

# **Теоретические ОСНОВЫ электротехники**

---

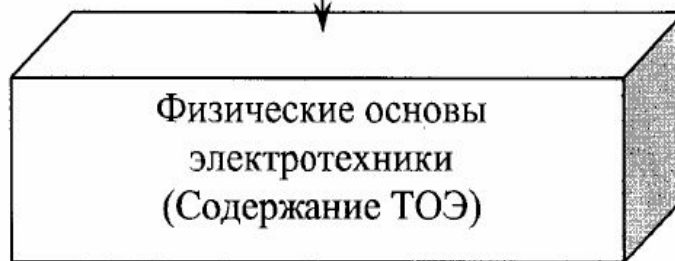
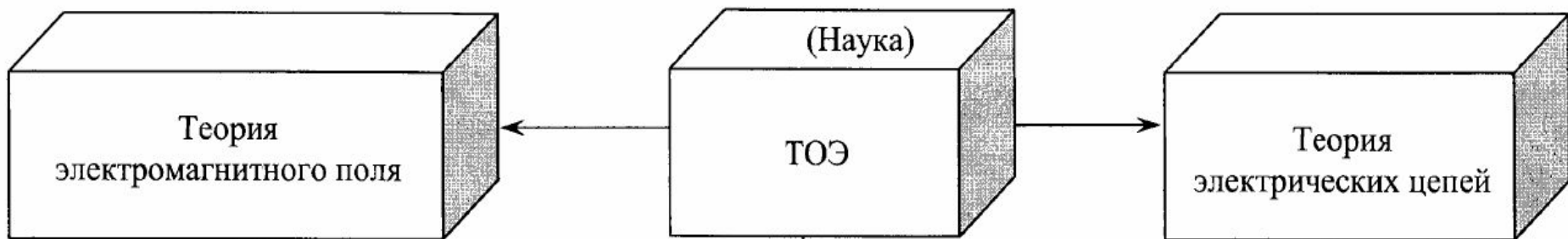
## **Основные определения**



# Литература

---

1. Бессонов, Лев Алексеевич Теоретические основы электротехники. Электрические цепи - М. : Юрайт, 2012
2. Данилов, Илья Александрович Общая электротехника - М. : Юрайт, 2012
3. **Мурзин, Юрий Михайлович  
Электротехника - СПб. : Питер, 2007**
4. Основы теории цепей (под ред. А.В. Сапсалева), Новосибирск: НЭТИ, 2006



П.Н. Лебедев  
 М. Фарадей  
 В. Томсон  
 А. М. Ампер  
 Г. Эрстед  
 Д. Араго  
 К. Нейман  
 Г. Гельмгольц  
 Дж. Максвелл  
 Н. Тесла

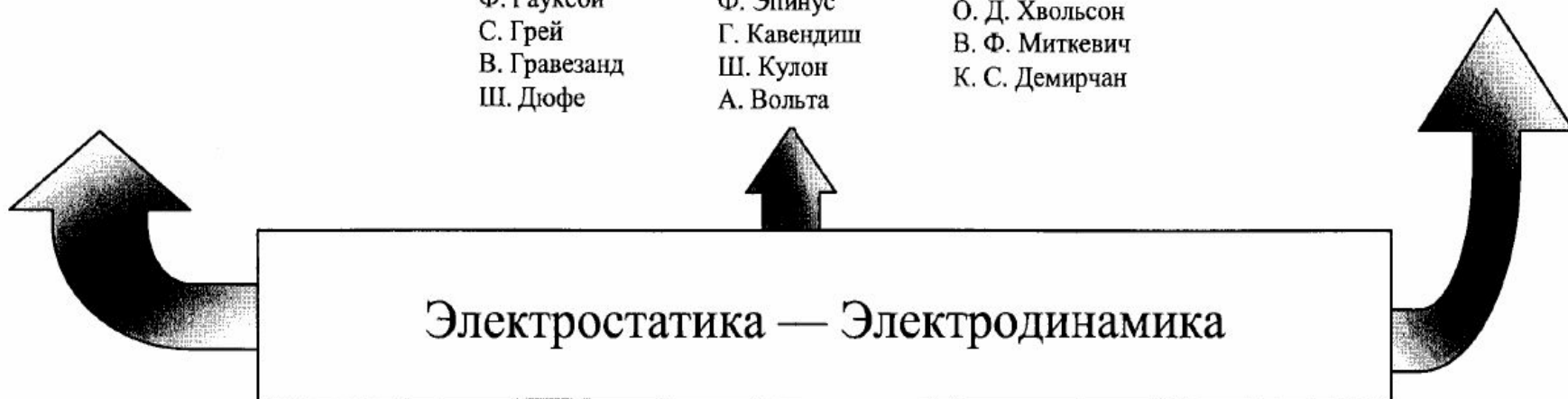
А. Эддингтон  
 К. М. Поливанов  
 Р.В. Паунд  
 Г. Герц  
 А.С. Попов  
 В. Рентген  
 Г. Лоренц  
 А. Эйнштейн

Г.С. Ом  
 Г. Кирхгоф  
 Э. Х. Ленц  
 Дж. Джоуль  
 К. А. Круг  
 Л. Р. Нейман  
 П. Л. Калантаров  
 А. В. Нетушил

У. Гильберт  
 Н. Кабео  
 Г. Гиллебрандт  
 О. Герике  
 Ф. Гауксби  
 С. Грей  
 В. Гравезанд  
 Ш. Дюфе

Д. Дегаюлье  
 П. Мушёнбрек  
 М. Ломоносов  
 Г. Рихман  
 Ф. Эпинус  
 Г. Кавендиш  
 Ш. Кулон  
 А. Вольта

В. В. Петров  
 Ф. Ф. Петрушевский  
 И. И. Боргман  
 П. Д. Войнаровский  
 О. Д. Хвольсон  
 В. Ф. Миткевич  
 К. С. Демирчан





# Электротехника

---

**Электротехника** – отрасль науки и техники связанная с преобразованием, передачей и применением электрической энергии в жизнедеятельности человека.

# Электрическая цепь и ее элементы



---

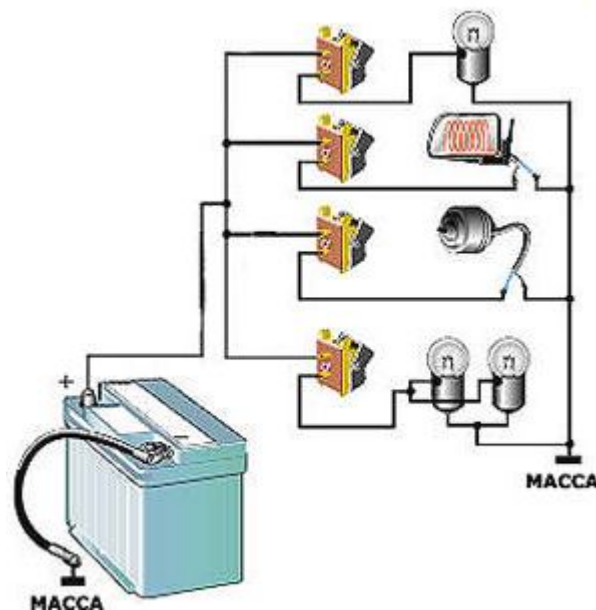
- **Электрическая цепь** - совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об электрическом токе, ЭДС (электродвижущая сила) и электрическом напряжении.
- Отдельные устройства, входящие в электрическую цепь, называют **элементами электрической цепи**.

# Электрическая цепь



Электрическая цепь  
лебедки

## Автомобильная электрическая цепь



# Элементы

## электрической цепи

---

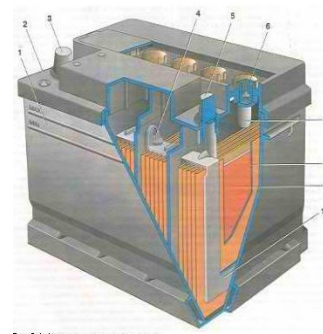
**Все устройства и объекты, входящие в состав электрической цепи, делятся**

**на:**

1. Источники электрической энергии
2. Потребители электрической энергии
3. Вспомогательные элементы цепи

# Источники электрической энергии

**Первичные - источники, в которых происходит преобразование неэлектрической энергии в электрическую.**



**Вторичные - источники, у которых и на входе, и на выходе – электрическая энергия**







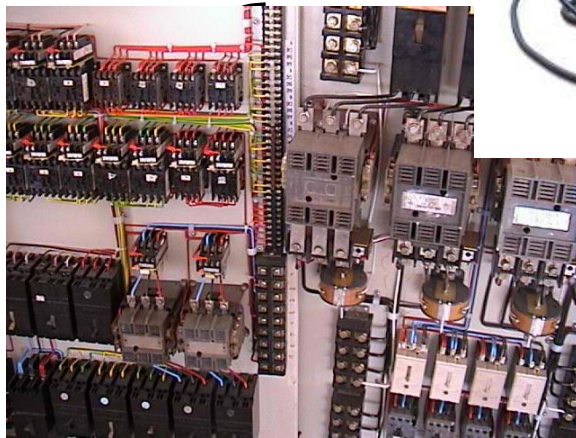
# Вспомогательные элементы



аппаратура



линейные



бы  
а



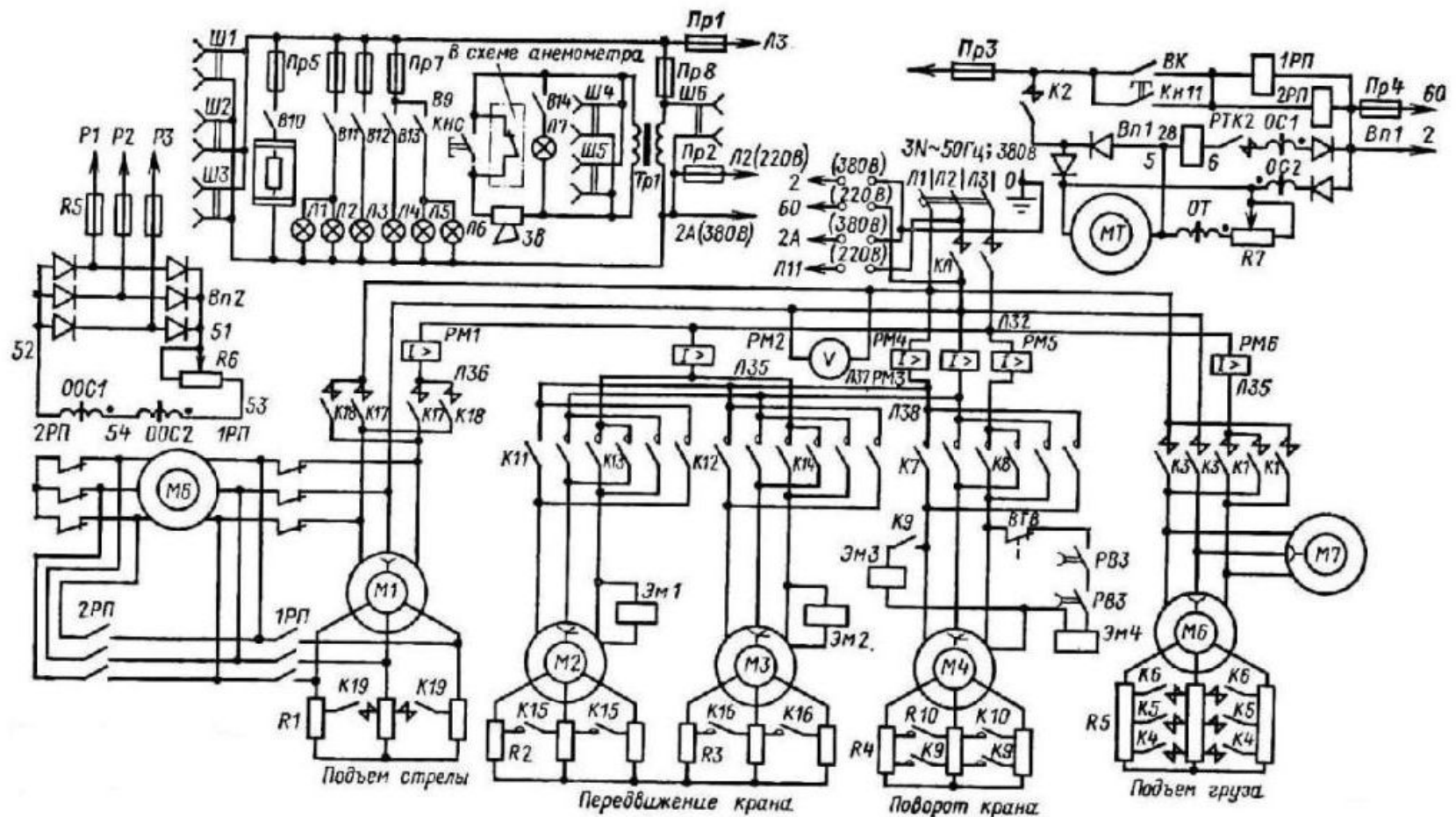
# Схема

## электрической цепи.

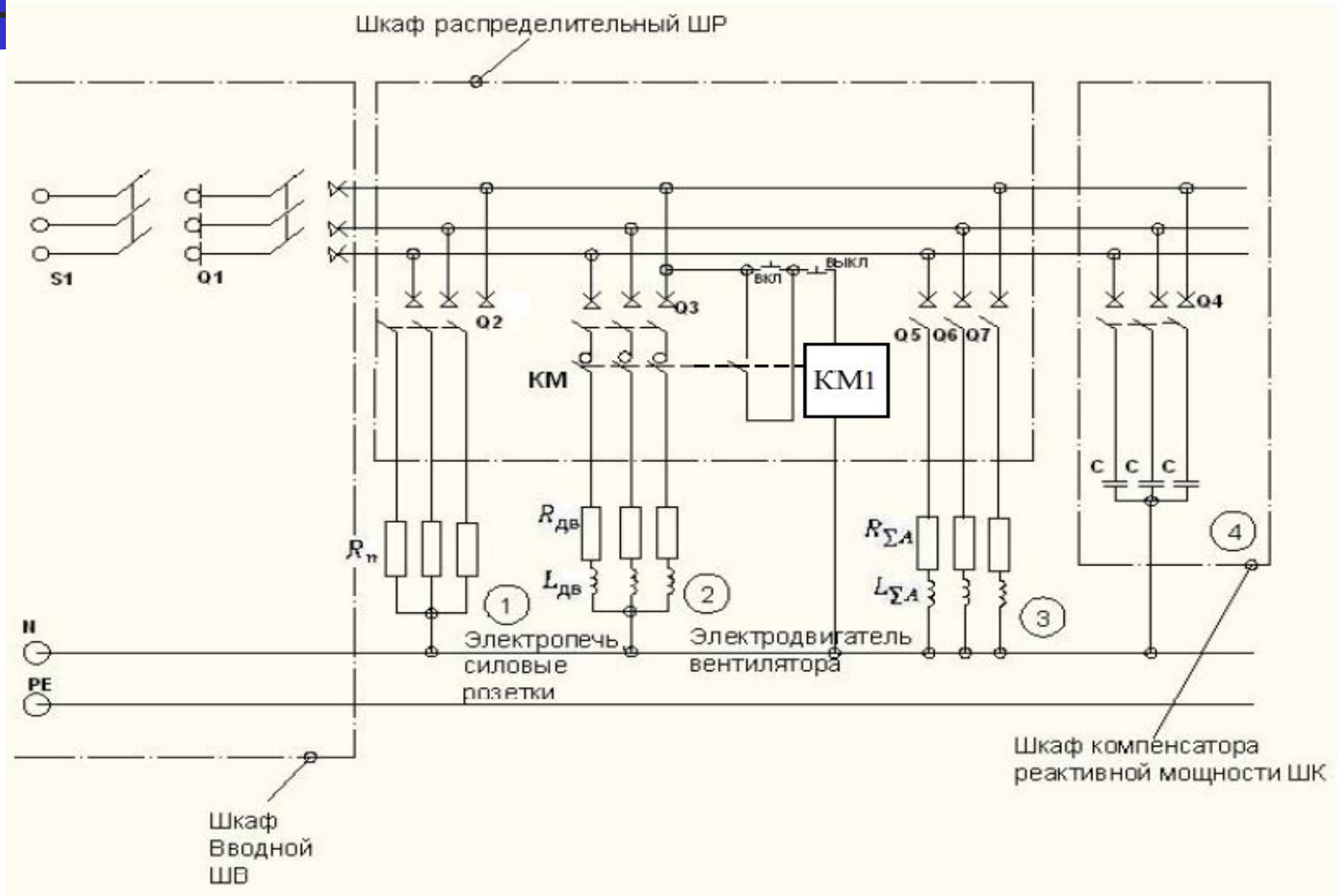
Графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения ее элементов и показывающее соединение этих элементов, называют схемой электрической цепи.

Электрические цепи, участки и элементы цепи разделяются на **активные и пассивные**.

# Схема электрической цепи.



# Схема электрической цепи.



# Схемы замещения электрической цепи.



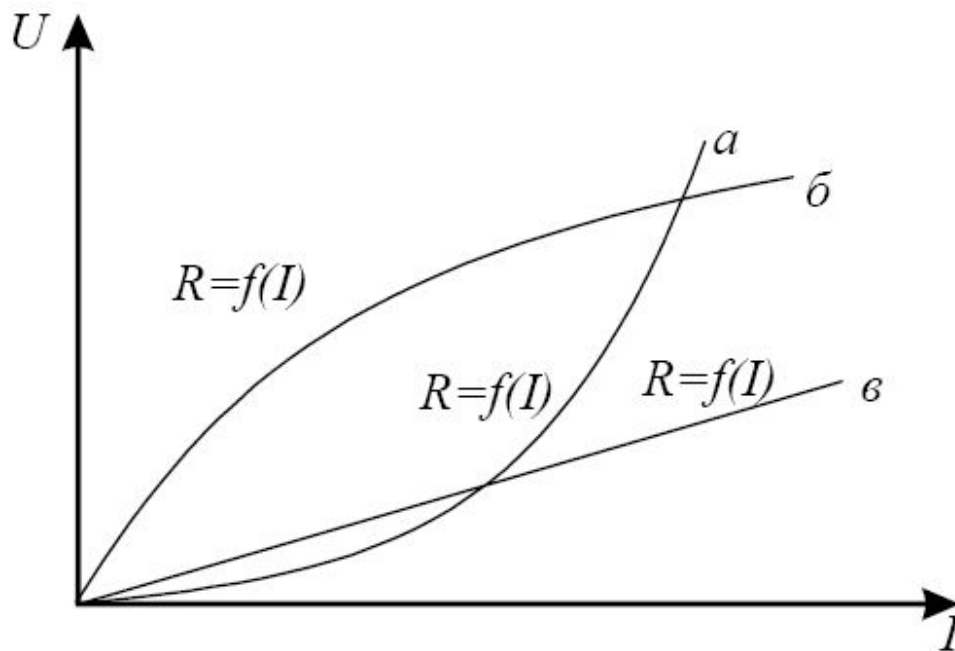
---

- **Схема замещения** электрической цепи – электрическая модель электрической цепи, отображающая свойства электрической цепи при определенных условиях.
- Преобразованная схема замещения – **эквивалентная схема замещения.**

# Классификация электрических цепей

По критерию зависимости параметров от

велич  
напря  
Если  
элемент  
напря  
то  $\varepsilon$



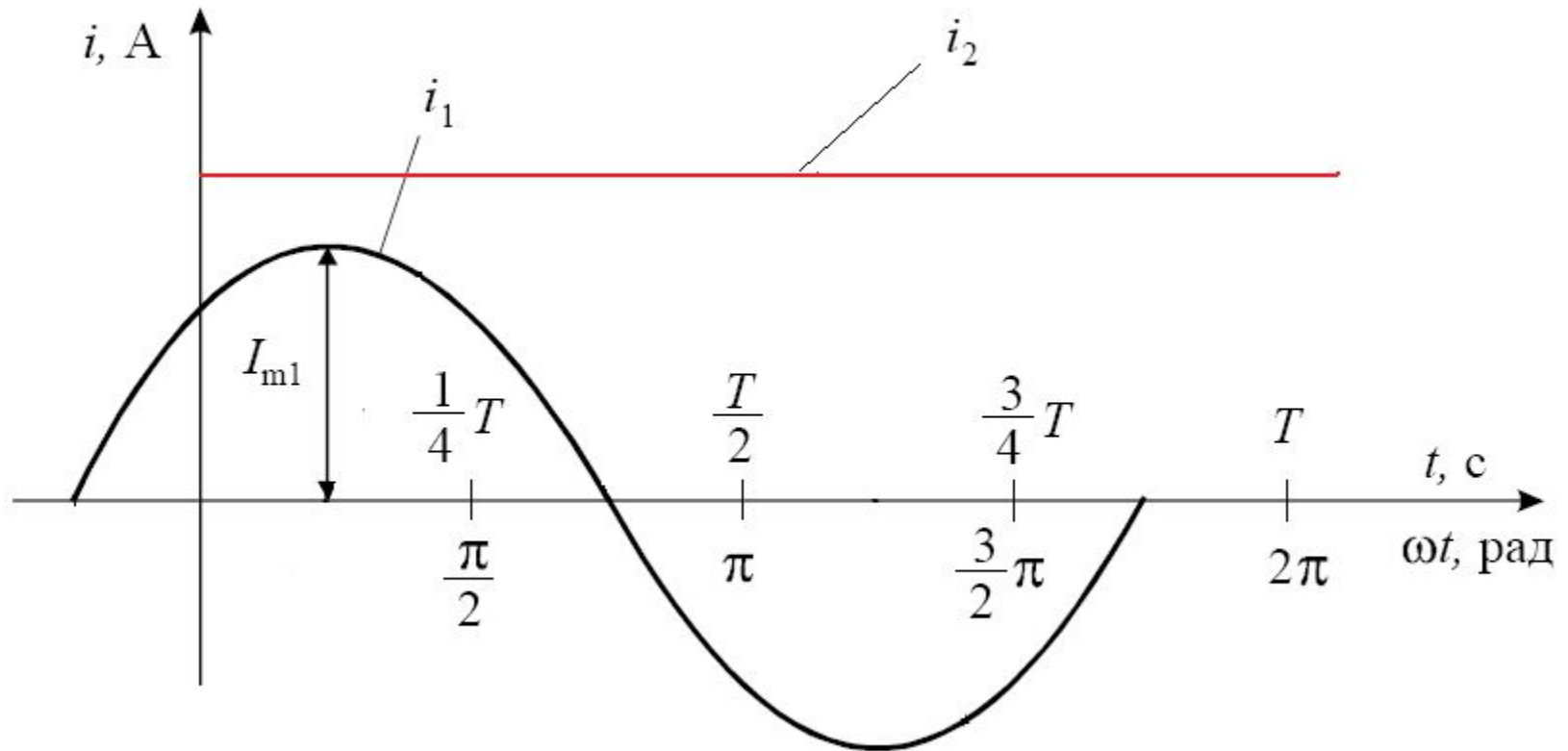
дейные.

л

в цепи,

л.

# Классификация электрических цепей







# Классификация электрических цепей

---

- Цепи переменного тока разделяются на **периодические и непериодические.**
- Периодические цепи подразделяются на **синусоидальные** (гармонические) и **несинусоидальные.**
- Электрические цепи, в которых формируются и действуют импульсные, длящиеся малый интервал времени, э.д.с. и токи, называют **импульсными** системами.

# Классификация электрических цепей



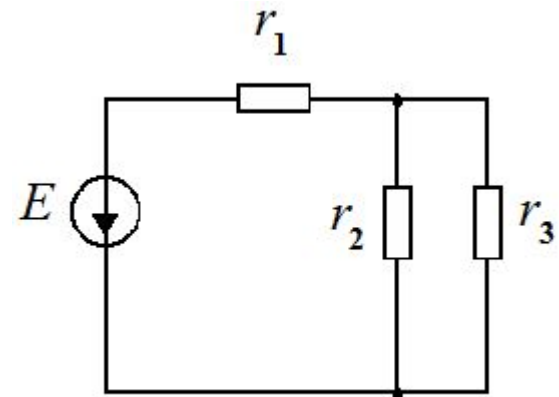
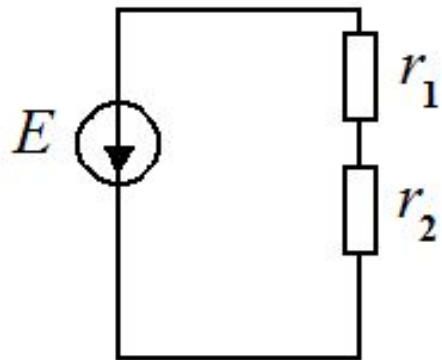
---

- По назначению, электрические цепи делятся на **энергетические и информационные.**
- По режиму работы электрические цепи делятся на цепи **в установившемся и переходном режиме.**

# Классификация электрических цепей

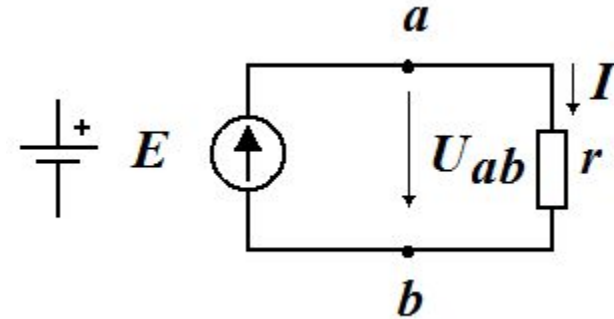
По способу соединения элементов:

- неразветвлённые
- разветвлённые



# Положительные (условно-положительные) направления э.д.с., тока и напряжения

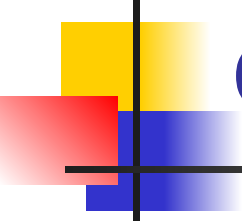
За положительное направление э.д.с. принимают направление движения положительных зарядов внутри источника энергии.



За положительное направление напряжения принимают направление от точки высшего потенциала к точке низшего потенциала,

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$$

За положительное направление тока принимают направление положительных зарядов, во внешней цепи от точки высшего потенциала к точке низшего потенциала.



# Пассивные элементы схем замещения

---

Пассивные элементы разделяют на:

- Резистивные
- Индуктивные
- Ёмкостные



# Резистивные элементы

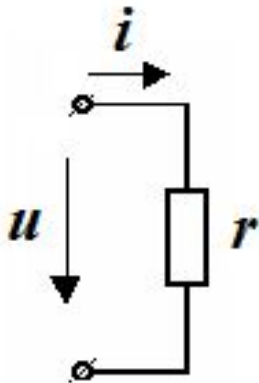
---

*Резистор* – электротехническое устройство, обладающее электрическим сопротивлением  $R$  и применяемое для ограничения электрического тока или создания падения напряжения определенной величины.

В действительности **любой элемент электрической цепи обладает электрическим сопротивлением.**

# Резистивные элементы

В соответствии с законом Джоуля – Ленца:



$$dw = ri^2 dt,$$
$$p = dw / dt = ri^2 = ui$$

**Электрическое сопротивление -  
параметр элемента электрической цепи  
характеризует свойство элемента  
преобразовывать электрическую энергию в  
другие виды энергии**



# Резистивные элементы

---

$$r = \rho l / S = l / \sigma S \quad [Ом];$$

$$g = 1 / r = S / \rho l = \sigma S / l \quad [См]$$

При изменении температуры в небольших пределах электрическое сопротивление элемента изменяется, в соответствии с формулой:

$$r = r_0 [ 1 + \alpha(T - T_0) ],$$

где  $r$ ,  $r_0$  сопротивления при температуре  $T$ ,  $T_0$ ;

$T_0$  – начальная температура проводника, К;

$T$  – конечная температура проводника, К;

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.





# Резистивные элементы

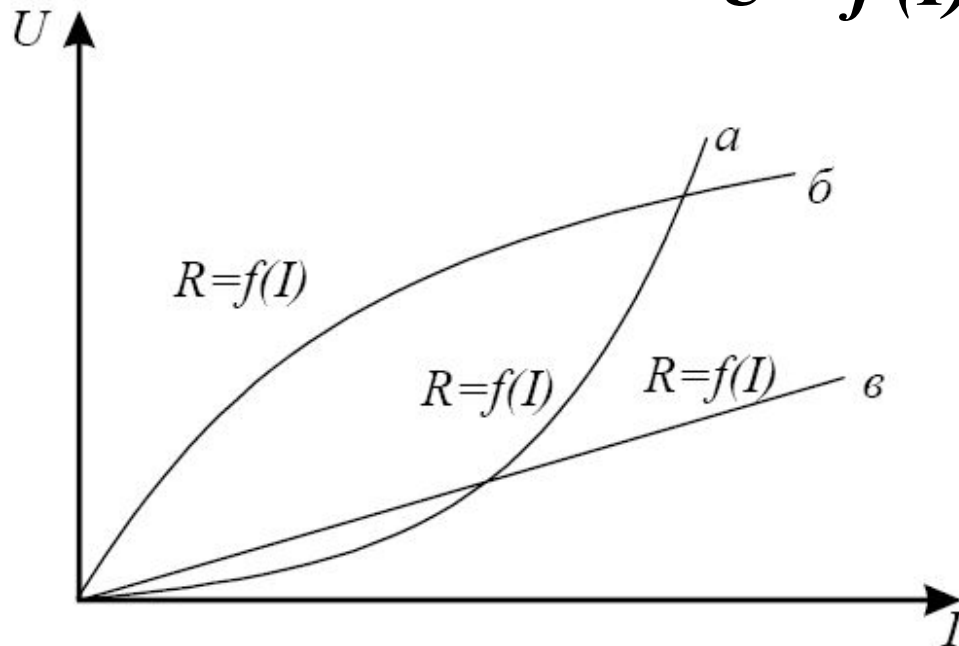
## Характеристики некоторых материалов

Наименование материала	Удельное сопротивление при 20 °С, мкОм м	Температурный коэффициент сопротивления, 1/°К
Медь	0,0172-0,0182	0,0041
Алюминий	0,0295	0,0040
Сталь	0,125-0,146	0,0057
Вольфрам	0,0508	0,0048
Уголь	10-60	-0,005
Манганин (Cu-80 %, Mn-12 %, Ni-3 %)	0,4-0,52	$3 \cdot 10^{-5}$
Константан	0,44	$5 \cdot 10^{-5}$
Нихром (Cr-20 %, Ni-80 %)	1,02-1,12	0,0001
Полупроводники (Si, Ge)	1,0-14	-(0,2-0,8)

# Резистивные элементы


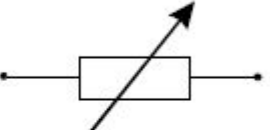
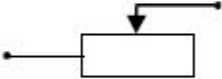

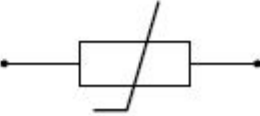
Основной характеристикой резистивного элемента является его вольт-амперная характеристика (ВАХ) –

$$U = f(I)$$

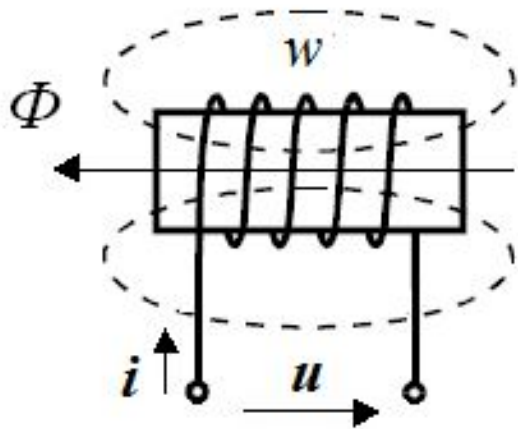


- а – для нагревательных элементов,
- б - полупроводниковых элементов
- в – проводящих элементов

# Условные обозначения резисторов

Наименование	Обозначение
Резистор постоянный (линейная ВАХ)	
Резистор переменный:	
общее обозначение	
с разрывом цепи	
без разрыва цепи	
Резистор нелинейный (нелинейная ВАХ)	

# Индуктивные элементы



$$\Psi = w\Phi, \quad [Вб = В \cdot с],$$

$$L = \Psi / i, \quad [Г].$$

**Индуктивность  $L$  [Г]** - параметр, характеризующий свойство участка или элемента электрической цепи накапливать энергию магнитного поля.

# ИНДУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В каждой витке катушки индуктивности наводится э.д.с.:

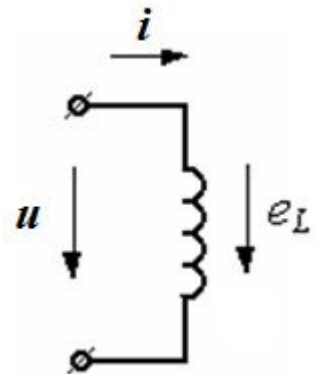
$$e_{L\phi} = - d\Phi / dt.$$

В линейных цепях ( $L = \text{const}$ ) э.д.с. самоиндукции всей катушки, состоящей из  $w$  витков

$$e_L = w \cdot e_{L\phi} = - w d\Phi / dt = - d\Psi / dt = - L di / dt.$$

Энергия магнитного поля, накапливаемая в катушке индуктивности

$$W_M = Li^2 / 2.$$





# Индуктивные элементы

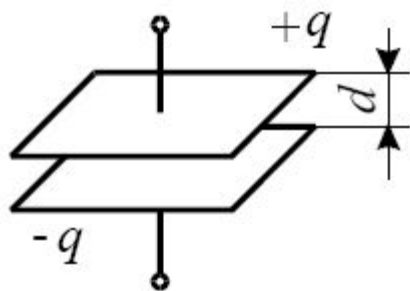
Если катушка сцеплена с магнитным потоком, возбуждаемым током другой катушки, возникает э.д.с. взаимной индукции:

$$e_{M1} = - d\Psi_{12} / dt = - w_1 d\Phi_{12} / dt = \\ - d[M_{12} i_2] / dt = - M_{12} d i_2 / dt, \quad [B].$$

где  $M_{12} = \Psi_{12} / i_2$  - взаимная индуктивность, характеризующая возбуждение э.д.с. в первой катушке при изменении тока второй катушки.

При постоянном токе  $d i / dt = 0$  и, следовательно э.д.с. самоиндукции и взаимной индукции не возникают.

# Ёмкостные элементы



В диэлектрике, разделяющем пластины конденсатора или проводники, может существовать ток электрического смещения, равный току проводимости в проводниках, присоединенных к обкладкам конденсатора:

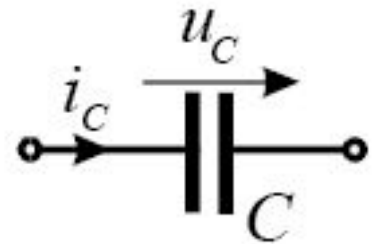
$$i = dq / dt,$$

где  $q$  - заряд на обкладках конденсатора в кулонах (Кл)

# Ёмкостные элементы

Заряд пропорциональный  
напряжению на конденсаторе:

$$q = C u_c,$$



**Ёмкость**  $C$  [ $\Phi$ ] - параметр,  
характеризующий способность участка  
электрической цепи или конденсатора  
накапливать энергию электрического  
поля.





# Ёмкостные элементы

---

При  $C - const$   $dq = C du_c$ .

Ток проходящий через конденсатор,  $i = C du_c / dt$ ,  
а энергия электрического поля, запасаемая в  
конденсаторе при возрастании напряжения

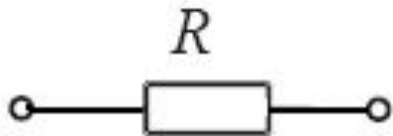
$$W_c = C \cdot u_c^2 / 2.$$

При постоянном напряжении  $du_c / dt = 0$ , и  
постоянный ток через конденсатор проходить не  
может.

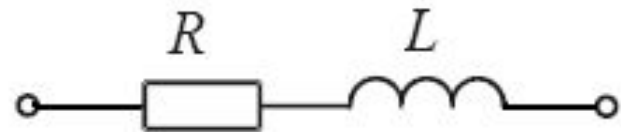
# Схема замещения катушки индуктивности



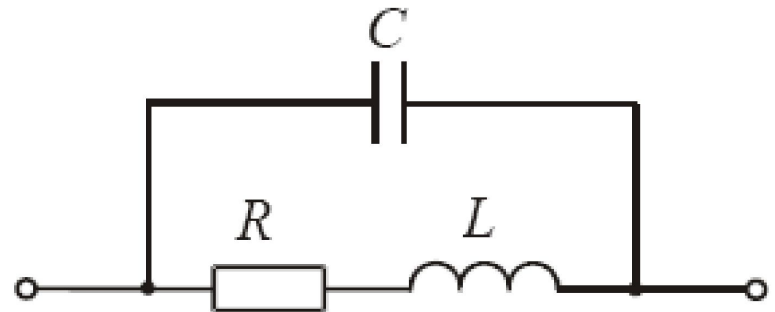
В цепи постоянного тока



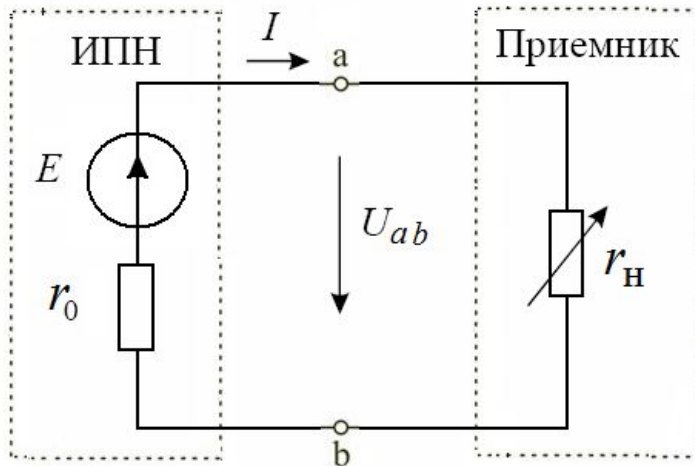
В цепи переменного тока  
низкой частоты



В цепи переменного тока  
высокой частоты

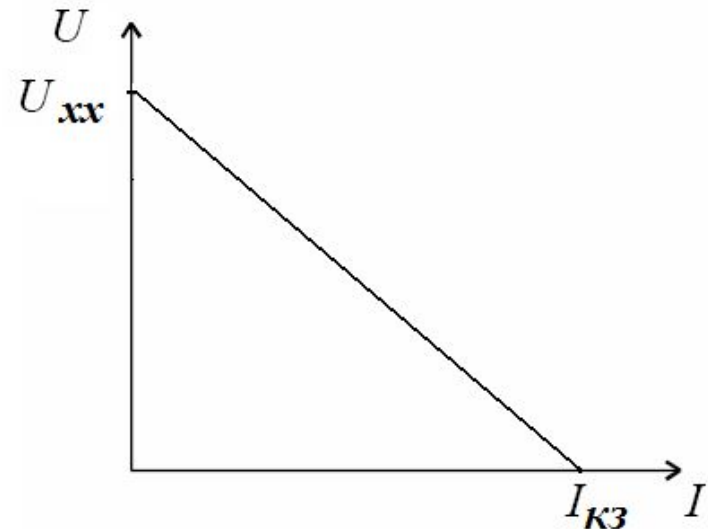


# Активные элементы схем замещения электрических цепей



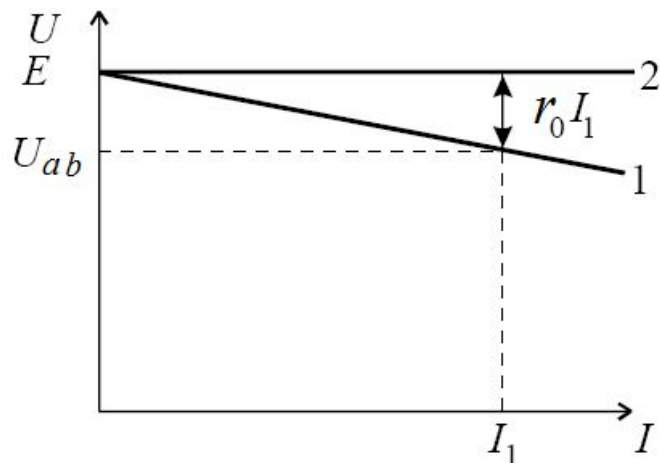
$$U_{xx} = E ;$$
$$I_{кз} = E / r_0$$

При изменении величины  
сопротивление нагрузки  $r_H$   
от 0 до  $\infty$  ВАХ  
реального источника  
питания имеет вид



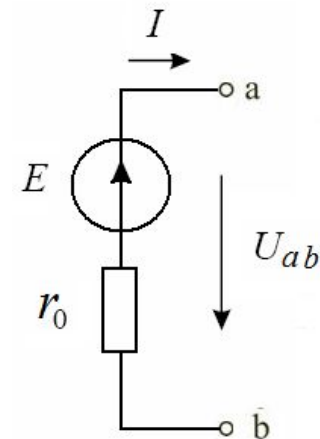
# Активные элементы схем замещения электрических цепей

$$r_0 \ll r_H$$



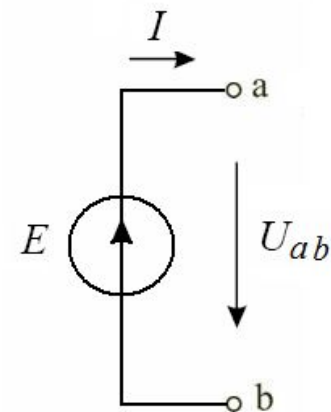
1. Реальный источник напряжения,  $r_0 \neq 0$

$$U_{ab} = E - r_0 \cdot I$$



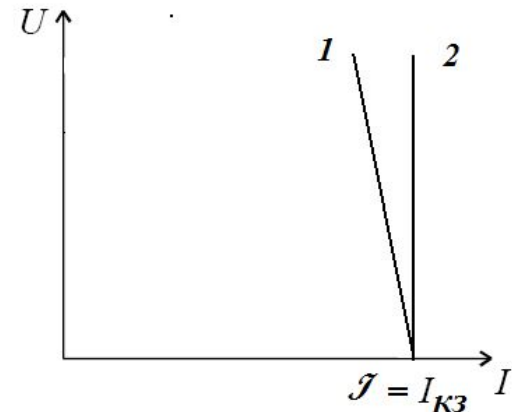
2. Идеальный источник напряжения,  $r_0 = 0$

$$U_{ab} = E$$

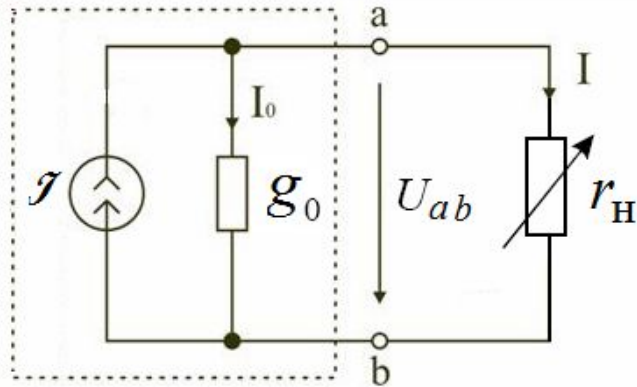


# Активные элементы схем замещения электрических цепей

При работе источника в области  $I_{кз}$ , когда  $r_0 \gg r_H$ ,  
ВАХ источника

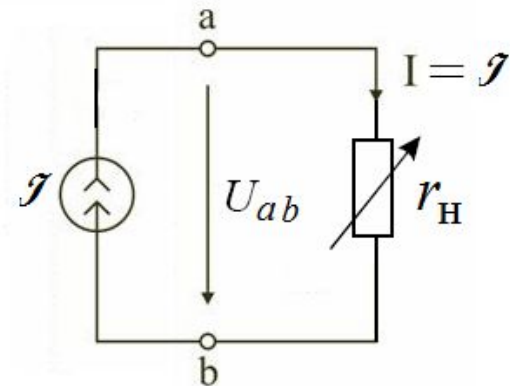


## 1 - Реальный источник тока

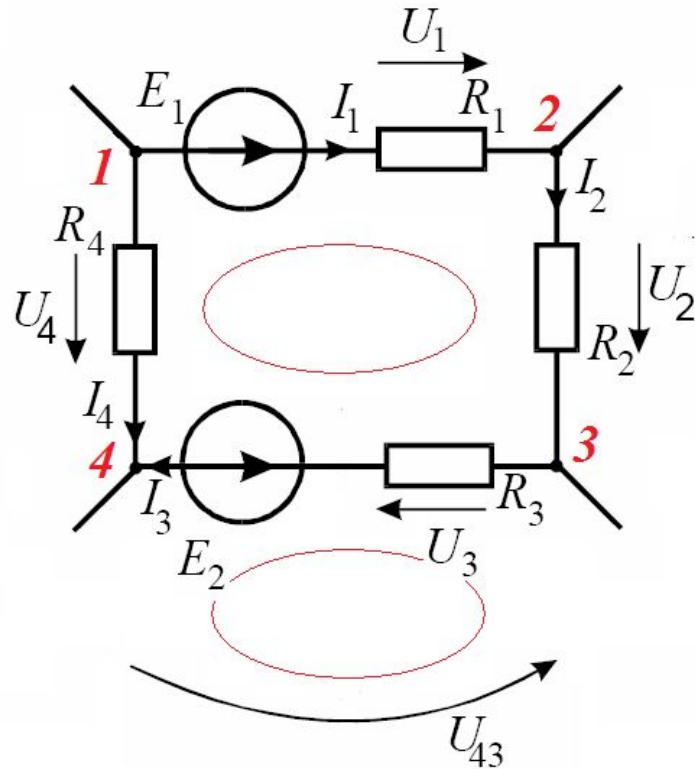


$$g_0 = 1/r_0$$

## 2 - Идеальный источник тока



# Топология электрических цепей



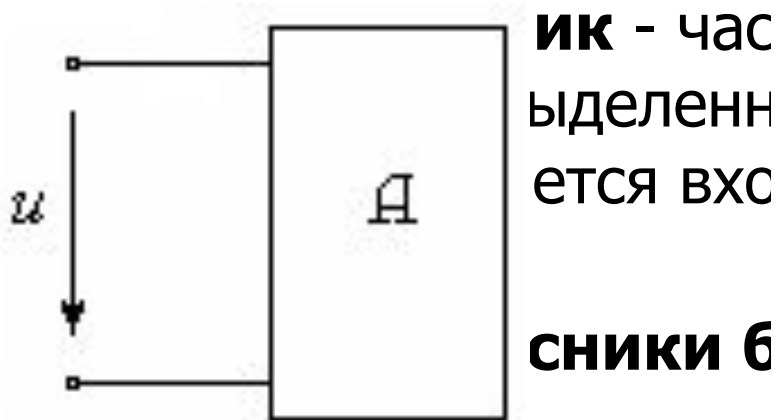
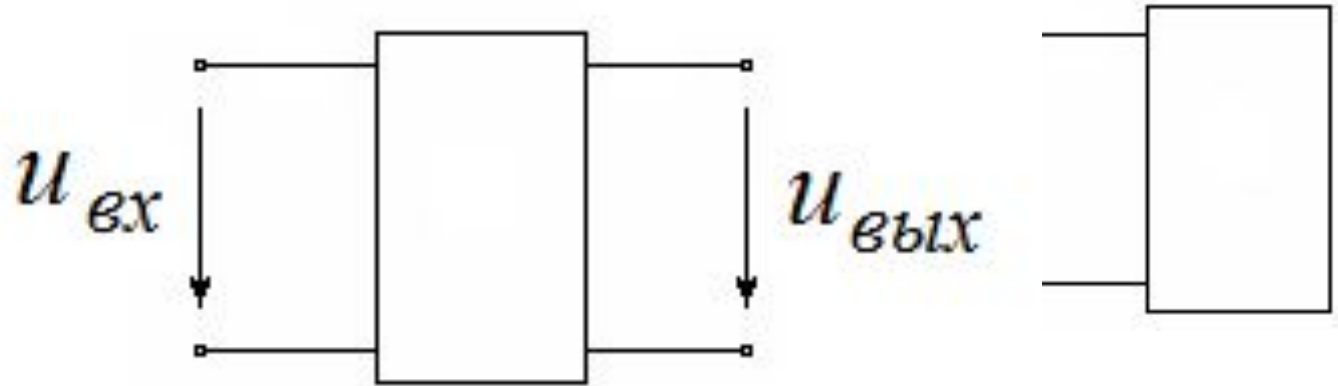
**Ветвь** – участок электрической цепи с одним и тем же током, состоящий из последовательно соединенных элементов

**Узел** – место соединения трех и более ветвей

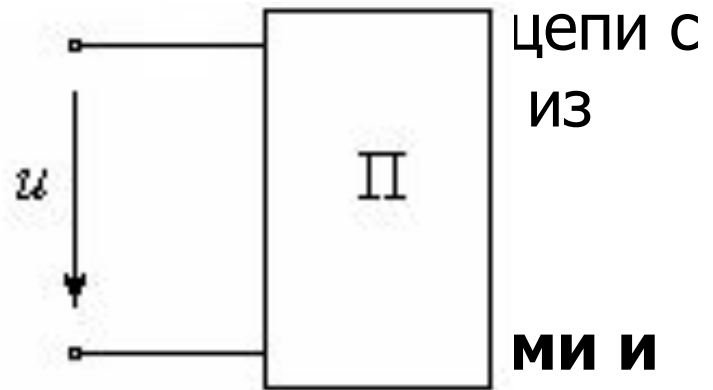
**Контур** – замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям и узлам так, что ни одна ветвь и ни один узел не встречаются больше одного раза

# Топология электрических цепей

Двухполюсник  
 в виде  
 активного  
 электрического  
 соединения



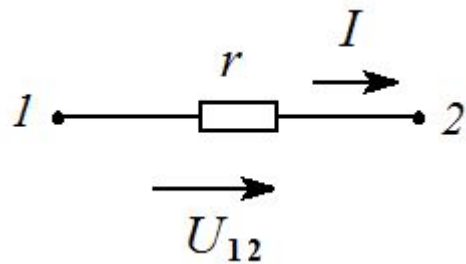
**ИК** - час  
 выделенн  
 ется вхс  
**сники б**



цепи с  
 из  
**ми и**

# Законы описывающие электрическое состояние цепей

**Закон Ома** для участка цепи, не  
содержащего источника ЭДС.



$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$I = U_{12} / r \quad [A] \quad \rightarrow \quad U_{12} = r \cdot I \quad [B]$$



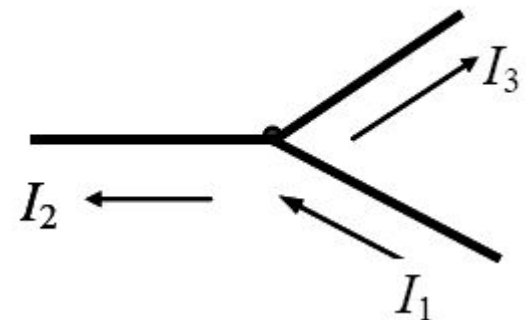
# Законы описывающие электрическое состояние цепей

**I закон Кирхгофа** является следствием закона сохранения электрического заряда, согласно которому в любом узле электрической цепи заряд одного знака не может ни накапливаться, ни убывать.

Согласно I закону Кирхгофа алгебраическая сумма токов ветвей, сходящихся в узле электрической цепи, равна нулю

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

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$



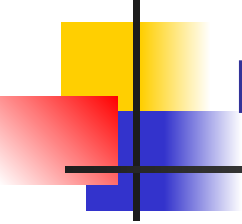
# Законы описывающие электрическое состояние цепей

**II закон Кирхгофа** является следствием закона сохранения энергии, в силу которого изменение потенциала в замкнутом контуре равно нулю. Согласно II закону Кирхгофа, алгебраическая сумма напряжений всех участков замкнутого контура равна нулю.

$$\sum_{k=1}^m U_k = 0$$

При составлении уравнений слагаемые берут со знаком «+» в случае, когда направление обхода контура совпадает с направлением тока или ЭДС, в противном случае слагаемые берут со знаком «-»

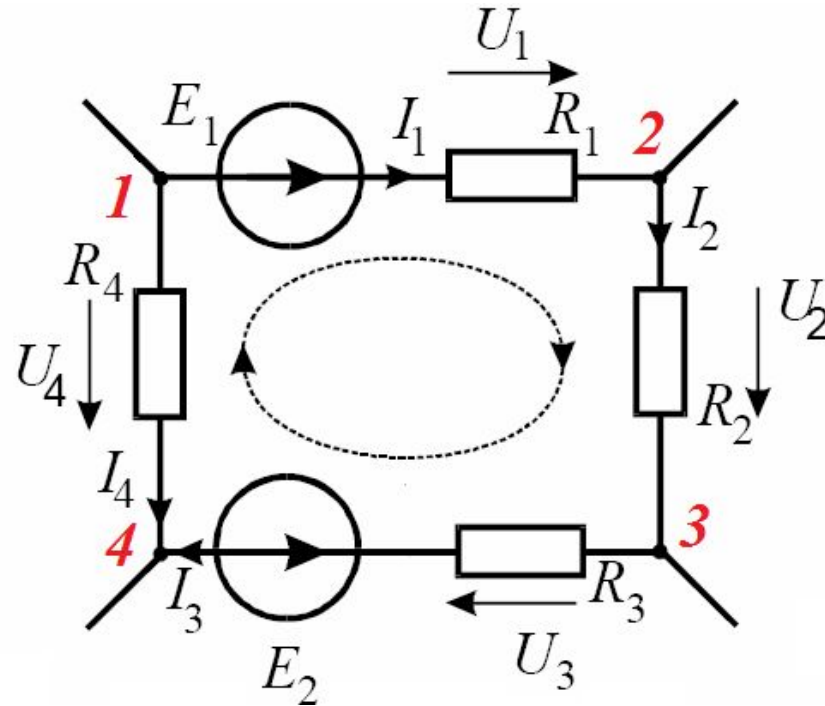
# Законы описывающие электрическое состояние цепей



Применительно к схемам замещения с источниками ЭДС **II закон Кирхгофа** формулируется следующим образом: алгебраическая сумма падений напряжений на резистивных элементах замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС источников, входящих в этот контур.

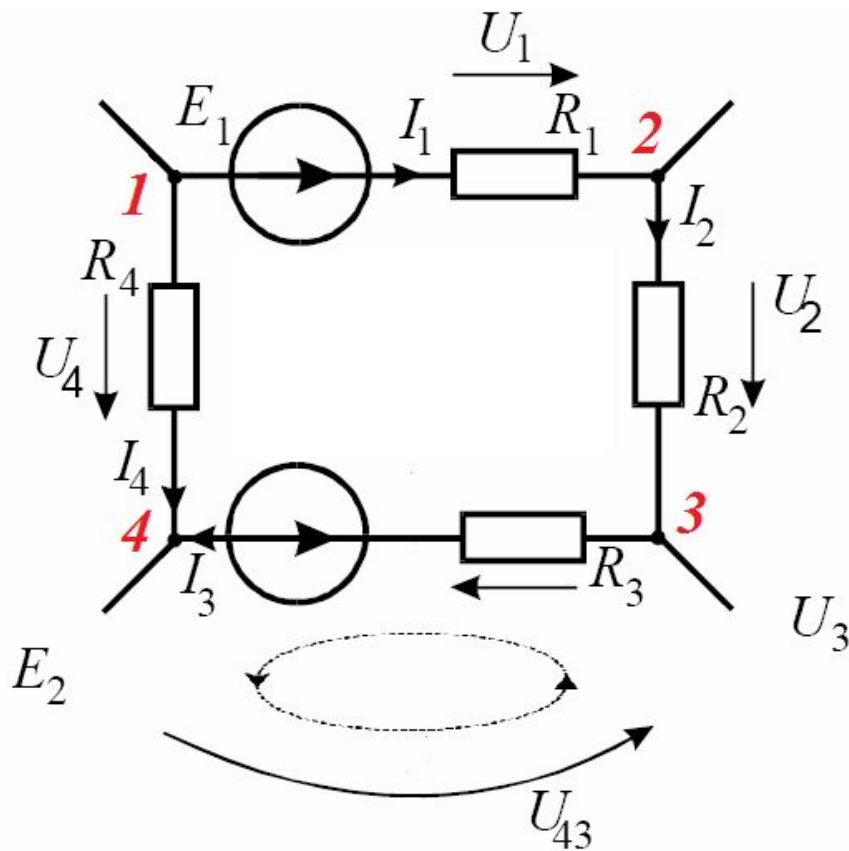
$$\sum_{k=1}^m R_k I_k = \sum_{k=1}^n E_k$$

# Законы описывающие электрическое состояние цепей



$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 - I_4 R_4 = E_1 - E_2$$

# Законы описывающие электрическое состояние цепей



$$U_{43} + I_3 R_3 = -E_2$$