

# Электрические цепи постоянного тока

# Электрический ток

Электрический ток – это направленное движение зарядов под действием электрического поля (ЭДС, напряжения). Величина (сила) тока – это количество электричества, проходящего через поперечное сечение проводника за единицу времени

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

$I$ [А] – электрический ток;

$q$ [Кл] – заряд;

$t$ [с] – время.

За положительное направление тока принято направление от **большого** к **меньшему** потенциалу.

Если до расчёта направление токов неизвестно, то оно выбирается произвольно.

# ЭДС

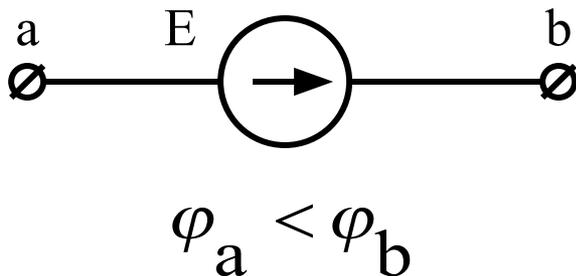
Электродвижущая сила – это работа электрического поля по перемещению единицы положительного заряда по замкнутой цепи

$$E = \frac{A}{q}$$

$E[\text{В}]$  – ЭДС (электродвижущая сила);

$A[\text{Дж}]$  – работа электрического поля

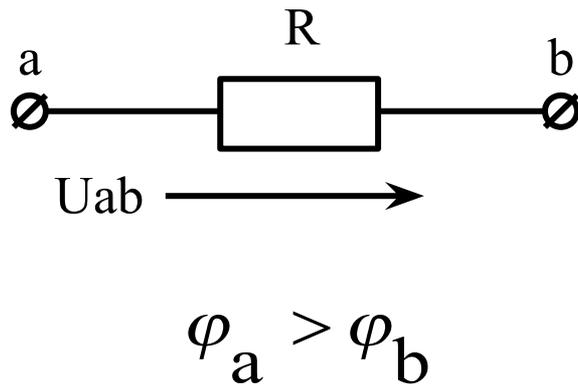
$q[\text{Кл}]$  - заряд



За положительное направление ЭДС принято направление от **меньшего** к **большему** потенциалу

# Напряжение

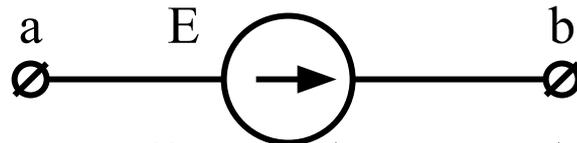
Под напряжением на некотором участке электрической цепи понимают разность потенциалов между крайними точками этого участка



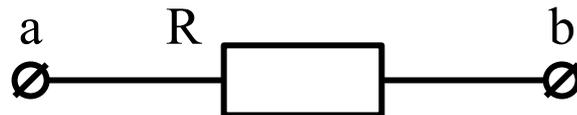
За положительное направление напряжения принято направление от **большого** к **меньшему** потенциалу.

# Активные и пассивные устройства

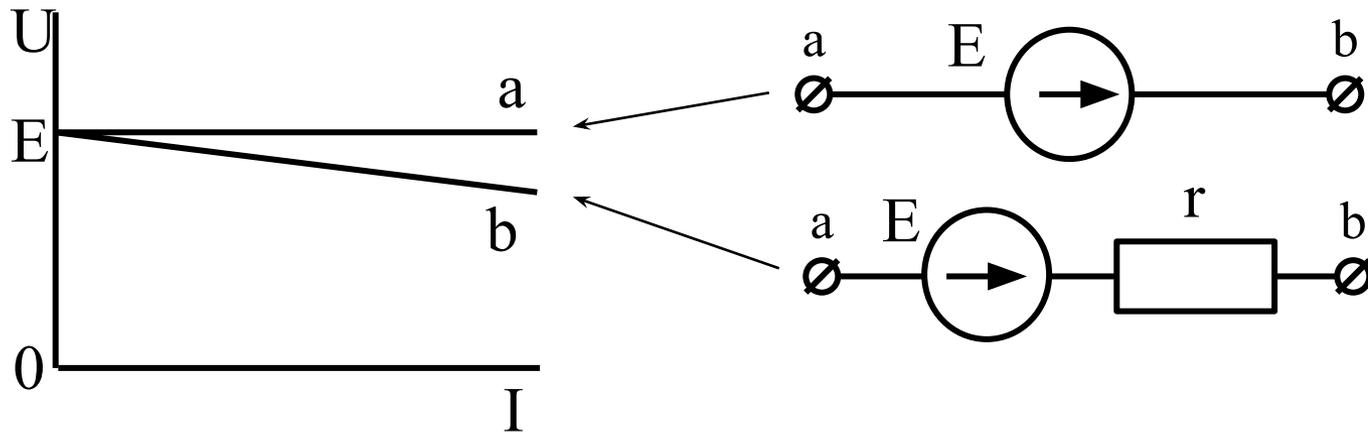
Активное устройство (элемент) – это устройство, в котором создаётся электродвижущая сила  $E$ .



Пассивное устройство (элемент) – это устройство, в котором происходит преобразование электрической энергии в тепловую и другие виды энергии. Такие элементы ещё называются резисторами.



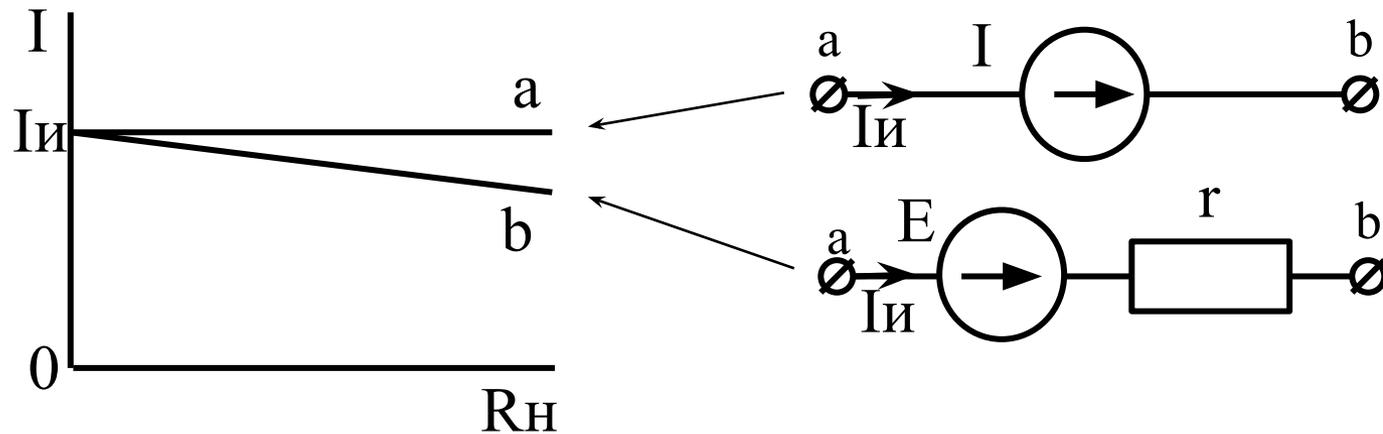
# Источники электрической энергии



Источник ЭДС – это такой источник, напряжение на зажимах которого не зависит от тока (**идеализированный источник**). (На рис. характеристика a).

Источник напряжения – это **реальный источник**, напряжение на зажимах которого зависит от тока (На рис. характеристика b).

# Источники электрической энергии



Источник тока – это такой источник, ток которого не зависит от сопротивления нагрузки (**идеальный источник**). (На рис. характеристика a).

На рис. характеристика b – **реальный источник** тока.  
 $r = \infty$ ,  $E = \infty$ .

# Основные понятия об электрических цепях

Электрическая цепь – это источники и потребители электрической энергии, измерительные приборы, коммутационная аппаратура, соединительные провода.

# Способы соединения элементов цепи

Последовательный,

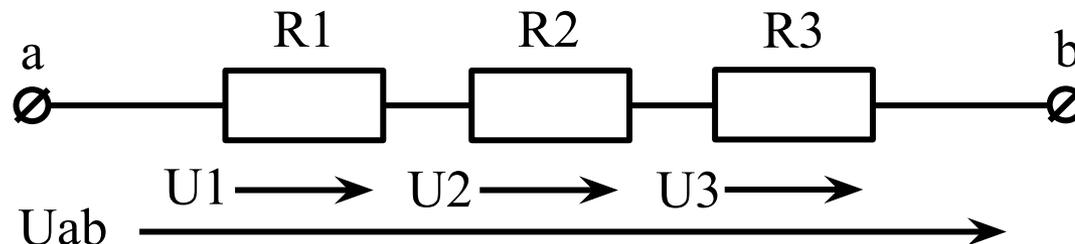
параллельный,

смешанный,

звездой,

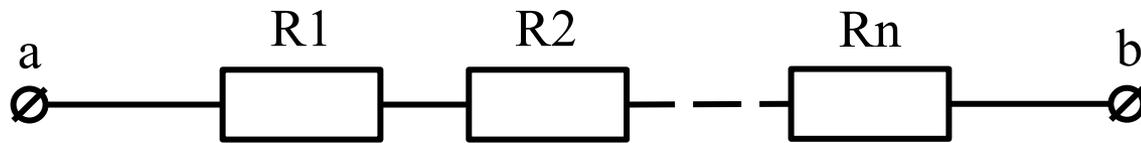
треугольником.

Ветвь – это участок цепи, по которому протекает один и тот же ток (последовательное соединение элементов).



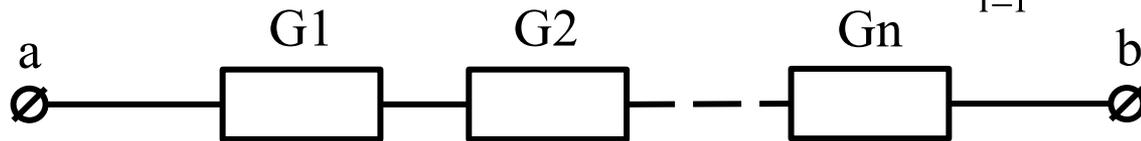
# Общее сопротивление, общая проводимость

## Последовательное соединение



$$R_0 = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

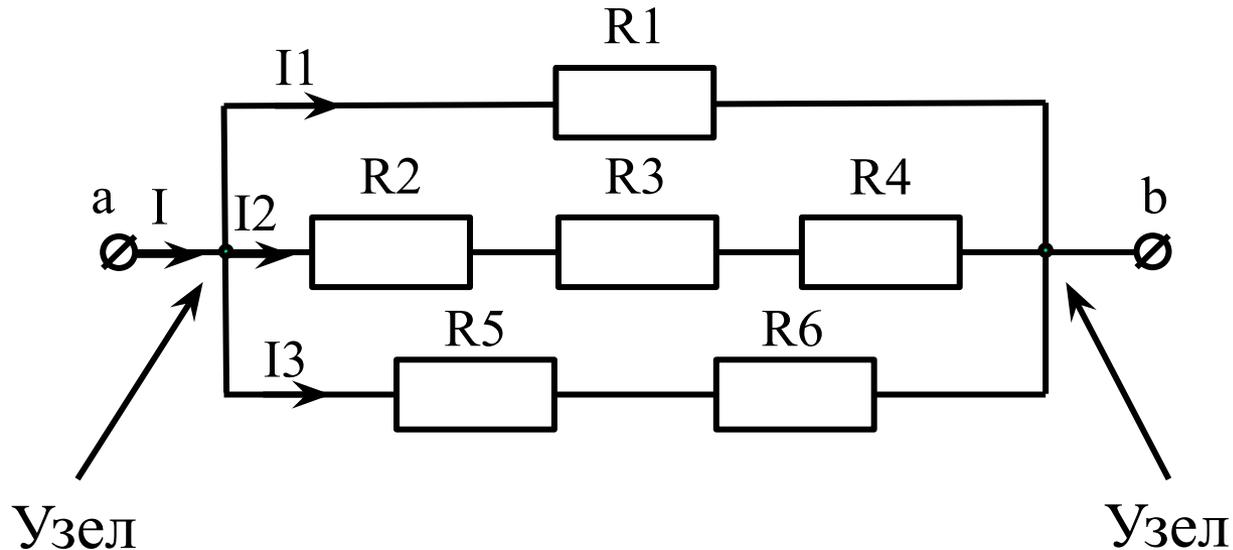
$$R_0 = \sum_{i=1}^n R_i$$



$$\frac{1}{G_0} = \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} + \dots + \frac{1}{G_n}$$

$$\frac{1}{G_0} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{G_i}$$

# Способы соединения элементов цепи

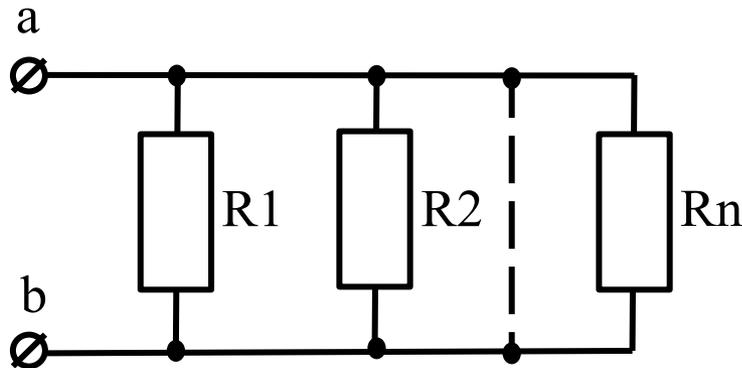


Электрический узел – это электрическое соединение трёх и более ветвей (проводов).

Параллельное соединение – это такое соединение, при котором две или более ветви имеют два общих узла, а, значит, они находятся под одинаковым напряжением.

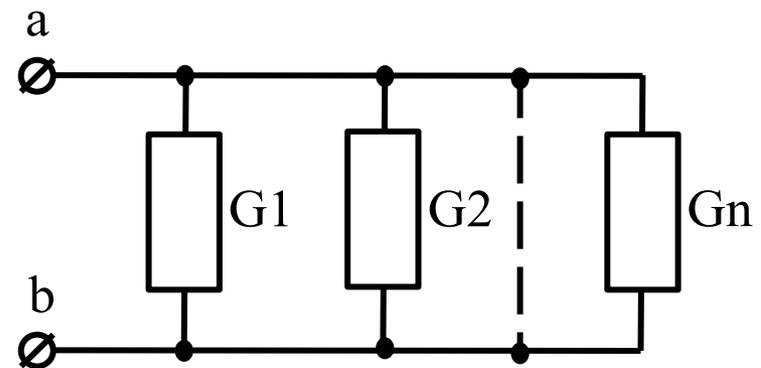
# Общее сопротивление, общая проводимость

## Параллельное соединение



$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_0} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

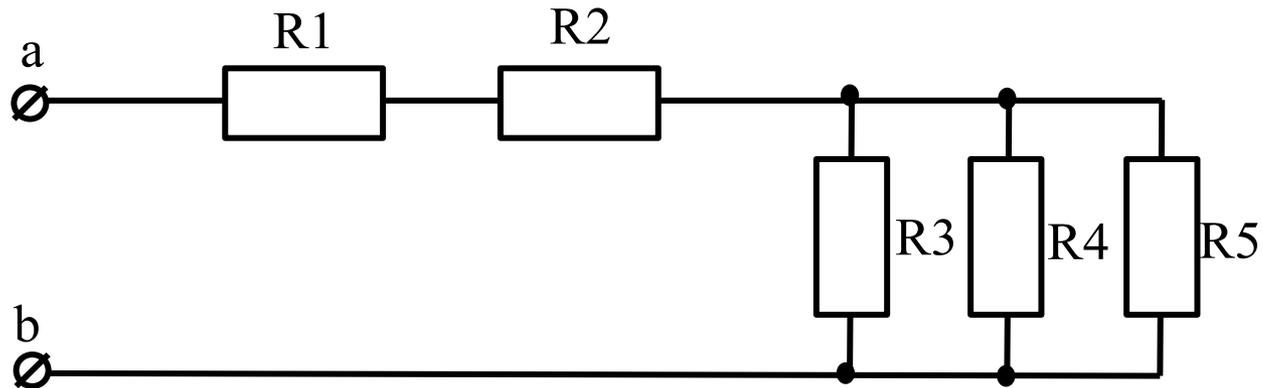


$$G_0 = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

$$G_0 = \sum_{i=1}^n G_i$$

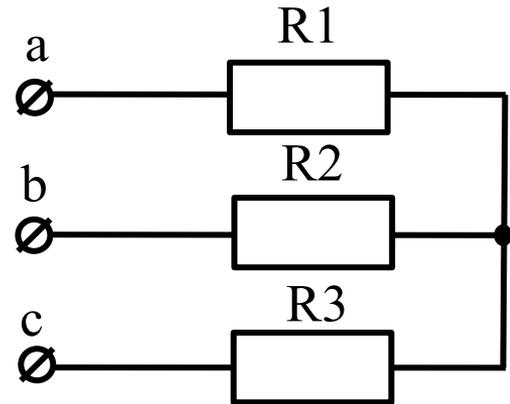
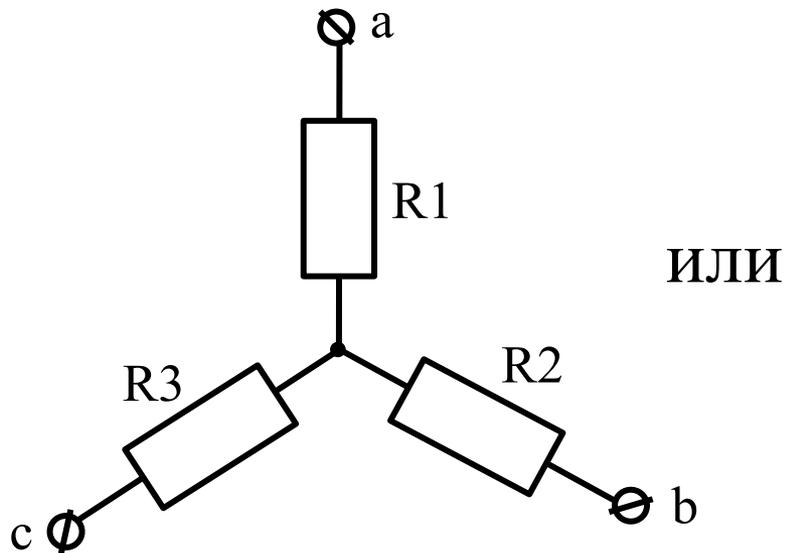
# Смешанное соединение

Смешанное соединение – это совокупность последовательного и параллельного соединения элементов в одной цепи.

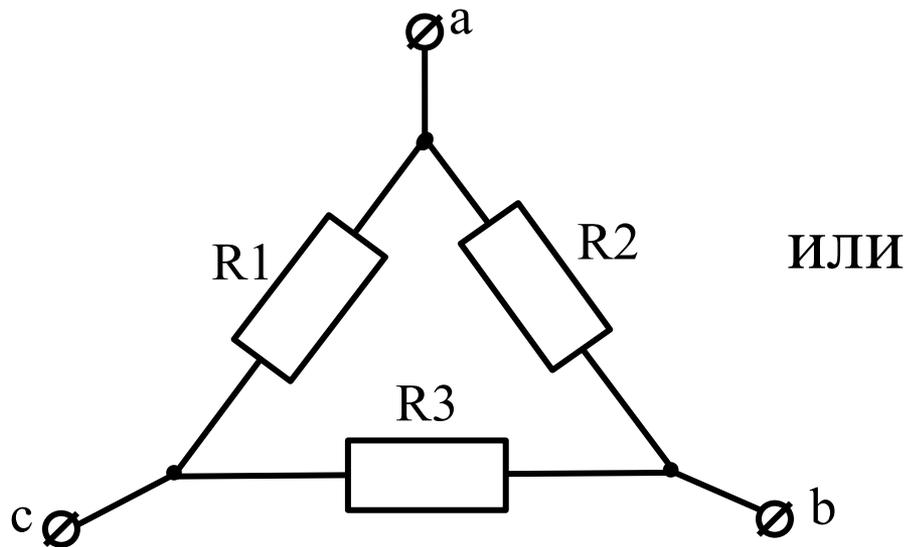


# Соединение «звездой»

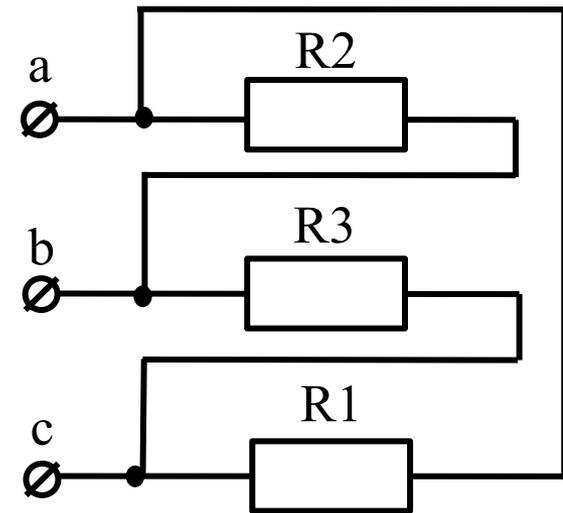
Соединение «звездой» – это такое соединение, при котором в один узел соединяются одним концом три ветви.



# Соединение «треугольником»

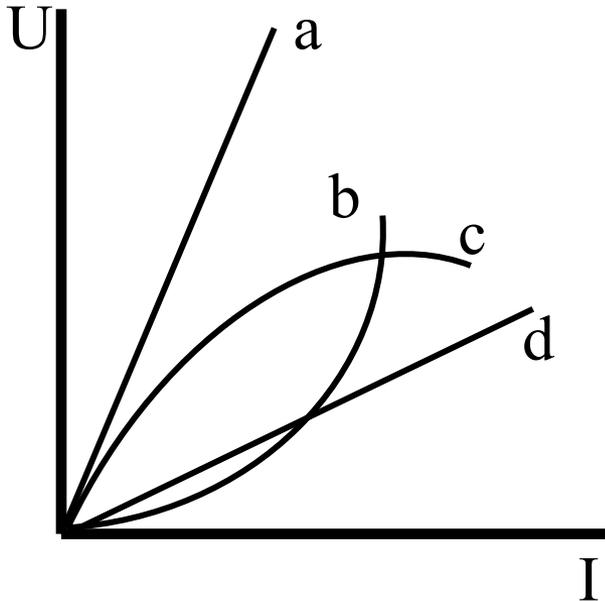


ИЛИ



Соединение «треугольником» – это такое соединение, при котором конец одной ветви соединён с началом другой.

# Линейные и нелинейные цепи



Зависимость напряжения от тока называется вольт-амперной характеристикой.

Электрическая цепь называется линейной, если все сопротивления её не зависят от тока:  $R = \text{Const}$ . Зависимость напряжения от тока в такой цепи представляет собой прямую линию ( $a, d$ ).

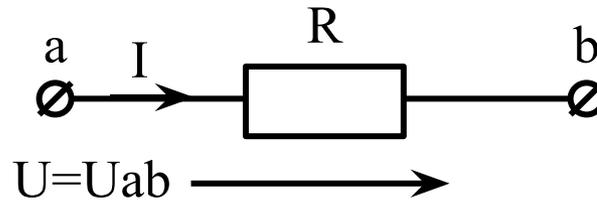
Электрическая цепь называется нелинейной, если сопротивление хотя бы одного из элементов зависит от тока:  $R \neq \text{Const}$  ( $b, c$ ).

# Закон Ома

$$U = I \cdot R$$

$$I = U / R$$

$$R = U / I$$



$U$  – напряжение падения на данном резисторе сопротивлением  $R$ ;

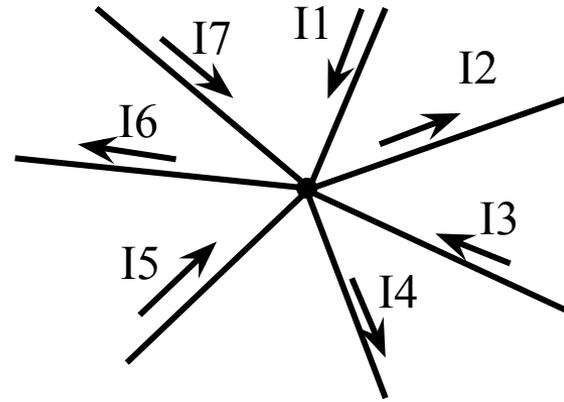
$I$  – ток, протекающий через данный резистор сопротивлением  $R$ ;

$R$  может представлять эквивалентный резистор  $R_0$

# Первый закон Кирхгофа

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

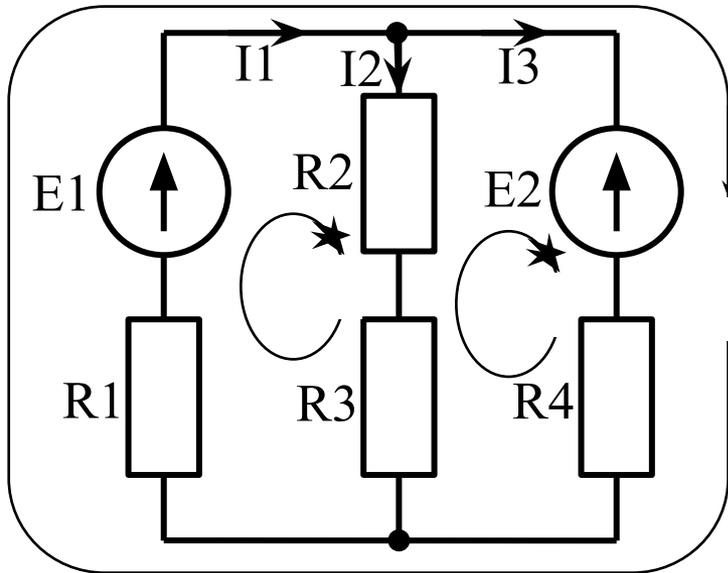
$$\sum_{i=1}^n I_i = \sum_{j=1}^m I_j$$



$$I_1 + I_3 + I_5 + I_7 = I_2 + I_4 + I_6$$

1. Сумма токов электрического узла равна нулю.
2. Сумма токов, втекающих в электрический узел, равна сумме токов, вытекающих из узла.

# Второй закон Кирхгофа



$$\sum_{i=1}^n U_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{j=1}^m U_j$$

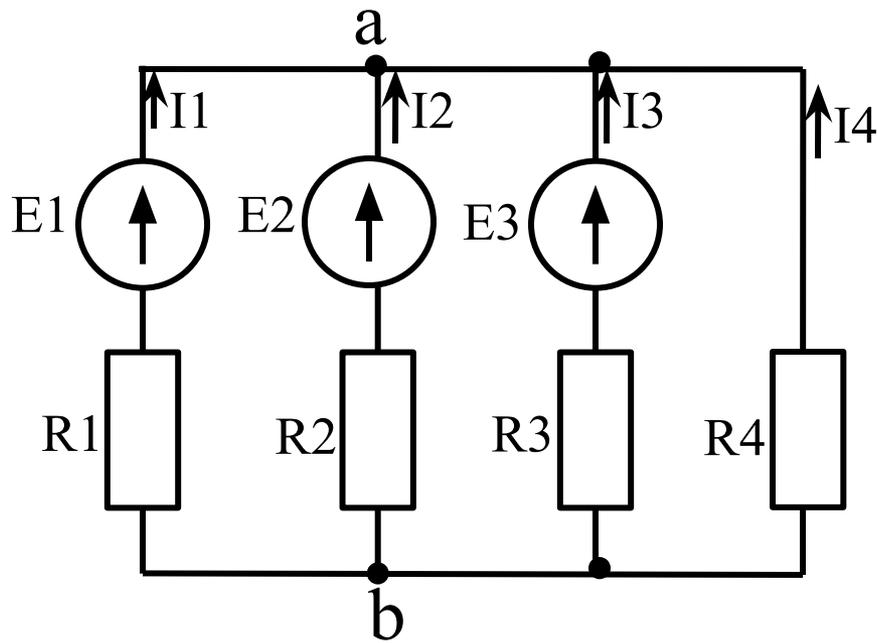
$$E_1 = R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_2 + R_1 \cdot I_1$$

$$-E_2 = R_4 \cdot I_3 - R_3 \cdot I_2 - R_2 \cdot I_2$$

$$E_1 - E_2 = R_4 \cdot I_3 + R_1 \cdot I_1$$

1. Сумма напряжений контура равна нулю.
2. Сумма ЭДС контура равна сумме напряжений на всех пассивных элементах этого контура.

# Определение узловых потенциалов



$$E_1 = I_1 R_1 + U_{ab}$$

$$E_2 = I_2 R_2 + U_{ab}$$

$$E_3 = I_3 R_3 + U_{ab}$$

$$0 = I_4 R_4 + U_{ab}$$

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} = E_1 g_1 - U_{ab} g_1$$

$$I_2 = \frac{E_2 - U_{ab}}{R_2} = E_2 g_2 - U_{ab} g_2$$

$$I_3 = \frac{E_3 - U_{ab}}{R_3} = E_3 \mathbf{g}_3 - U_{ab} \mathbf{g}_3 \quad I_4 = \frac{0 - U_{ab}}{R_4} = -U_{ab} \mathbf{g}_4$$

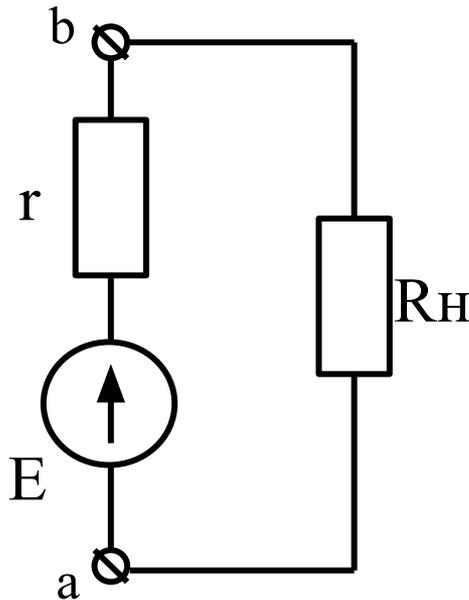
$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

$$E_1 \mathbf{g}_1 - U_{ab} \mathbf{g}_1 + E_2 \mathbf{g}_2 - U_{ab} \mathbf{g}_2 + E_3 \mathbf{g}_3 - U_{ab} \mathbf{g}_3 - U_{ab} \mathbf{g}_4 = 0$$

$$U_{ab} \mathbf{g}_1 + U_{ab} \mathbf{g}_2 + U_{ab} \mathbf{g}_3 + U_{ab} \mathbf{g}_4 = E_1 \mathbf{g}_1 + E_2 \mathbf{g}_2 + E_3 \mathbf{g}_3$$

$$U_{ab} = \frac{E_1 \mathbf{g}_1 + E_2 \mathbf{g}_2 + E_3 \mathbf{g}_3}{\mathbf{g}_1 + \mathbf{g}_2 + \mathbf{g}_3 + \mathbf{g}_4}$$

# Режимы работы электрической цепи

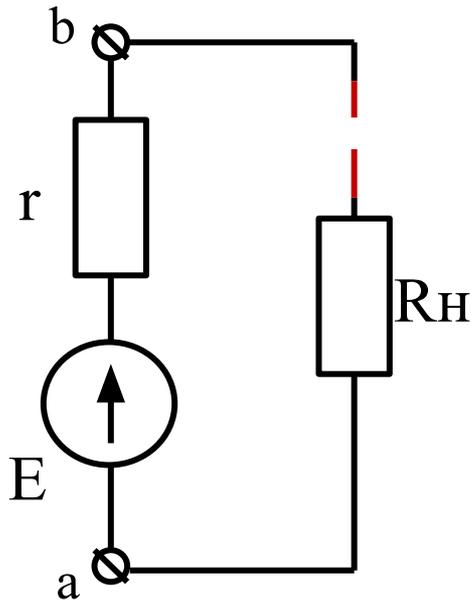


Номинальный;  
Холостого хода;  
Короткого замыкания;  
Согласованный.

# Номинальный режим

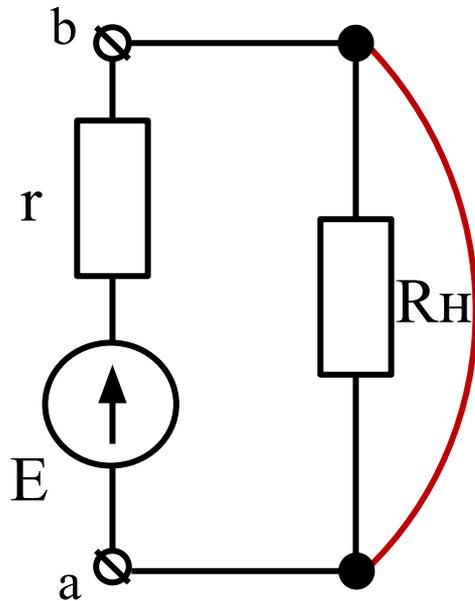
Номинальный режим – это режим, когда ток, напряжение и мощность цепи равны величинам, указанным в паспорте, т.е. номинальным. Это соответствует самым выгодным условиям работы с точки зрения экономичности, надёжности, долговечности и т.д.

# Режим холостого хода



Режим холостого хода – это режим, при котором ток в цепи равен 0, что имеет место при разрыве цепи.

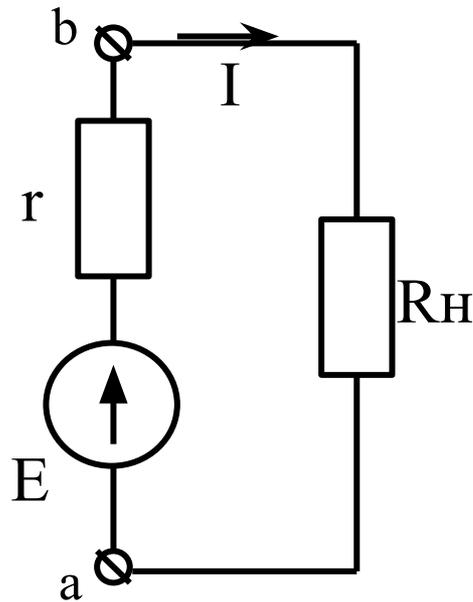
# Режим короткого замыкания



Режим короткого замыкания – это режим, при котором сопротивление нагрузки равно 0. Ток достигает максимального значения, ограниченного внутренним сопротивлением  $r$ . Напряжение на зажимах источника равно 0.

**Этот режим чаще всего является аварийным.**

# Согласованный режим



Согласованный режим – это режим, когда  $R_{н} = r$ . При этом

$$I = \frac{E}{r + R_{н}} = \frac{E}{2r} = 0,5I_{к.з.}, \text{ а}$$

коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_{н}}{P_{о}} = \frac{R_{н}I^2}{R_{н}I^2 + rI^2} = \frac{r}{2r} = 0,5.$$

Поэтому согласованный режим в промышленных установках не применяют, а применяют в цепях с малыми токами (схемы автоматики, связи, электрических измерений и т.д.), в которых КПД не имеет решающего значения.

# Баланс мощностей

1).  $P = U \cdot I$  Для источника

2).  $P = U^2 / R$  Для приёмника

3).  $P = I^2 \cdot R$  Для приёмника

$$\underbrace{\sum_{i=1}^n P_i^1}_{\text{Источники электроэнергии}} = \underbrace{\sum_{j=1}^m P_j^2 + \sum_{k=1}^t P_k^3}_{\text{Потребители электроэнергии}}$$

Источники электроэнергии

Потребители электроэнергии