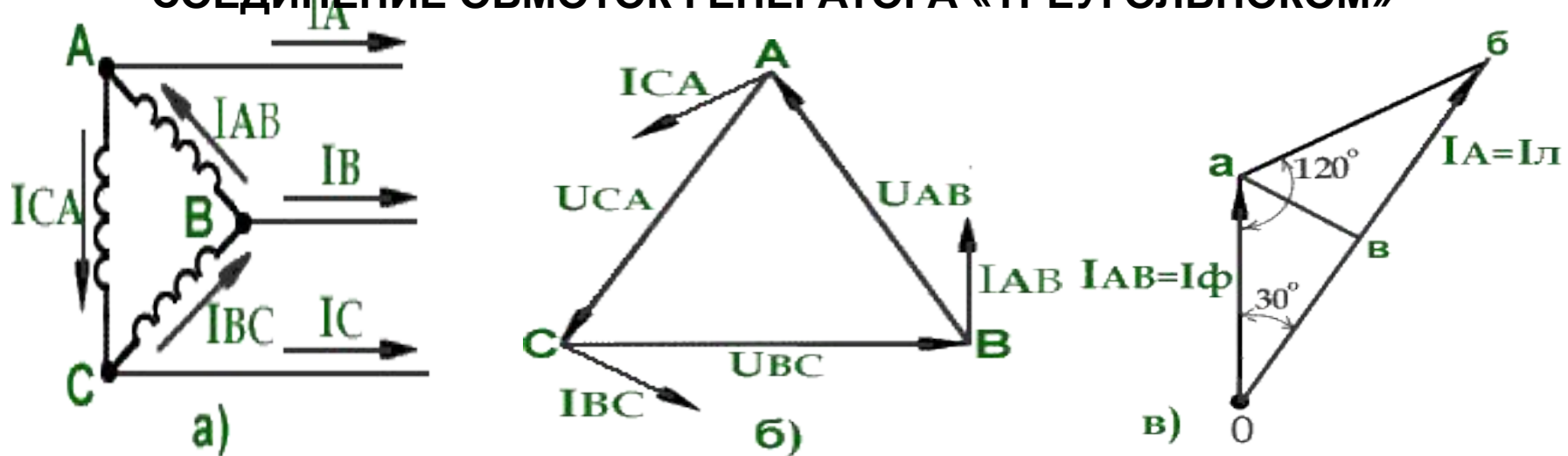
При соединении обмоток генератора треугольником конец каждой обмотки соединяют с началом следующей.

К точкам соединения подключают три линейных провода А В С.

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

### СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТОК ГЕНЕРАТОРА «ТРЕУГОЛЬНИКОМ»



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

$$I_{\text{AB}} = I_A - I_B$$

$$I_{\text{BC}} = I_B - I_C$$

$$I_{\text{AC}} = I_A - I_C$$

При равномерной нагрузке фаз линейный ток больше фазного

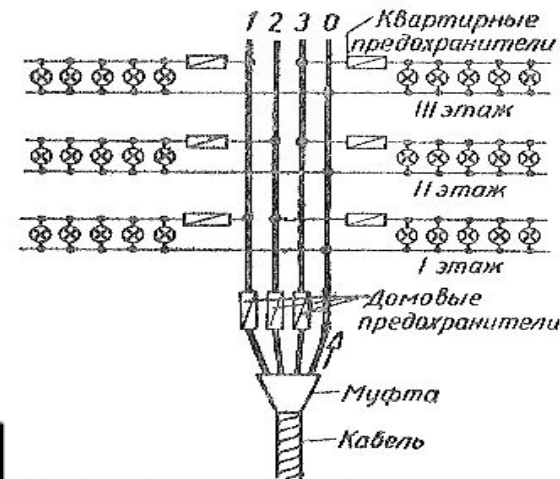
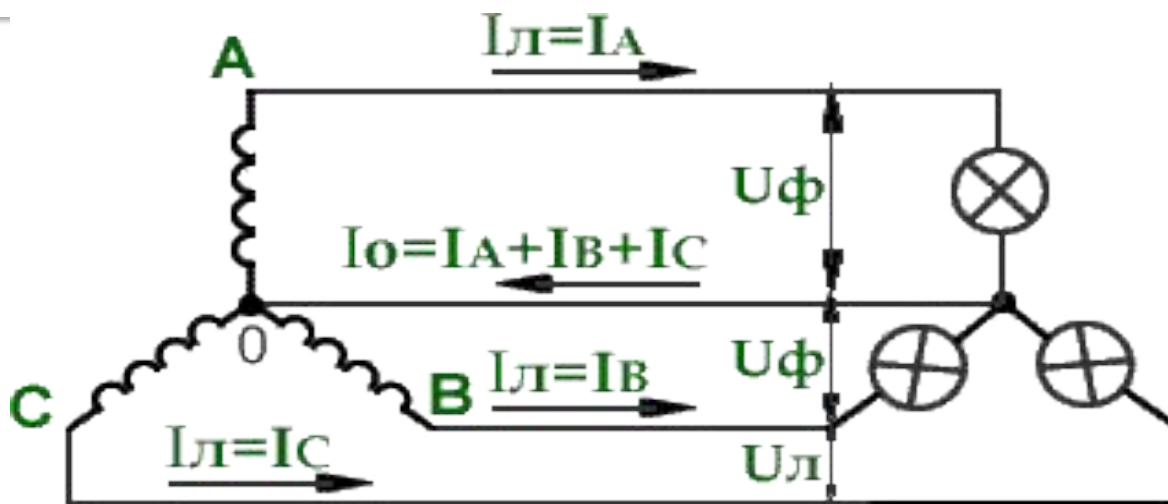
$$I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\text{ф}}$$



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

### 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».

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

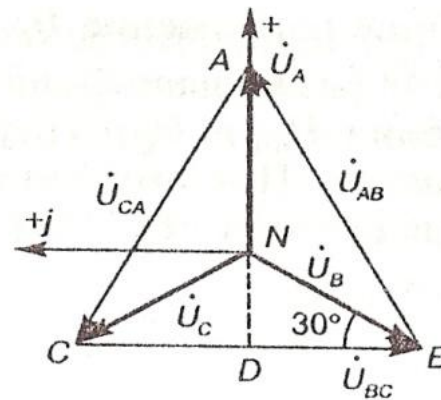
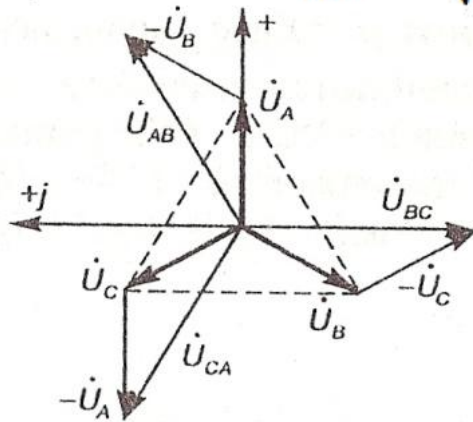
### включение потребителей в трехфазную систему «звездой»

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.

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



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

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

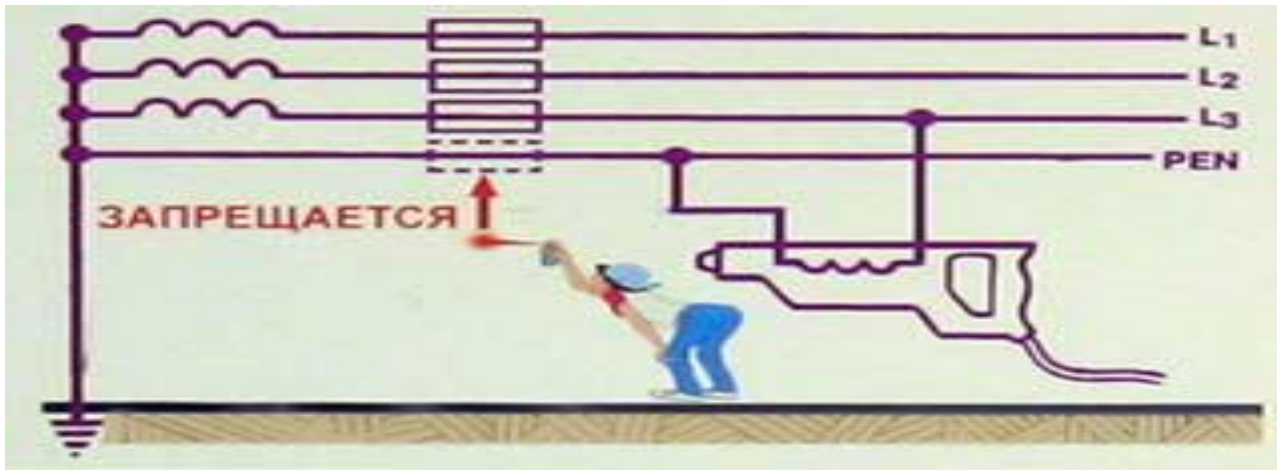
### ТОК В НУЛЕВОМ ПРОВОДЕ

При нормальном режиме работы значение тока в нулевом проводе незначительное.

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,.

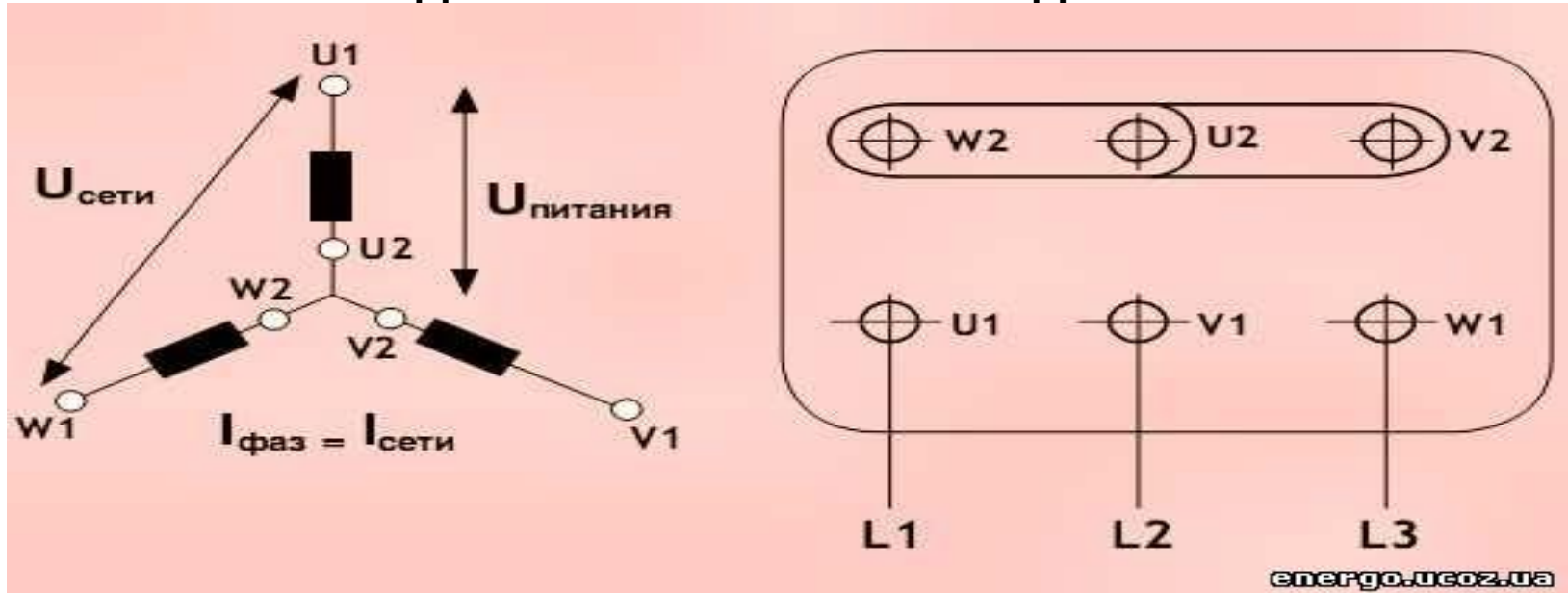
В нулевой провод никогда не устанавливают предохранители.



# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

### ВКЛЮЧЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА БЕЗ НУЛЕВОГО ПРОВОДА»



**Фазное напряжение**

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

**Фазный и линейный токи**

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

**Активная мощность фазы**

$$P_{\text{ф}} = U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} \cos \gamma_{\text{ф}}$$

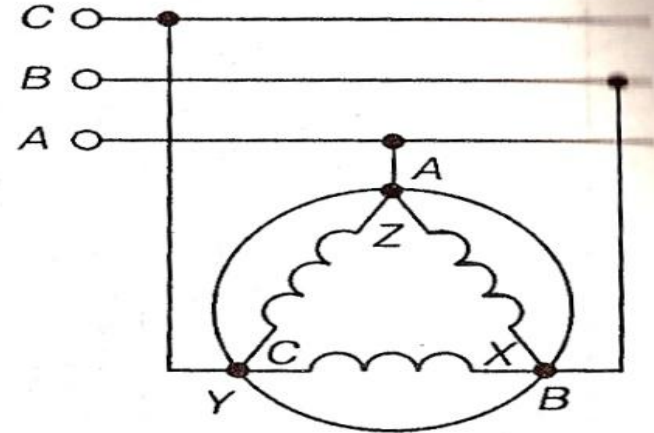
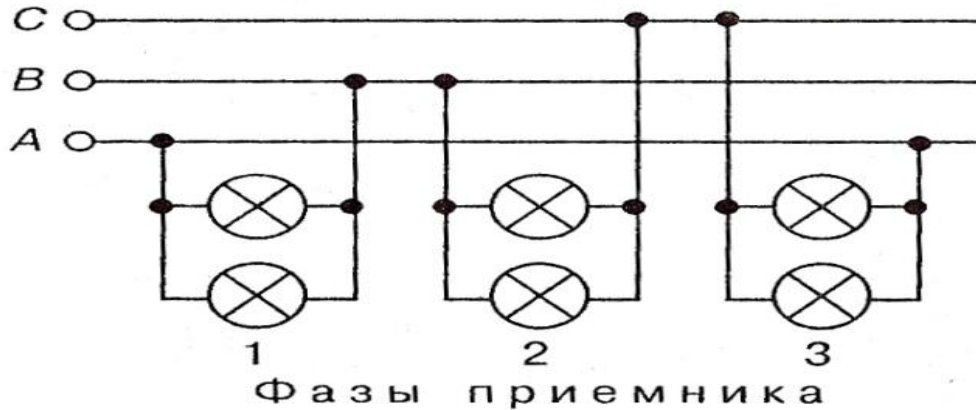
**Реактивная мощность фазы**

$$Q_{\text{ф}} = U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} \sin \gamma_{\text{ф}}$$

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

## ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ

### 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

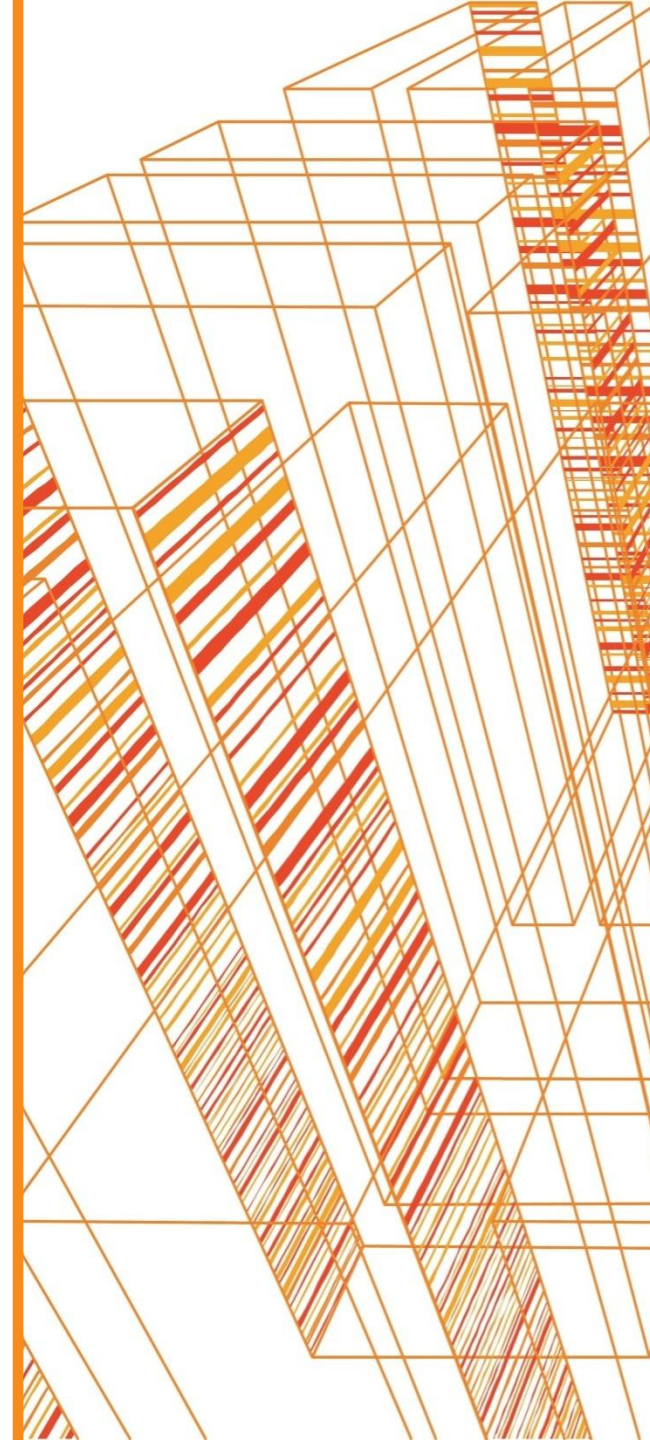
равны линейным, и не зависят от сопротивления в фазах. При отсутствии нагрузки тока нет.

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

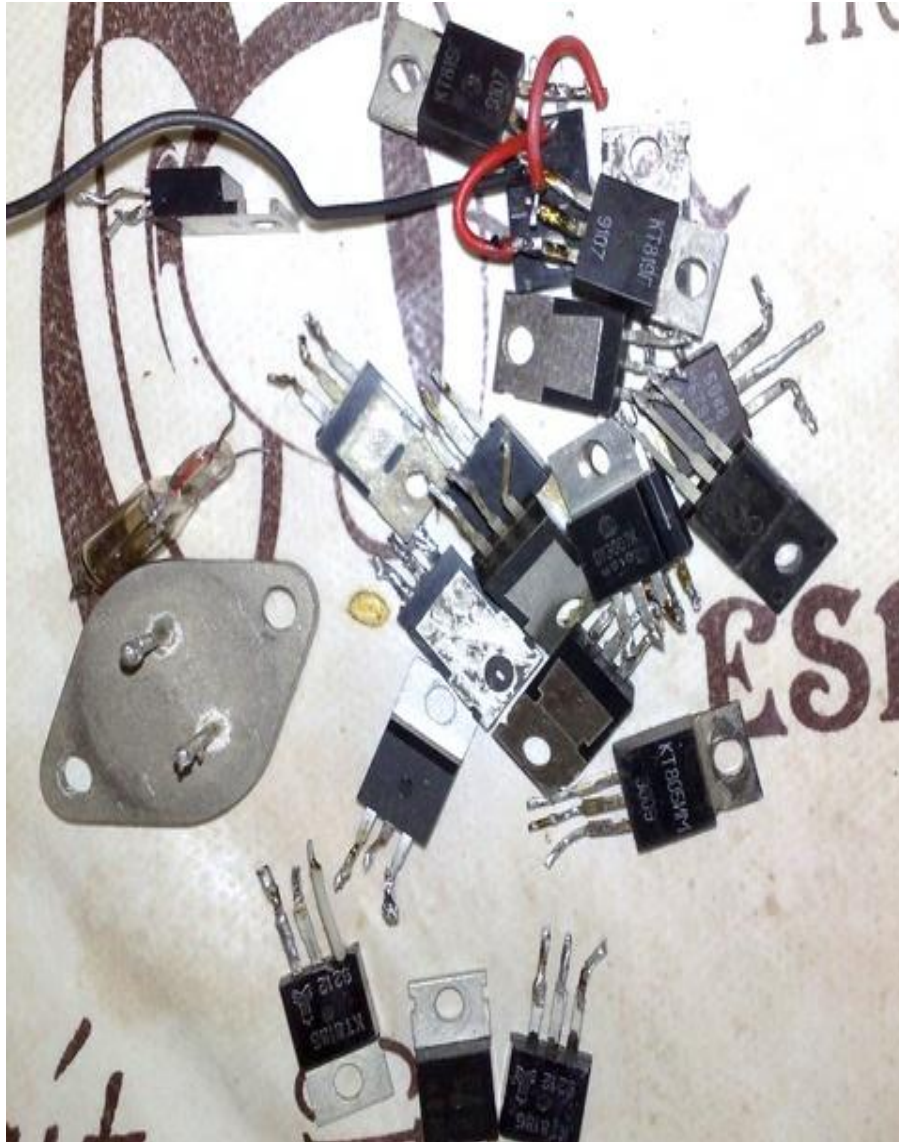
$$I_A = I_{AB} - I_{CA} \quad I_B = I_{BC} - I_{AB} \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}$$



# ТЕМА 3.2 ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ







## СОДЕРЖАНИЕ

- Строение полупроводников
- Примесная проводимость
- Электронно – дырочный переход
- Диод
- Стабилитрон
- Биполярные транзисторы
- Полевые транзисторы
- Тиристоры
- Выпрямители



# ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

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

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

Типичные полупроводники



### Германий

Используется для диодов и триодов, из него изготавливаются мощные выпрямители на большие токи, различные датчики, применяемые для измерения напряженности магнитного поля, термометры сопротивления для низких температур и др.



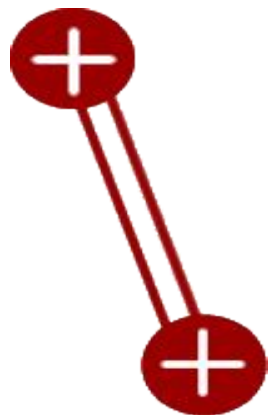
### Кремний

Из кремния изготавливают точечные и плоскостные диоды и триоды, фотоэлементы и полупроводниковые приборы.

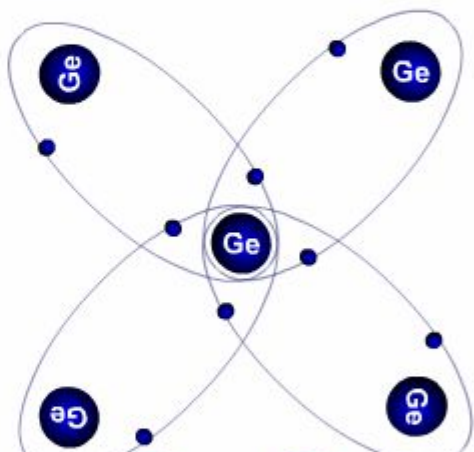


# ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

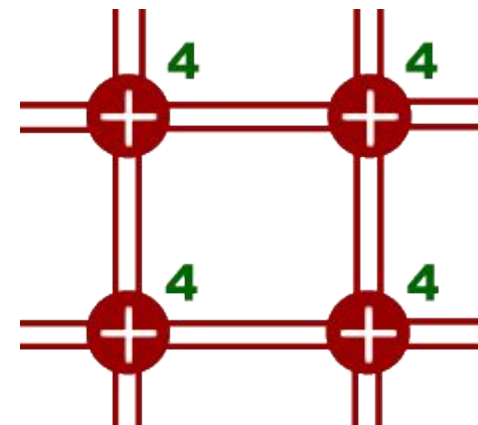
## КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЕТКА ПОЛУПРОВОДНИКА



- Собственные полупроводники имеют кристаллическую структуру, характеризующуюся периодическим расположением атомов в узлах пространственной кристаллической решетки. В такой решетке каждый атом взаимно связан с четырьмя соседними атомами ковалентными связями, в результате которых происходит обобществление валентных электронов и образование устойчивых электронных оболочек, состоящих из восьми электронов.



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



# ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

## ВИДЫ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

### **электронная проводимость**

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

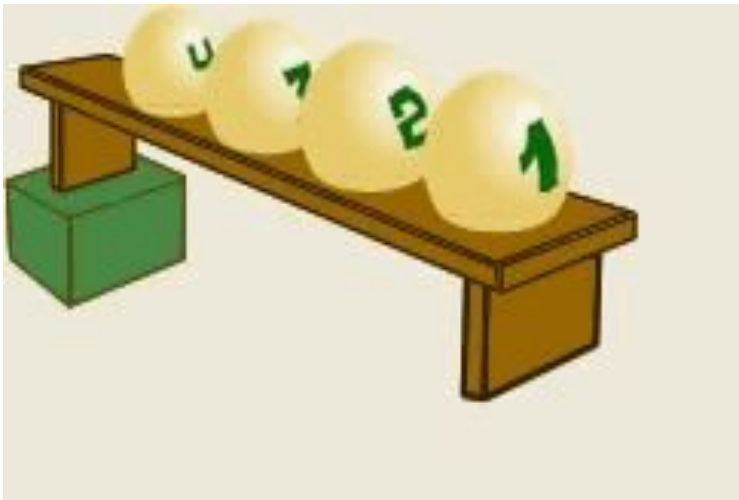
При нагревании полупроводника кинетическая энергия частиц повышается, и наступает разрыв отдельных связей. Некоторые электроны покидают свои орбиты и становятся свободными, подобно электронам в металле. В электрическом поле они перемещаются между узлами решетки, образуя электрический ток. При повышении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

# ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

## ВИДЫ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

### дырочная проводимость

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



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

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

$$n=p$$

Такой тип проводимости называют **собственной проводимостью**

# ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

## ПРИМЕСНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ

При наличии примесей наряду с собственной проводимостью возникает дополнительная — **примесная проводимость**.

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

Носители заряда, определяющие вид проводимости в примесном полупроводнике, называются основными

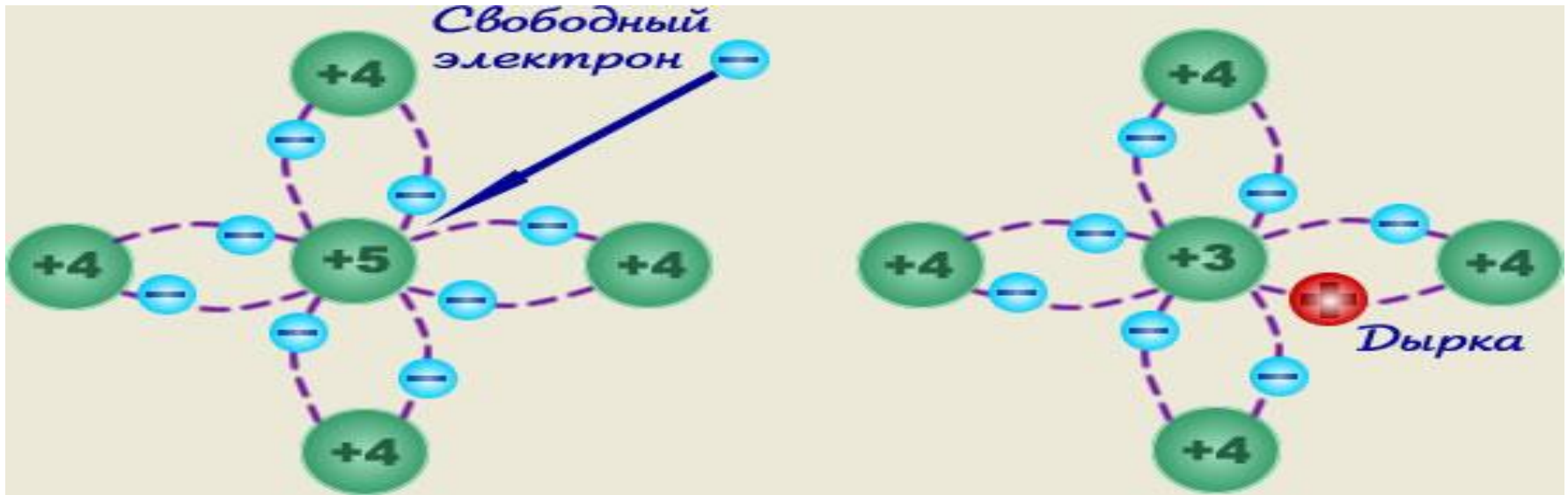
**дырки в p-полупроводнике и**

**электроны в n-полупроводнике**

а носители заряда противоположного знака — неосновными

# ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

## ПРИМЕСНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ



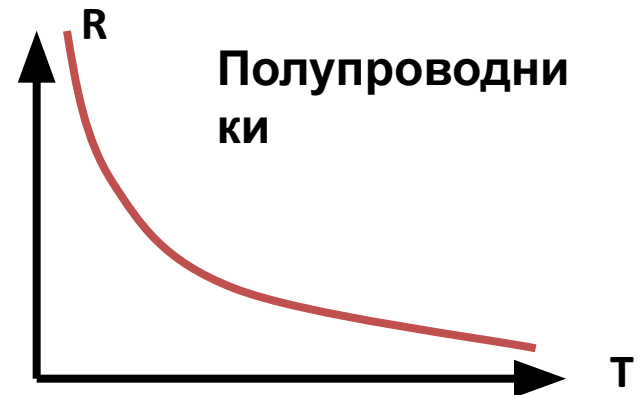
Примеси с большим количеством валентных электронов в атоме (мышьяк, сурьма, фосфор) по сравнению с атомом данного полупроводника вызывают преобладание электронной проводимости (**n-проводимость**) и называется **донорной**

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

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

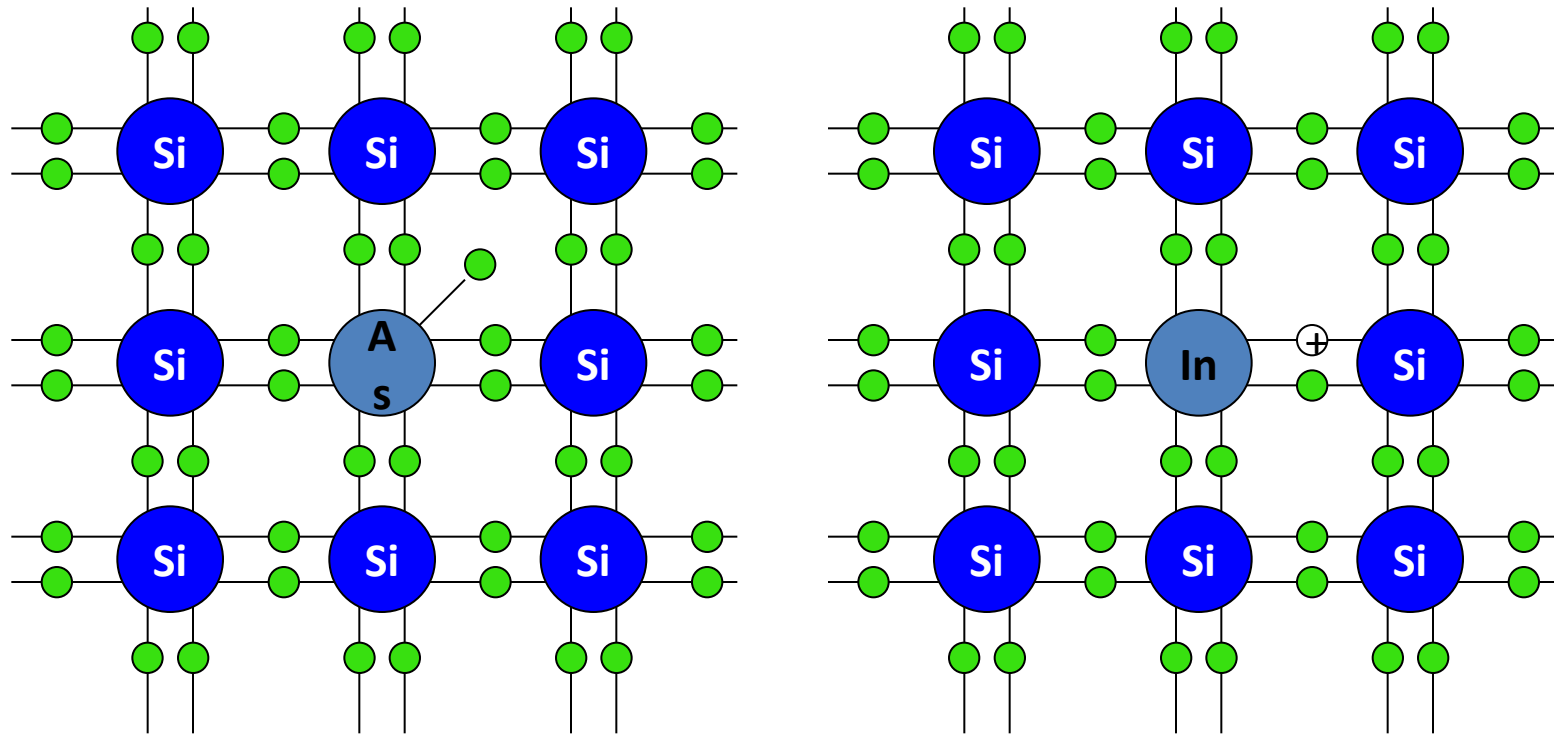
## ПОЛУПРОВОДНИКИ

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



# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ПРИМЕСНАЯ ПРОВОДИМИСТЬ



«Лишние электроны в полупроводниках n-типа и  
«лишние»

дырки в полупроводниках p-типа обеспечивают

**ПРИМЕСНУЮ ПРОВОДИМОСТЬ**

# Фоторезистор, устройство, принцип работы, область

**Фоторезистором называют полупроводниковый прибор, электрическое сопротивление которого меняется под действием светового потока.**

Основной частью фоторезистора является полупроводниковый элемент, снабженный выводами и расположенный так, что на него может падать свет. На диэлектрическую пластину нанесен тонкий слой полупроводника с контактами по краям. Фоторезистор включается в цепь независимо от полярности источника питания.

Принцип действия фоторезистора основан на образовании дополнительного количества подвижных носителей заряда в результате поглощения полупроводником лучистой энергии, вследствие чего уменьшается его сопротивление, т.е. возникает дополнительная электропроводность, называемая фотопроводимостью полупроводника.

Если освещать поверхность полупроводника непрерывно, то число дополнительных носителей заряда будет возрастать до наступления динамического равновесия, когда число вновь появившихся носителей будет равно числу рекомбинировавших. После прекращения освещения избыточные носители рекомбинируют друг с другом и восстанавливается прежняя величина проводимости, характерная для необлучаемого элемента.

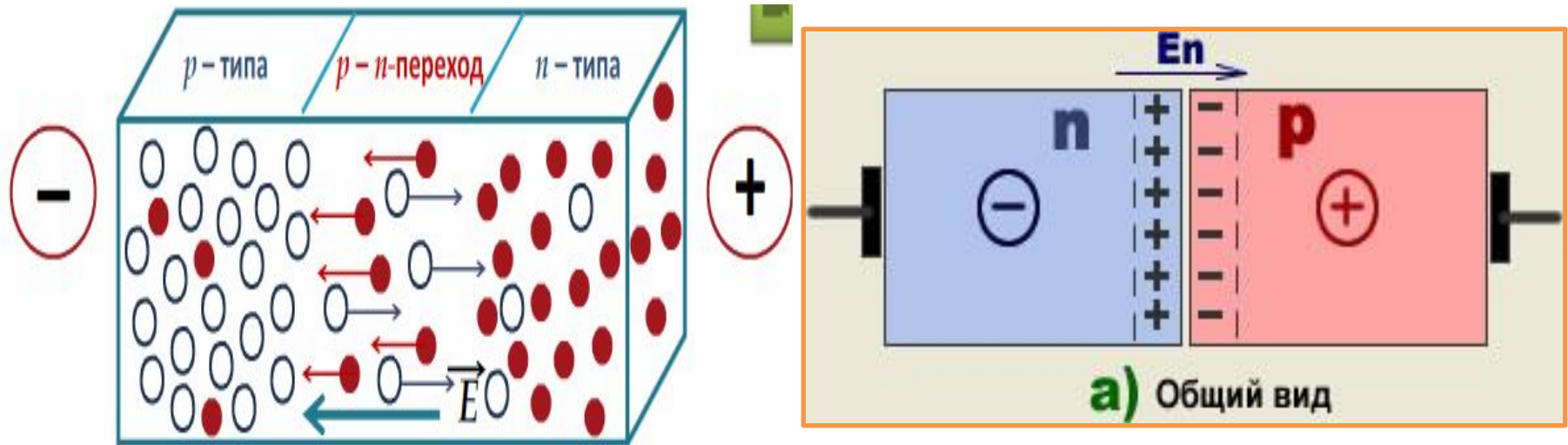
Фоторезисторы широко применяются в качестве элементов оптико-электронных приборов, так как области их спектральной чувствительности хорошо согласуются со спектрами излучения электролюминесцентных конденсаторов и светодиодов.

Обозначение фоторезисторов состоит из букв ФС или СФ (фотосопротивление), за которыми следует буква и цифра, характеризующие состав материала полупроводника и конструктивное оформление (А - PbS, К - CdS, Г - герметизированная конструкция).



# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ЭЛЕКТРОННО - ДЫРОЧНЫЙ



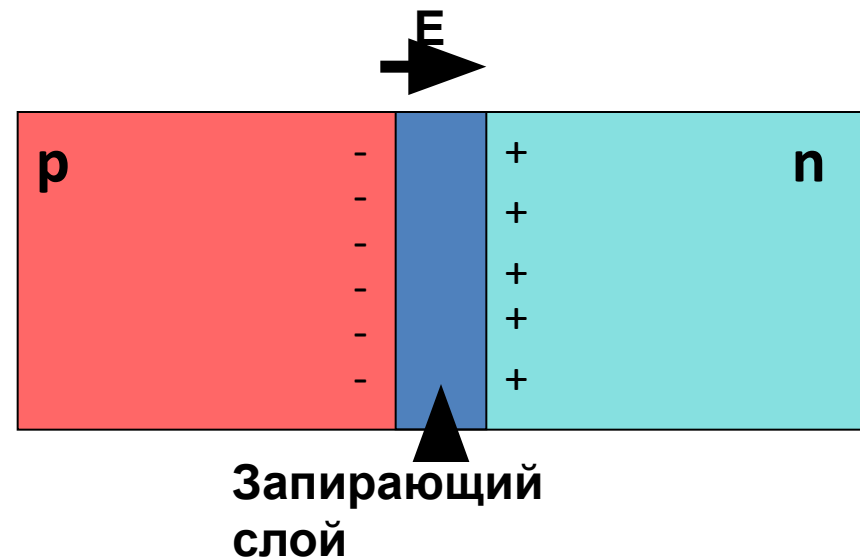
Образуется на границе двух полупроводников с различными типами проводимости

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

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ЭЛЕКТРОННО – ДЫРОЧНЫЙ ПЕРЕХОД

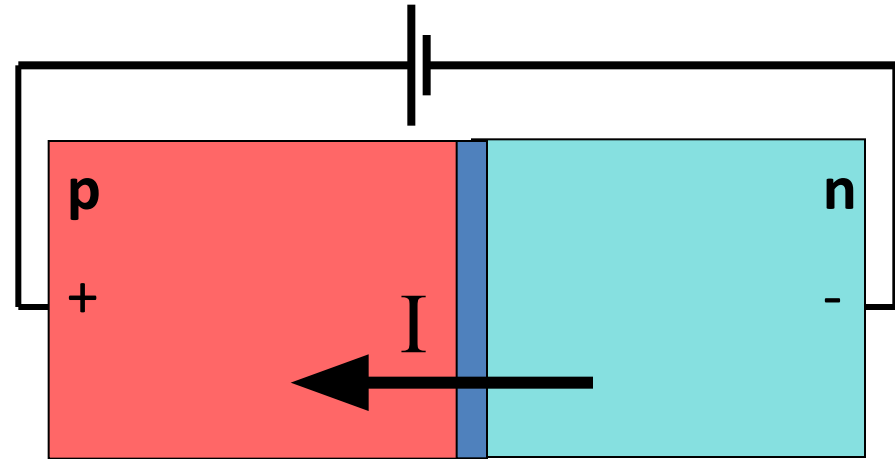
При отсутствии напряжения на краях полупроводника в месте перехода существует собственное поле  $E'$ , зона перехода обеднена носителями заряда и имеет большое сопротивление



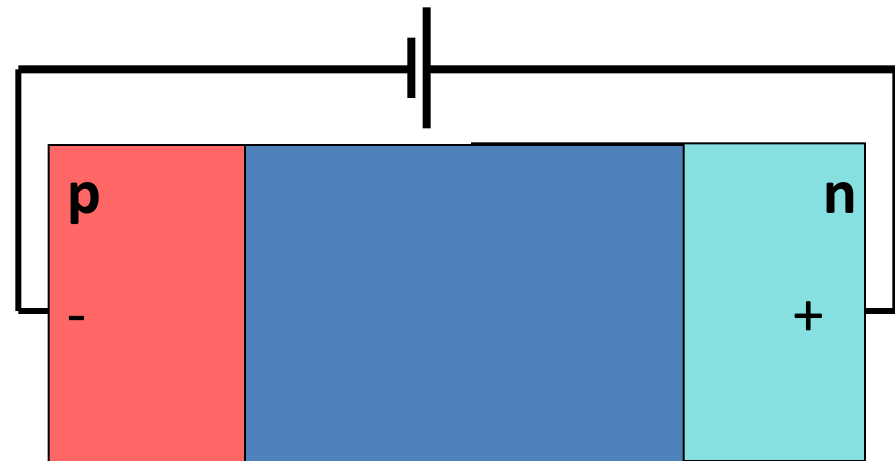
# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ЭЛЕКТРОННО – ДЫРОЧНЫЙ ПЕРЕХОД

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

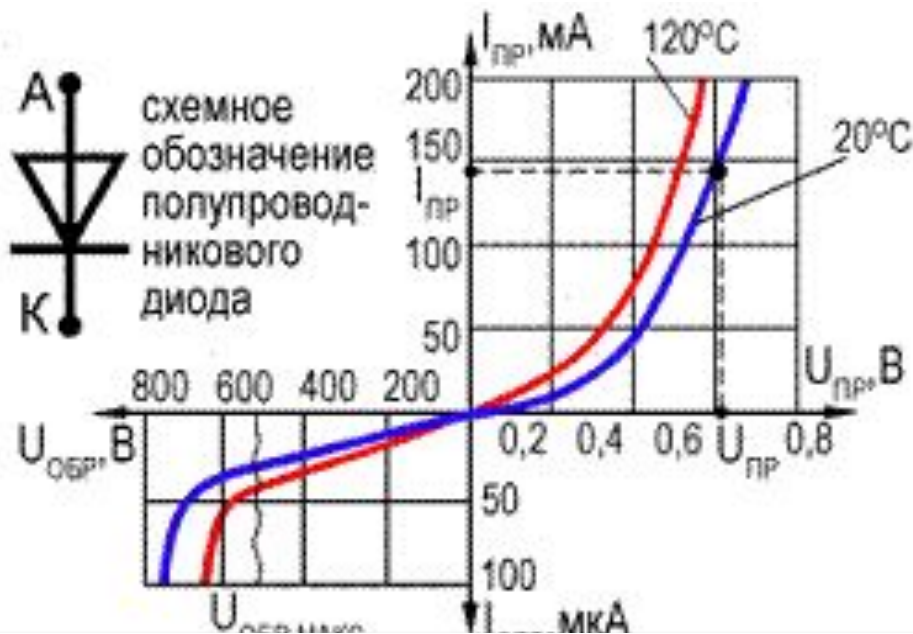


При обратном включении внешнее поле усиливает поле запирающего слоя, запирающий слой увеличивается в размерах. Через полупроводник ток почти не идет.



# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## 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.

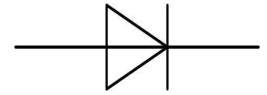
Обратная ветвь ВАХ  $p-n$  перехода определяется обратным током, который сильно возрастает при повышении температуры. Сопротивление перехода возрастает, а ток становится малым так как он создается неосновными носителями заряда.

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.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ДИОД

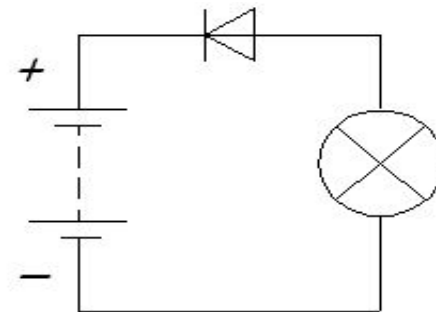
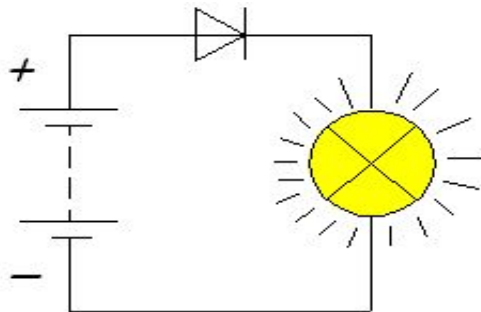


Полупроводниковый прибор с одним р-п переходом. В р-п переходе носители заряда образуются при введении в кристалл акцепторной или донорной примеси.

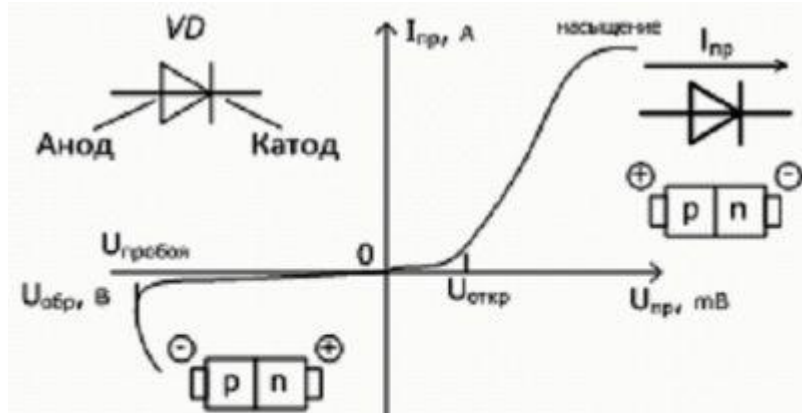
Обладает односторонней проводимостью, т. е. является электрическим вентилем.

Электрические вентили бывают германиевые, кремниевые, селеновые и меднозакисные. Германиевые и кремниевые вентили 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.



Зависимость тока через прибор от приложенного напряжения называется **вольт-амперной характеристикой (ВАХ)** прибора  $I=f(U)$ .



В зависимости от назначения полупроводниковые диоды подразделяют на выпрямительные, универсальные, импульсные, стабилитроны и стабисторы, туннельные и обращенные диоды, светодиоды и фотодиоды.

Односторонняя проводимость определяет выпрямительные свойства диода. При прямом включении («+» на анод и «-» на катод) диод открыт и через него протекает достаточно большой прямой ток. В обратном включении («-» на анод и «+» на катод) диод заперт, но протекает малый обратный ток.

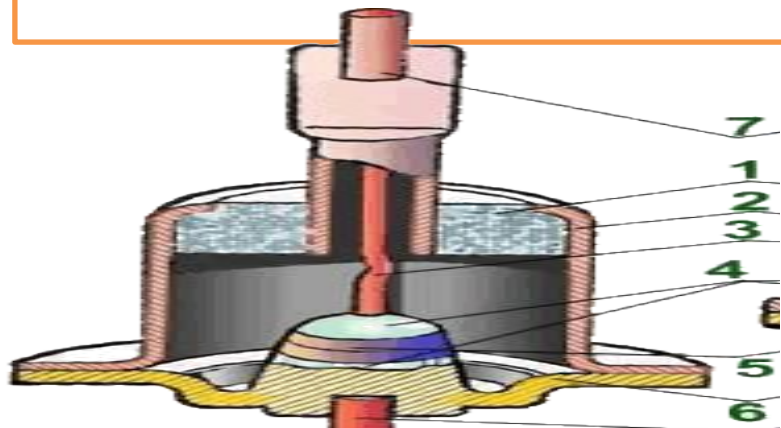
**Выпрямительные диоды** предназначены для преобразования переменного тока низкой частоты (обычно менее 50 кГц) в постоянный, т.е. для выпрямления. Их основными параметрами являются максимально допустимый прямой ток  $I_{пр\ max}$  и максимально допустимое обратное напряжение  $U_{обр\ max}$ . Данные параметры называют предельными – их превышение может частично или полностью вывести прибор из строя.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ДИОД

### ТОЧЕЧНЫЙ

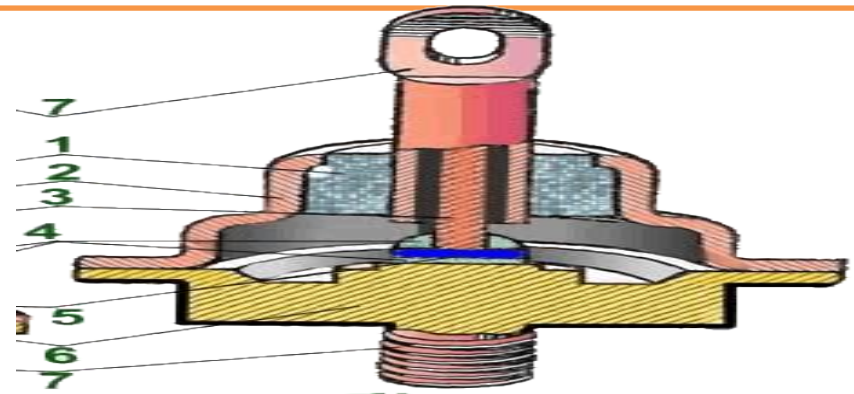
У точечного германиевого диода помещен кристалл германия **5** с электронной проводимостью, в который острием входит контактный пружинящий вывод анода **3**. Под контактным острием в результате специальной термической обработки создается область с дырочной проводимостью.



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

### ПЛОСКОСТНОЙ

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



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



# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## МАРКИРОВКА (ОБОЗНАЧЕНИЕ) ДИОДА

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

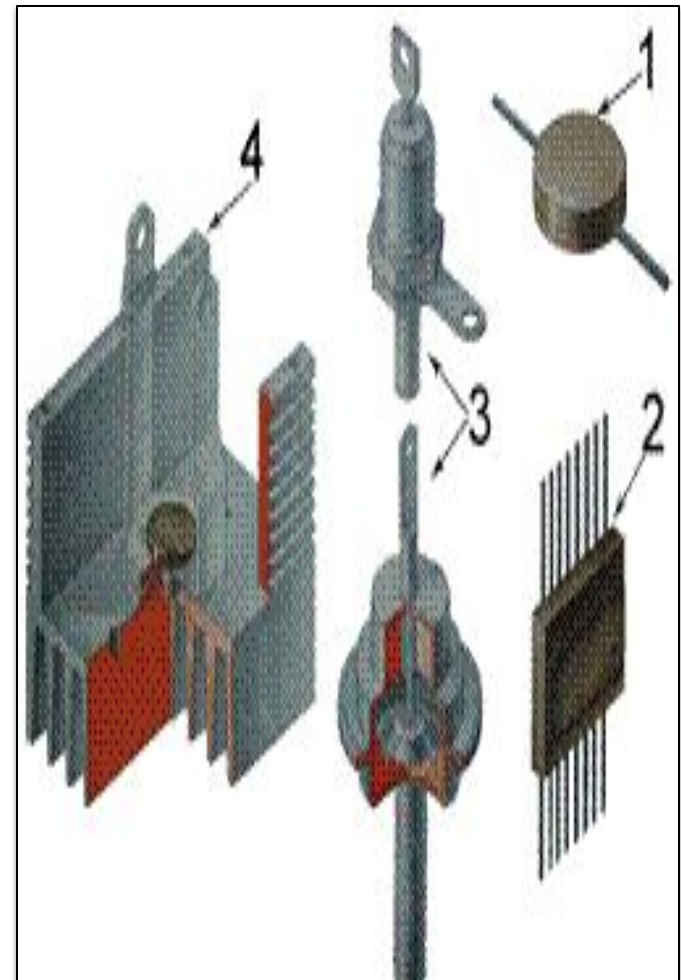
### Третий элемент (назначение прибора)

Выпрямительные 101-399)

Универсальные (401-499)

Импульсные (501-599)

### Четвертый элемент ( классификационная группа приборов)





# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## 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.. Используются для стабилизации напряжения.

### Основными параметрами

$I_{\text{мин}}$ ,  $I_{\text{макс}}$  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.

Устаб.ном - номинальное напряжение стабилизации, обычно от 1 до 200 В;



1-маломощный стабилитрон;  
2-мощный стабилитрон.



Вольт амперная характеристика стабилитрона

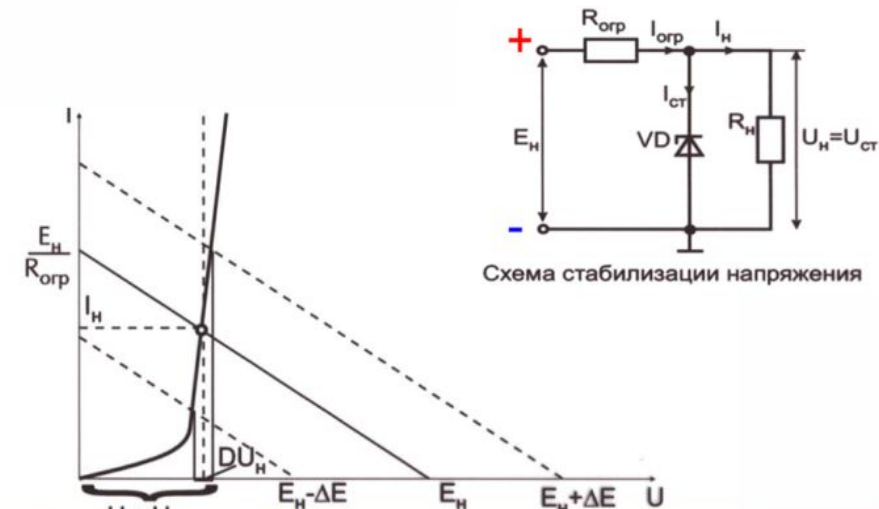
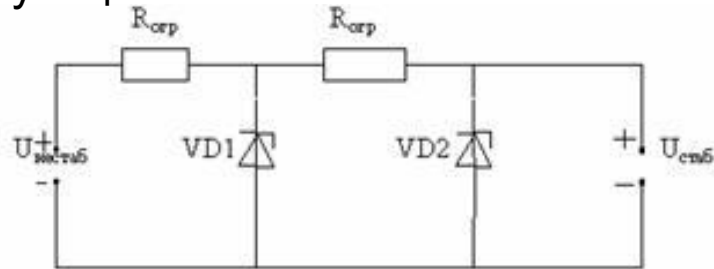


Схема стабилизации напряжения

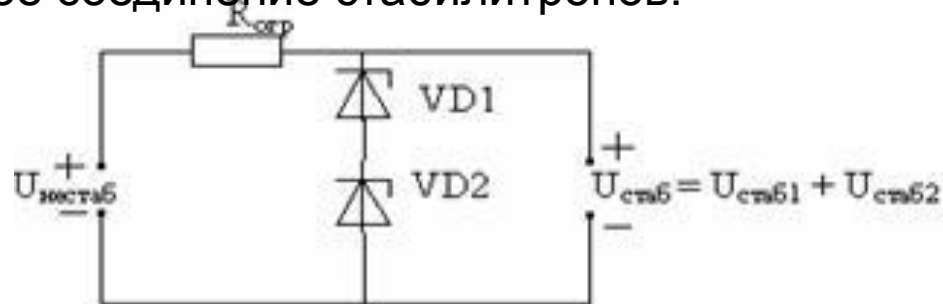
# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## СТАБИЛИТРОН

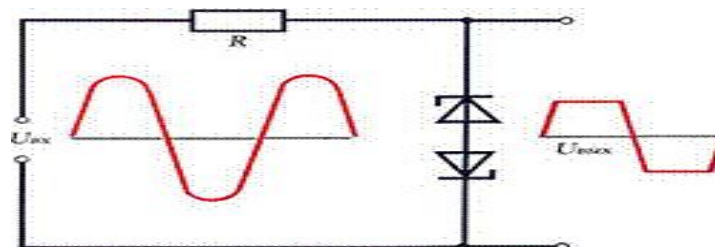
Для повышения коэффициента стабилизации применяется каскадное соединение стабилизирующих ячеек.



. Для увеличения стабилизированного напряжения применяется последовательное соединение стабилитронов.



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



# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ФОТОДИОД

**Простейший фотодиод** представляет собой 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-n-структуре.

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

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

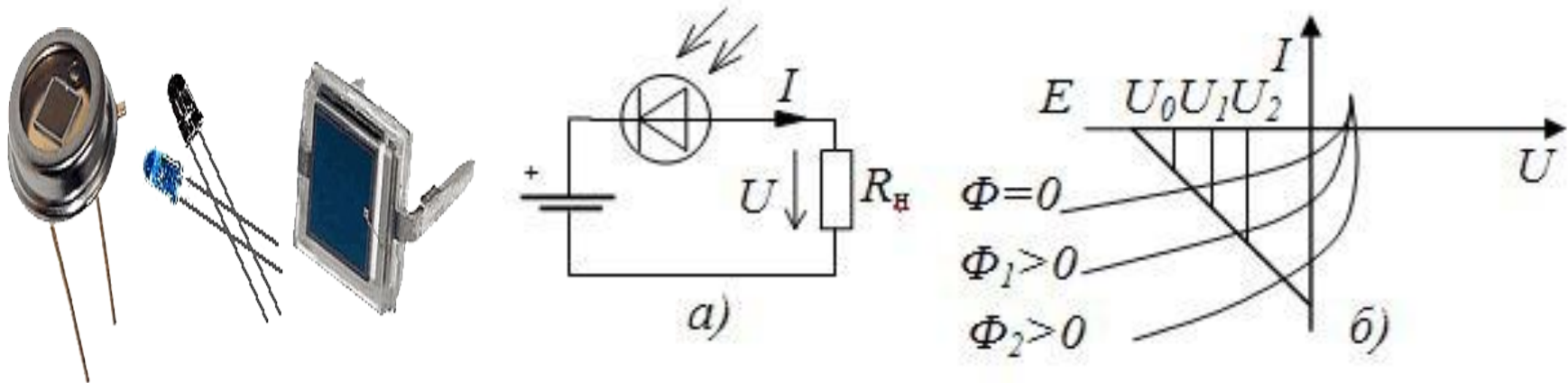
Ток через р–n-переход обусловлен дрейфом неосновных носителей – дырок. Дрейфовый ток фотоносителей называется **фототоком**.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ФОТОДИОД

При работе фотодиода в фотопреобразовательном режиме источник питания  $E$  включается в цепь в запирающем направлении.

Используются обратные ветви ВАХ фотодиода при различных освещенностях .



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.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## СВЕТОДИОД

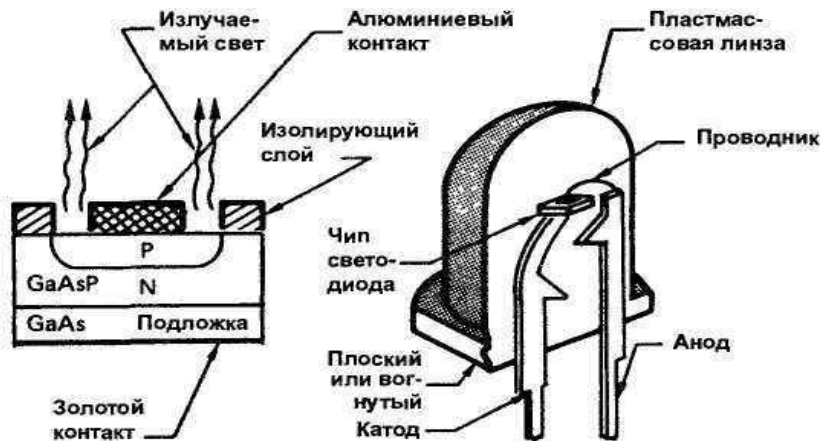
**Светодиодом** называется полупроводниковый прибор, в котором происходит непосредственное преобразование электрической энергии в энергию светового излучения.

При прямом включении основные инжектированные носители заряда переходят через р-п- переход и там рекомбинируют. Рекомбинация связана с выделением энергии.

При обратном включении через р-п-переход рекомбинация и излучение светодиода отсутствуют.

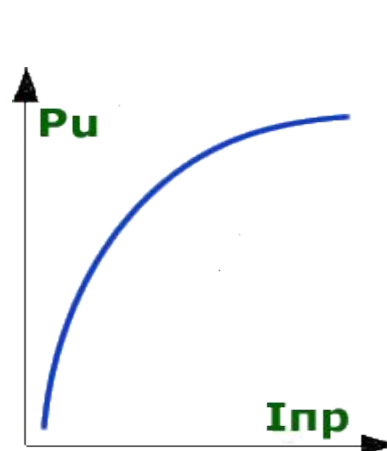
Основные характеристики светодиодов:

- **яркостная** — это зависимость мощности излучения от прямого тока
- **спектральная** — это зависимость мощности излучения от длины волны

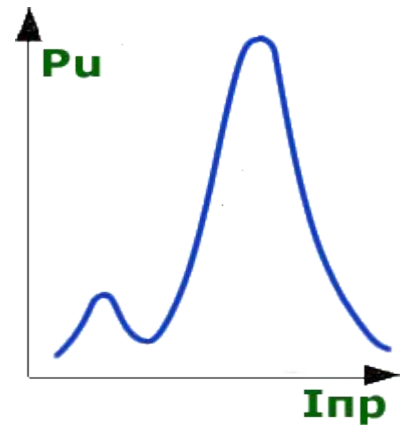


(А) СХЕМА СВЕТОДИОДА

(Б) ВНУТРИ СВЕТОДИОДА



Яркостная характеристика



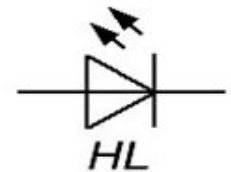
Спектральная характеристика

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## СВЕТОДИОД

- Основные параметры светодиодов:
  - максимально допустимый ток в прямом включении,
  - яркость свечения при прямом максимальном токе,
  - падение напряжения на светодиоде в прямом включении,
  - полная мощность излучения **P<sub>и.max</sub>**,
  - ширина диаграммы направленности.
- . Предельное обратное напряжение (U<sub>обр</sub>) может достигать 100 В. Максимальный ток (I<sub>max</sub>) будет ограничиваться для простых диодов порядка 50 мА. Поэтому при подключении обычного диода необходимо последовательно подключать резистор.

$$R = \frac{U_{п} - U_{раб}}{I_{раб}}$$



Светодиод (VD) подключается последовательно с резистором (R), образуя с ним делитель напряжения. Также резистор можно рассматривать как элемент, обеспечивающий номинальный рабочий ток светодиода. Для расчета величины его сопротивления необходимо знать:

1. падение напряжения на светодиоде ( $U_{vd}$ ),
2. рабочий ток ( $I_{раб}$ ).

эти значения следует брать из паспорта светодиода, пример

- 12 Вольт (В) и 15 миллиАмпер (мА) соответственно.

$$R = U/I = (U_{пит} - U_{vd}) / I_{раб} = (U_{пит} - 2) / 15$$

ток в мА, поэтому сопротивление получится в килоОмах (кОм).

.При напряжении 12 В сопротивление резистора будет:

$$R = (12 - 2) / 15 = 0,666 \text{ кОм.}$$
 Ближайшее по ряду, 0,68 кОм или 680 ом.

Округлять надо в большую сторону.



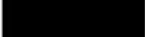












Кроме того, надо определить мощность, рассеиваемую резистором:

$P = I * U = I^2 * R = 15^2 * 0,68 = 153$ . Ток в мА, сопротивление в кОм, мощность в миллиВаттах (мВт). Ближайшая по ряду, округленная в большую сторону мощность резистора составляет 0,250 Вт.



# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## СВЕТОДИОД

Длина волны, нм	Название цвета	Пример цвета
более 1100	Инфракрасный	
770-1100	Длинноволновая ближняя часть ИК-диапазона(NIR)	
770-700	Коротковолновая ближняя часть ИК-диапазона(NIR)	
700-640	Красный	
640-625	Красно-оранжевый	
625-615	Оранжевый	
615-600	Янтарный	
600-585	Желтый	
585-555	Желто-зеленый	
555-520	Зеленый	
520-480	Зелено-голубой	
480-450	Синий	
450-430	Индиго	
430-395	Фиолетовый	
395-320	Ультрафиолетовый-А	
320-280	Ультрафиолетовый-В	
280-100	Ультрафиолетовый-С	

Цветовая хар ка	Длина волны	Напряжение
Инфракрасные	от 760 нм	до 1.9 В
Красные	610 - 760 нм	от 1.6 до 2.03 В
Оранжевые	590 - 610 нм	от 2.03 до 2.1 В
Желтые	570 - 590 нм	от 2.1 до 2.2 В
Зеленые	500 - 570 нм	от 2.2 до 3.5 В
Синие	450 - 500 нм	от 2.5 до 3.7 В
Фиолетовые	400 - 450 нм	2.8 до 4 В
Ультрафиолет	до 400 нм	от 3.1 до 4.4 В
Белые	Широкий спектр	от 3 до 3.7 В

Светодиоды широко используют в устройствах индикации, в качестве оптических передатчиков излучения в оптронах и для передачи информации по оптоволоконным линиям связи. Некоторые светодиоды, предназначенные для использования в устройствах индикации, содержат в корпусе несколько полупроводниковых переходов, излучение которых имеет разные длины волн и направлено на одну линзу. Такие светодиоды могут быть двух-, трехцветными и др



# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## СВЕТОДИОД

### **Достоинства:**

1. Светодиоды не имеют стеклянных колб и нитей накаливания, что обеспечивает высокую механическую прочность
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 лампы накаливания по сравнению со светодиодами составляет примерно 100 ра
2. Малый световой поток от одного элемента
3. Деградация параметров светодиодов со временем
4. Повышенные требования к питающему источнику

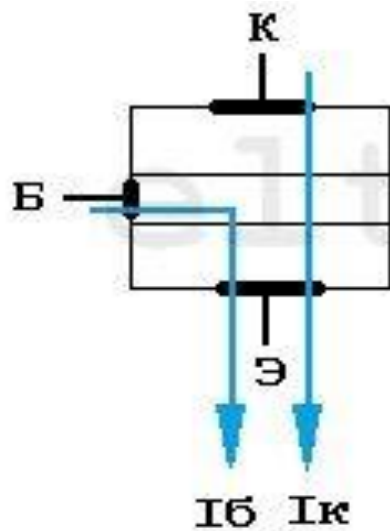
# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ТРАНЗИСТОРЫ

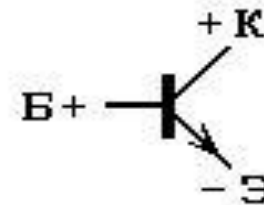
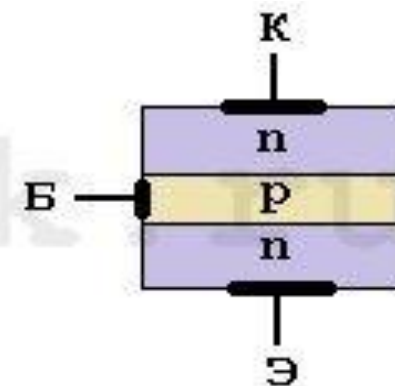
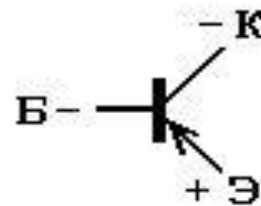
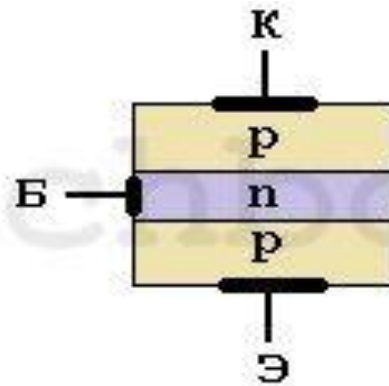
Технология изготовления транзисторов определяет основные их типы:

- биполярные,  
полевые

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



1.



2.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

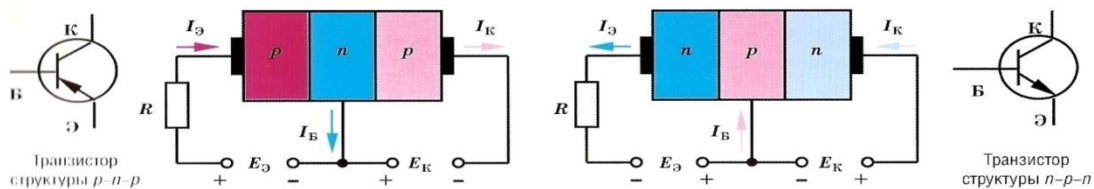
## ТРАНЗИСТОРЫ БИПОЛЯРНЫЕ

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 проводимостью - транзисторами **p-n-p** - типа.

### БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Структура биполярного транзистора

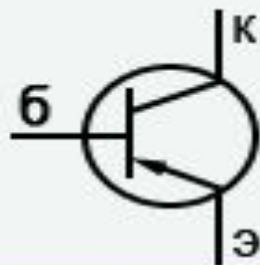
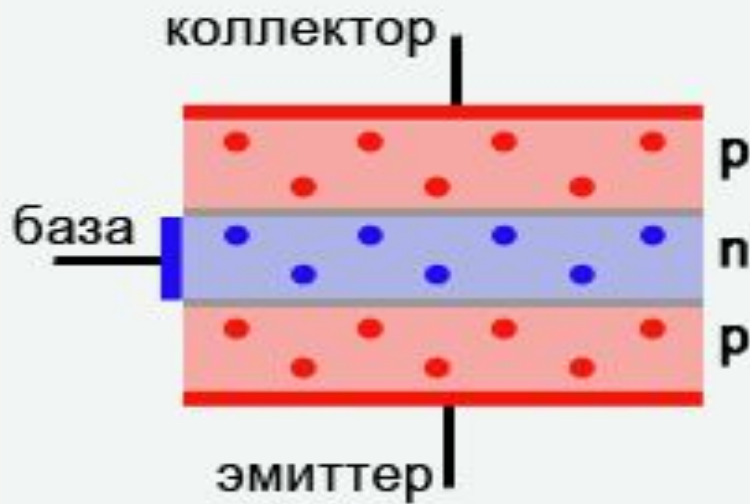


Биполярный транзистор в ключевом режиме

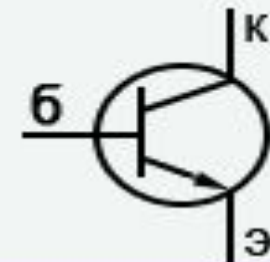
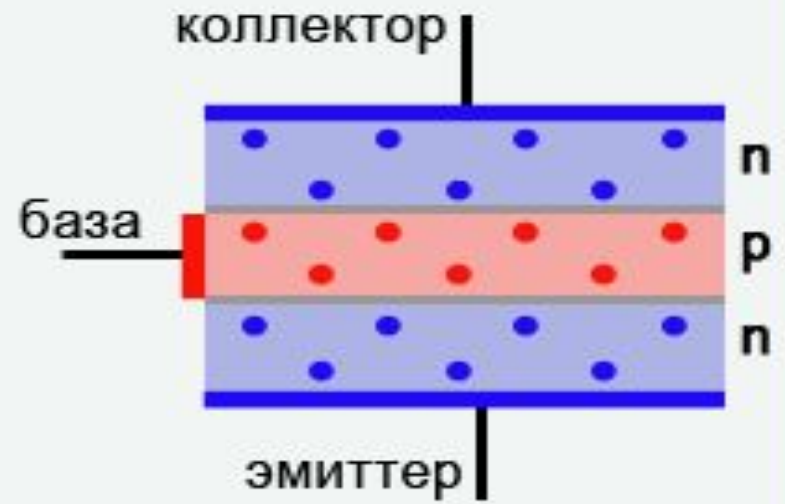
Смежные области, отделенные друг от друга **p-n**-переходами, называются **эмиттером Э**, **базой Б** и **коллектором К**.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Транзистор структуры **р-п-р**

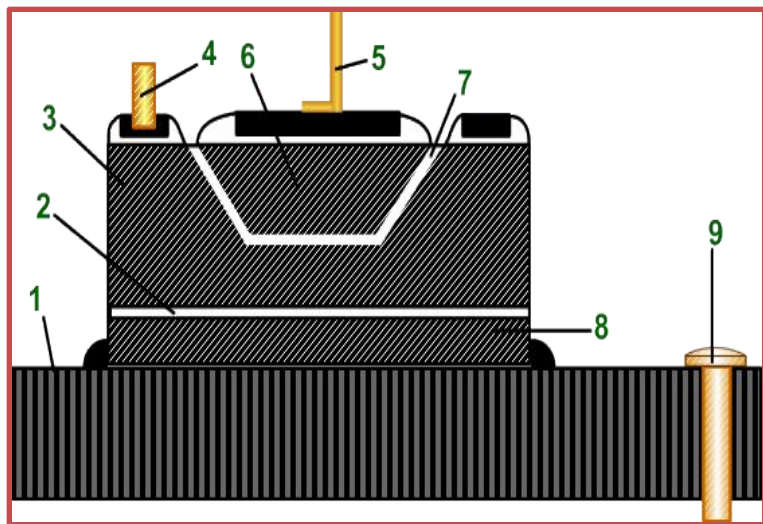


Транзистор структуры **п-р-п**



# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

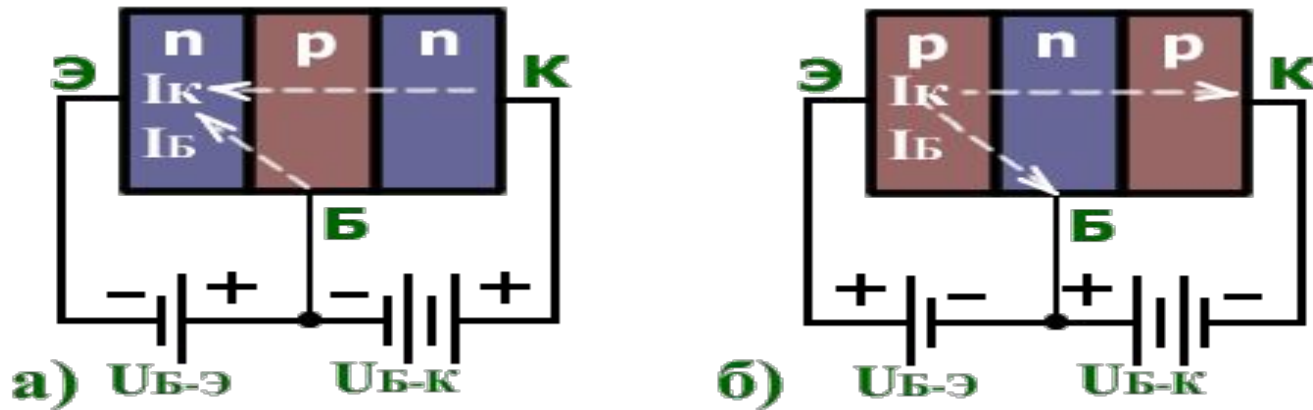
## Устройства плоскостного германиевого транзистора типа р-п-р



Основой биполярного транзистора является кристалл полупроводника р- или п- типа проводимости, который так же, как и вывод от него, называется **базой (3)**. Диффузией примеси или сплавлением с двух сторон от базы образуются области, с противоположным от базы, типом проводимости. Область, имеющую большую площадь р-п- перехода, и одноименный вывод от неё ( коллекторный вывод-4) называют **коллектором (8)**. Область, имеющую меньшую площадь р-п- перехода, и соответствующий вывод эмиттерный вывод 7) от нее называют **эмиттером (6)**. р-п- переход между коллектором и базой называют **коллекторным (2)**, а между эмиттером и базой — **эмиттерным (7)**.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ПРИНЦИП РАБОТЫ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ



При подаче напряжения смещения на базу. Переход база—эмиттер (или просто эмиттерный переход) транзистора смещен в прямом направлении напряжением  $U_{Б-Э}$ , поэтому электроны из области эмиттера перетекают через этот переход в область базы, создавая ток  $I_{Б}$ . Это обычный прямой ток p-n-перехода, смещенного в прямом направлении.

Как только электроны попадают в область базы, они начинают испытывать притяжение положительного потенциала коллектора. Если область базы сделать очень узкой, то почти все эти электроны пройдут через нее к коллектору, и только очень малая их часть соберется базой, формируя базовый ток  $I_{Б}$ . Фактически более 95 % всех электронов эмиттерного тока  $I_{Э}$  собирается коллектором, формируя коллекторный ток  $I_{К}$  транзистора. Таким образом,

$$I_{Э} = I_{Б} + I_{К}.$$

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## МАРКИРОВКА ТРАНЗИСТОРА

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** —

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## 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.

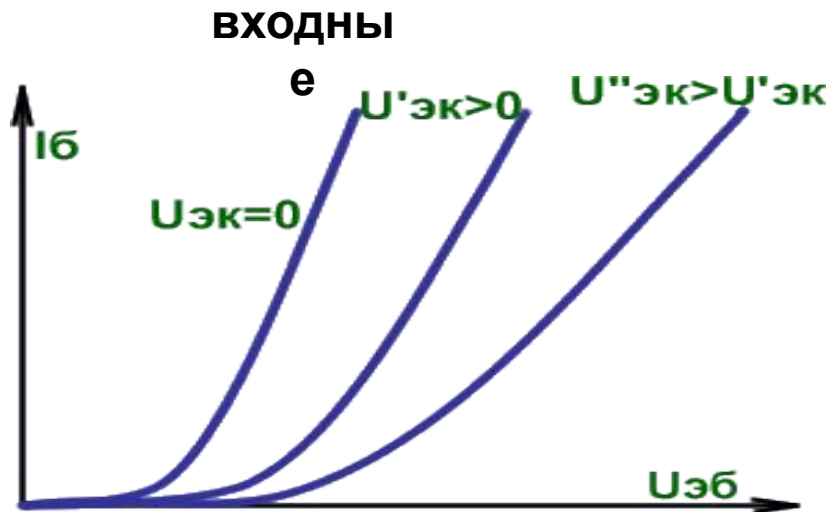
**Режим насыщения** - оба р-п перехода смещены в прямом направлении (оба открыты).

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

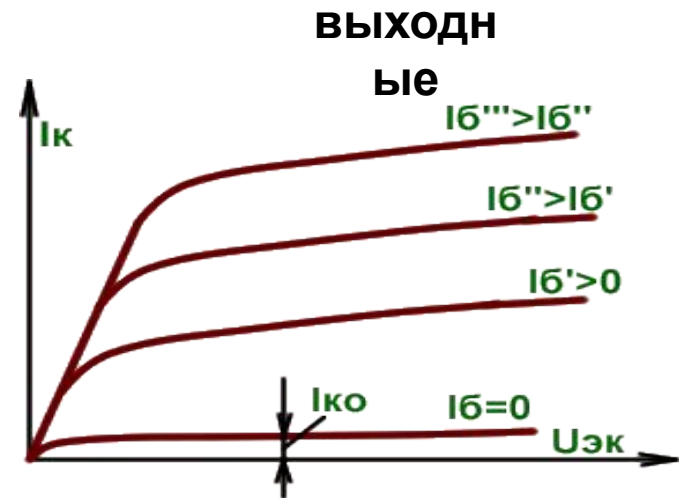


# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРА ТИПА p-n-p ВКЛЮЧЕННОГО ПО СХЕМЕ С ОБЩИМ ЭММИТОРОМ



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.  $I_k = f(U_{эк})$  при  $I_b = \text{const}$ .

## Работа транзистора в ключевом режиме

замкнуть выводы базы и эмиттера пусть даже и не накоротко, а через резистор в несколько КОм. Получается, что напряжение база – эмиттер ( $U_{бэ}$ ) равно нулю. Следовательно, нет и тока базы. Транзистор закрыт, коллекторный ток пренебрежительно мал. Примерно такой же, как у диода в обратном направлении! В этом случае говорят, что транзистор находится в состоянии ОТСЕЧКИ, что на обычном языке значит, закрыт или заперт.

Противоположное состояние называется НАСЫЩЕНИЕ. Это когда транзистор открыт полностью, так, что дальше открываться уже некуда. При такой степени открытия сопротивление участка коллектор эмиттер настолько мало, что включать транзистор без нагрузки в коллекторной цепи просто нельзя, сгорит моментально. При этом остаточное напряжение на коллекторе может составить всего 0,3...0,5В.

Чтобы довести транзистор до такого состояния, надо обеспечить достаточно большой ток базы, подав на нее относительно эмиттера большое напряжение  $U_{бэ}$ , - порядка 0,6...0,7В Для перехода база-эмиттер такое напряжение без ограничительного резистора очень велико.

Эти два состояния – насыщение и отсечка, используются в том случае, когда транзистор работает в ключевом режиме наподобие обычного контакта реле. Основной смысл такого режима в том, что малый ток базы управляет большим током коллектора, который в несколько десятков раз больше тока базы. Большой ток коллектора получается за счет внешнего источника энергии

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

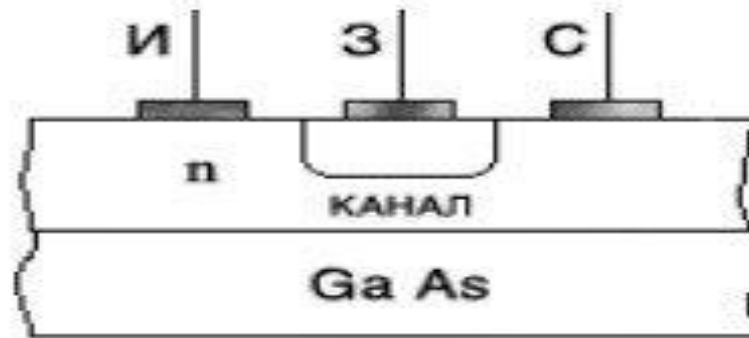
## ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

**Полевым транзистором называется полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал, управляемый электрическим полем.**

В полевых транзисторах работа прибора основана на использовании носителей заряда одного знака: или только электронов, или только дырок, поэтому эти транзисторы называют иногда *униполярными*

Полевыми транзисторы называются потому, что работа прибора управляется электрическим полем (а не током, как в биполярных транзисторах). Обратный ток р-п перехода мал и слабо зависит от значения приложенного напряжения. Следовательно, в отличие от биполярных транзисторов, управляемых входным током, полевые транзисторы управляются входным напряжением. Это одно из их преимуществ по сравнению с биполярными транзисторами.

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

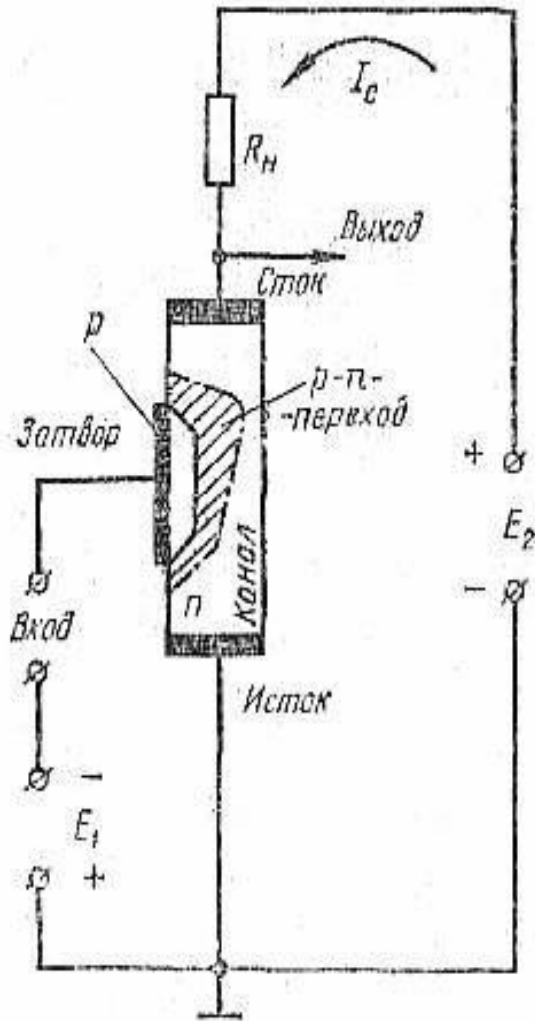


Электрод полевого транзистора, на который подается электрический сигнал» используемый для управления величиной тока, протекающего через канал, называют затвором. Сопротивление этого канала зависит от величины напряжения, приложенного к затвору, значит ток, протекающий от истока к стоку ( $I_c$ ) зависит от напряжения между затвором и истоком.

1. В зависимости от проводимости кристалла различают полевые приборы с р каналом и n каналом.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## УСТРОЙСТВО ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА



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. Запирающий слой, почти полностью лишен подвижных носителей заряда, его проводимость близка к нулю.

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.

В зависимости от вида управляющего электрического поля различают основные группы полевых транзисторов: с управляющим  $p$ - $n$  переходом и с изолированным затвором. В первой группе для управления сопротивлением канала используют поле  $p$ - $n$  перехода, во второй — поле в диэлектрике, расположенном между слоями металла и полупроводника.

В зависимости от типа электропроводности канала различают полевые транзисторы с каналом  $p$  или  $n$  типа.



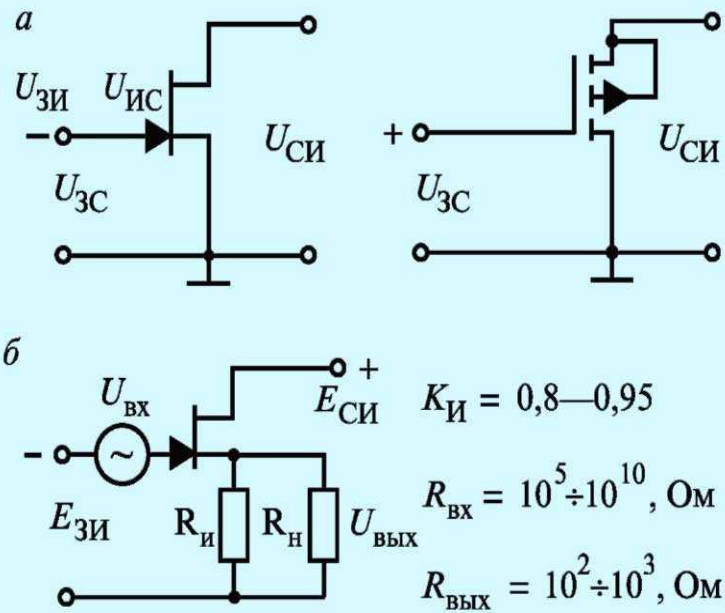


Рис. 3.29. Схема включения полевого транзистора с общим стоком (ОС) и его основные параметры: *a* — статический режим; *б* — режим нагрузки

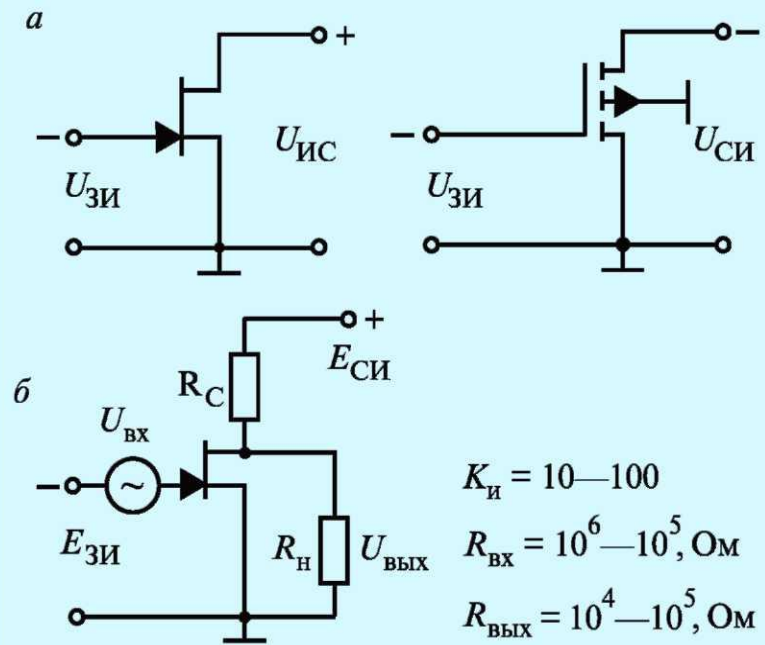


Рис. 3.30. Схемы включения полевого транзистора с общим истоком (ОИ) и его основные параметры: *a* — статический режим; *б* — режим нагрузки



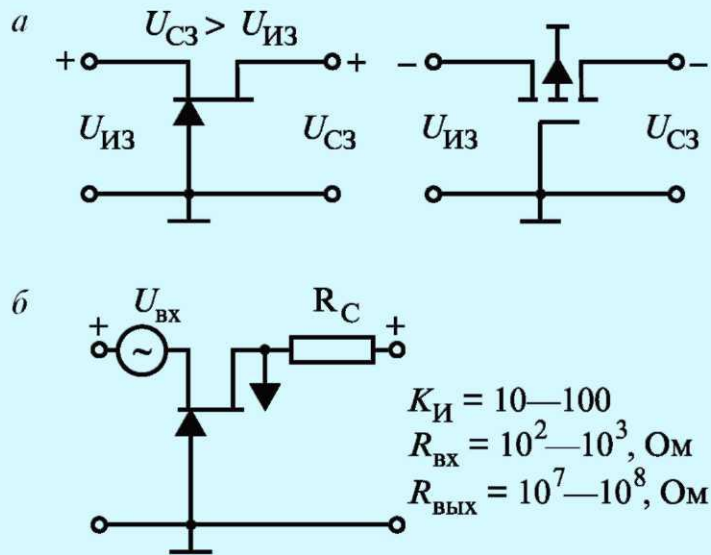


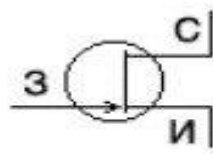
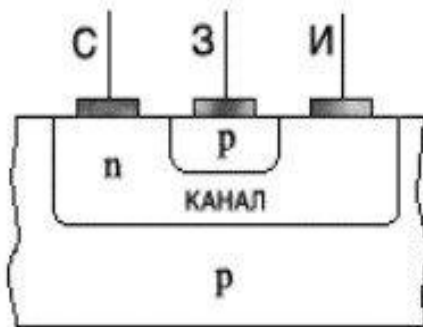
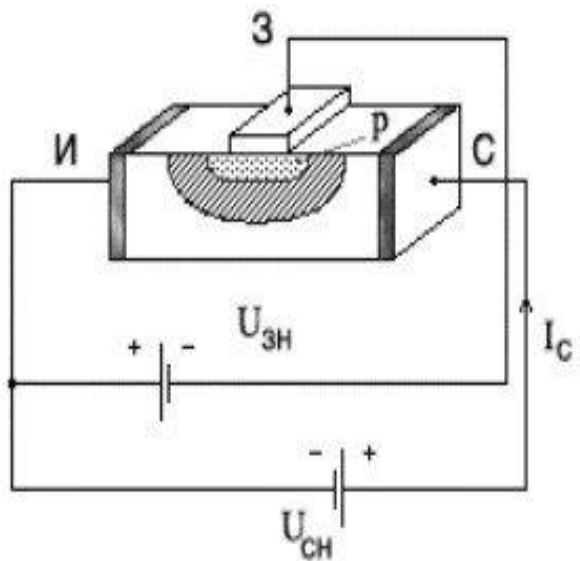
Рис. 3.31. Схема включения полевого транзистора с общим затвором (ОЗ) и его основные параметры:  
*a* — статический режим; *б* — режим нагрузки

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ТИПЫ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

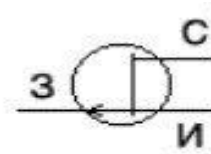
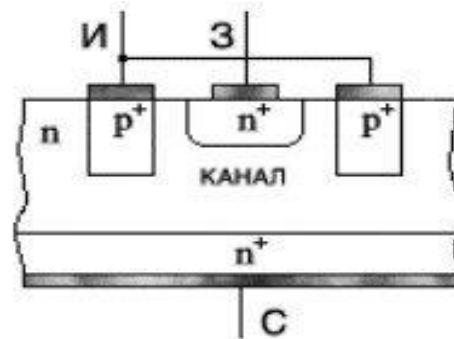
- с управляющим р-п-переходом;
- со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП)

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.



Канал:

n-типа



р-типа

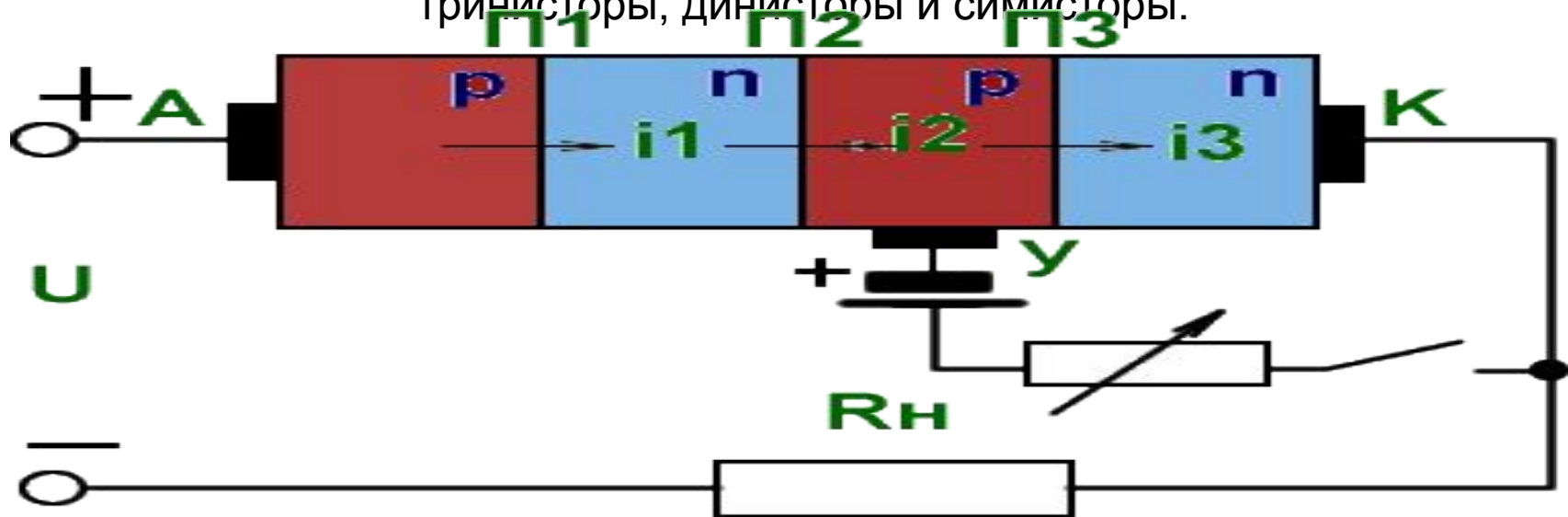
# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ТИРИСТОР

**Тиристор** — 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.

Тиристор — это управляемый диод. Тиристоры подразделяются на триаисторы, динисторы и симисторы.

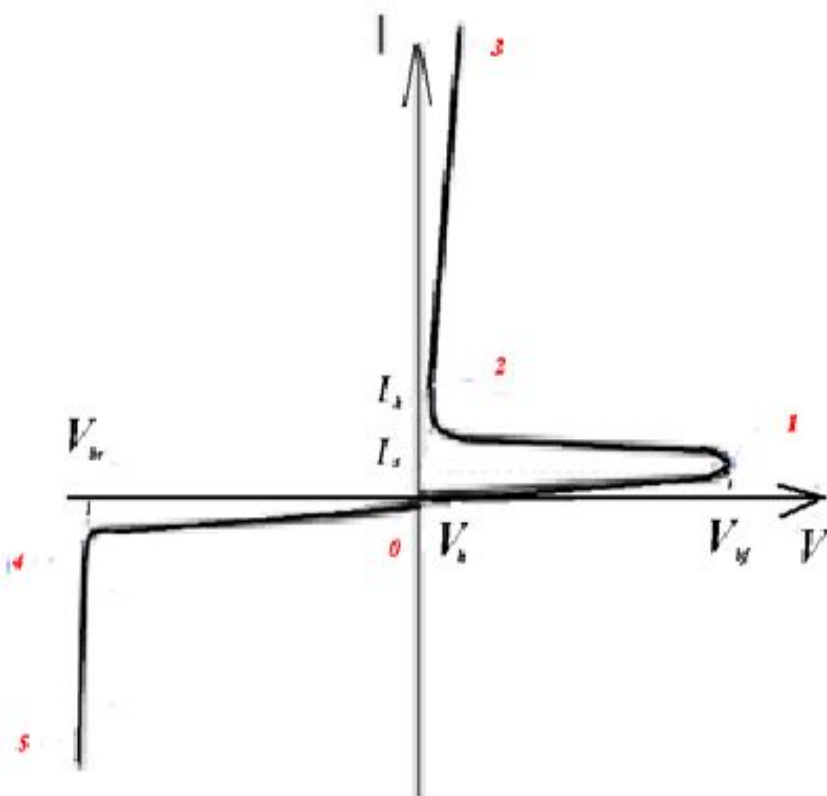


# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ДИНИСТОР

Динистор — это двухэлектродный прибор диодного типа, имеющий три  $p$ - $n$  перехода. Крайняя область называется анодом. Другая крайняя область  $n$ —катодом катодом.

### ВОЛЬТ – АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА



- 0 - 1 участок, высокого сопротивления прибора — прямое запираение.
- 1 - включение тиристора.
- 1-и 2 участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

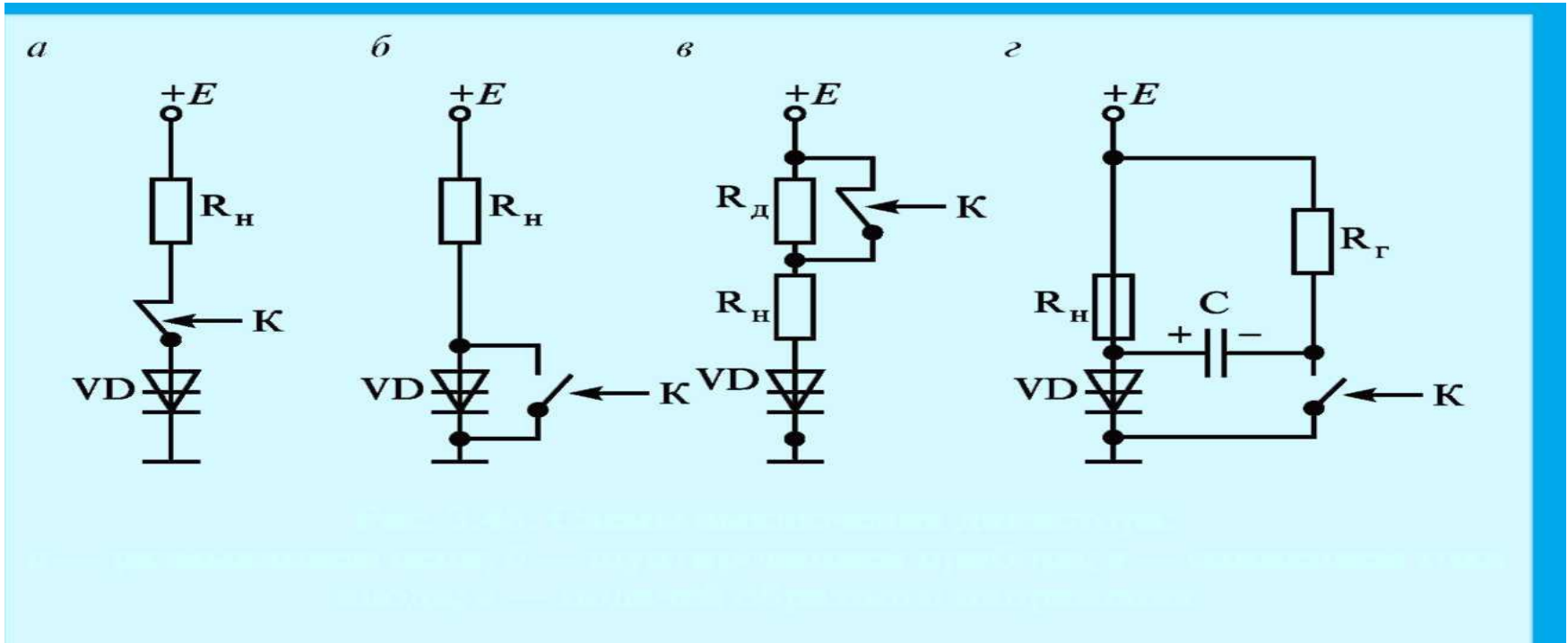
2 - 3 открытое состояние (прямая проводимость).

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

0- 4 описывает режим обратного запираения прибора.

4 - 5 — режим обратного пробоя

## Схемы выключения динистора



∴ *a* — размыканием цепи; *б* — шунтированием прибора; *в* — снижением тока анода; *г* — подачей обратного напряжения

. Недостаток динистора в том, что нельзя изменять напряжение включения.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ТРИНИСТОР

В триносторе 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 триностор отличается только наличием управляющего электрода.

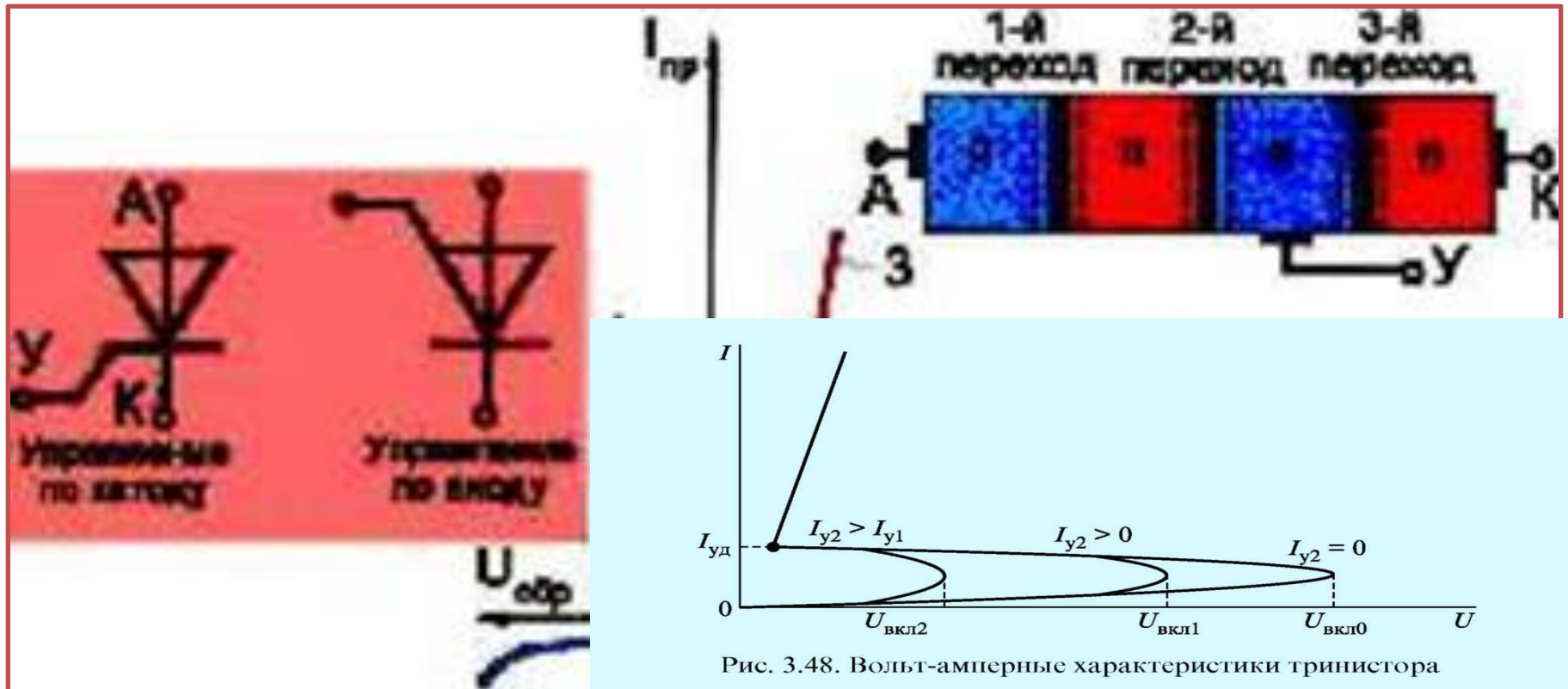
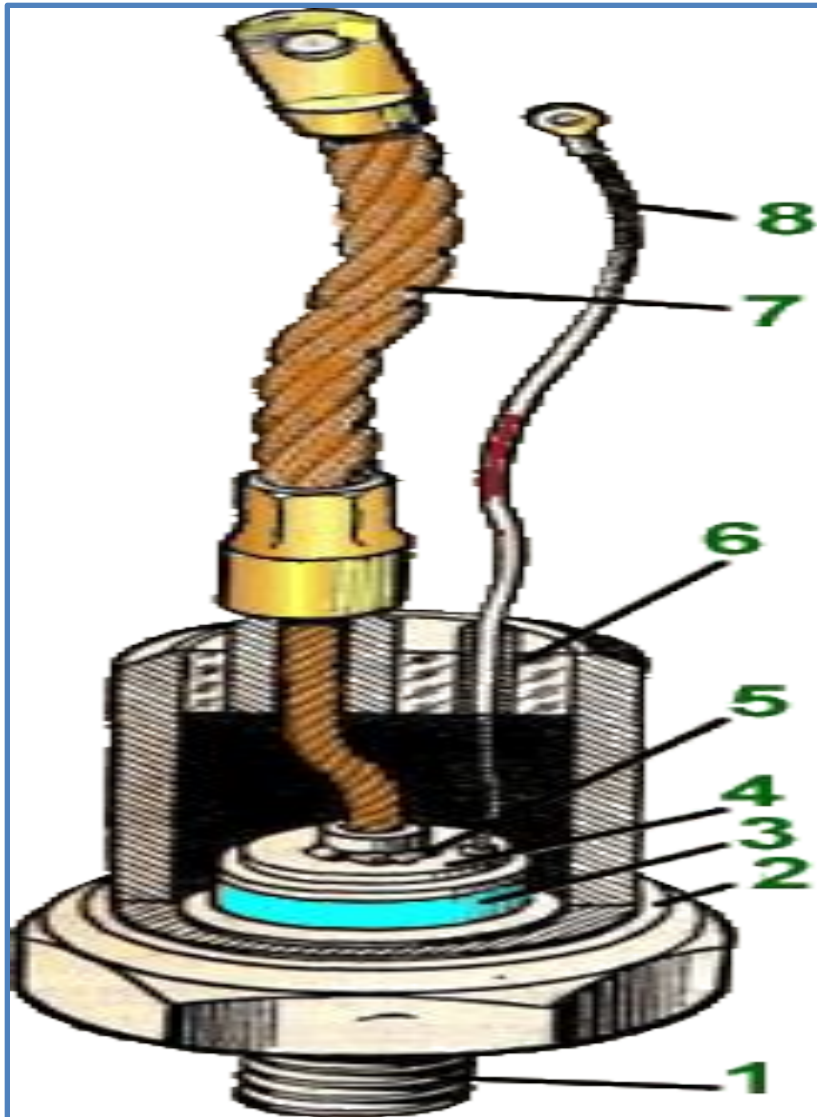


Рис. 3.48. Вольт-амперные характеристики триностора

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## УСТРОЙСТВО ТИРИСТОРА



Тиристор:

1 - вывод катода,

2 - корпус,

3 -

кристаллодержатель,

4 - кристаллическая  
структура,

5 - припой,

6 - изолятор,

7 - вывод анода,

8 - вывод

управляющего  
электрода

Перевод тиристора из закрытого состояния в открытое осуществляется подачей сигнала на управляющий электрод. Существует несколько методов управления тиристорами: амплитудный, фазовый, широтно-импульсный.

**Амплитудный** метод управления основан на зависимости напряжения переключения тиристора  $U_n$  от величины тока управления. При этом увеличение тока управления  $I_y$  приводит к уменьшению напряжения переключения, то есть каждому уровню тока управления соответствует определенный уровень анодного напряжения  $U_n$ , при котором включается тиристор. К недостаткам амплитудного метода управления следует отнести, во-первых, неоднозначность характеристик вход-выход (зависимость выходного напряжения от величины сигнала управления) тиристорного усилителя, обусловленную значительным разбросом входных характеристик тиристорных устройств и их существенной зависимостью от температуры, и во-вторых, увеличенные потери в тиристоре за счет протекания тока через управляющий переход в течение всего периода питающего напряжения.

Этот способ управления тиристором используется только при питании усилителя переменным током и находит весьма ограниченное применение из-за отмеченных недостатков



**Фазовый** метод управления основан на изменении фазы управляющего сигнала относительно фазы питающего анодную цепь тиристора переменного напряжения. Этот метод можно подразделить на **амплитудно-фазовый**, при котором на управляющий электрод тиристора подается синусоидальное напряжение, фаза которого изменяется относительно фазы питающего (анодного) напряжения, и **фазоимпульсный**, в, когда тиристор открывается импульсом тока с регулируемой фазой. При первом способе управления процессы открытия тиристора полностью аналогичны процессам, происходящим при амплитудном управлении, но при этом диапазон регулирования существенно расширяется.

Более рациональным является фазоимпульсное управление, обеспечивающее наилучшие энергетические характеристики тиристорных усилителей.

При этом способе управления в качестве управляющего сигнала используются импульсы, длительность которых, как правило, не превышает полупериода питающего напряжения. Учитывая, что время включения тиристора мало, для управления им используют обычно кратковременные импульсы длительностью от нескольких единиц до сотен микросекунд. Амплитуда управляющих импульсов тока должна превышать ток управления спрямления  $I_{y.c.}$

Изменяя фазу управляющих импульсов в пределах  $0 < \alpha < \pi$ , регулируют напряжение в нагрузке от максимального значения до нуля. При этом методе управления полностью исключается влияние разброса входных параметров тиристора, температуры окружающей среды и р-п переходов, а также формы питающего напряжения на характеристики вход-выход усилителя. К достоинствам фазового метода управления следует отнести также малые потери в управляющем переходе тиристора благодаря кратковременности управляющего импульса. Этот метод получил наибольшее распространение в тиристорных усилителях любой мощности.

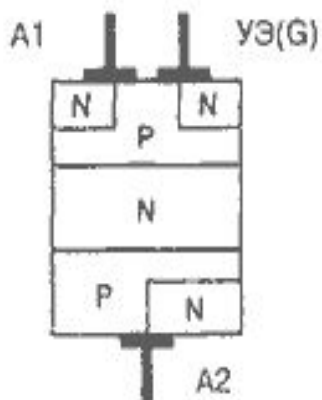
# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## 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  $I_y$ .

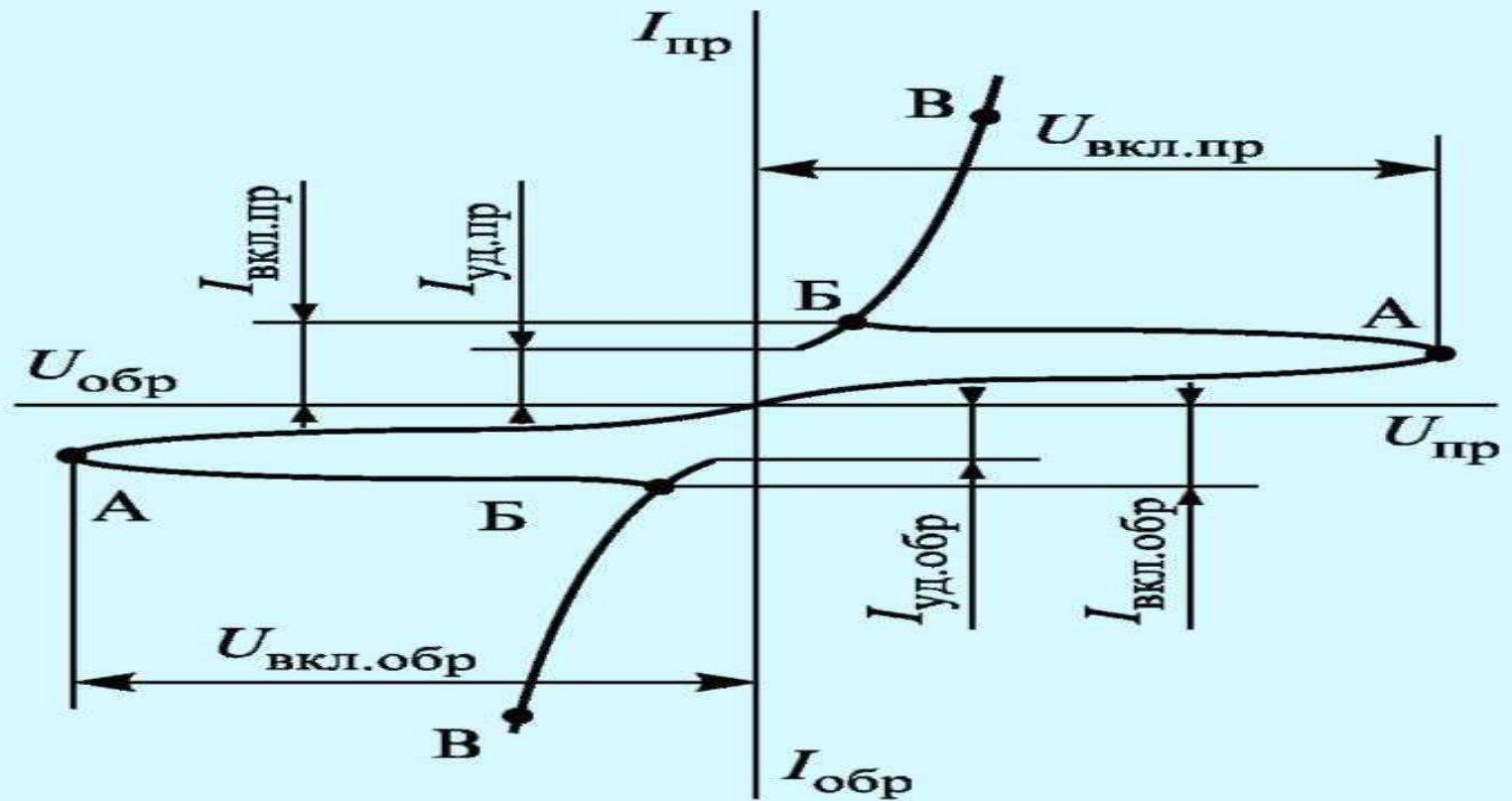


Рис. 3.50. Вольт-амперная характеристика симистора

Оптрон (ОП) — это прибор, в котором светоизлучатель и фотоприёмник оптически и конструктивно связаны друг с другом и представляют собой единое конструктивное целое.

В ОП поступающий электрический сигнал преобразуется источником излучения в световой, передаётся по оптическому каналу от светоизлучателя к фотоприёмнику, где он вновь преобразуется в электрический. При этом цепи входа и выхода полностью отделяются друг от друга,.

Источником излучения в ОП служит светодиод; в качестве фотоприёмников используют фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы и фототиристоры. Если ОП имеет один излучатель и один приёмник излучения, то его называют *оптопарой* или *элементарным ОП*.

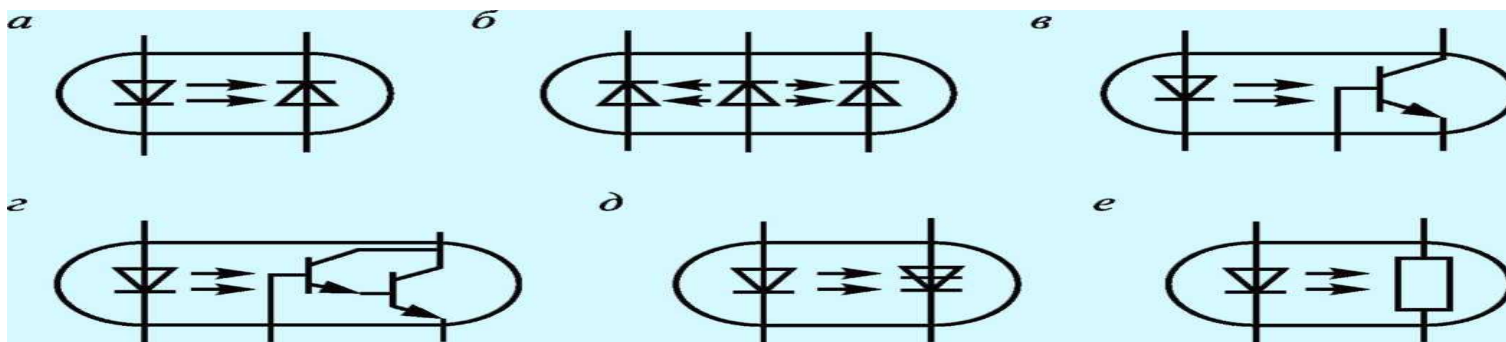


Рис. 3.61. Оптопары: а, б — диодные; в — транзисторная; г — с составным транзистором; д — тиристорная; е — резисторная

## Выпрямитель

Преобразователем переменного тока в постоянный является выпрямитель. Выпрямитель -- преобразователь электрической энергии устройство, предназначенное для преобразования переменного входного электрического сигнала в постоянный выходной электрический сигнал. Большинство выпрямителей создаёт не постоянные, а пульсирующие однонаправленные напряжение и ток, для сглаживания пульсаций которых применяют фильтры.

**Неуправляемые выпрямители** не обеспечивают регулирование напряжения на нагрузке и выполняются на полупроводниковых неуправляемых приборах односторонней проводимости — [диодах](#).

**Управляемые выпрямители** выполняются на управляемых диодах — тиристорах и позволяют регулировать свое выходное напряжение за счет соответствующего управления [тиристорами](#).

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## 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).**

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## 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.**

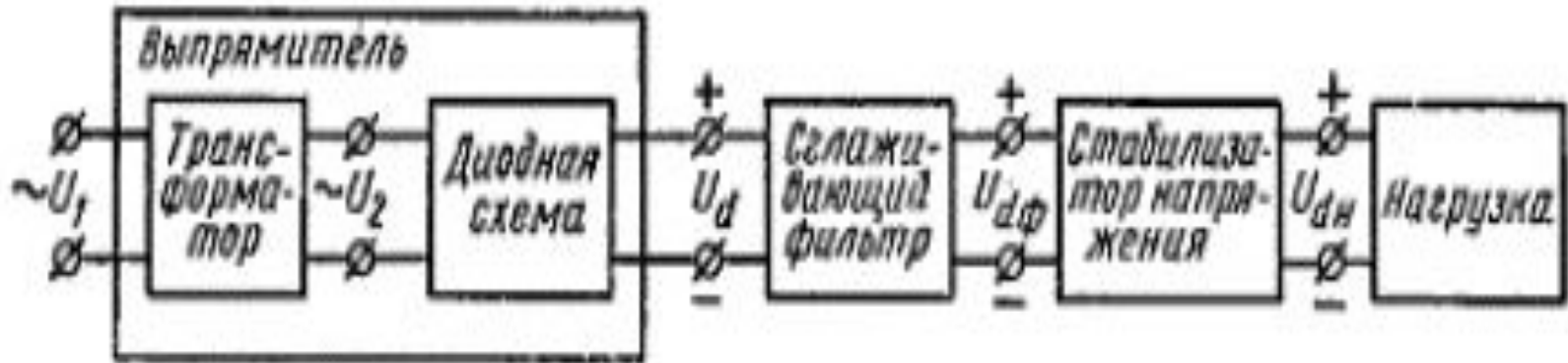
**3. По потребляемой нагрузкой мощности выпрямители делятся на маломощные (единицы кВт), средней мощности (десятки кВт) и большой мощности ( $P_{пот} > 100$  кВт).**

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



# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ВЫПРЯМИТЕЛИ

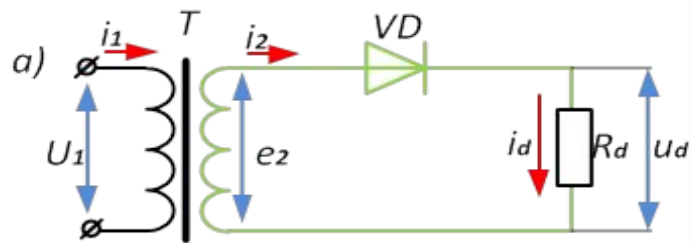


Основные элементы схемы:

- 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.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

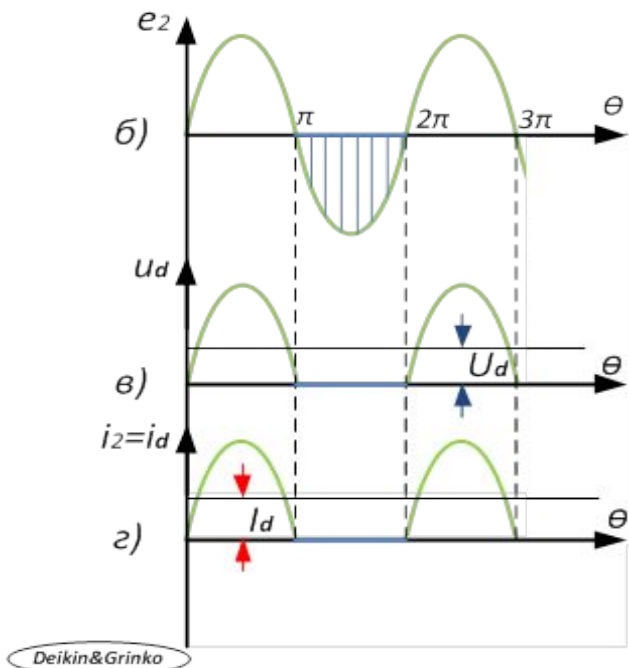
## ОДНОПОЛУПЕРИОДНАЯ СХЕМА ВЫПРЯМЛЕНИЯ



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.

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 Т 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.



коэффициент пульсации  $K_n = 1,57$ .

Большой коэффициент пульсации, большие размеры трансформатора вследствие плохого использования его обмоток, большое обратное напряжение на диоде резко ограничивают применение однополупериодной схемы выпрямления, несмотря на её простоту.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ДВУХПОЛУПЕРИОДНАЯ СХЕМА ВЫПРЯМЛЕНИЯ

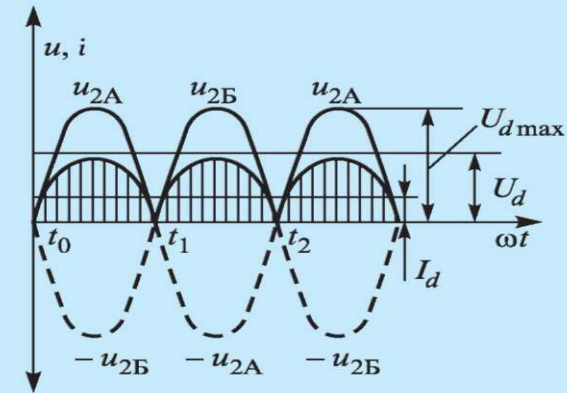
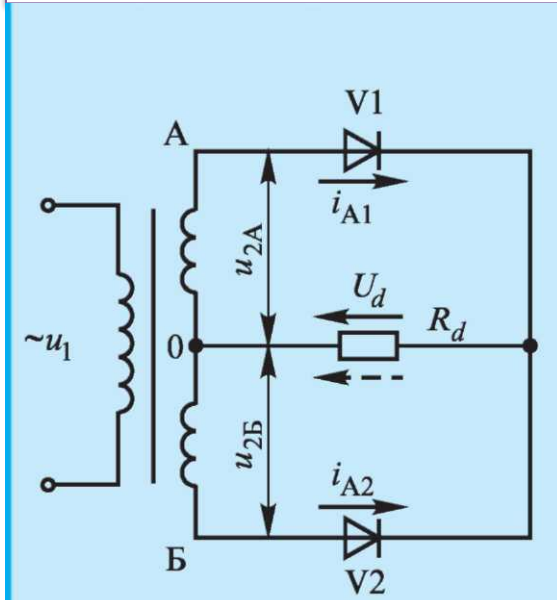
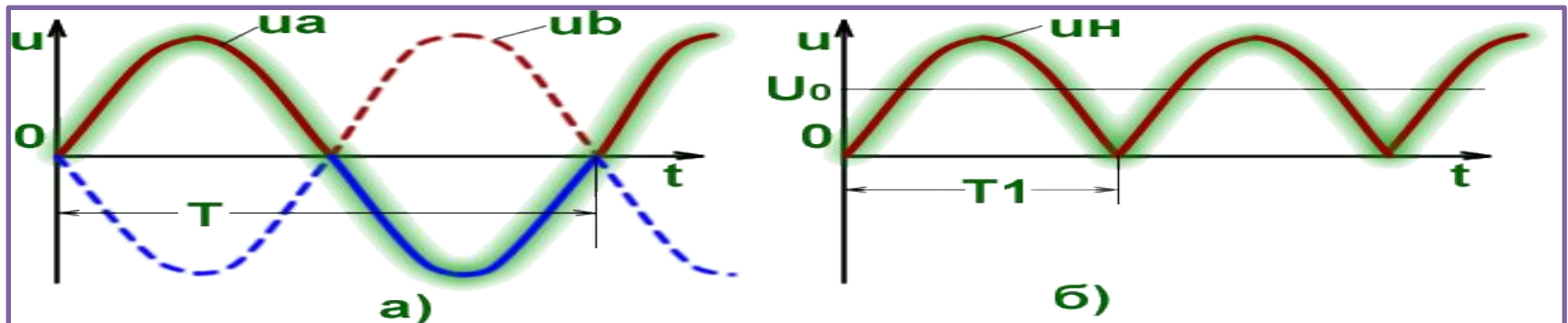


Рис. 5.5. Кривые изменения тока и напряжения

В цепь вторичной обмотки включены два полупроводниковых диода. К средней точке этой обмотки присоединена нагрузка.



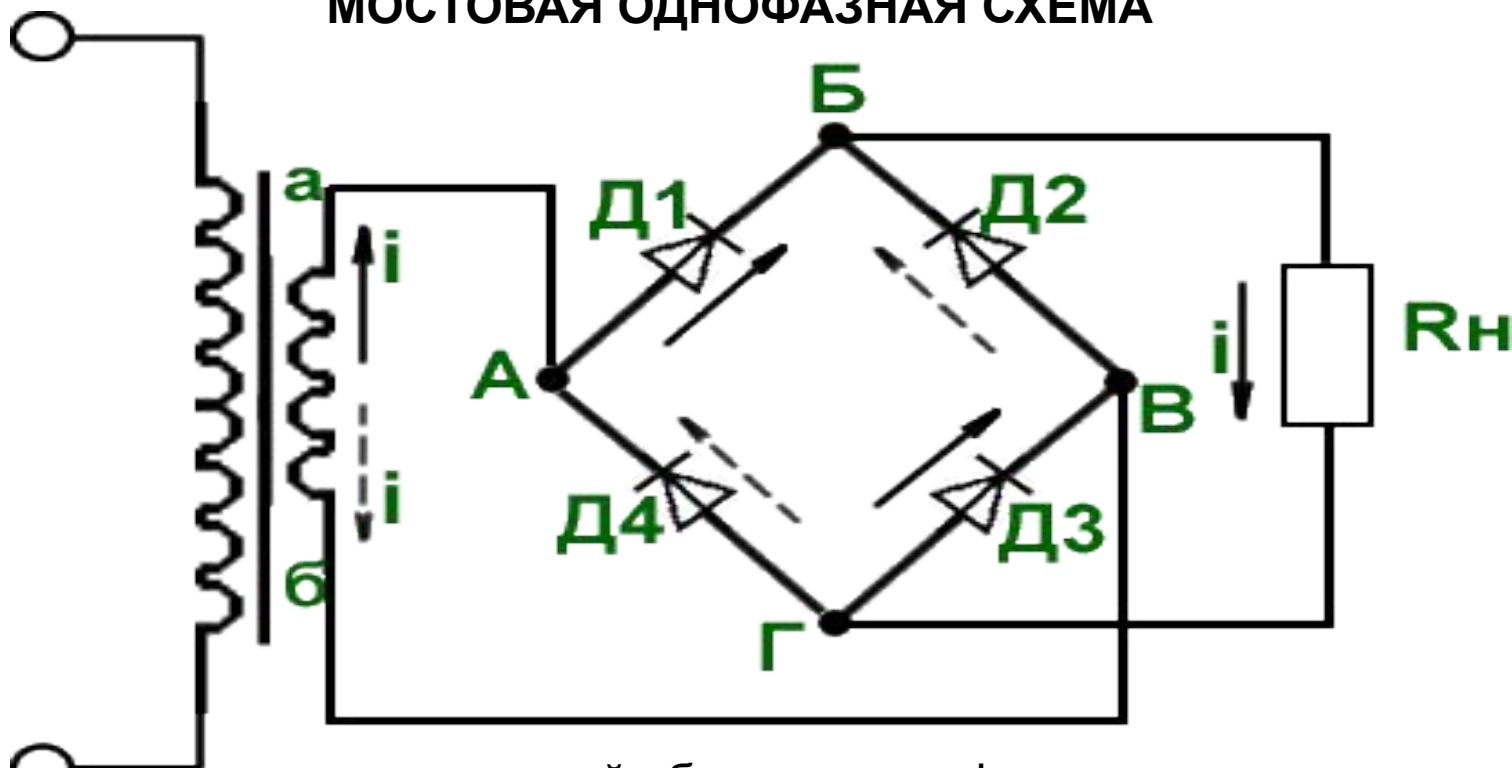
Коэффициент трансформации при такой схеме определяется соотношением  $k_T = u_1/u_2$  (где  $u_2$  — напряжение одной из вторичных обмоток). Нагрузка  $R_d$  включается между нулевым выводом вторичной обмотки трансформатора и катодами диодов.

При подаче напряжения на первичную обмотку трансформатора на вторичных появляется синусоидальное напряжение. В первый полупериод, когда напряжение в обмотке  $0A$  положительно, ток проходит через диод  $VD1$ , а во второй полупериод через диод  $VD2$ . Таким образом, ток в нагрузке оба полупериода течёт в одном направлении от катодов диодов к точке  $0$ .

коэффициент пульсации  $K = 0,67$ . В двухполупериодной схеме выпрямления по сравнению с одно-полупериодной лучше используются возможности трансформатора, меньше коэффициент пульсации, а значение среднего тока на диоде в 2 раза меньше, чем на нагрузке, поэтому можно использовать менее мощные диоды.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## МОСТОВАЯ ОДНОФАЗНАЯ СХЕМА



Напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора равно половине общего напряжения на зажимах вторичных обмоток (двух половин) обычной двухполупериодной схемы. Первичная обмотка I трансформатора  $Tr$  включена в сеть переменного тока. В цепь вторичной обмотки II включены четыре диода, а к точкам Б и б присоединен приемник.

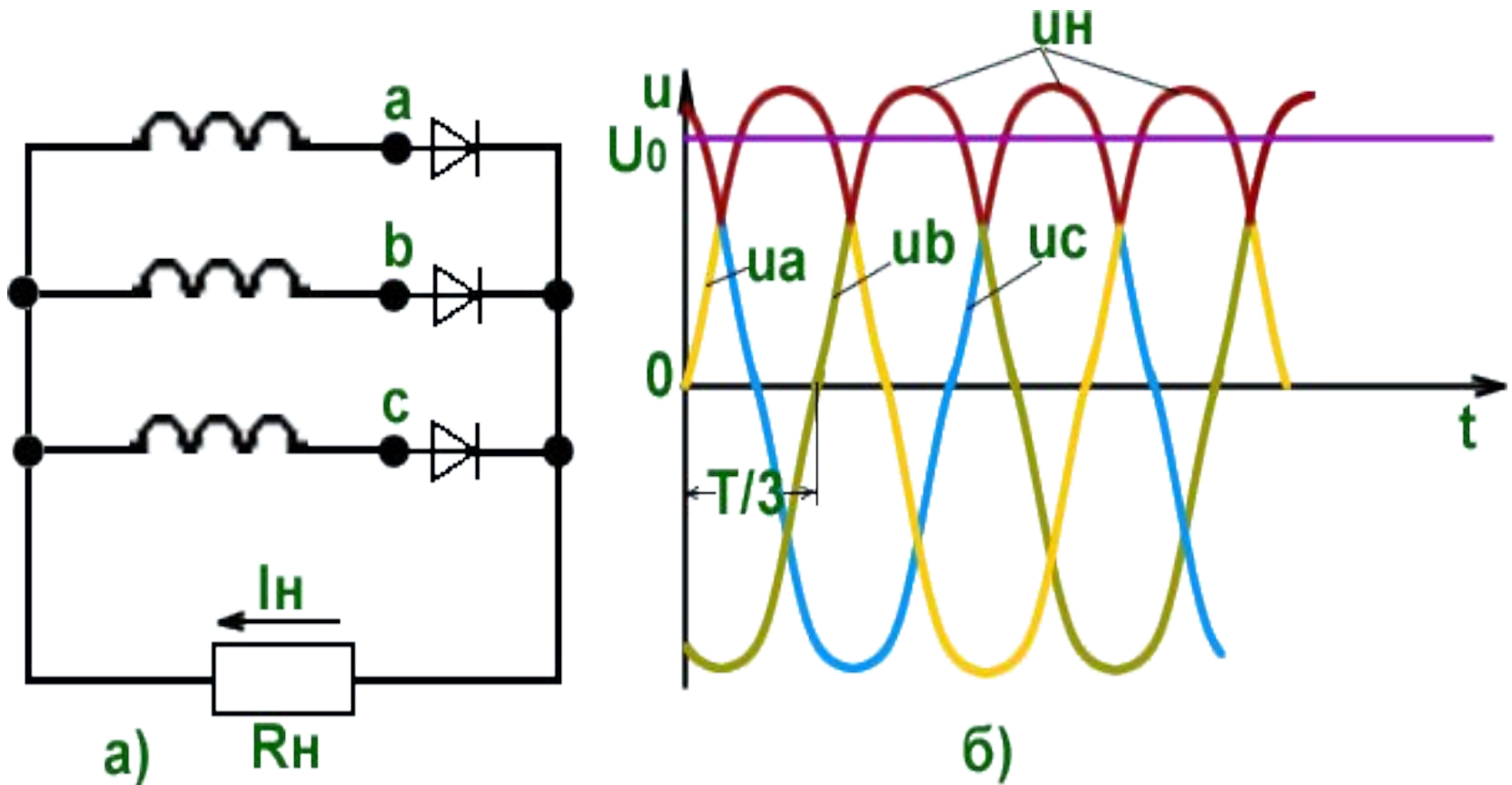
коэффициент пульсации  $K_n = 0,67$ .

Достоинства мостовой схемы — снижение габаритной мощности трансформатора на 20 %; возможность включения выпрямителя непосредственно в питающую цепь, если напряжение сети обеспечивает нужное значение выпрямленного напряжения.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

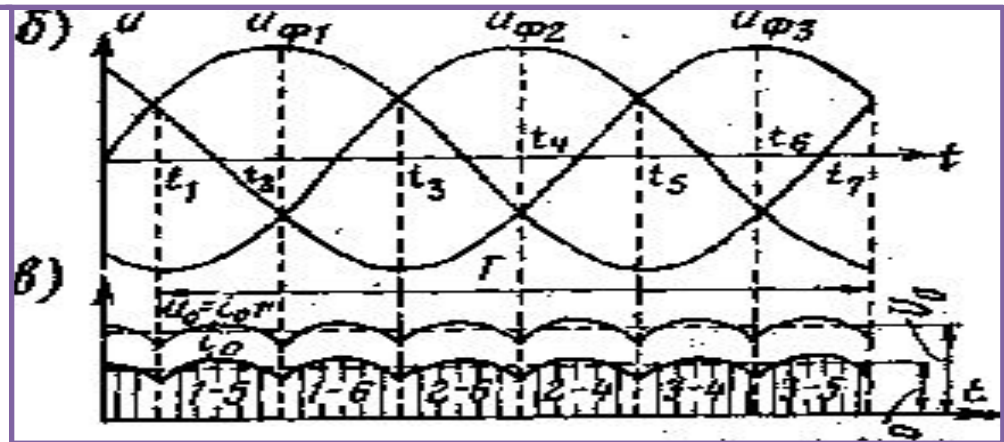
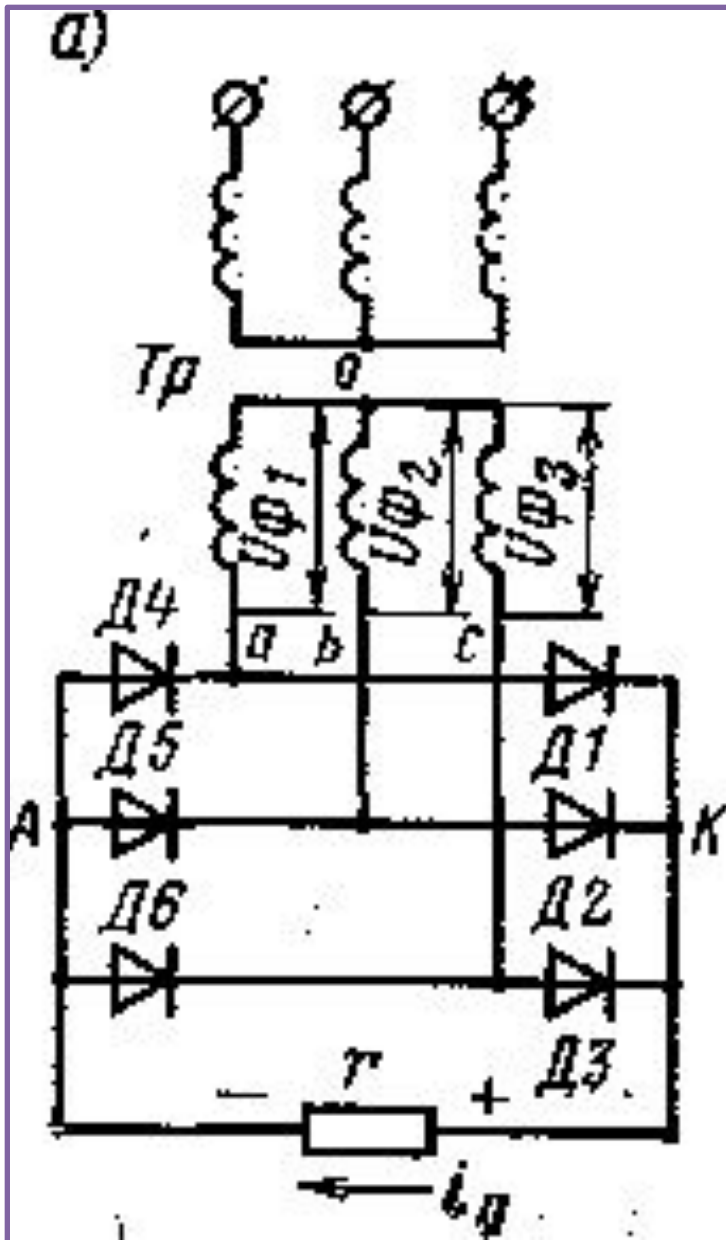
## ВЫПРЯМЛЕНИЕ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

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.



# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ТРЕХФАЗНАЯ 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 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.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ПРИМЕР РАСЧЕТА :

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;

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

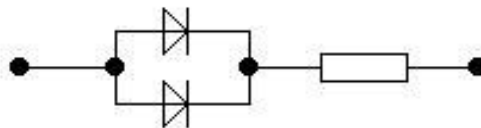
4. Проверяем диод по параметрам  $I_{\text{доп}}$ .

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  $2 * 10 \text{ А} = 2 * 10 \text{ А}$ .





# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

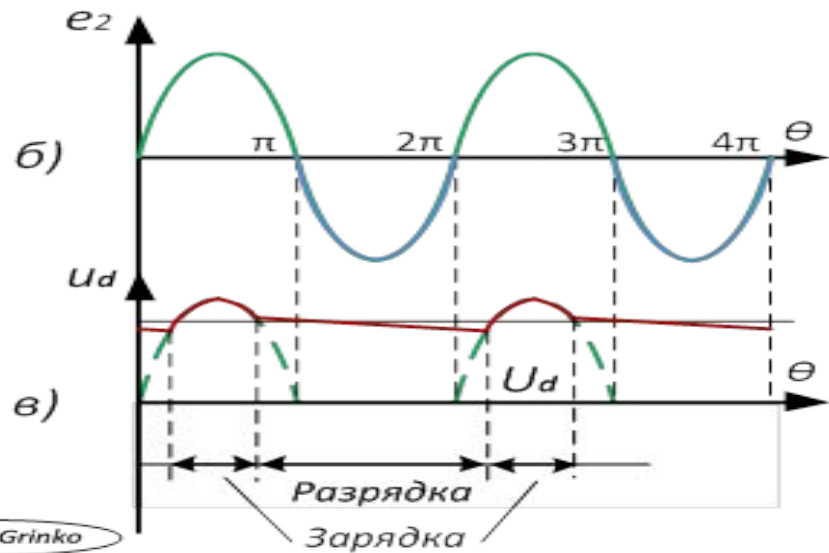
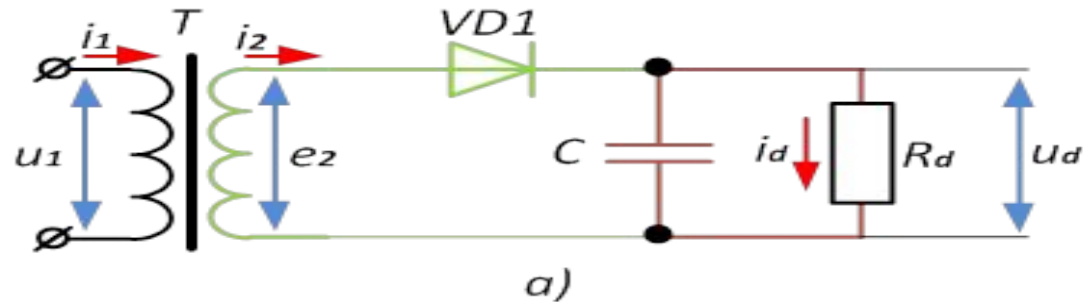
Выпрямленное напряжение при любой схеме выпрямления помимо постоянной составляющей  $U_0$  (среднее значение) содержит переменную составляющую (пульсацию), амплитуда  $U_{m\sim}$  и частота  $f_1$  которой зависят от схемы выпрямления.

Для сглаживания пульсирующего напряжения используются сглаживающие фильтры, которые 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.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ФИЛЬТРЫ ТИПА С

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



Deikin&Grinko

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

$$X_c = 1/m\omega C,$$

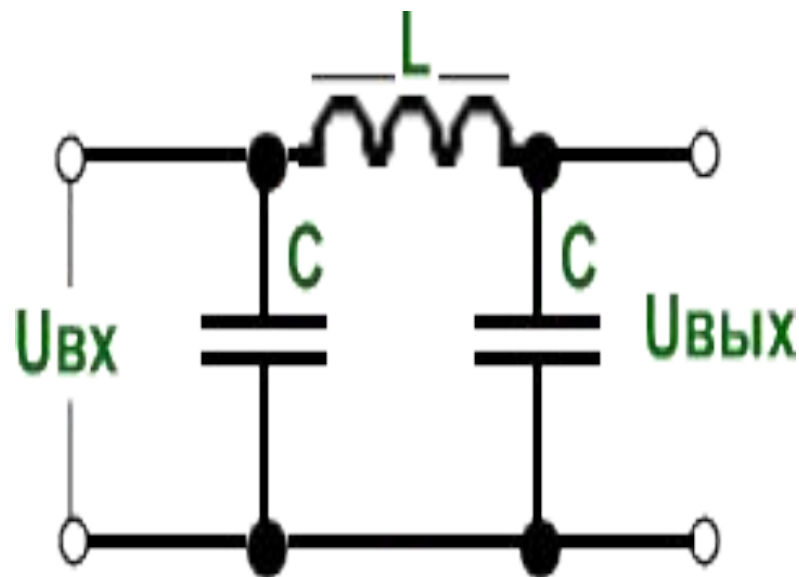
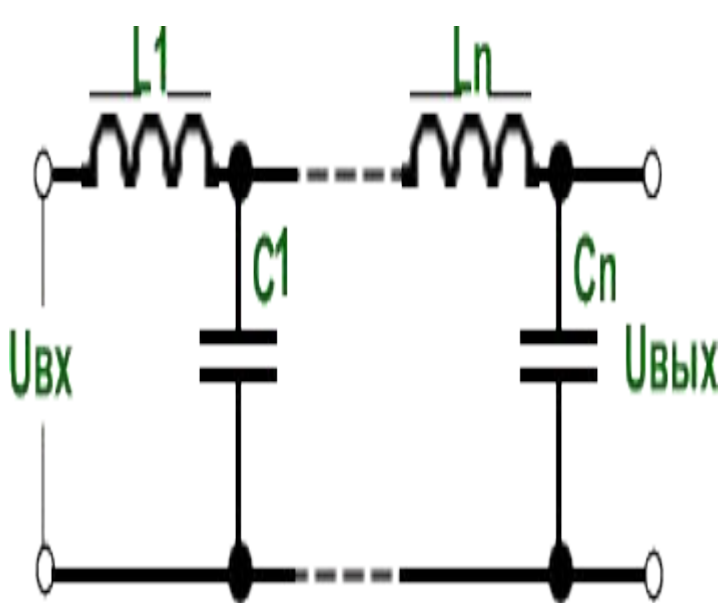
где  $m$  - пульсность схемы, т.е. количество пульсаций за период.

Для однофазного однополупериодного выпрямителя  $m = 1$ , для однофазного двухполупериодного со средней точкой и мостового выпрямителя  $m = 2$ .

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫЕ ФИЛЬТРЫ

**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.



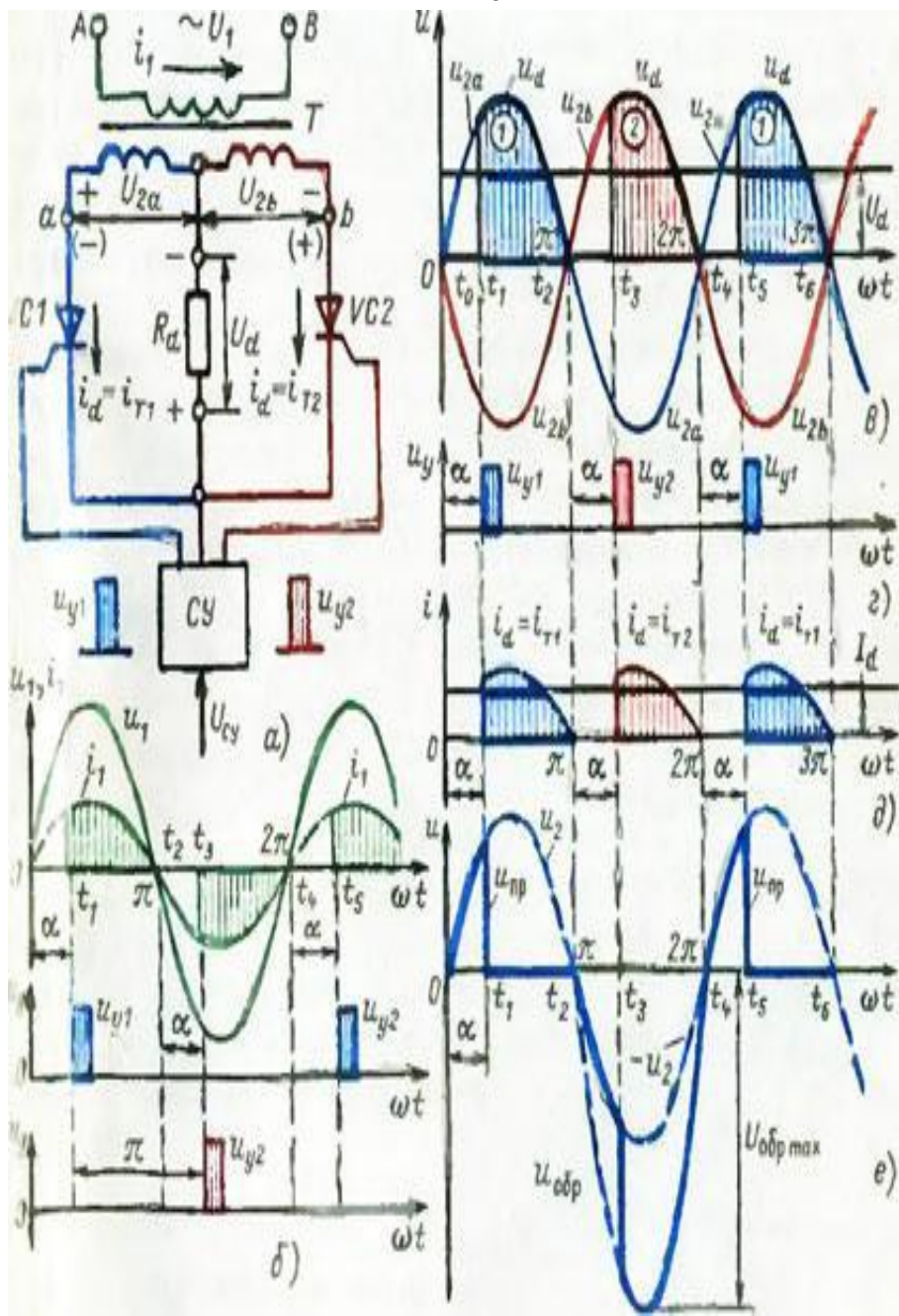
# Управляемые выпрямители

Выпрямители средней и большой мощности применяются не только для выпрямления переменного тока в постоянный, но должны позволять плавно регулировать среднее значение выпрямленного напряжения  $U_{fj}$ .

Более широкое применение для регулирования напряжения на нагрузке получил способ, основанный на управлении во времени моментом отпирания вентилей выпрямителя за интервал проводимости. Он базируется на использовании в схеме выпрямителя управляемых вентилей— тиристоров, в связи с чем такой выпрямитель называют управляемым.

Однофазные управляемые выпрямители выполняются по схеме и нулевым выводом трансформатора и мостовой схеме.

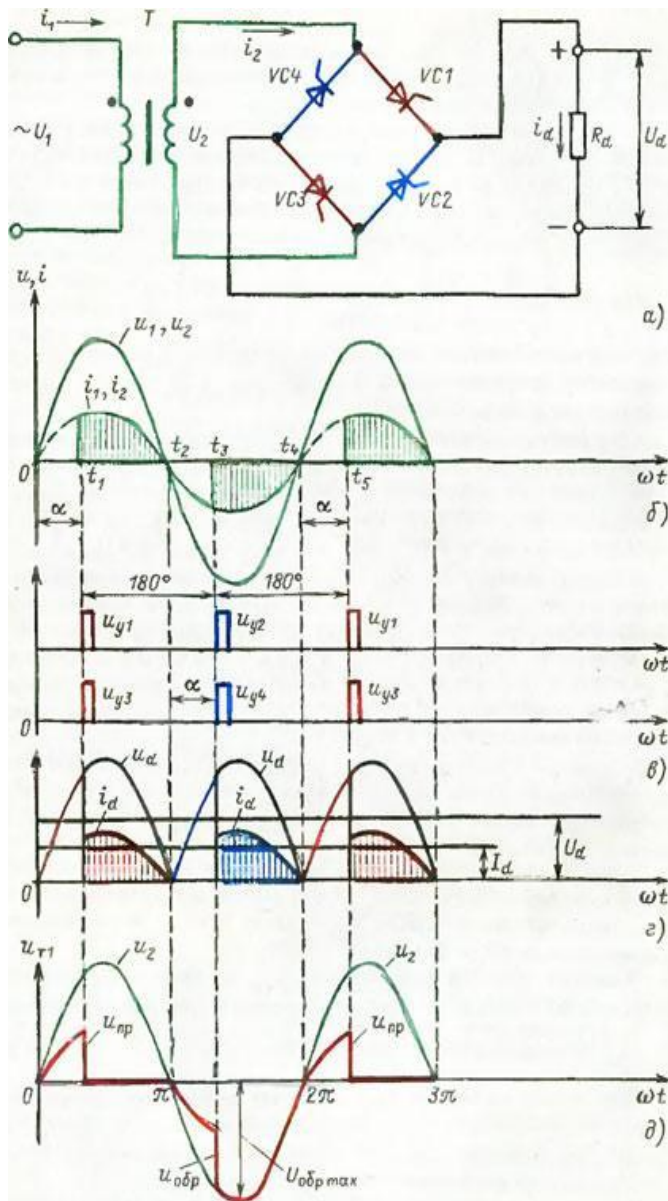
## Однофазный управляемый выпрямитель с нулевой точкой



Пусть на входе выпрямителя действует положительная полуволна напряжения (рис. 21,б), чему соответствуют полярности напряжений на обмотках трансформатора, указанные на рис. 21,а без скобок.

При использовании в схеме неуправляемых вентилях диод  $VI$  открылся бы в момент времени  $f_0$  (рис. 21,в), которое является для него моментом естественного отпирания. Тиристор, как отмечалось в § 2, отпирается при наличии положительного напряжения на аноде и отпирающего импульса на управляющем электроде. На интервале  $t_0-t_1$  тиристоры  $VC1, VC2$  будут закрыты и к ним прикладывается напряжение вторичных обмоток трансформатора  $u_{2в}$  и  $u_{2н'}$  на тиристор  $VC1$  - в прямом направлении, а на тиристор  $VC2$  — в обратном. Напряжение на выходе выпрямителя  $u_d = 0$ .

## Однофазный мостовой управляемый выпрямитель

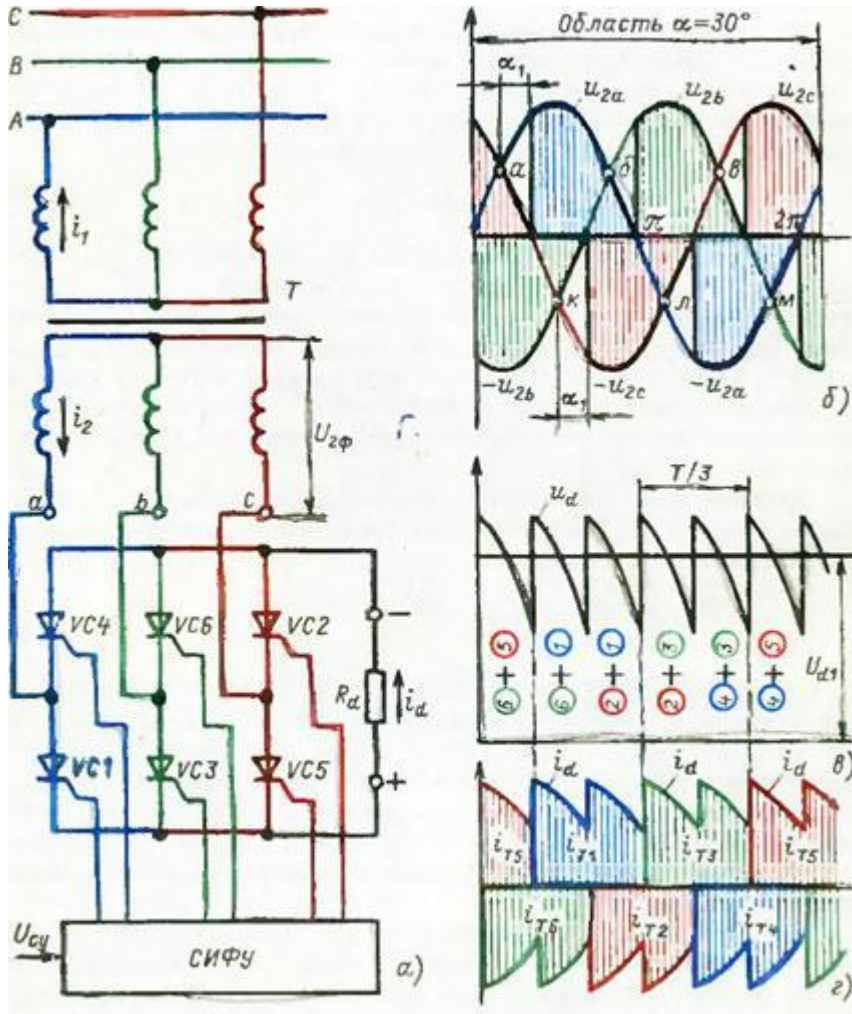


Пусть значения напряжений  $i_1$  и  $i_2$  обмоток трансформатора  $\Gamma$  равны. Для работы такого выпрямителя управляющие импульсы должны подаваться одновременно на два тиристора, расположенных в противоположных плечах моста. Пусть, например, в момент времени  $t$ , (рис. ,б), определяемый углом  $\alpha$ , от системы управления выпрямителя на тиристоры  $VC1$  и  $VC3$  подаются управляющие импульсы (рис.,в), вентили открываются и в интервале  $t$ , —  $\Gamma 2$  через нагрузку  $R_d$  протекает ток  $i_d$ . В момент  $\Gamma 2$  вентили  $VC1$  и  $VC3$  запираются, так как напряжение  $i_2$  проходит через нуль. В интервале  $t_2$ — $t_3$  к тиристорам  $VC1$  и  $VC3$  будет приложено обратное напряжение; равное половине напряжения  $i_2$  вторичной обмотки трансформатора, а к тиристорам  $VC2, VC4$  — прямое напряжение такого же значения (рис. ,д).

Далее в момент  $f 3$  подаются управляющие импульсы на следующую пару тиристоров —  $VC2, VC4$  и они будут работать аналогично тиристорам  $VC1$  и  $VC3$ , только на  $\pi$  сдвинутом по времени.



## Трехфазный управляемый выпрямитель с нулевой точкой



Для работы схемы на тиристоры подаются управляющие импульсы с некоторым смещением во времени (с задержкой на угол управления  $\alpha$ ) по отношению к моменту естественного отпирания диодов в неуправляемом выпрямителе (см. рис. 18,3), который соответствует точкам пересечения синусоид фазных напряжений  $i_a$ ,  $i_b$  и  $i_c$  (точки а, б. в и г на рис. 24,в).

Пусть, например, управляющие импульсы на тиристоры  $VC1$ ,  $VC2$ ,  $VC3$  подаются в моменты, соответствующие середине положительных полуволн фазных напряжений (при этом угол  $\alpha = 60^\circ$ ). В этом случае на нагрузке возникают импульсы выпрямленного напряжения  $u_d$  в форме четверти синусоиды (рис. 24,г).

Изменение фазы (смещение) управляющих импульсов в сторону увеличения или уменьшения угла управления  $\alpha$  вызывает соответствующее уменьшение (рис. \,в) или увеличение (рис. \,д) импульсов напряжения  $u_d$ . При угле  $\alpha = 0$  кривая выпрямленного напряжения (рис. е) будет иметь такую же форму, как в неуправляемом выпрямителе (рис.,в). Очевидно, что кривая тока  $i_d$  по форме будет повторять кривую выпрямленного напряжения  $u_d$  при работе выпрямителя на активную нагрузку.

Из этих кривых видно, что имеются две характерные области работы управляемого выпрямителя. Первая соответствует изменению угла регулирования в пределах  $0 < \alpha < 30^\circ$ , при этом выпрямленный ток будет непрерывным

Каждый тиристор схемы в этом случае работает одну треть периода. Вторая область соответствует углам  $\alpha > 30^\circ$  и характеризуется тем, что при прохождении фазных напряжений через нуль (точки к, л, м, н на рис., г) работающий тиристор закрывается, а так как на очередной вступающий в работу тиристор отпирающий импульс еще не подан, то в кривой выпрямленного напряжения возникают паузы (нулевые участки), в течение которых ток  $i_d = 0$ .



# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## РАБОТА ТРАНЗИСТОРА В КАЧЕСТВЕ УСИЛИТЕЛЯ

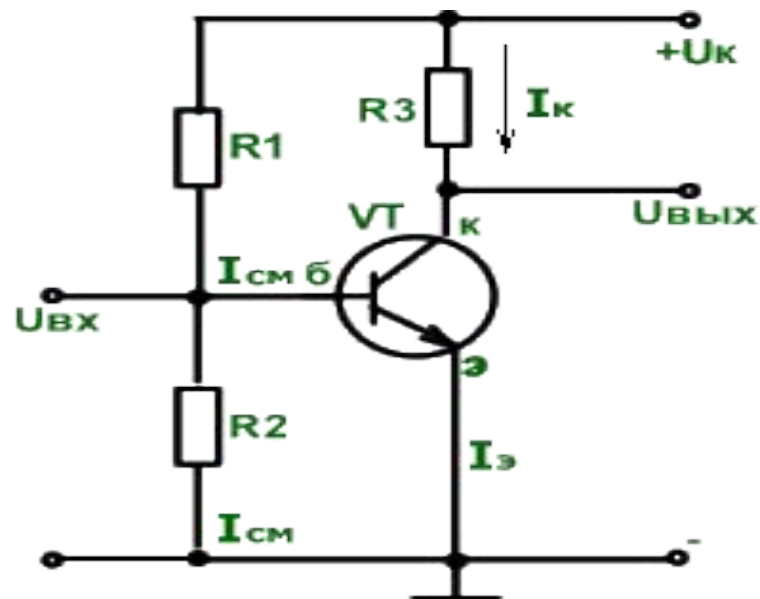
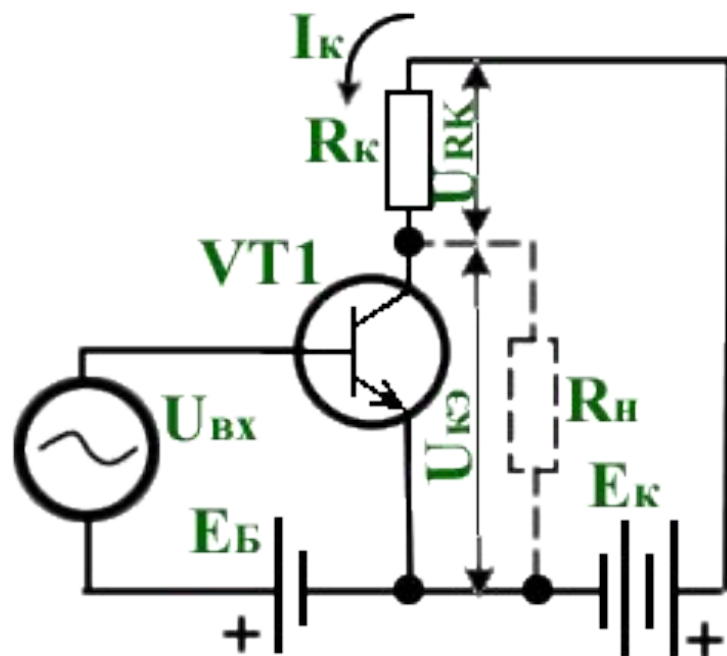
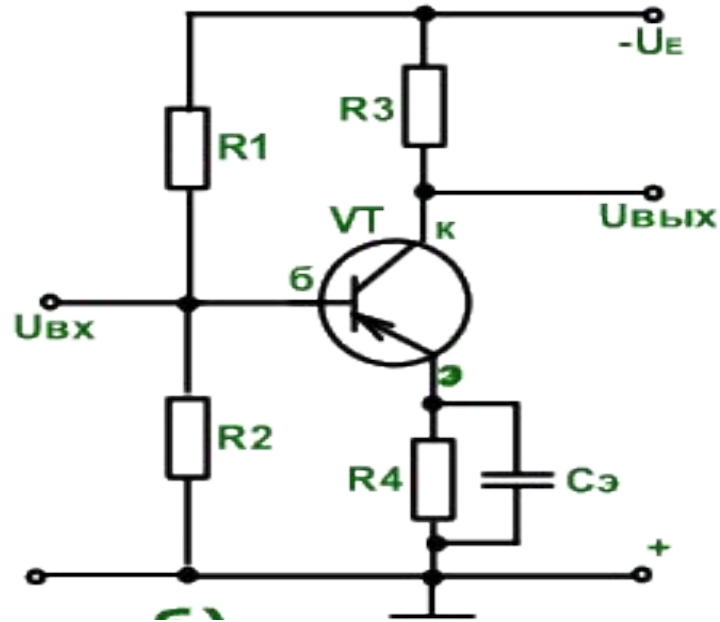


Схема включения n-p-n-транзистора в усилительном каскаде с общим эмиттером. В этой схеме два напряжения смещения —  $U_{Б-Э}$ , обеспечивающее прямое смещение эмиттерного перехода, и  $U_{Б-К}$ , обеспечивающее обратное смещение коллекторного перехода, подаются от последовательно соединенных источников, которые можно заменить делителем напряжения  $R_1, R_2$ ,

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## СТАБИЛИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО РЕЖИМА ПО ПОТОЯННОМУ ТОКУ



Кроме теплового пробоя в усилителе с общим эмиттером наличие тока утечки коллекторного перехода вызывает и нестабильность режима работы транзистора по постоянному току. Эту нестабильность можно устранить, включив резистор  $R_4$  в эмиттерную цепь транзистора. Потенциал эмиттера в этом случае становится равным падению напряжения на резисторе  $R_4$ , которое создается при протекании эмиттерного тока  $I_э$  через этот резистор.,  $U_э = I_э R_4$ . , с помощью эмиттерного резистора  $R_4$  вводится отрицательная (подавляющая усиление) обратная связь, обеспечивающая стабилизацию статического режима усилителя.

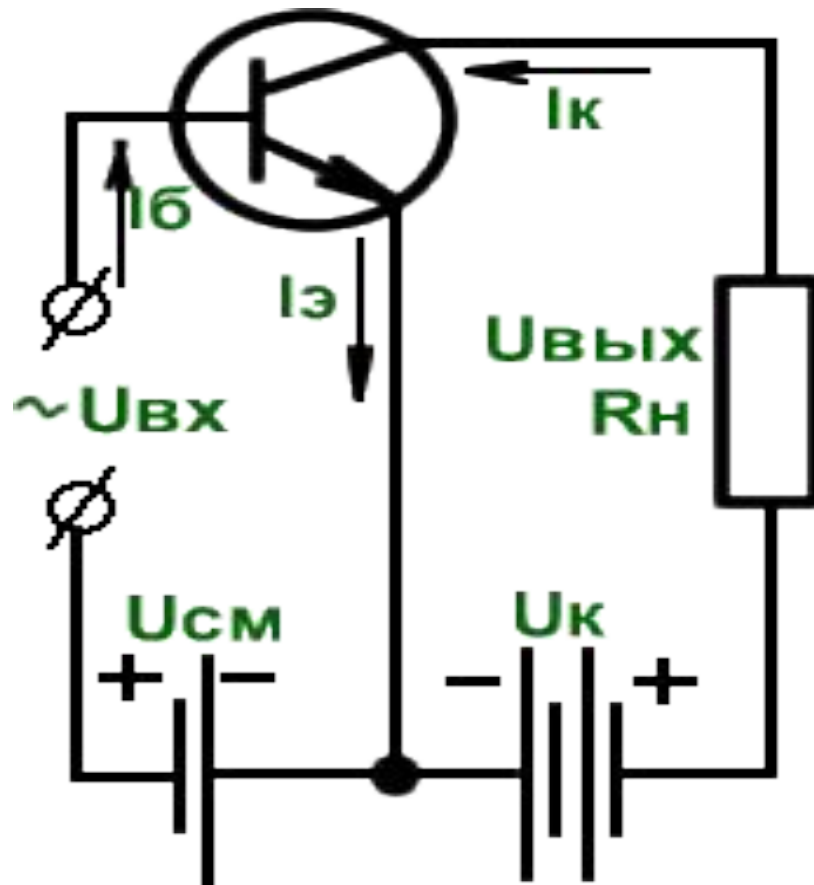
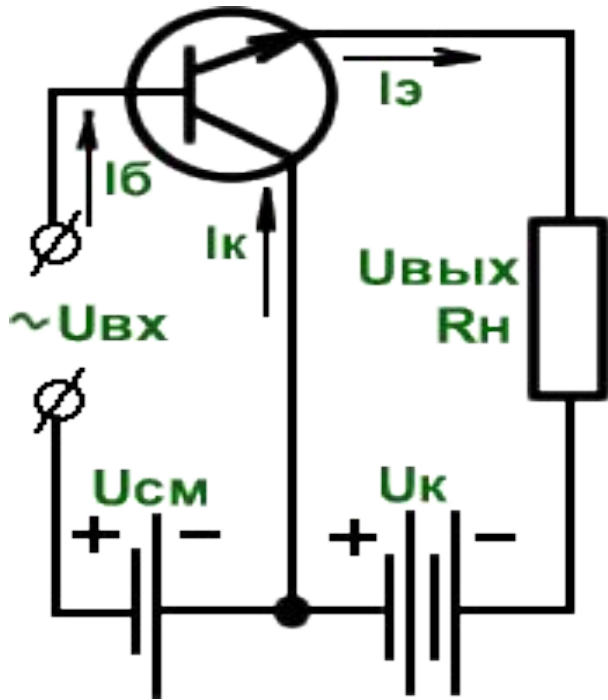


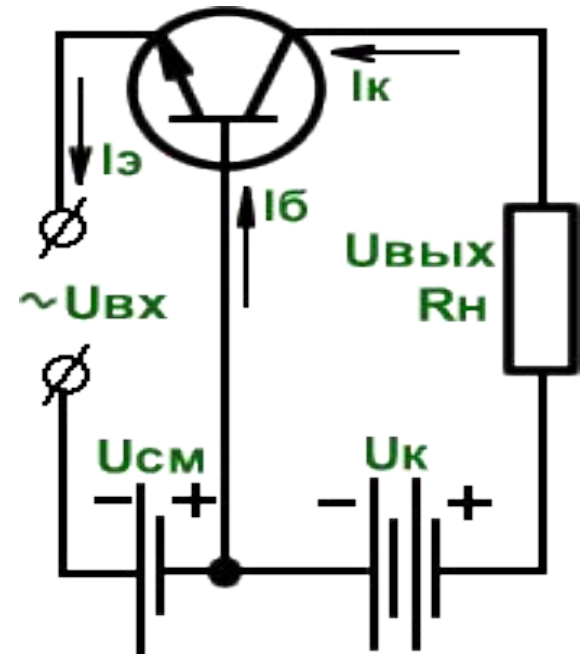
Схема включения транзистора с Оэ, обеспечивающая наибольшее усиление по мощности. При этом в выходную (коллекторную) цепь включается нагрузка  $R_{к}$ , а во входную (базовую) цепь — источник входного сигнала

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ



Общий  
коллектор

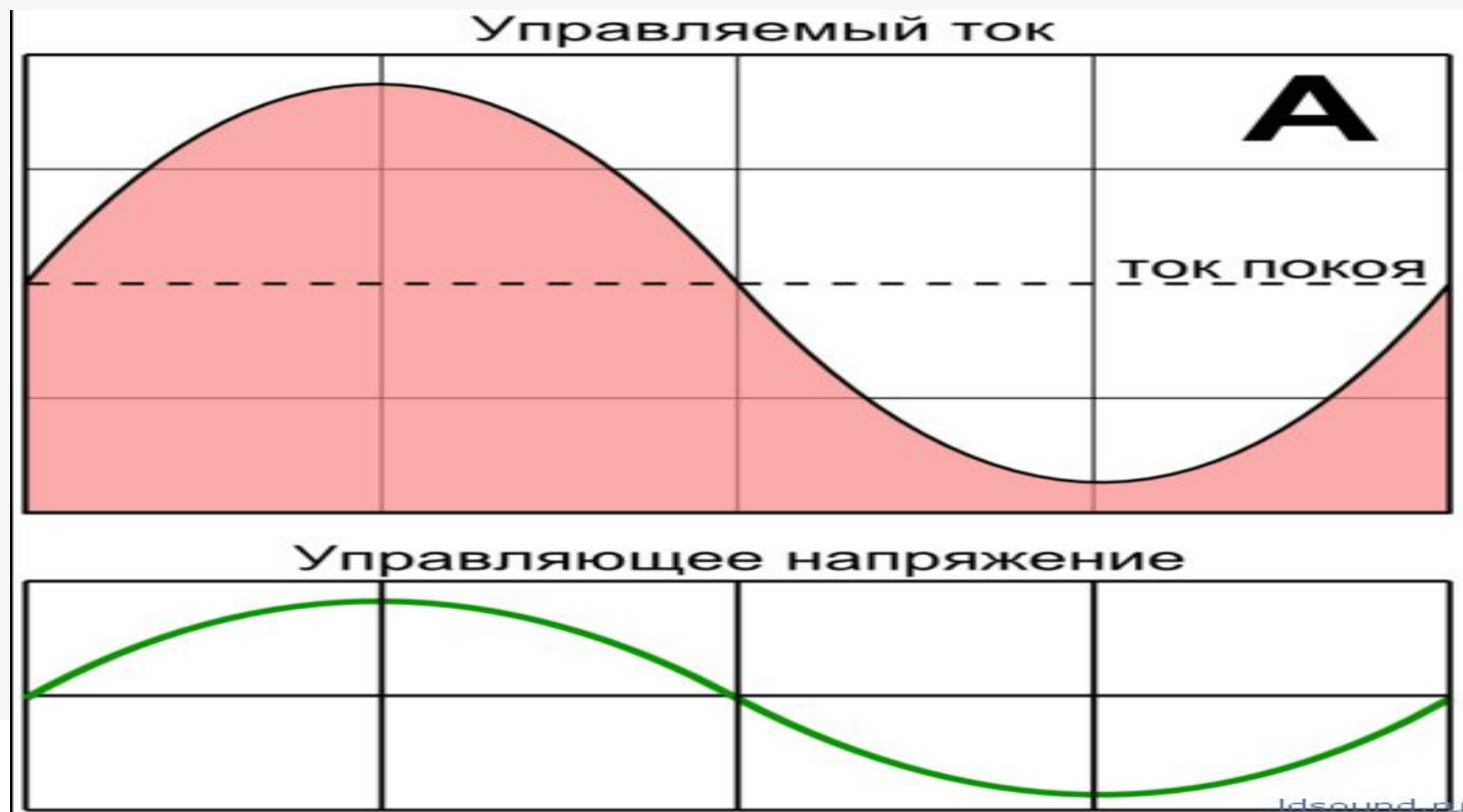


Общая база

Общий  
эмиттер

## Режим усилителей класса А

Режим работы усилительного элемента, в котором при любых допустимых мгновенных значениях входного сигнала (напряжения или тока) ток, протекающий через усилительный элемент, не прерывается. Усилительный элемент не входит в режим отсечки, не отключается от нагрузки, поэтому форма тока через нагрузку повторяет входной сигнал.

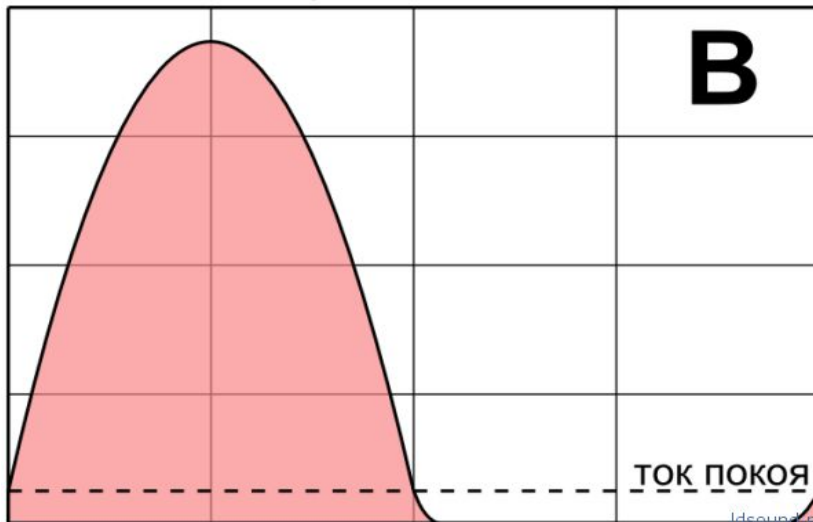


## Режимы усилителей класса В и АВ

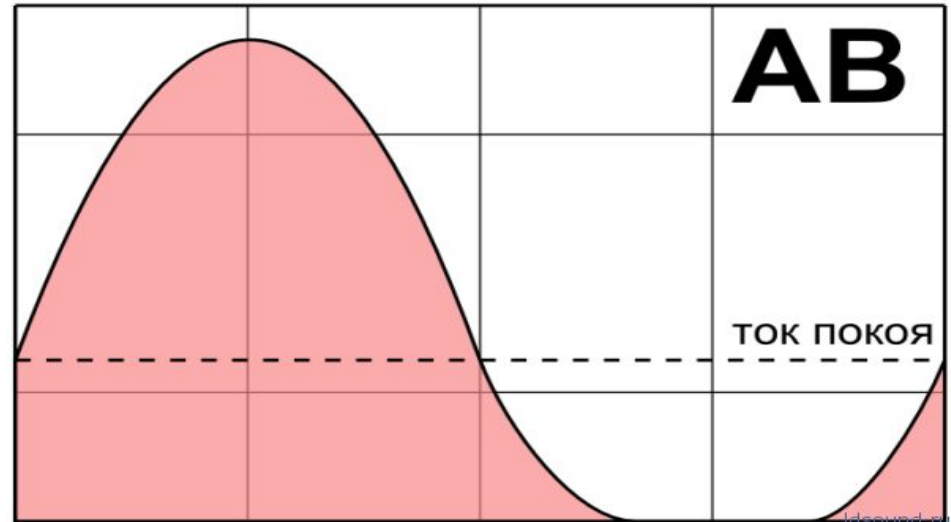
В режиме В усилительный элемент способен воспроизводить либо только положительные, либо только отрицательные входные сигналы. При усилении гармонических сигналов угол проводимости равен  $180^\circ$  или незначительно превосходит эту величину.

Режим АВ является промежуточным между режимами А и В. Ток покоя усилителя в режиме АВ существенно больше, чем в режиме В, но существенно меньше, чем ток, необходимый для режима А. При усилении гармонических сигналов усилительный элемент проводит ток в течение боольшей части периода: одна полуволна входного сигнала (положительная или отрицательная) воспроизводится без искажений, вторая сильно искажается. Угол проводимости такого каскада существенно больше  $180^\circ$ , но меньше  $360^\circ$ .

Управляемый ток

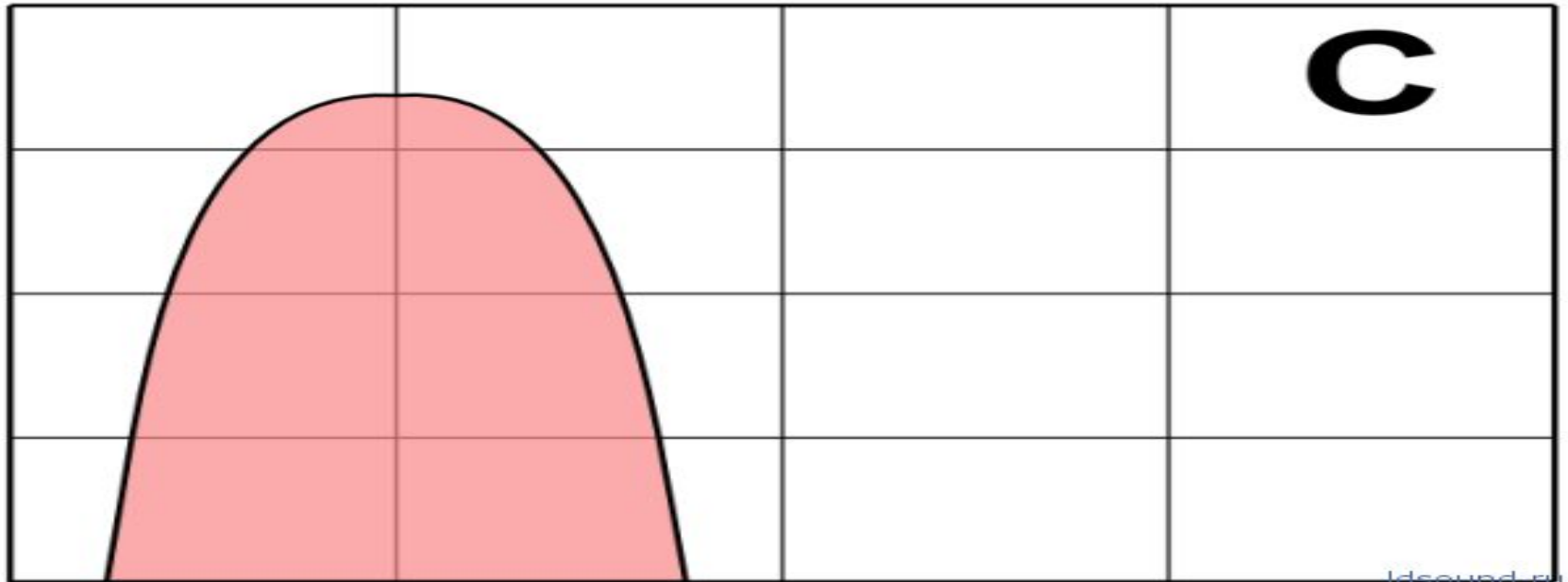


Управляемый ток



В режиме С, также как и в режиме В, усилительный элемент воспроизводит только положительные, либо только отрицательные входные сигналы. Однако рабочая точка усилительного элемента выбрана так, что при нулевом напряжении на входе (или при нулевом управляющем токе) усилительный элемент заперт. Ток через усилительный элемент возникает только после перехода управляющего сигнала через ноль; если этот сигнал гармонический, то усилитель воспроизводит одну искажённую полуволну (угол проводимости меньше  $180^\circ$ ).

Управляемый ток



Основные параметры транзистора:

Коэффициент усиления по току – отношение действующего значения коллекторного тока к току базы.

Входное сопротивление – следуя закону Ома оно будет равно отношению напряжения эмиттер-база  $U_{ЭБ}$  к управляющему току  $I_B$ .

Коэффициент усиления напряжения – параметр находится отношением выходного напряжения  $U_{ЭК}$  к входному  $U_{БЭ}$ .

Частотная характеристика описывает способность работы транзистора до определенной, граничной частоты входного сигнала. После превышения предельной частоты физические процессы в транзисторе не будут успевать происходить и его усилительные способности сведутся на нет



# Магнитные усилители

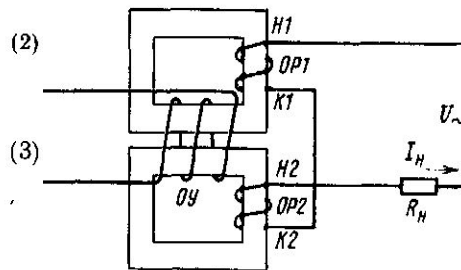
Магнитным усилителем (МУ) называется электромагнитный управляющий аппарат, обеспечивающий плавное изменение величины переменного тока в результате изменения индуктивного сопротивления катушки с ферромагнитным сердечником при подмагничивании его постоянным током управляющих обмоток.

Простейший МУ имеет два сердечника на которых смонтированы рабочие обмотки с равным числом витков, соединенные встречно друг другу. Они включены в цепь переменного тока с неизменным напряжением. Обмотка управления ОУ с числом витков охватывает оба сердечника и получает питание от источника постоянного тока (тока управления).

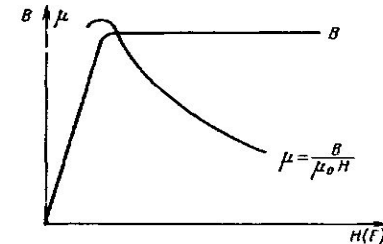
$$X_L = 2\pi f L,$$

а индуктивность (Гн—генри) —

$$L = \mu_a \frac{\omega_p^2 S_c}{l_c},$$



$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2\pi f L}.$$



При увеличении тока управления увеличивается напряженность магнитного поля , уменьшается магнитная проницаемость и абсолютная магнитная проницаемость . Это приводит к уменьшению индуктивности и индуктивного сопротивления , а следовательно, к увеличению рабочего тока (тока выхода) .

Индуктивность , не зависит от направления тока управления

Когда ток управления равен нулю, сердечник не намагничен и его рабочие обмотки имеют большое индуктивное сопротивление. Поэтому рабочий ток будет мал; его называют током холостого хода. При увеличении тока управления происходит подмагничивание сердечника, и рабочий ток увеличивается.

. Даже небольшое изменение тока управления вызывает резкое изменение рабочего тока.

МУ имеет две рабочие обмотки для того, чтобы исключить индукцирование переменной э. д. с. в обмотках управления от рабочего тока. При встречном включении рабочих обмоток с равным числом витков индуцируемые в обмотках управления э. д. с. от каждой из рабочих обмоток будут компенсировать друг друга. Естественно, что каждая из рабочих обмоток должна быть смонтирована на отдельном сердечнике, так как при встречном включении рабочих обмоток с равным числом витков на общем сердечнике результирующая индуктивность МУ равнялась бы нулю.

Основными параметрами МУ являются его коэффициенты усиления: тока и мощности.

Коэффициент усиления тока  $K_I$  представляет отношение изменения рабочего тока  $I_p$  к соответствующему изменению тока управления  $I_y$ .

$$K_I = I_p / I_y.$$

Коэффициент усиления мощности  $K_P$  представляет собой отношение выходной мощности в цепи рабочего тока  $P_{\text{вых}}$  к мощности, потребляемой обмотками управления  $P_{\text{вх}}$ , т. е.  $K_P = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}$ . Чем больше коэффициенты усиления, тем круче характеристика МУ.

# ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

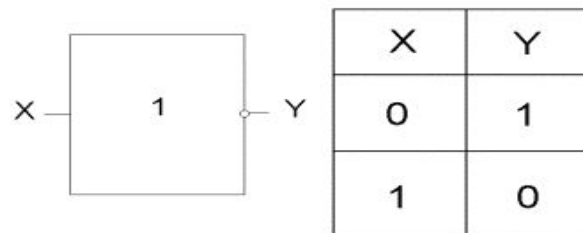
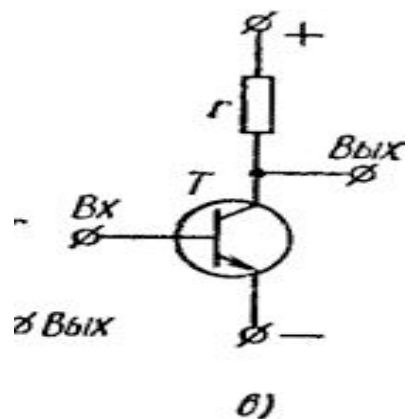
Логические элементы — устройства, предназначенные для обработки информации в цифровой форме (последовательности сигналов высокого — «1» и низкого — «0» уровней в двоичной логике, физически логические элементы могут быть выполнены механическими, электромеханическими (на электромагнитных реле), электронными (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 НЕ выполняет роль инвертора. На выходе всегда логическая единица, пока на входе логический нуль и наоборот.

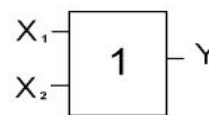
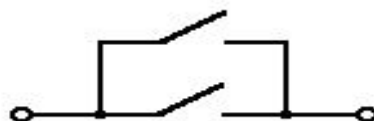
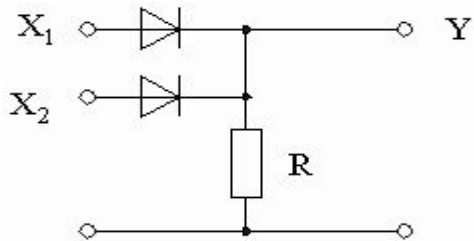
Микросхемы это серии ЛН: К155ЛН1, К561ЛН2 и т.д.



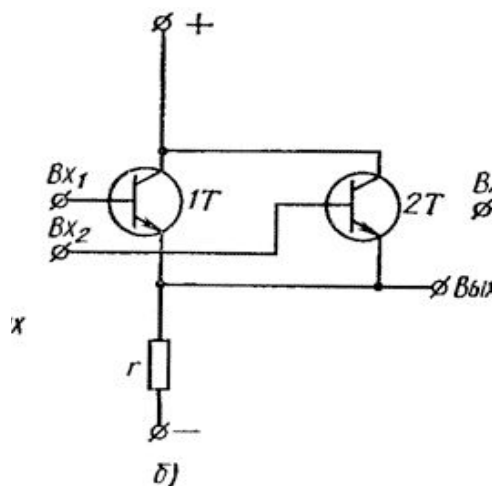
## Логическое ИЛИ (логическое сложение, дизъюнкция):

$$Y = X_1 + X_2 = X_1 \vee X_2$$

Техническая реализация этой функции - два параллельно соединенных ключа:



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



Чтобы на выходе появился логический уровень, нужно чтобы на любом входе ИЛИ на все входы подать логическую единицу. У элемента бывает более чем 2 входа, так же как и на элементе И. Элементы ИЛИ это микросхемы серии ЛЛ, например К155ЛЛ1

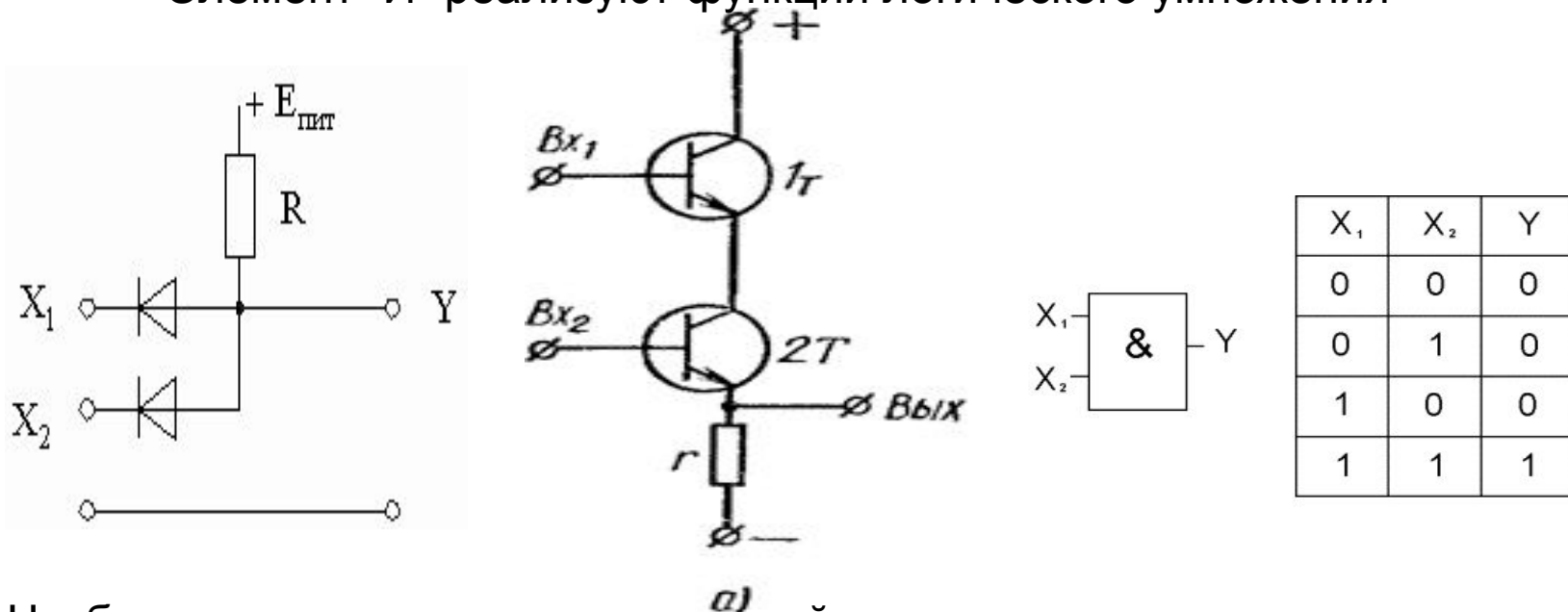
# Логическое И (логическое умножение, конъюнкция, схема совпадений):

$$Y = X_1 X_2 = X_1 \& X_2$$

Техническая реализация этой функции - два последовательно соединенных ключа:



Элемент "И" реализуют функции логического умножения

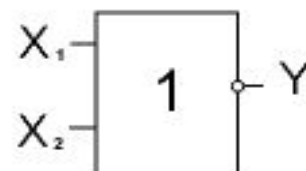
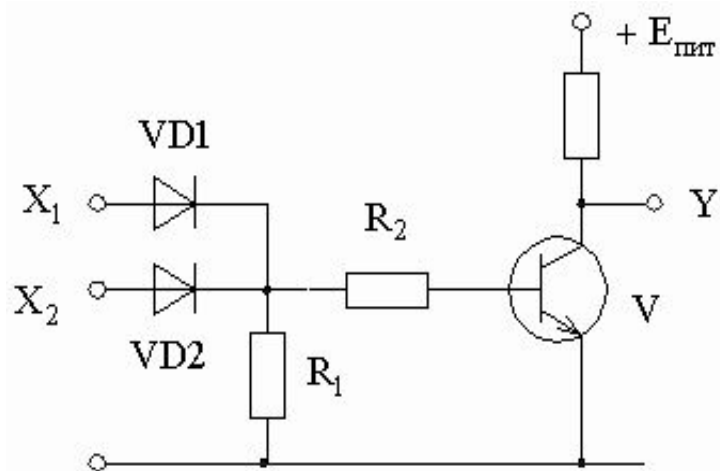


$X_1$	$X_2$	$Y$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Чтобы получить на выходе логический уровень нужно подать на все входы логические единицы, то есть И на 1 вход И на 2 вход. Если подать единицу только на один вход, на выхода не будет напряжения, будет логический ноль.

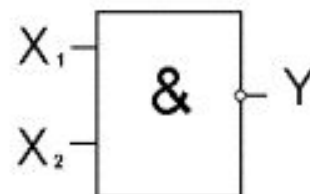
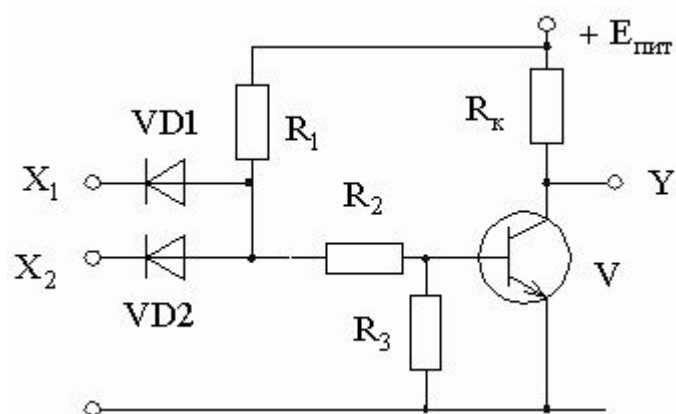
Российские микросхемы это все серии ЛИ, например К155ЛИ1 .

## Элемент “ИЛИ-НЕ”



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

## Элемент “И-НЕ”,

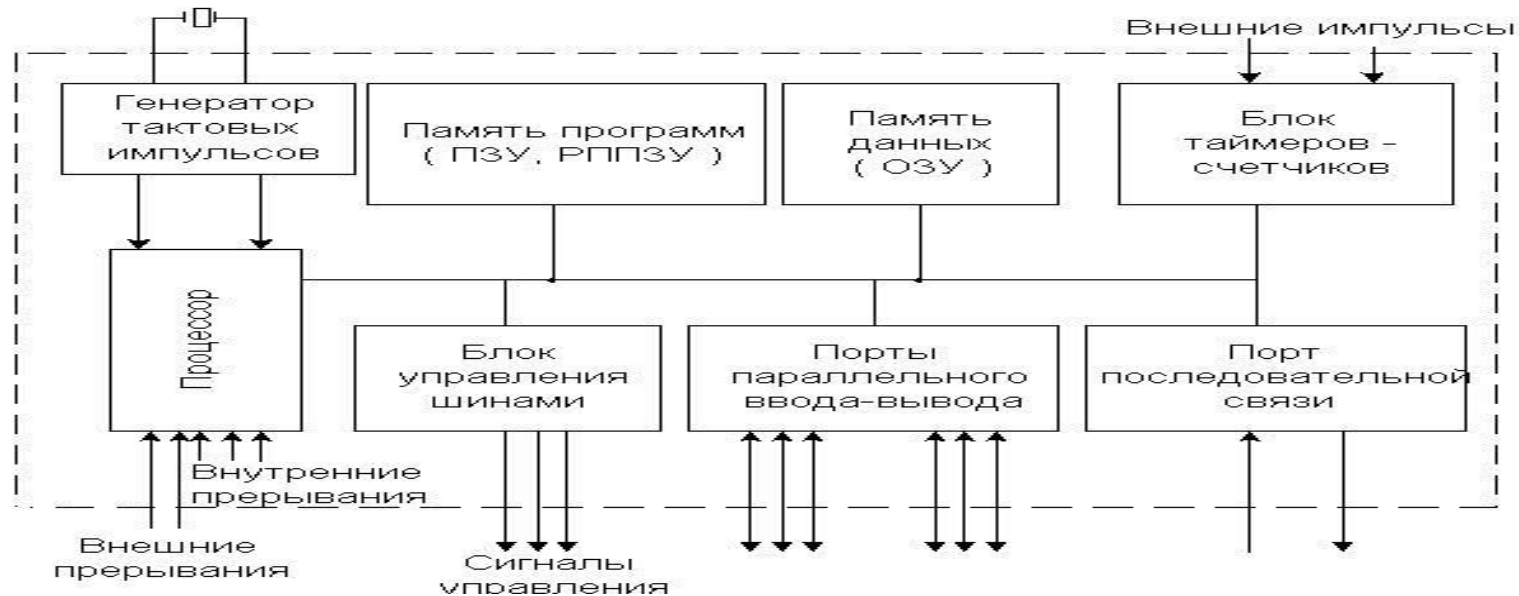


$X_1$	$X_2$	$Y$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



# **Микропроцессор основные элементы и их назначение принцип программного управления**

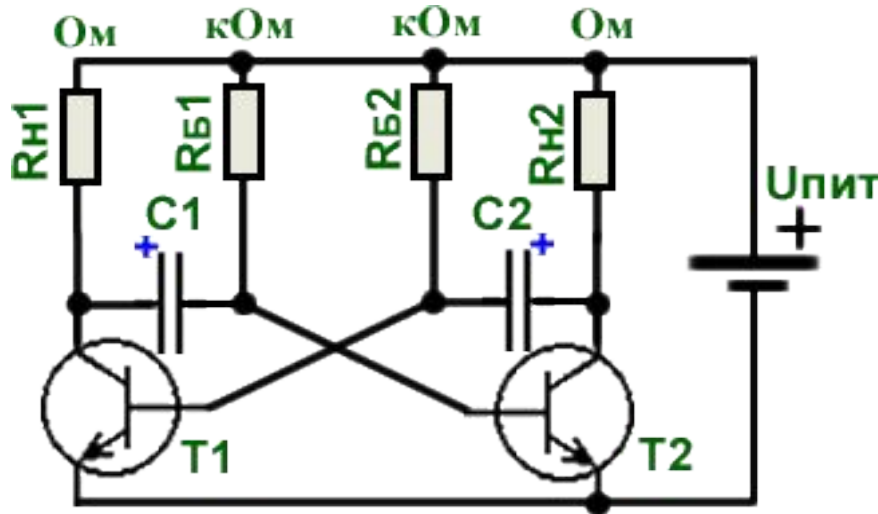
**Однокристальный микроконтроллер** (МК) представляет собой микропроцессорную систему, реализованную на одном кристалле СБИС. Типичная архитектура МК включает в себя собственно процессор, генератор тактовых импульсов (ГТИ), блоки памяти (ОЗУ и ПЗУ), порты ввода-вывода, таймеры, контроллер прерываний. Функциональные возможности этих блоков ниже, чем у соответствующих специализированных БИС из МПК. Основными достоинствами МК являются конструктивное и схемотехническое единство всех блоков, общий электрический интерфейс, удобство программной настройки режимов работы всех подсистем. Благодаря этому микроконтроллеры являются популярным средством для построения встраиваемых цифровых управляющих систем.



Роль схем управления в микропроцессоре чрезвычайно важна и заключается в поддержании требуемой последовательности функционирования всех остальных его звеньев. По «распоряжению» схем управления очередная команда извлекается из регистра команд, определяется, что необходимо делать с данными, а затем генерируется последовательность действий по выполнению поставленной задачи, Обычно работа схем управления микропроцессора программируется.

# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## МУЛЬТИВИБРАТОР



Ждущий мультивибратор возбуждается только при получении некоторого управляющего сигнала, генерирует один выходной рабочий импульс, после чего снова переходит в состояние ожидания. Рабочий импульс имеет почти прямоугольную форму.

Мультивибратор может работать и в автоколебательном режиме, как генератор с самовозбуждением, тогда он имеет два квазиравновесных состояния (если один из транзисторов находится в «насыщении», то другой – в состоянии «отсечки» (и наоборот). Эти состояния - не устойчивы.

симметричный мультивибратор генерирует прямоугольные импульсы, параметры которых зависят от резисторов **Rb1** и **Rb2** и конденсаторов **C1** и **C2**.

Номиналы **Rb** и **Rn** выбираются таким образом, чтобы **Rn < Rb**. Снимать импульсы можно и с коллектора **T1**, и с **T2**.

**Как называют центральную область в полевом транзисторе?**

1.сток

2. канал

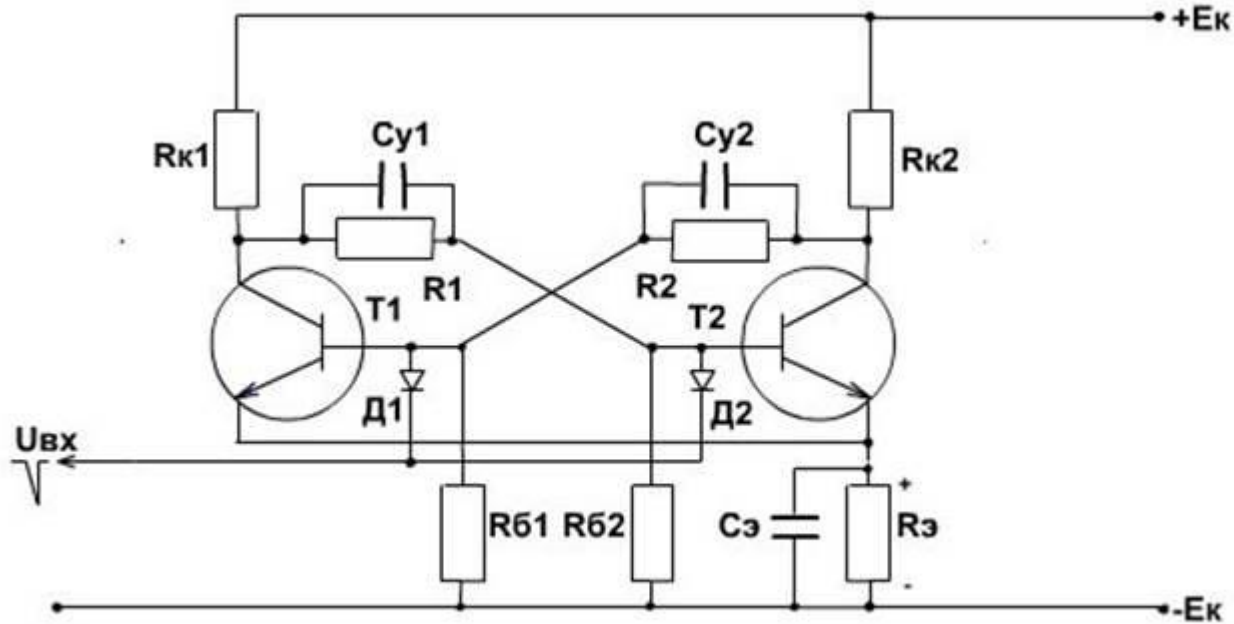
3.исток

4.затвор

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

**Триггер** - это устройство, имеющее два устойчивых состояния и способное под действием управляющих сигналов скачкообразно переходить из одного состояния в другое.

**Симметричный триггер** представляет собой двухкаскадный усилитель постоянного тока с положительной обратной связью, которая осуществляется через RC-цепи с



# 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



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ





# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ 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

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

рабочие

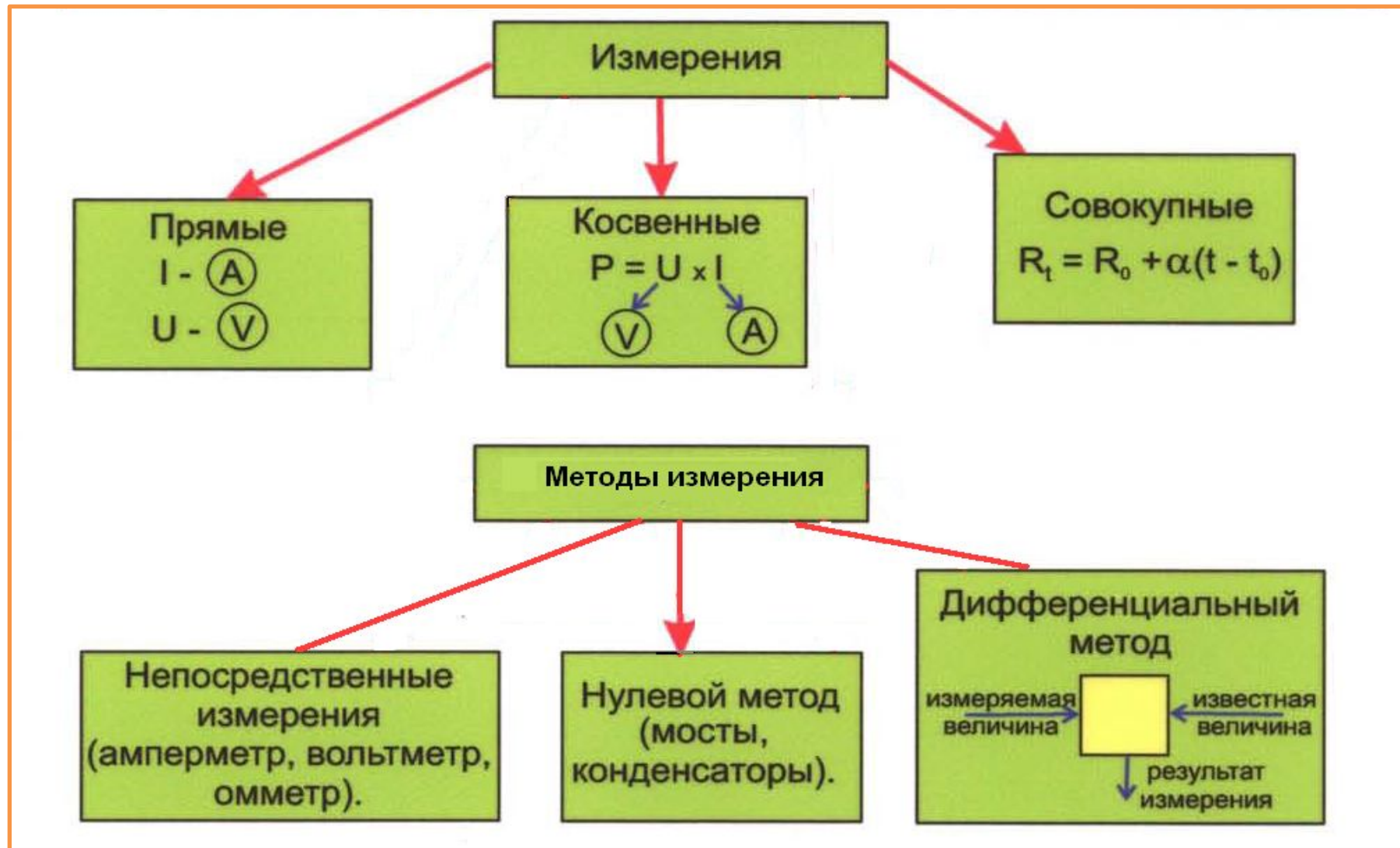
- класс устройств, применяемых для измерения различных электрических величин

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

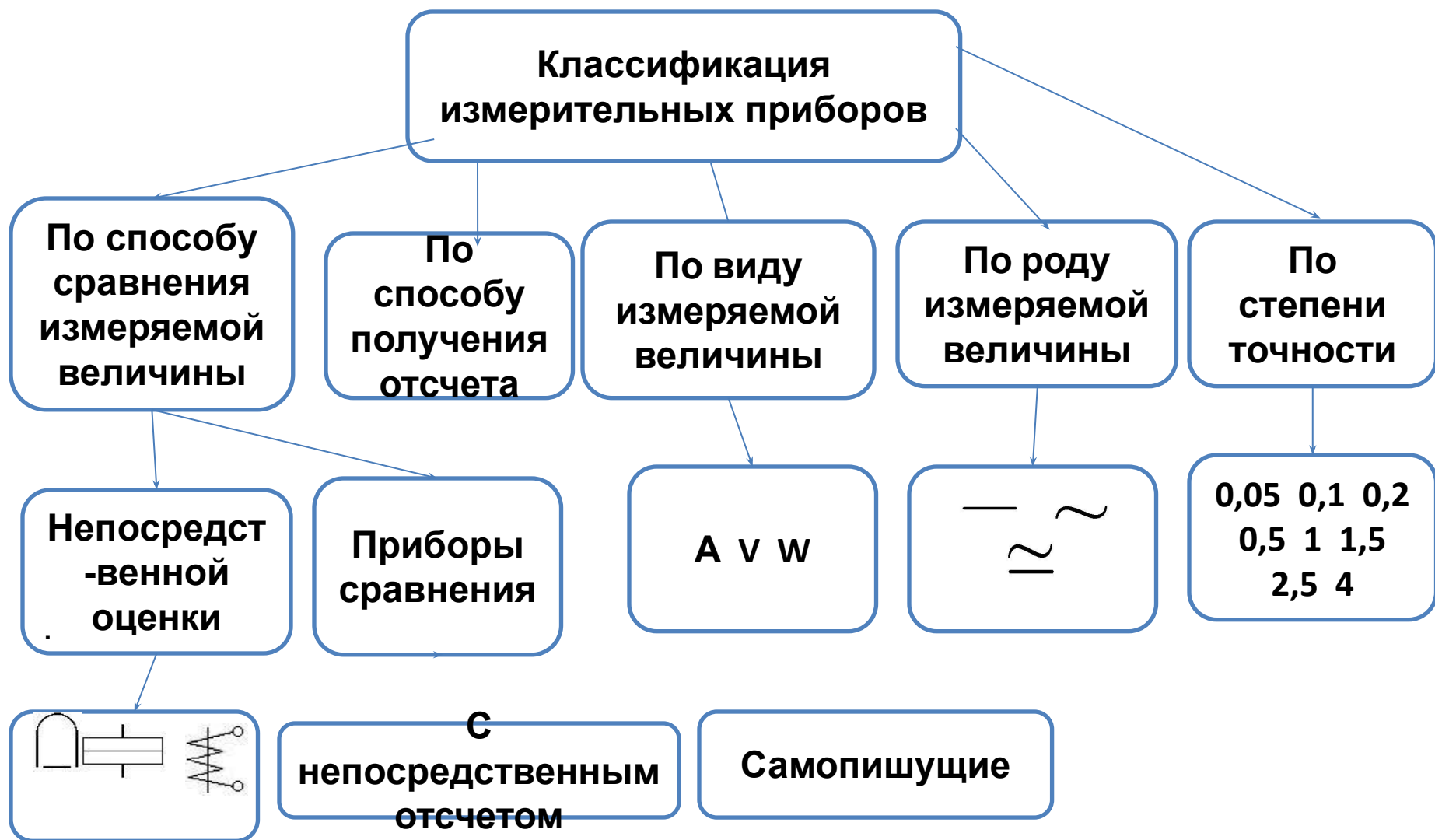
- выпрямители, шунты, добавочные резисторы и т.д.). Измерительные трансформаторы

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## 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

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

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ПОГРЕШНОСТИ ПРИБОРОВ. КЛАСС ТОЧНОСТИ

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

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

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

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.

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## КЛАСС ТОЧНОСТИ ПРИБОРОВ

Класс точности - допускаемая (максимальная) основная приведенная погрешность электроизмерительного прибора.

0.05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4

$$\varepsilon_{\Pi} = \frac{\Delta \alpha_{max}}{\alpha_2} \dots \%$$

Класс точности указывается на шкале прибора в одном из трех вариантов, например, для класса точности 1,5 возможны обозначения: 1,5; 1,5 и  $\surd 1,5$

Первые два обозначения следует читать так: приведенная погрешность не превышает 1,5%.

Третий же вариант читается: приведенная погрешность не превышает 1,5% от длины шкалы прибора.

Приборы классов точности от 0,01 до 0,5 включительно называются прецизионными и используются для точных лабораторных исследований. Приборы классов точности от 1,0 до 4,0 включительно - технические, выше 4,0 - внеклассовые.

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## 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.

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ЦЕНА ДЕЛЕНИЯ

**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.



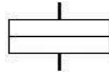
Чтобы определить цену деления шкалы, нужно предел измерения прибора разделить на общее число делений шкалы.

*Пример:* предельное значение силы тока  $I_{\text{пред.}} = 75 \text{ А}$ , шкала амперметра имеет 150 делений. В этом случае цена деления шкалы:  
 $C_1 = 0,5 \text{ А/дел.}$



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

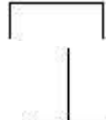

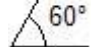
## Система прибора

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 

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

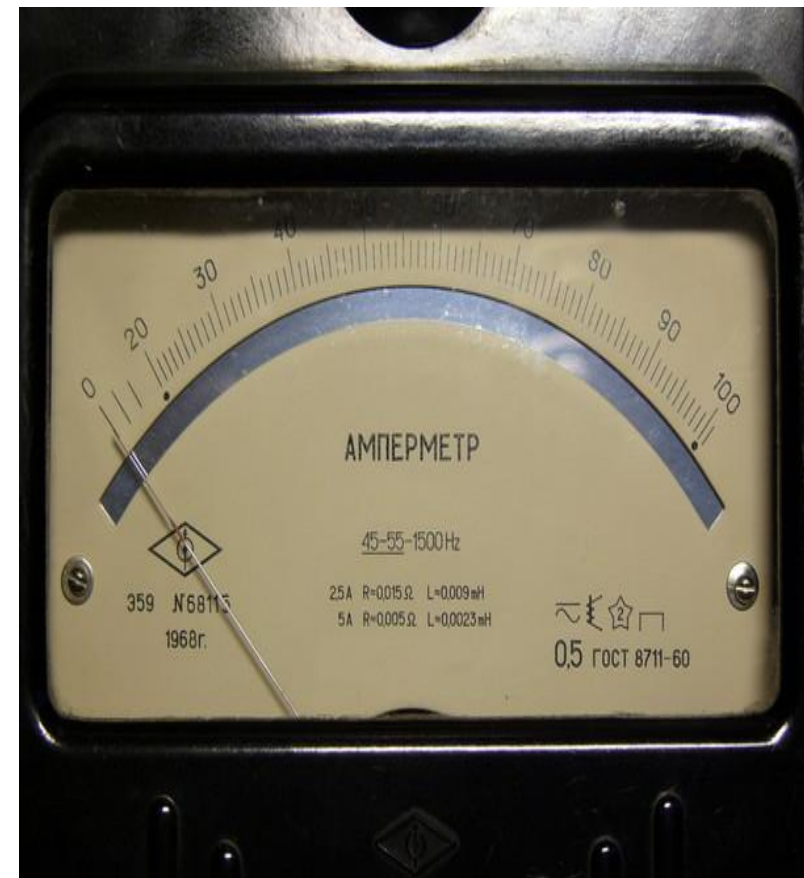
## ОБЩИЕ ДЕДАЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

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

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

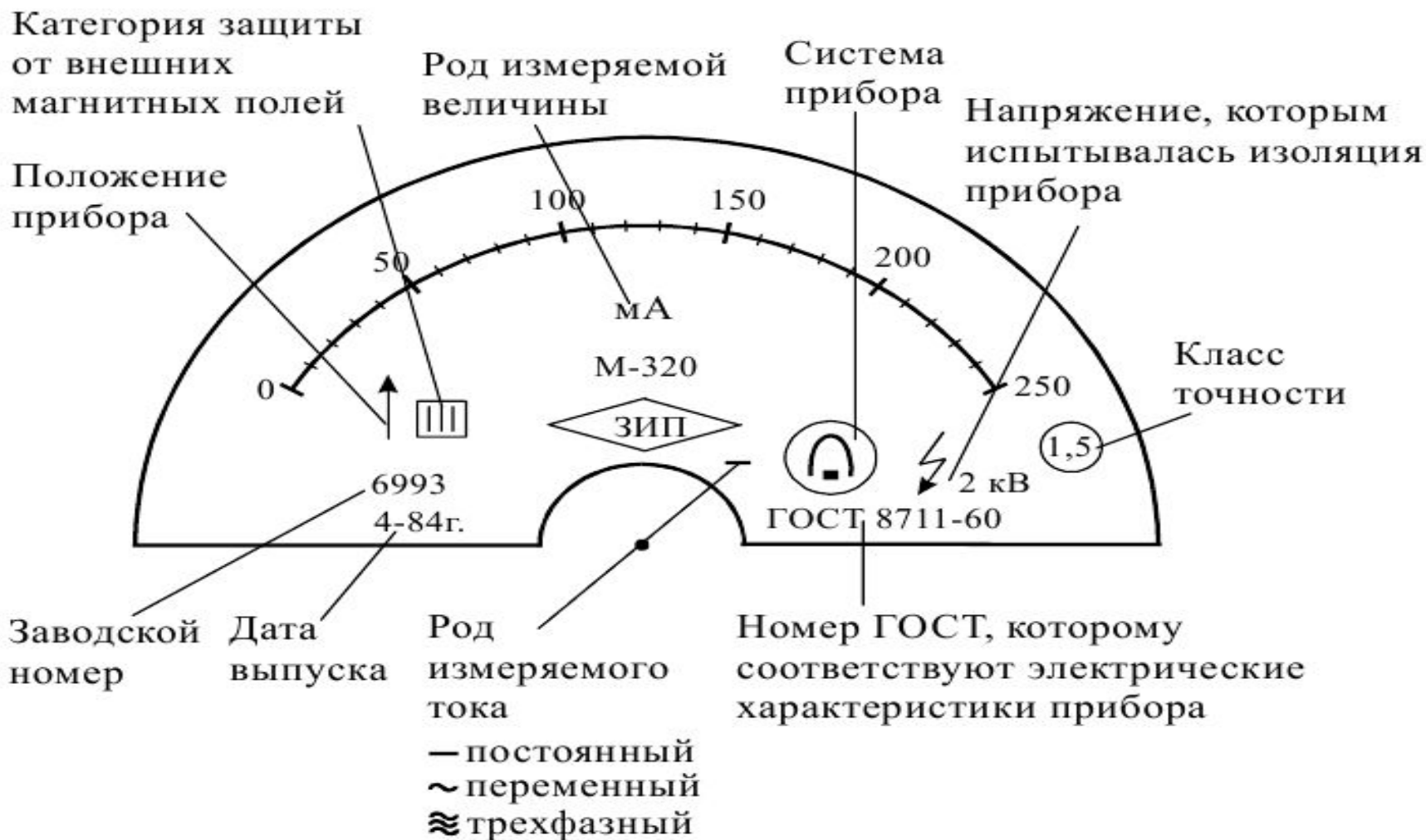
На шкале даются краткие сведения о приборе:

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



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

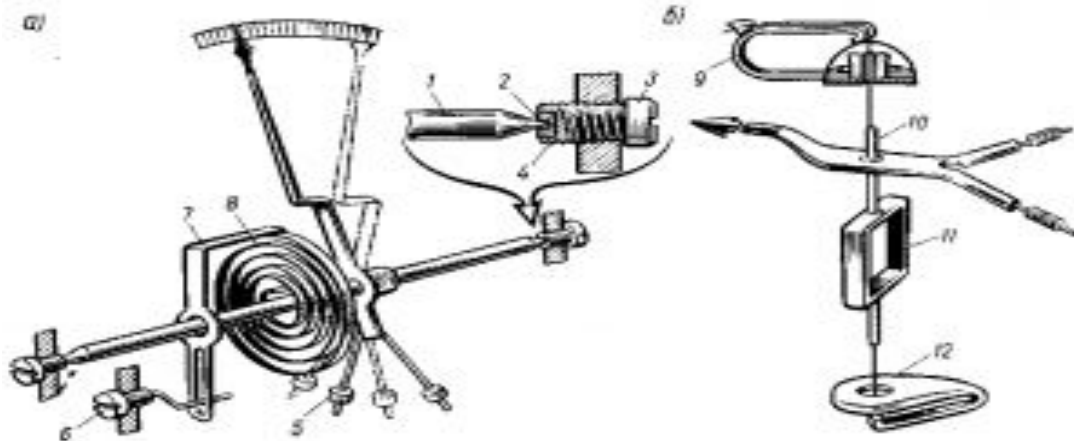
## СВЕДЕНИЯ О ПРИБОРЕ:



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ОБЩИЕ ДЕДАЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

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.

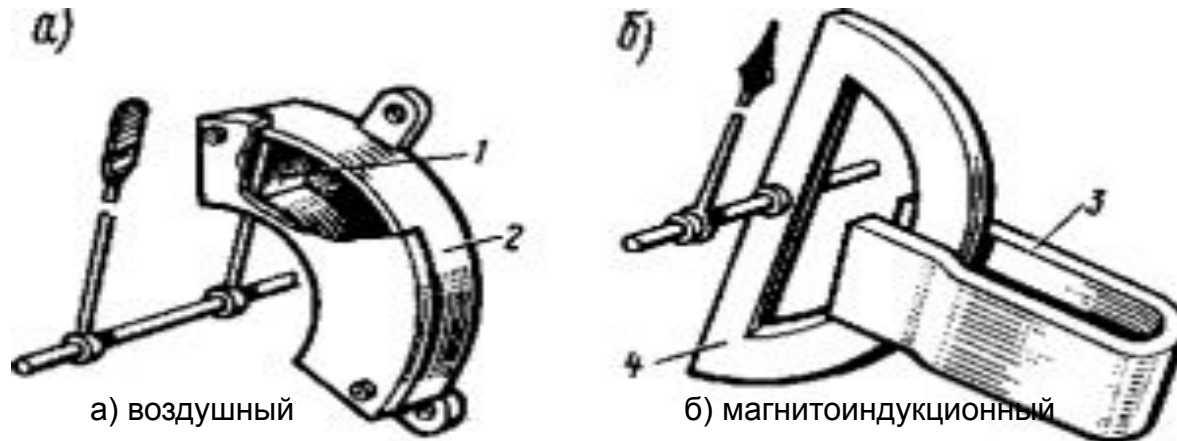
# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ОБЩИЕ ДЕДАЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

**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.



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

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ПРИБОРЫ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ



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

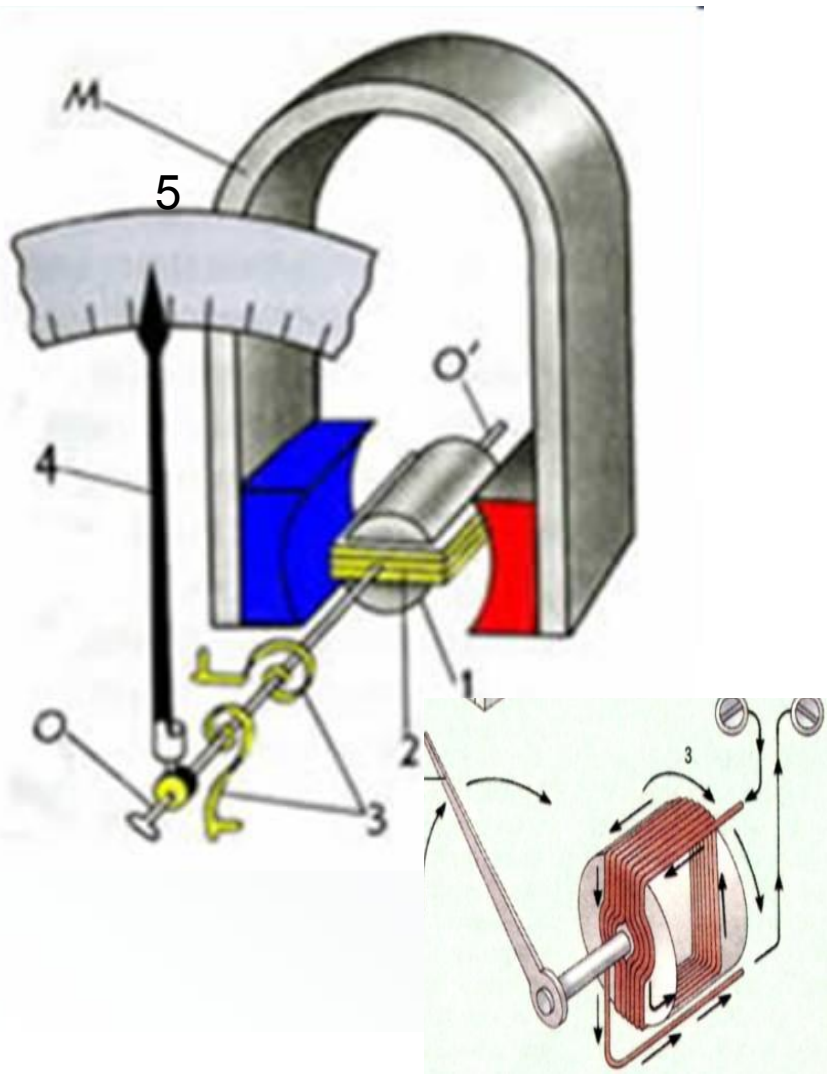
Состоит:

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.



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ПРИБОРЫ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

. Суммарное действие всех электромагнитных сил создает  
вращающий момент

$$M_{\text{вр}} = I B S \omega$$

$B$  – магнитная индукция

$S$  – площадь сечения

$\omega$  – число витков

$I$  – ток

Момент противодействия, созданный пружиной

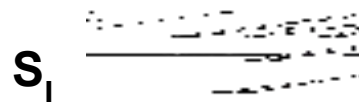
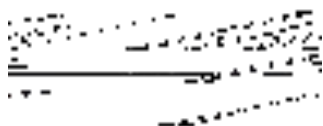
$$M_{\text{пр}} = K \alpha$$

$\alpha$  – угол поворота

$K$  – коэффициент, учитывающий свойства пружины

В момент равновесия

$$M_{\text{вр}} = M_{\text{пр}}$$



$S_1$  – чувствительность прибора по току

Применяются в качестве амперметров, вольтметров, омметров.

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ПРИБОРЫ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

### 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.

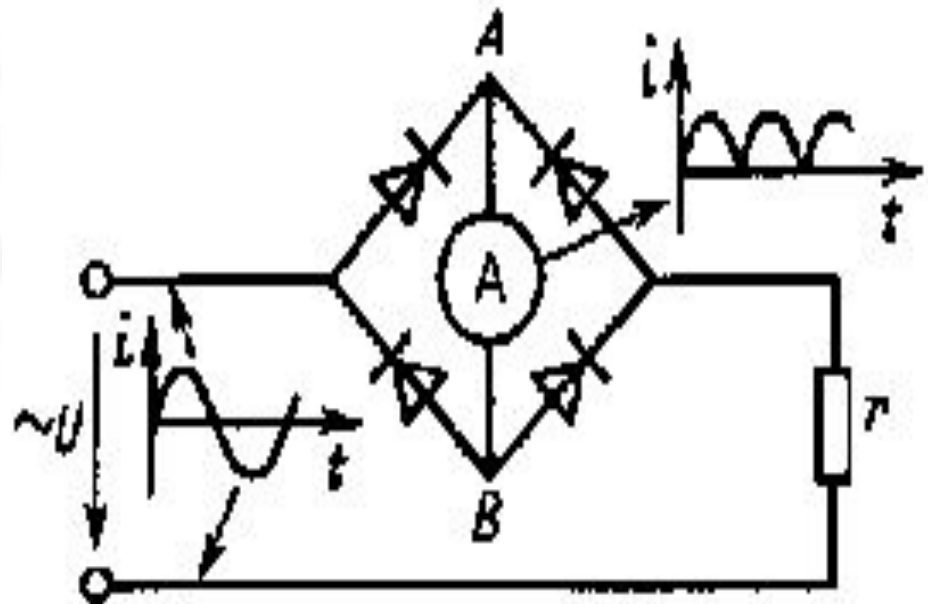
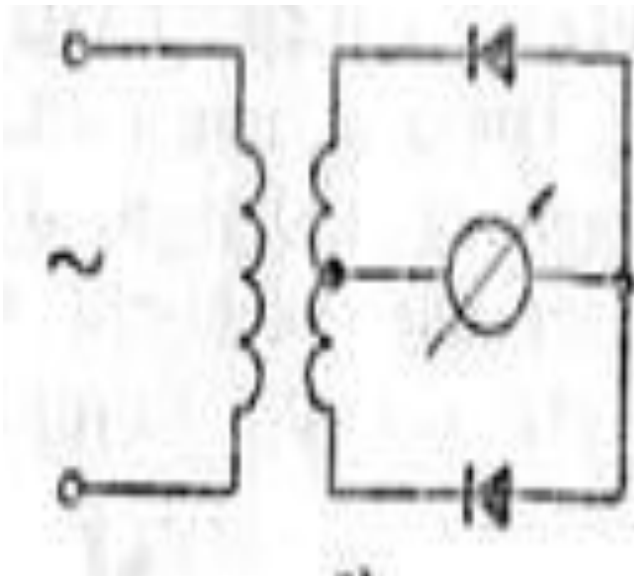




# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ПРИБОРЫ ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

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



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

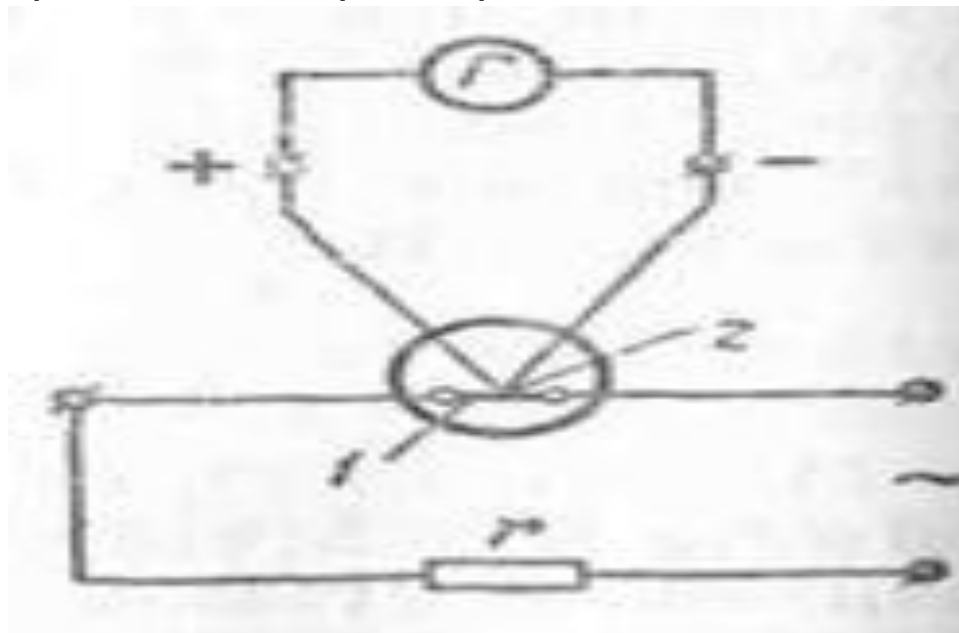
## ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

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

Принцип действия :

- 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.



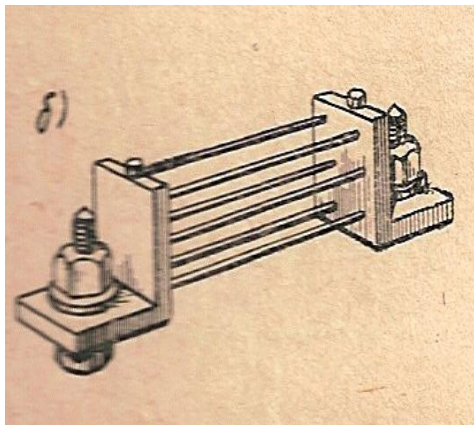
# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПО ТОКУ

### ШУНТЫ

Применяется для расширения предела измерения тока измерительным механизмом. Представляет собой измерительный преобразователь, состоящий из резистора, включаемого в цепь измеряемого тока, параллельно которому присоединяется измерительный механизм.

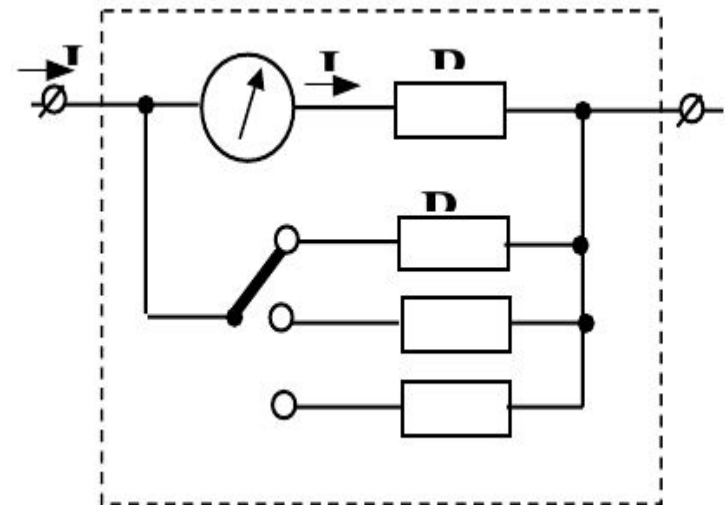
Для устранения влияния сопротивлений контактных соединений шунты снабжаются токовыми и потенциальными зажимами



$$I = I_A + I_{\text{ш}}$$

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

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

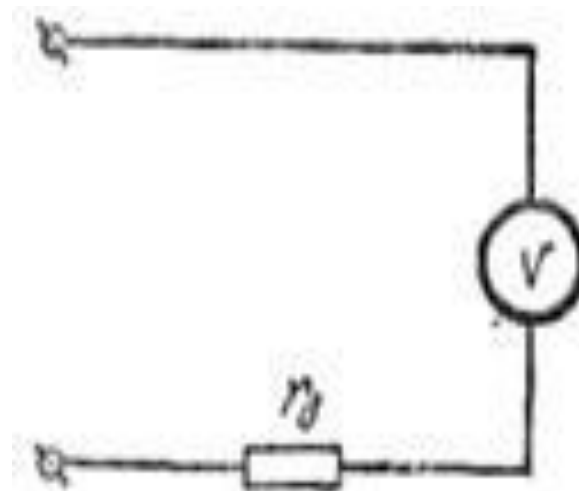
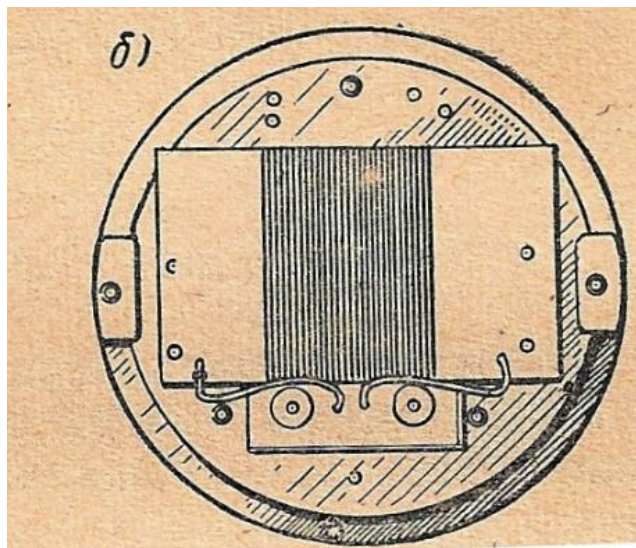


# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## 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.

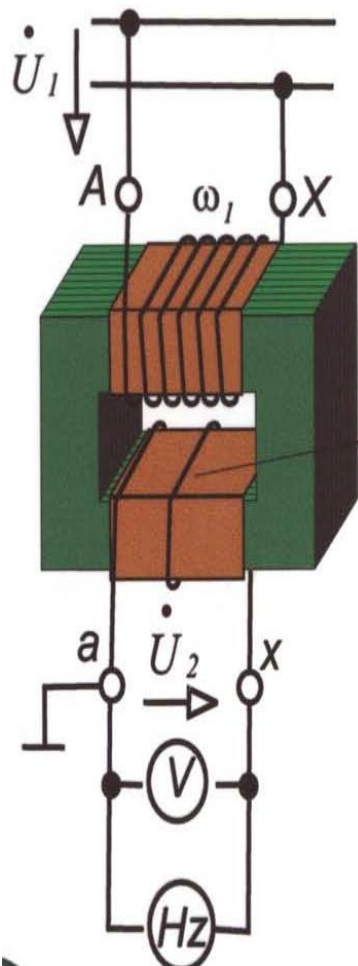
$$U = U_V (R_D + R_V) / R_V$$



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Используются для расширения пределов измерения приборов в цепях переменного тока.

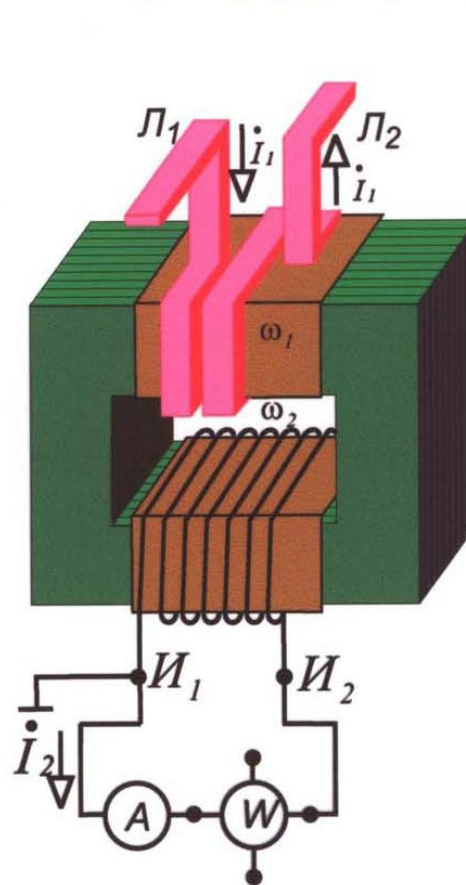


Трансформаторы  
напряжения

Это понижающие  
трансформаторы,  
имеющие  
 $U_{2H}=100В$

В паспорте  
указываются  $S_H$ ,  
 $U_{1H}$ ,  $U_{2H}$ , класс  
точности.

Трансформатор тока



Это  
повышающий  
трансформатор,  
имеющий  
 $I_{2H}=5А$ .

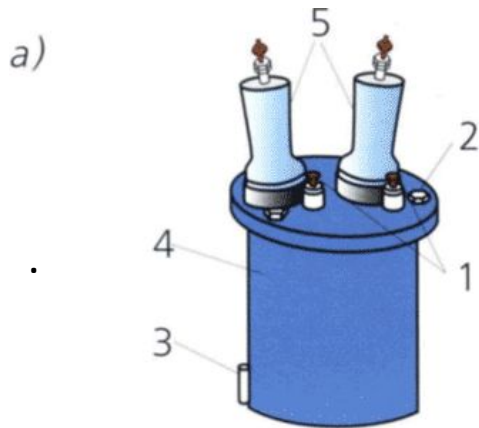
В паспорте  
указывается  $I_{1H}$ ,  
 $I_{2H}$ , класс  
точности,  
максимальное  
сопротивление  
измерительных  
приборов.

$L_1-L_2$  -  
первичная  
обмотка;  
 $U_1-U_2$  -  
вторичная  
обмотка.

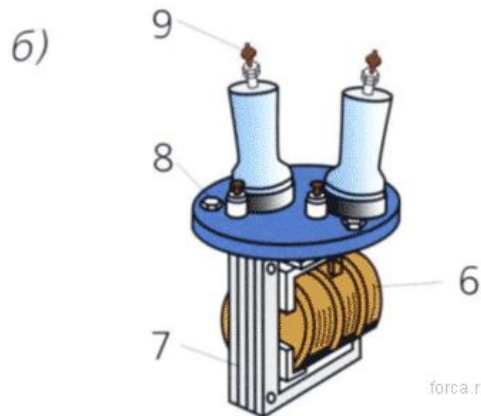
# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР НАПРЯЖЕНИЯ

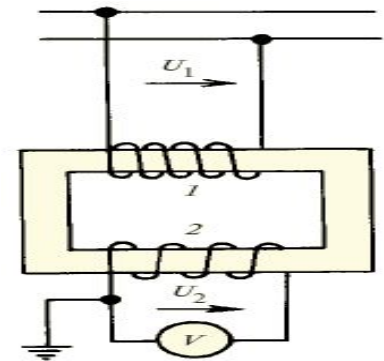
Измерительный преобразователь, понижающий измеряемое напряжение в заданное число раз. Получаемое низкое напряжение, не превышающее обычно 100 В



Состоит из замкнутого магнитопровода, набранного из листовой трансформаторной стали, и двух изолированных обмоток. Первичная обмотка трансформатора присоединённая к сети с измеряемым напряжением; к зажимам вторичной обмотки подключаются соединённые параллельно вольтметры



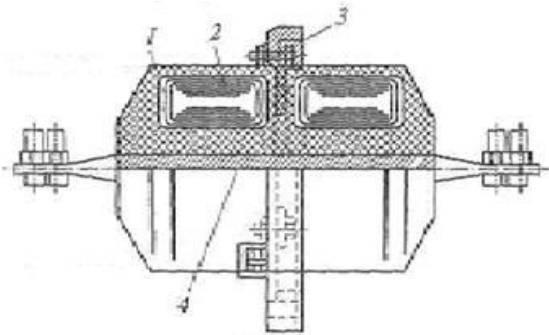
а - общий вид трансформатора напряжения; б - выемная часть; 1,5 - проходные изоляторы; 2 - болт для заземления; 3 - сливная пробка; 4 - бак; 6 - обмотка; 7 - сердечник; 8 - винтовая пробка; 9 - контакт высоковольтного ввода



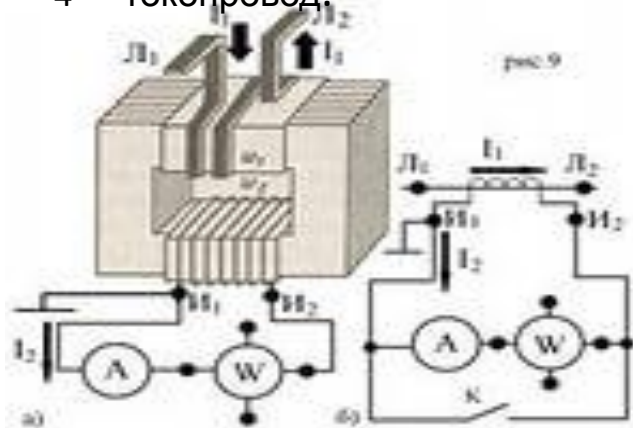


# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР ТОКА



- 1 – магнитопроводы; 2 – вторичная обмотка; 3 – крепежное кольцо;
- 4 – токопровод.

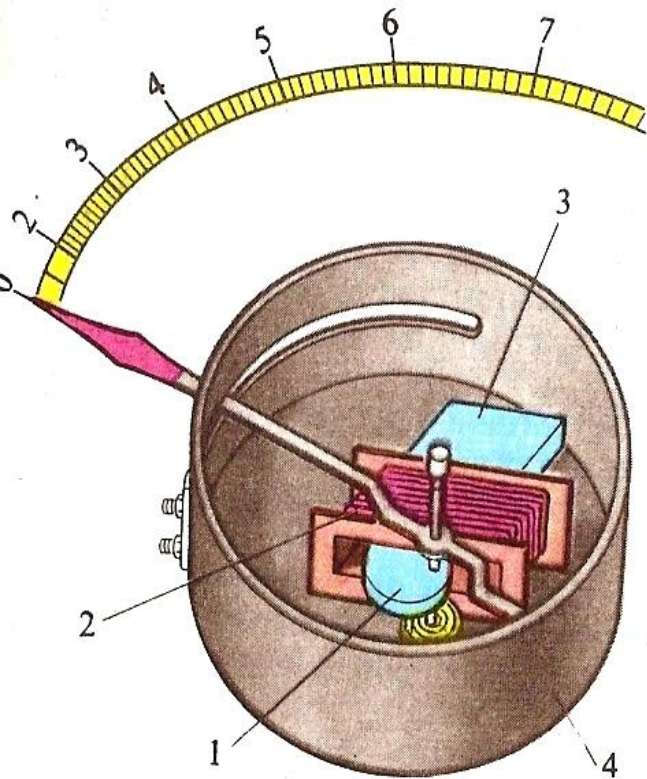


Трансформаторы тока предназначены для преобразования измеряемых переменных токов в относительно малые токи. Во вторичную цепь трансформатора тока включают амперметры, последовательные обмотки ваттметров, счётчиков и других приборов.

Обеспечивается безопасность обслуживания измерительной установки. Трансформатор тока состоит из стального магнитопровода и двух изолированных обмоток. Первичная обмотка  $L_1$ ,  $L_2$ , имеющая меньшее число витков, включается в рассечку провода с измеряемым током.

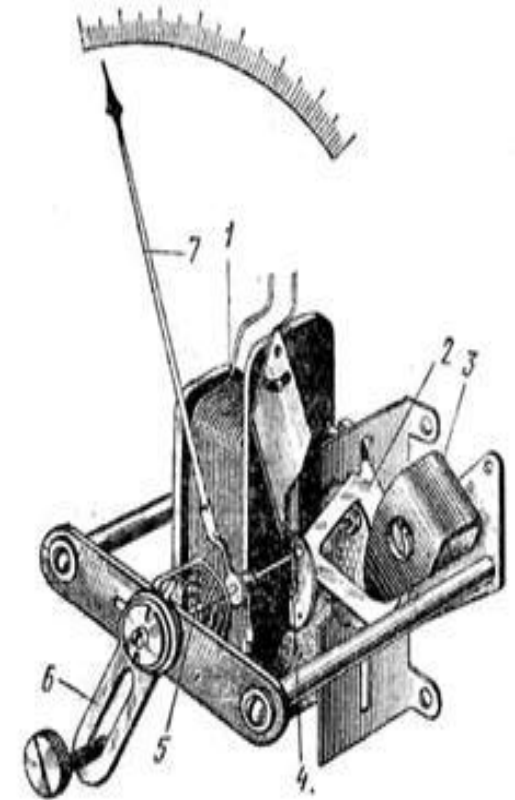
# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ



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

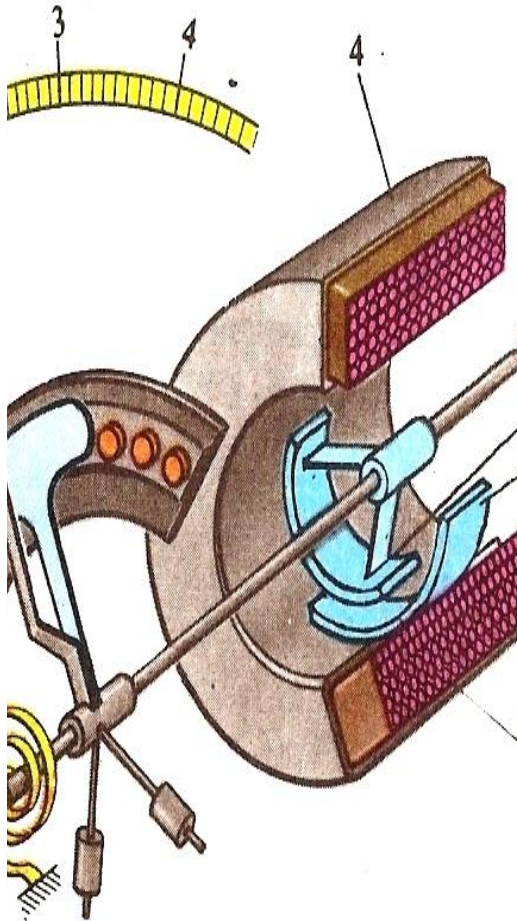
Основными элементами являются катушка и стальной сердечник, эксцентрично насаженный на ось. Приборы бывают двух видов с плоской и круглой катушками.



Используются в качестве амперметров и вольтметр



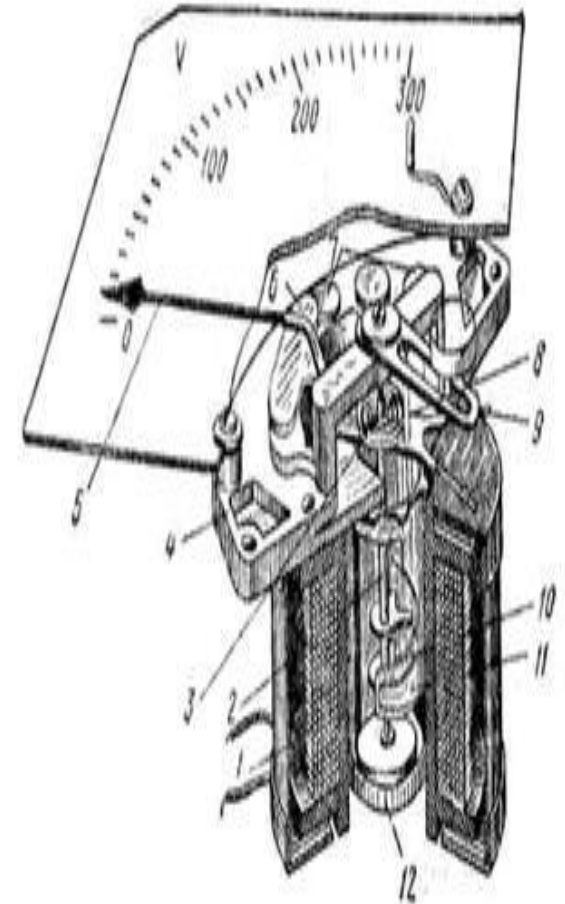
# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ



В приборах с круглой катушкой внутри проходит ось, на которой расположен подвижный сердечник закрепленный неподвижно, а другой сердечник жестко соединена с катушкой.

Угол отклонения

$$\alpha = C I^2$$



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ

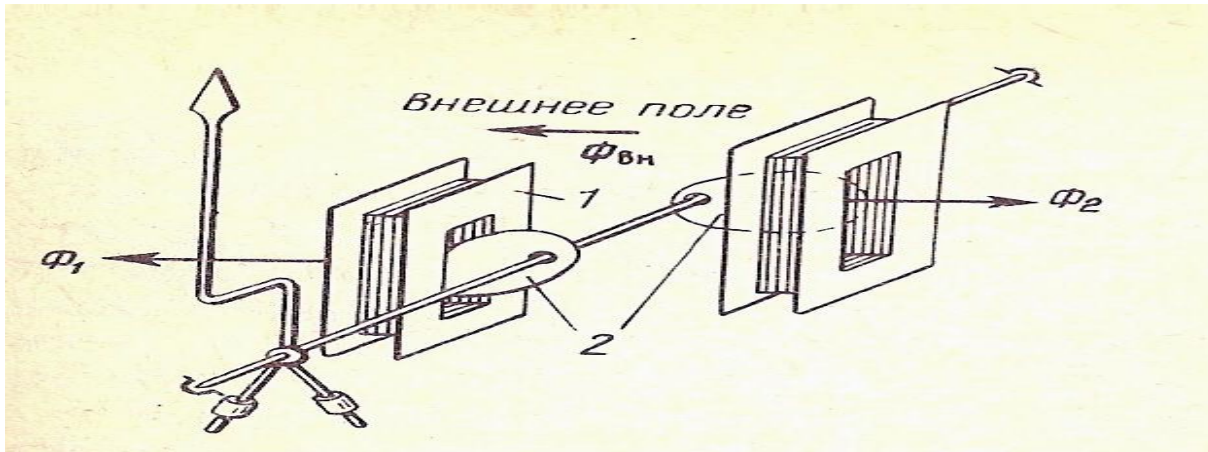
### Достоинства:

- 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.

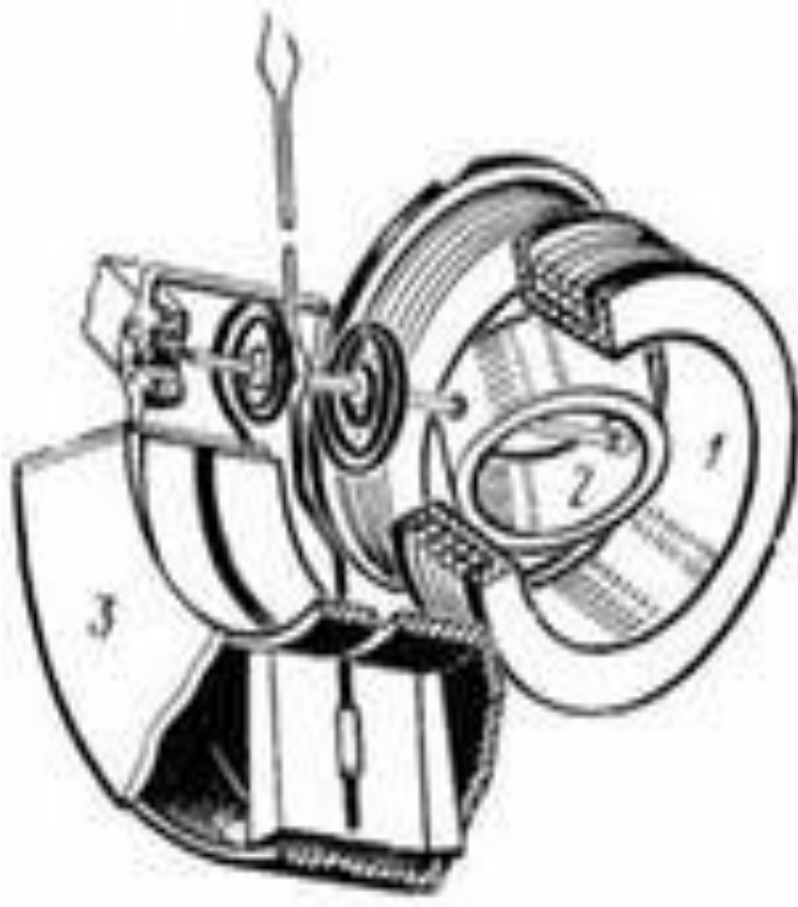
Для устранения влияния внешних магнитных полей используют экранирование или астатический механизм.



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Принцип действия основан на взаимодействии магнитных полей двух катушек с током



### Достоинства:

- возможность использования в цепях как постоянного, так и переменного токов;
- высокая стабильность показаний во времени;
- высокий класс

. Высокая точность приборов обусловлена отсутствием в них, в отличие от других электромеханических приборов, ферромагнитных элементов.

### Недостатки

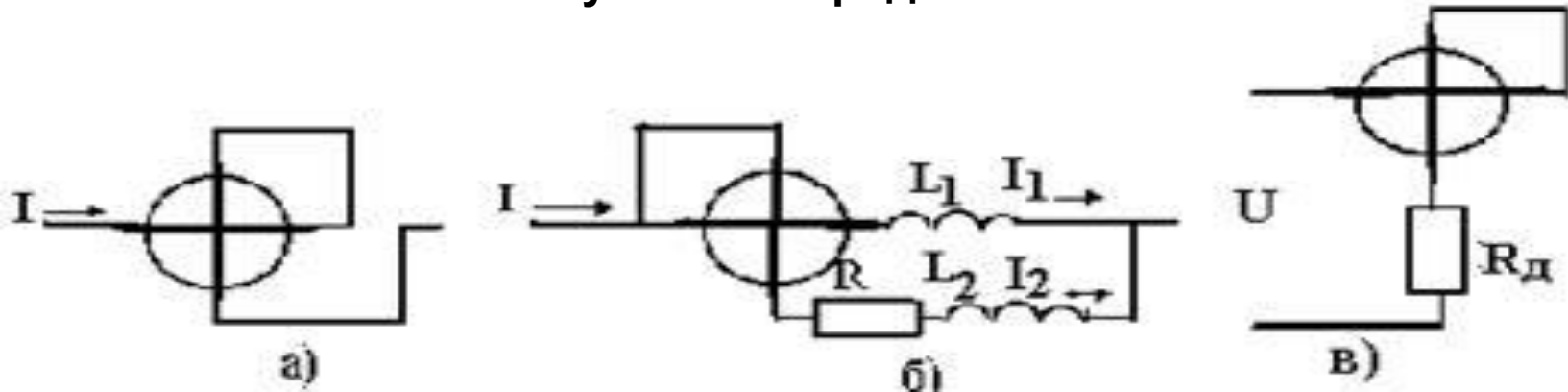
- влияние внешних магнитных полей и механических воздействий;
- большую мощность потребления.

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ПРИБОРЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

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 .

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

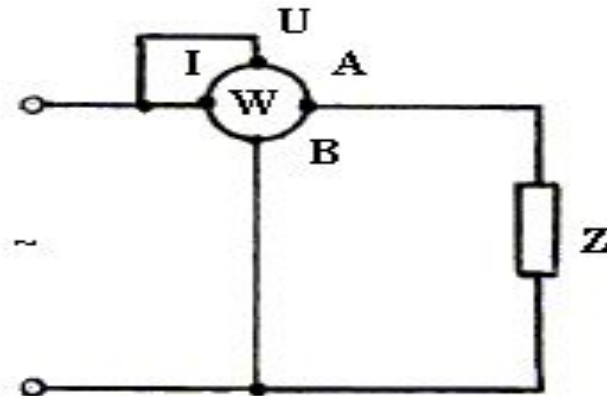
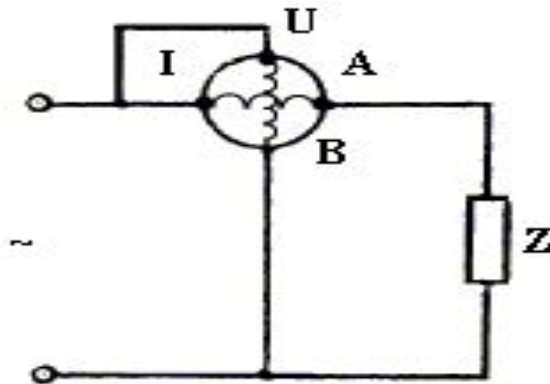
## ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ

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

Измерение мощности одним прибором - ваттметром.

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:

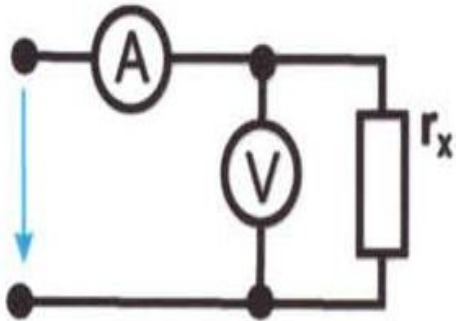


# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ

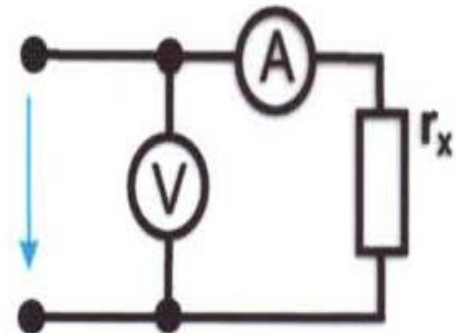
### Измерение активных сопротивлений

а) методом амперметра и вольтметра



при измерении небольших сопротивлений ( $r_x \sim 1 \text{ Ом}$ )

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



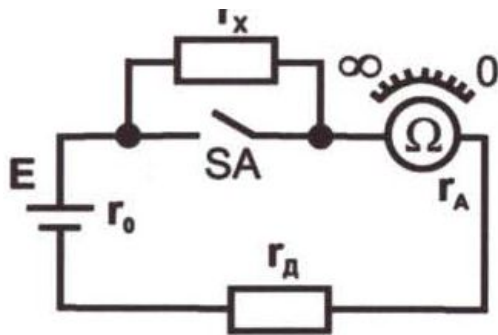
при измерении средних и больших сопротивлений ( $r_x \sim 100 \text{ Ом} \dots 100 \text{ кОм}$ )



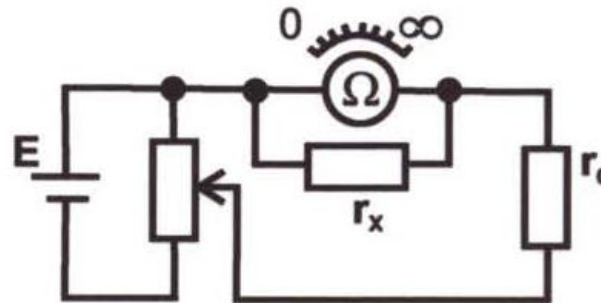
# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ ОММЕТР

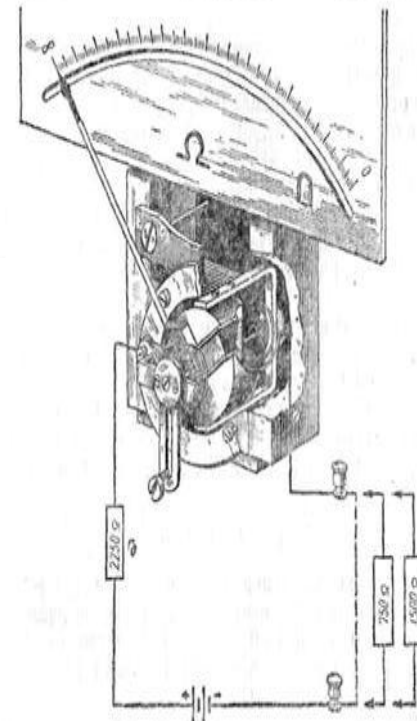
К измерительному механизму подключается источник питания. В цепь последовательно включены: измеряемое сопротивление, добавочное сопротивление,



последовательная схема  
( $r_x > 1 \text{ КОм}$ )



параллельная схема  
( $r_x < 1 \text{ КОм}$ )



Для того чтобы величина  $U \cdot C_i$  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.

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

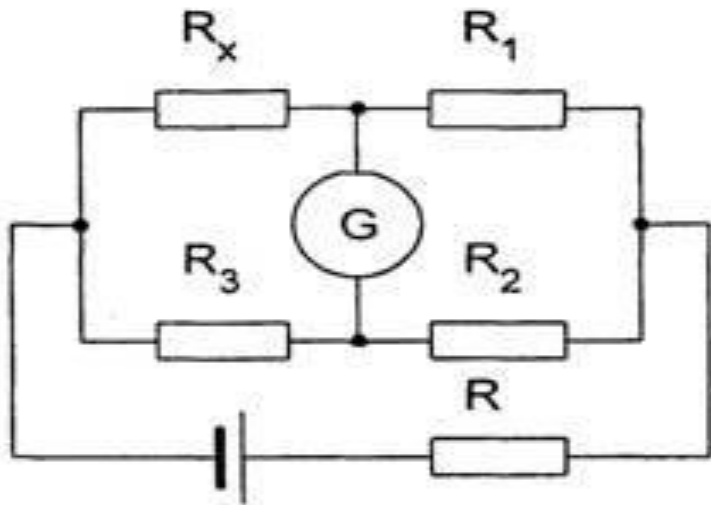
## ОДИНАРНЫЕ МОСТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

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

$$R_x = R_1 R_3 / R_2$$



Плечи одинарных мостов выполняют из магазинов сопротивлений.  $R_1/R_2$ - плечо отношений, обычно кратное 10, а  $R_3$ - плечо сравнения.





# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## МЕГОММЕТР

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.**

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## 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:

- Провести контрольную проверку, 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 (проверить 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 мегомметра).
- По окончании измерений, прежде чем отсоединять концы прибора, необходимо снять накопленный заряд путем наложения заземления.

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## КОЭФФИЦИЕНТ АБСОРБЦИИ

**Абсорбция – водопоглащение .**

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**

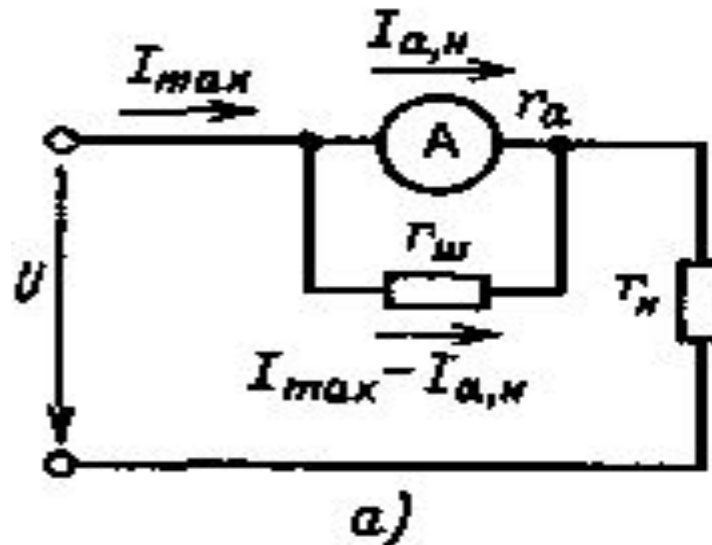
Его значение определяется отношением тока поляризации к току утечки через диэлектрик - изоляцию обмотки. При влажной изоляции коэффициент абсорбции близок к 1. При сухой изоляции при температуре 10-30°  $K_{ab}=1,3-2$ .

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## 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  $I$ .

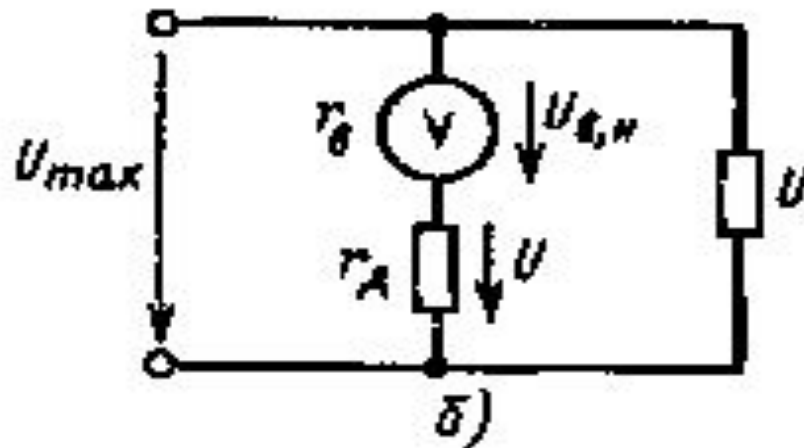


# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## 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,

$$U_V = R \cdot I_R = R \cdot I \text{ при } I_V = 0.$$



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

**OFF/on** -выключатель питания прибора

**DCV** - измерение напряжения постоянного тока(вольтметр)

**ACV** - измерение напряжения переменного тока(вольтметр)

**DCA** - измерение постоянного тока (амперметр).

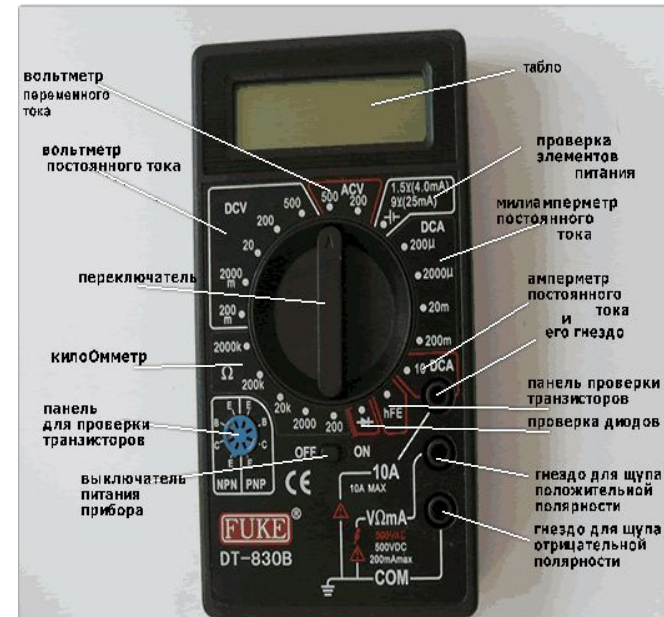
**hFe** - сектор включения измерения транзисторов .

**10A** - сектор амперметра для измерения больших значений постоянного тока

**Диод** -сектор для проверки диодов.

**Ом** -сектор измерения сопротивления.

**1.5v-9v** - проверка элементов питания.



## МУЛЬТИМЕТР DT-830B

Состоит из:

-дисплей ж/к

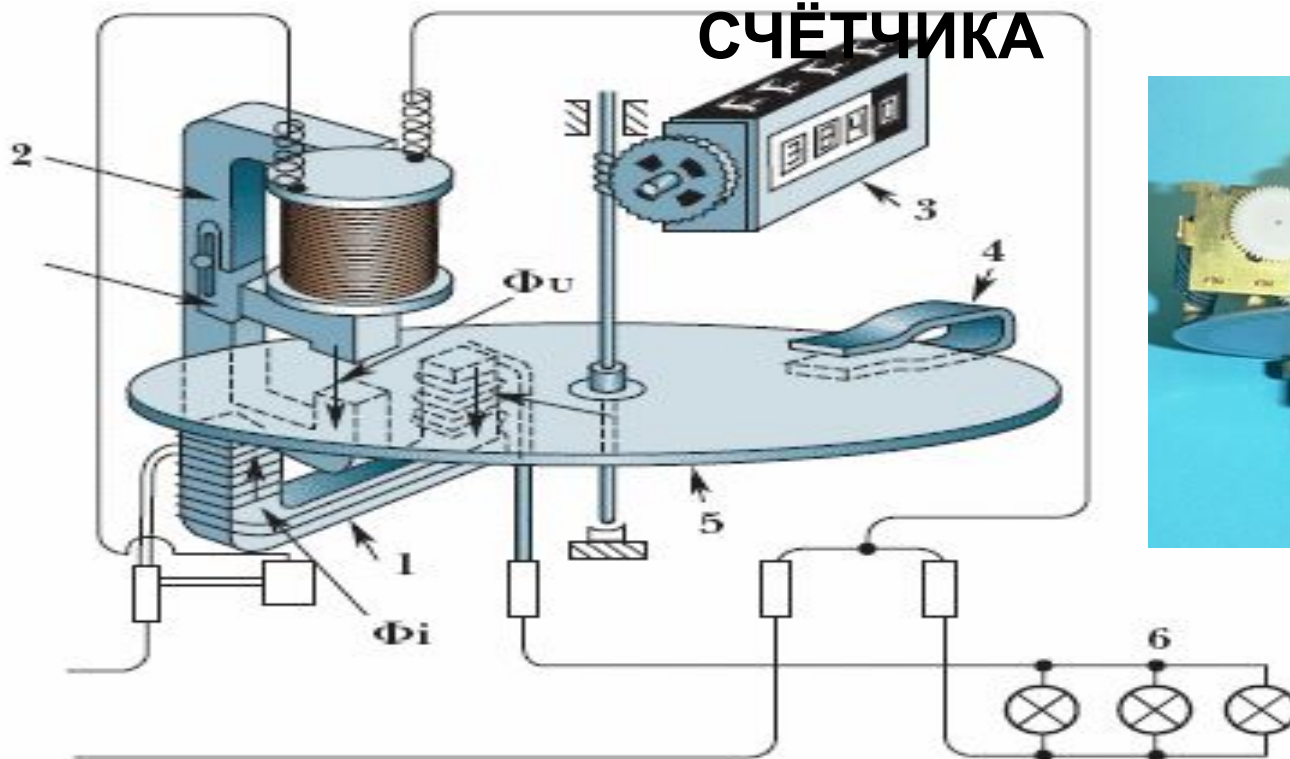
-переключатель многопозиционный

-гнезда для подключения щупов

-панель для проверки транзисторов

-задняя крышка(будет нужна для замены элемента питания прибора, элемент типа "Крона" 9 вольт)

# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ СХЕМА ОДНОФАЗНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЧЁТЧИКА



1 – электромагнит последовательной цепи (тока); 2 – электромагнит параллельной цепи (напряжения); 3 – счётный механизм; 4 – тормозной механизм (постоянный магнит, который создаёт противодействующий момент, необходимый для обеспечения однозначности измерения); 5 – алюминиевый диск; 6 – нагрузка в цепи (напр., осветительные лампы);  $\Phi_u$  – поток, создаваемый током в цепи напряжения (параллельной нагрузке);  $\Phi_i$  – поток, создаваемый током нагрузки



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## ЭЛЕКТРОННЫЙ СЧЕТЧИК

Электрические счетчики владеют рядом преимуществ по сопоставлению с индукционными счетчиками:

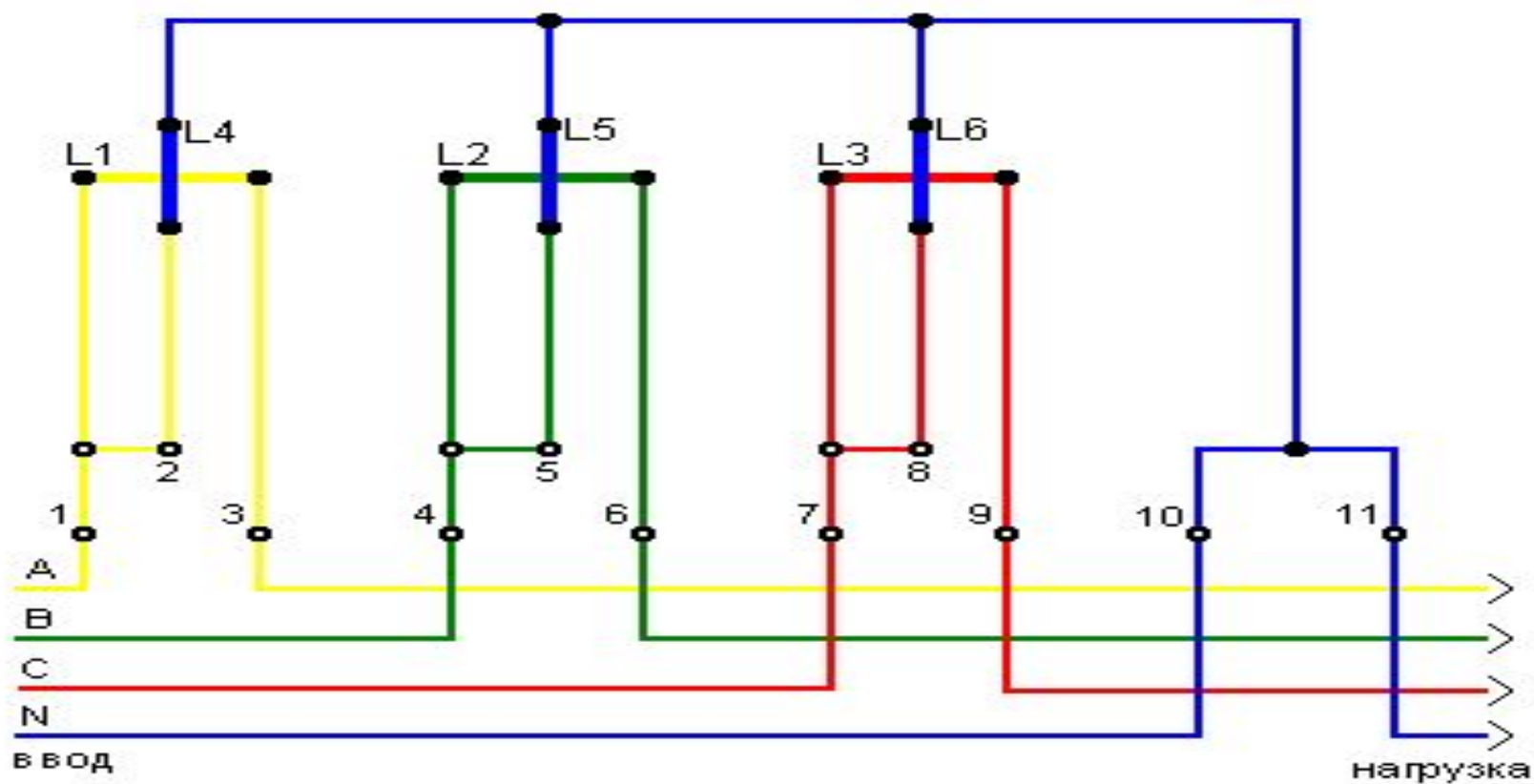
- малые габаритные размеры,
- отсутствие крутящихся частей,
- возможность учета электроэнергии по нескольким тарифам,
- измерение дневных максимумов нагрузки,
- учет как активной, так и реактивной мощности,
- более высочайший класс точности,
- возможность дистанционного учета электроэнергии.



# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

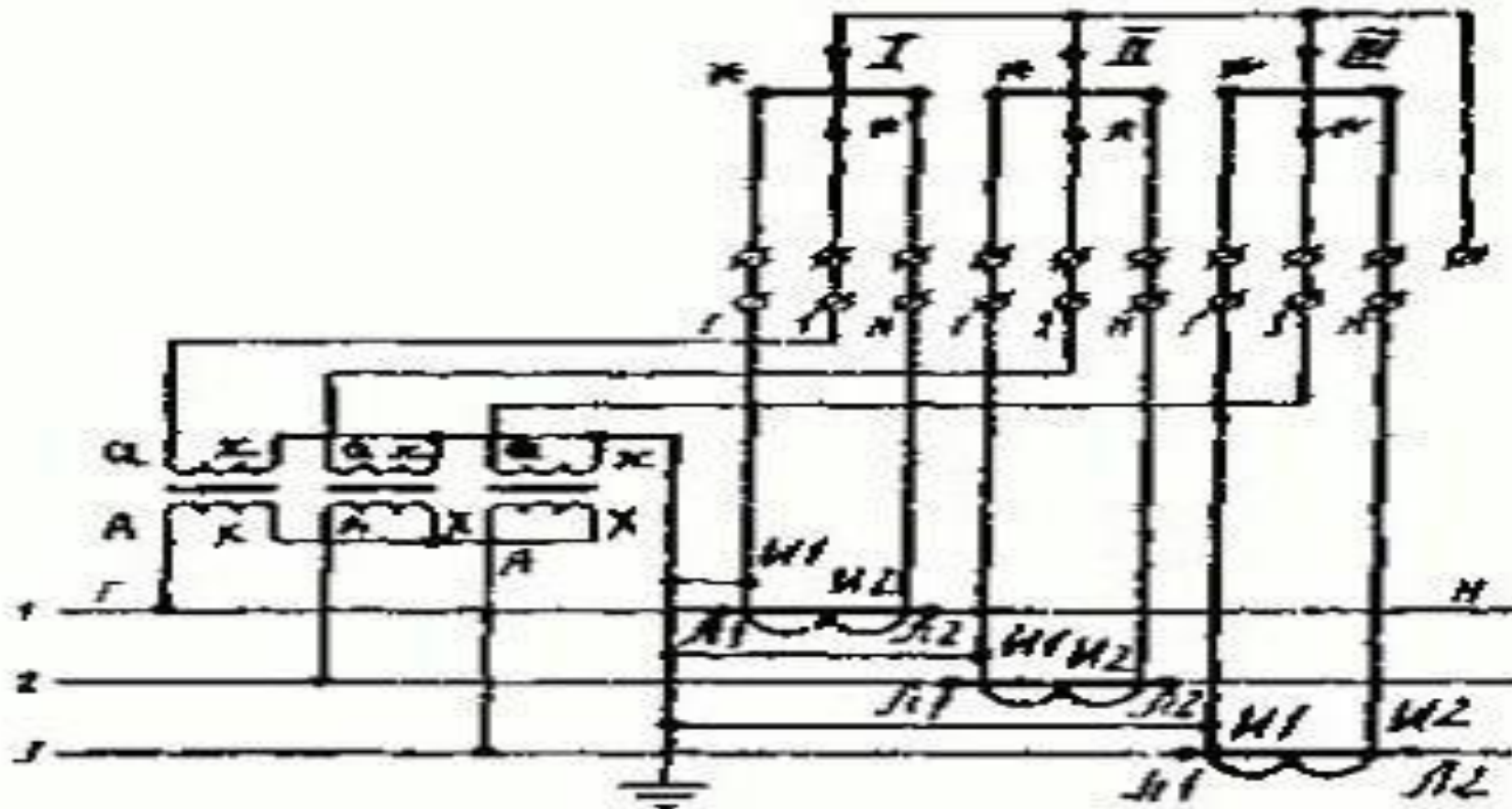
## СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО СЧЁТЧИКА ПРЯМОГО ВК ЧЕТЫРЕХПРОВОДНОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 380 В

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

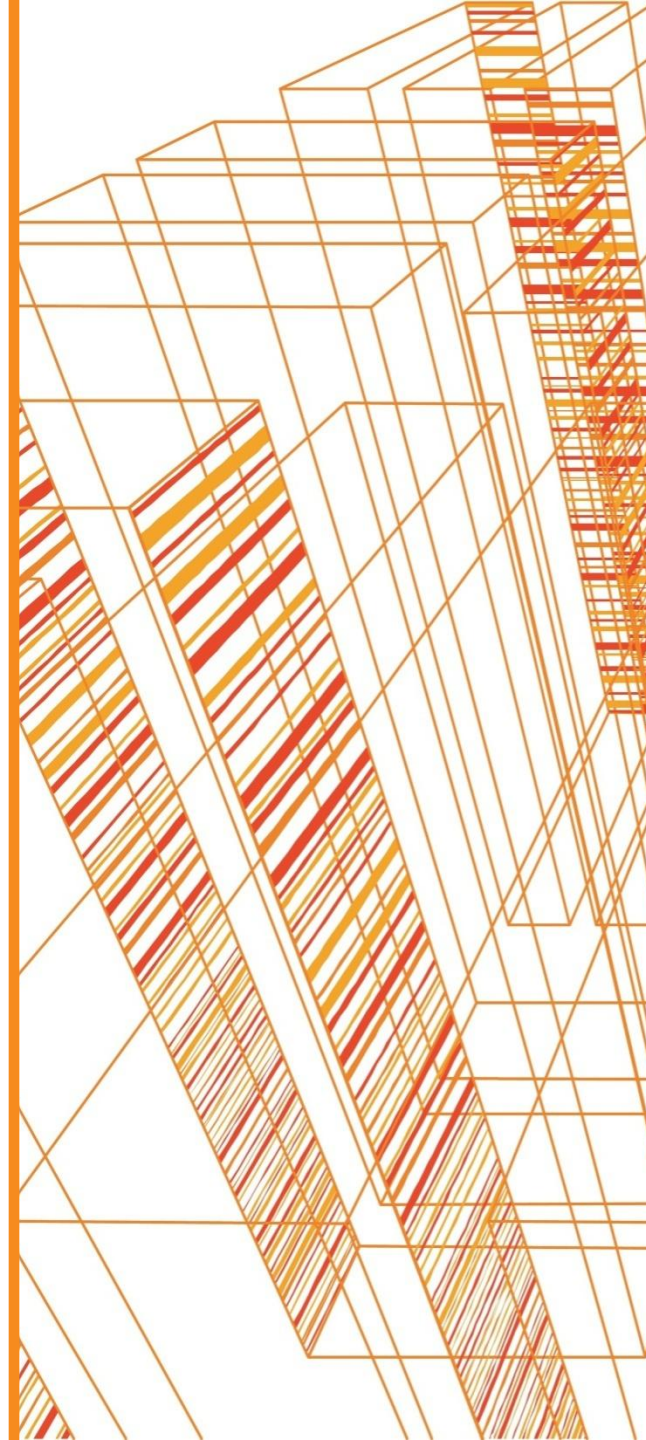


# ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

## СХЕМА КОСВЕННОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО СЧЕТЧИКА В ТРЕХПРОВОДНУЮ СЕТЬ



# ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ



## **Абсолютная погрешность – это**

- 1.разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины.
- 2.отношение показания прибора к действительному значению измеряемой величины.
- 3.отношение изменения показания прибора к изменению измеряемой величины
- 4.отношение показания прибора к верхнему пределу диапазона измерения прибора.

**Укажите тип измерительного механизма по условным обозначениям на шкале прибора.**

A  
-1,5 Ω ☆ В, L  
НШ 75 mV КП

- 1. электромагнитный ;**
- 2. магнитоэлектрический;**
- 3. индукционный.**

**Для расширения пределов измерения вольтметра в цепях переменного тока следует применять**

1. добавочные сопротивления.
2. шунты
3. трансформатор тока
4. трансформатор напряжения.

**Отношение изменения показаний прибора к изменению измеряемой величины – это**

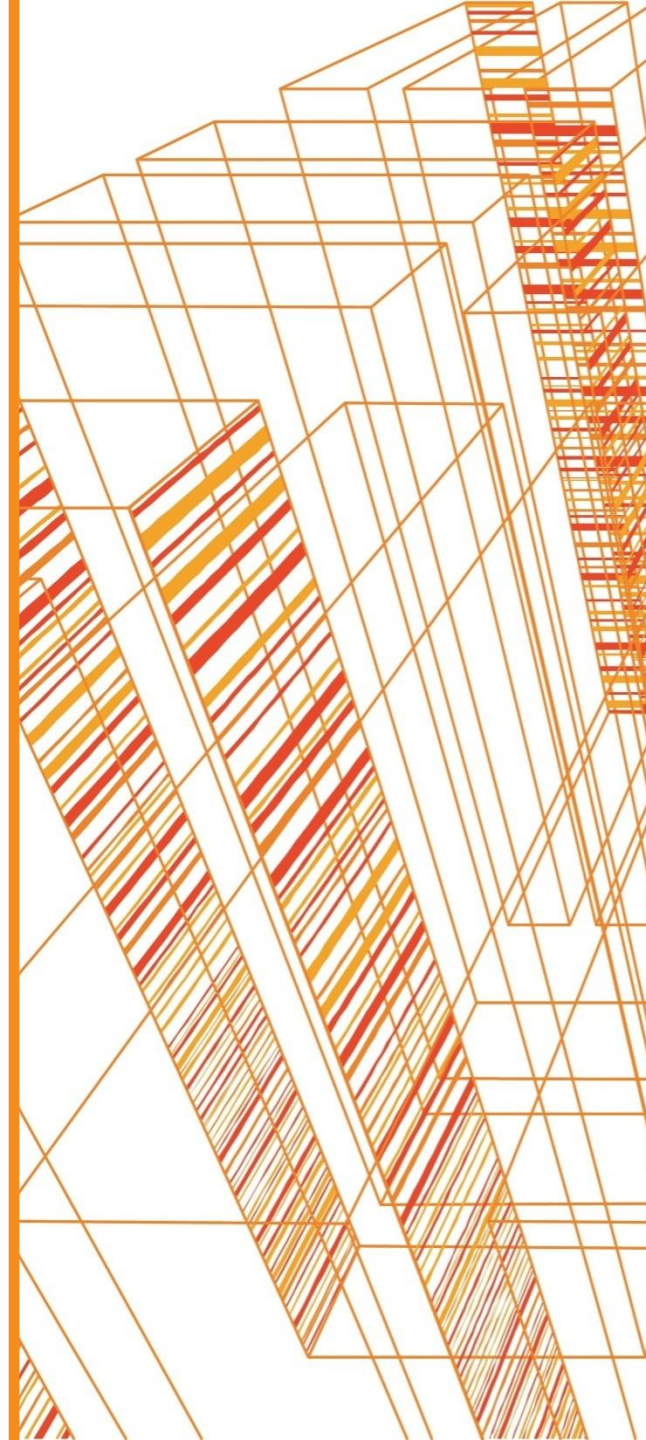
1. точность измерения;
2. чувствительность прибора;



**Какой измерительной системе соответствует принцип действия, основанный на явлении взаимодействия магнитных полей двух катушек с током**

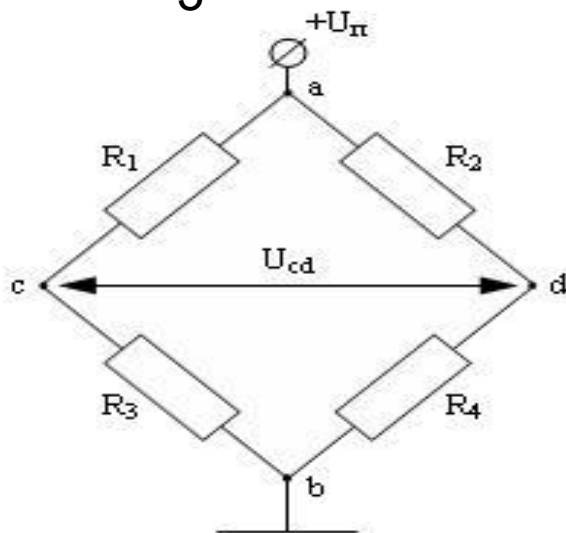
1. Электромагнитной
2. Магнитоэлектрической.
3. электродинамической.

# ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ



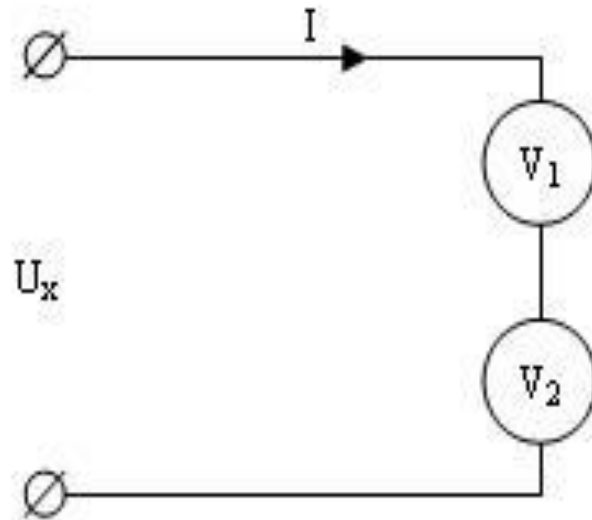
Определите цену деления вольтметра  $C_V$ ,  
если  $U_{\text{НОМ}} = 10\text{В}$  и  $\alpha_{\text{НОМ}} = 100$  дел.

При каком значении сопротивления  $R_4$  измерительный мост будет находиться в равновесном состоянии, если  $R_1 = 400\text{Ом}$ ,  $R_2 = 100\text{Ом}$  и  $R_3 = 200\text{Ом}$ ?



Измеряемое напряжение  $U_x$  определяется по показаниям двух одинаковых вольтметров, параметры которых:  $U_{\text{НОМ}} = 10\text{В}$ , класс точности  $k = 1$ , показания вольтметров -  $8\text{В}$ . Результат измерения:  $U_x = 16 \pm \Delta U \text{ В}$ .

Определить абсолютную погрешность  $\Delta U$  измеряемого напряжения.



ипы триггеров:

**RS-триггер**— триггер, который сохраняет своё предыдущее состояние при нулевых входах и меняет своё выходное состояние при подаче на один из его входов единицы.

RS-триггер используется для создания сигнала с положительным и отрицательным фронтами, отдельно управляемыми посредством стробов, разнесённых во времени. Также RS-триггеры часто используются для исключения так называемого явления дребезга контактов. RS-триггеры иногда называют RS-фиксаторами.

**D-триггер** — запоминает состояние входа и выдаёт его на выход. D-триггеры имеют, как минимум, два входа: информационный **D** и синхронизации **C**. После прихода активного фронта импульса синхронизации на вход **C** D-триггер открывается. Сохранение информации в D-триггерах происходит после спада импульса синхронизации **C**. Так как информация на выходе остаётся неизменной до прихода очередного импульса синхронизации, D-триггер называют также триггером с запоминанием информации или триггером-защёлкой.

Синхронный **T-триггер**, при единице на входе **T**, по каждому такту на входе **C** изменяет своё логическое состояние на противоположное, и не изменяет выходное состояние при нуле на входе **T**. T-триггер часто применяют для понижения частоты в 2 раза, при этом на **T** вход подают единицу, а на **C** — сигнал с частотой, которая будет поделена на 2. T-триггер часто называют счётным триггером, так как он является простейшим счётчиком до 2.

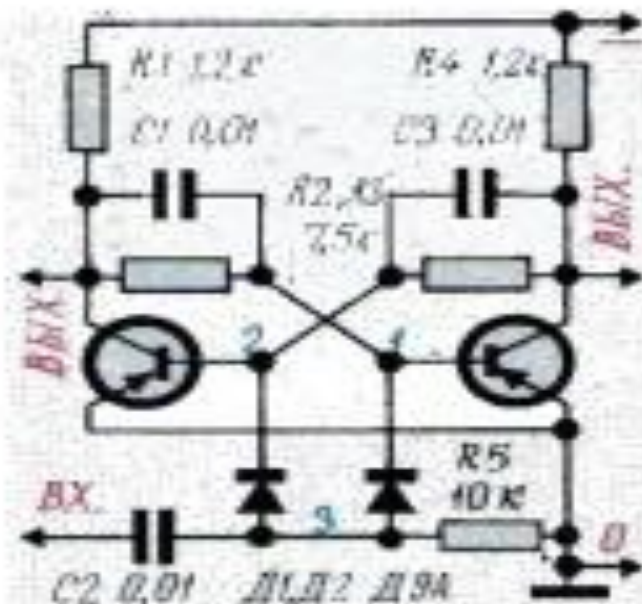
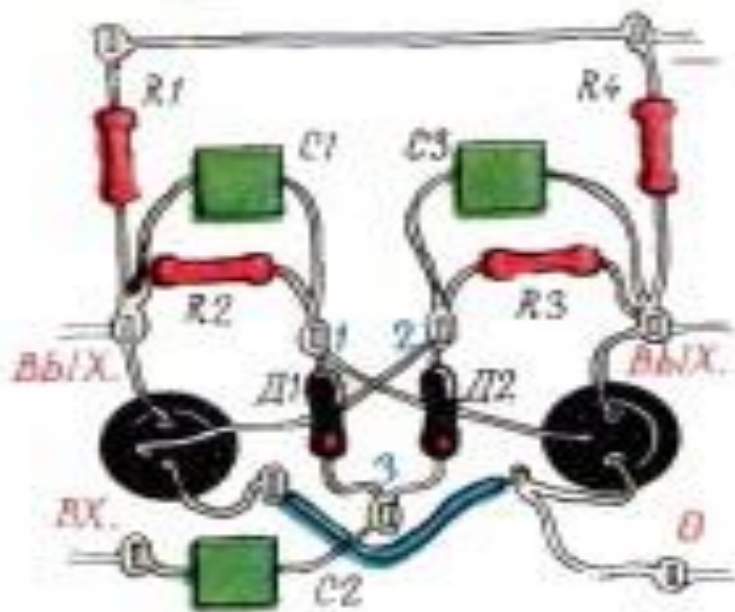
**JK-триггер** работает так же как RS-триггер, с одним лишь исключением: при подаче логической единицы на оба входа **J** и **K** состояние выхода триггера изменяется на противоположное. Вход **J** аналогичен входу **S** у RS-триггера. Вход **K** аналогичен входу **R** у RS-триггера. При подаче единицы на вход **J** и нуля на вход **K** выходное состояние триггера становится равным логической единице. А при подаче единицы на вход **K** и нуля на вход **J** выходное состояние триггера становится равным логическому нулю. JK-триггер в отличие от RS-триггера не имеет запрещённых состояний на основных входах, однако это никак не помогает при нарушении правил разработки логических схем. На практике применяются только синхронные JK-триггеры, то есть состояния основных входов **J** и **K** учитываются только в момент тактирования, например по положительному фронту импульса на входе синхронизации.

Допустим, при включении триггера ток транзистора Т1 немного возрос. При этом напряжение на коллекторе Т1 немного уменьшилось. Это уменьшение напряжения передается через резистор R1 на базу Т2 и вызывает его подзапирание. Потенциал коллектора Т2 немного возрастет и это вызовет через резистор R2 возрастание напряжения на базе Т1 и его дальнейшее открывание. Начинается лавинообразный процесс, который заканчивается тем, что транзистор Т1 входит в насыщение, а транзистор Т2 запирается. Ток транзистора Т1 вызывает на сопротивлении автосмещения Rэ падение напряжения, которое поддерживает транзистор Т2 в запертом состоянии. В этом устойчивом состоянии триггер может находиться до момента прихода на вход отрицательного запирающего импульса (рис.2).

При подаче на вход триггера первого отрицательного импульса, воздействующего на базы Т1 и Т2 через диоды Д1 и Д2 уменьшится коллекторный ток Т1 (воздействие отрицательного импульса на запертый транзистор Т2 не отражается на состоянии схемы). Напряжение на коллекторе Т1 увеличится. Положительный скачок через резистор R1 передается на базу транзистора Т2 и отпирает его. Это вызывает уменьшение потенциала коллектора Т2, которое через резистор R2 передается на базу Т1 и приводит к еще большему уменьшению коллекторного тока Т1, возрастанию потенциала его коллектора и базы Т2. Процесс уменьшения коллекторного тока Т1 и увеличения коллекторного тока Т2 развивается лавинообразно до тех пор, пока транзистор Т1 не запрется, а транзистор Т2 полностью не откроется, и схема перейдет во второе устойчивое состояние. Падение напряжения тока открытого транзистора Т2 на резисторе Rэ устойчиво поддерживает

Для того чтобы на выходах симметричного триггера изменились напряжения необходимо подать на триггер **внешний управляющий (запускающий) импульс** напряжения или тока. В этом случае триггер переходит из одного устойчивого состояния в другое, транзисторы в схеме изменяют своё состояние: открытый транзистор – закрывается, а закрытый – открывается. В это же время на выходах триггера формируется перепад напряжения.





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»

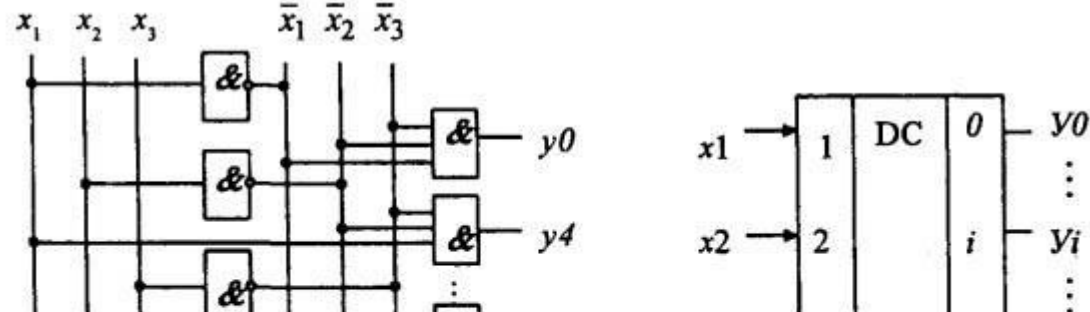
# Дешифратор.

**Дешифраторы** - это комбинационные схемы с несколькими входами и выходами, преобразующие код, подаваемый на входы в сигнал на одном из выходов. На выходе дешифратора появляется логическая единица, на остальных — логические нули, когда на входных шинах устанавливается двоичный код определённого числа или символа, то есть дешифратор расшифровывает число в двоичном, троичном или  $k$ -ичном коде, представляя его логической единицей на определённом выходе. Число входов дешифратора равно количеству разрядов поступающих двоичных, троичных или  $k$ -ичных чисел. Число выходов равно полному количеству различных двоичных, троичных или  $k$ -ичных чисел этой разрядности.

Для  $n$ -разрядов на входе, на выходе  $2^n$ ,  $3^n$  или  $k^n$ . Чтобы вычислить, является ли поступившее на вход двоичное, троичное или  $k$ -ичное число известным ожидаемым, инвертируются пути в определённых разрядах этого числа. Затем выполняется конъюнкция всех разрядов преобразованного таким образом числа. Если результатом конъюнкции является логическая единица, значит на вход поступило известное ожидаемое число.

Из логических элементов являющихся дешифраторами можно строить дешифраторы на большое число входов. Каскадное подключение таких схем позволит наращивать число дифференцируемых переменных.

Структурная схема дешифратора (а) и обозначение дешифратора на принципиальны



# ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

## 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

