

1 лекция

Литература

1. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. – 4-е изд. / К.С. Демирчян, Л. Р. Нейман и др. – СПб. : Питер, 2003.

**2. Основы теории цепей /
Г.В. Зевеке, П. А. Ионкин,
С.В. Страхов. -
М.: Энергоатомиздат,
1989. – 528 с.**

**3. Бессонов Л. А.
Теоретические основы
электротехники.
Электрические цепи. -
М.: Высшая школа,
1996. – 638 с.**

**4. Сметанина Р.Н.,
Носов Г.В., Исаев Ю.Н.
Теоретические основы
электротехники. Часть 1.
Постоянный и
синусоидальный токи в
линейных цепях: Учебное
пособие.-Томск: Изд-во
ТПУ, 2009. – 118 с.**

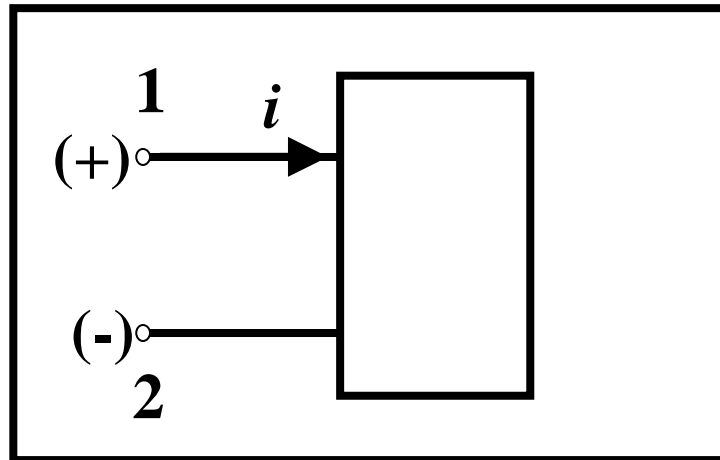
Основные понятия и законы электрических цепей

Электрическая цепь – это совокупность устройств, предназначенных для прохождения электрического тока и преобразования электромагнитной энергии

Электрический ток i (А) – это направленное движение электрических зарядов

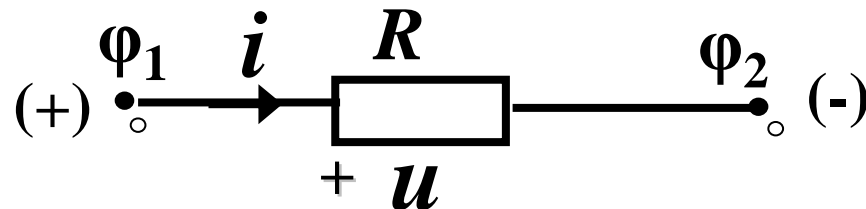
$$i = \frac{dq}{dt}, \quad \text{А} = \frac{\text{Кл}}{\text{с}}$$

q — заряд [Кл]



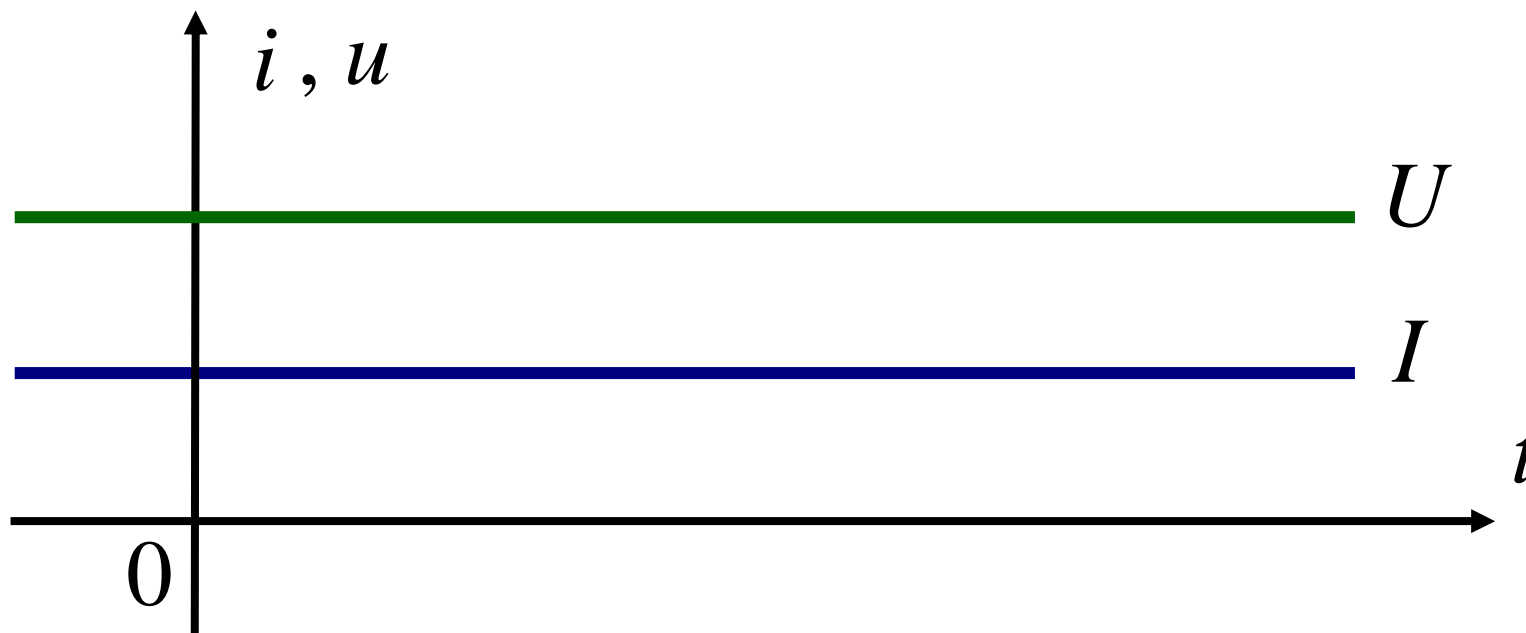
Потенциал точки φ (В) – это потенциальная энергия, которой обладает единичный положительный заряд, помещенный в данную точку электрического поля.

Напряжение u (В) – это разность потенциалов между двумя точками электрической цепи:



$$u = \varphi_1 - \varphi_2, \quad [\text{В}]$$

Постоянные ток I и напряжение U
неизменны во времени t и генерируются
источниками постоянного тока и
напряжения, например:
аккумуляторами, генераторами и т.д.

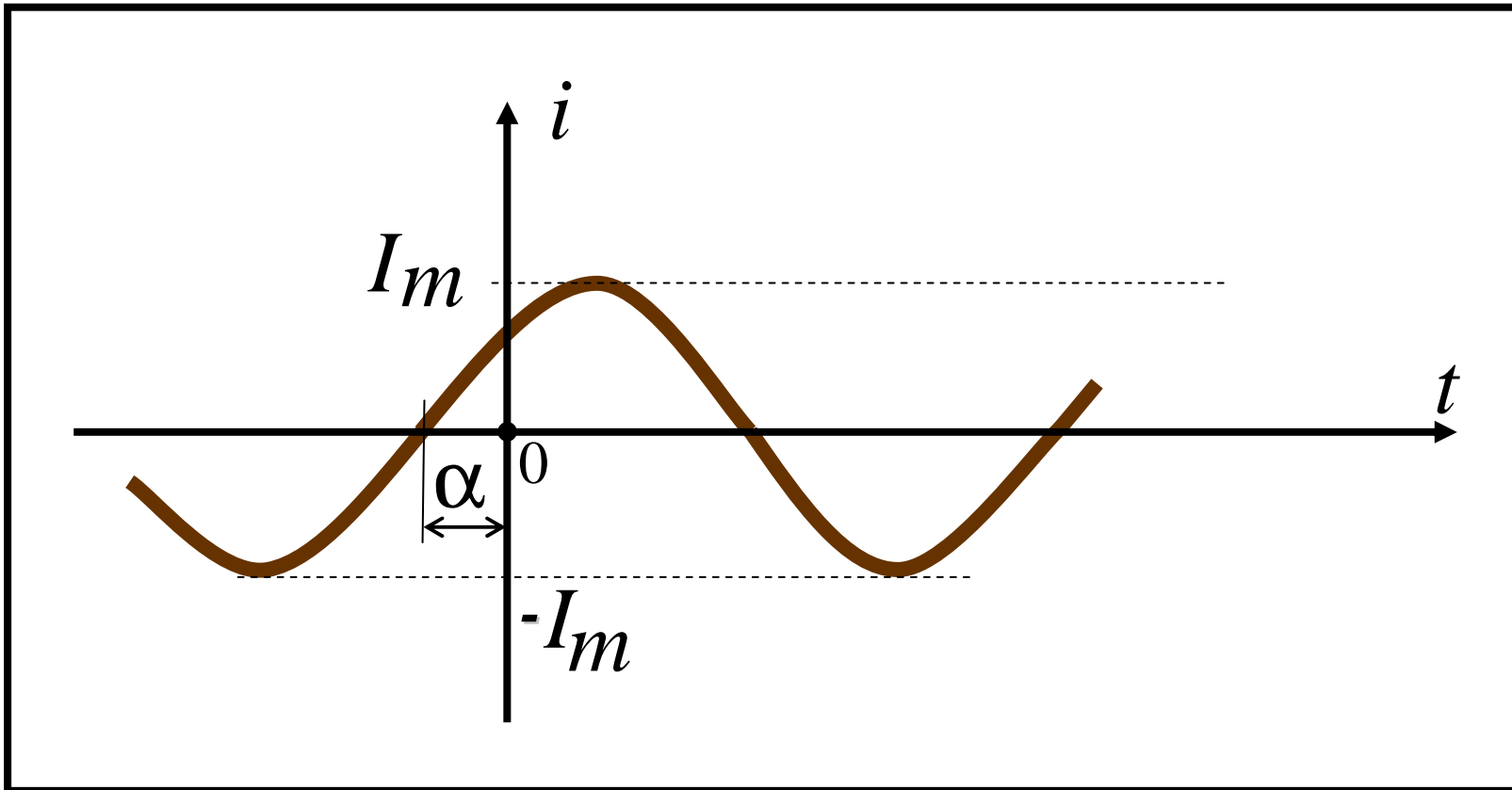


Периодические токи $i(t)$ и напряжения $u(t)$ синусоидальной формы генерируются синхронными генераторами и наиболее распространены в электроэнергетике, причем в России:

$$f = 50 \text{ Гц} - \text{частота}$$

$$\omega = 2\pi f = 314 \text{ рад/с} - \text{угловая частота}$$

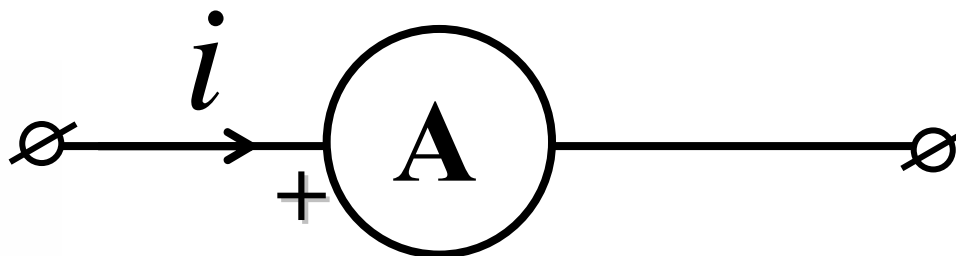
$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \alpha)$$



Мощность p (Ватт=Вт) характеризует преобразование **энергии** на участке цепи и равна **скорости** изменения **энергии (W) во времени (t):**

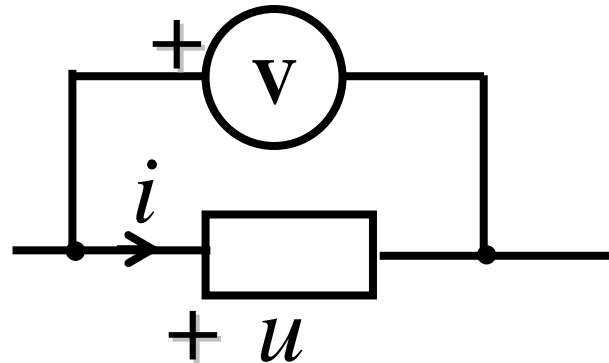
$$p = \frac{dW}{dt} = u \cdot i, \text{ Вт=Дж/с=В}\cdot\text{А}$$

Для измерения тока применяются амперметры. **Амперметр** включается последовательно в цепь и измеряет ток на данном участке цепи.



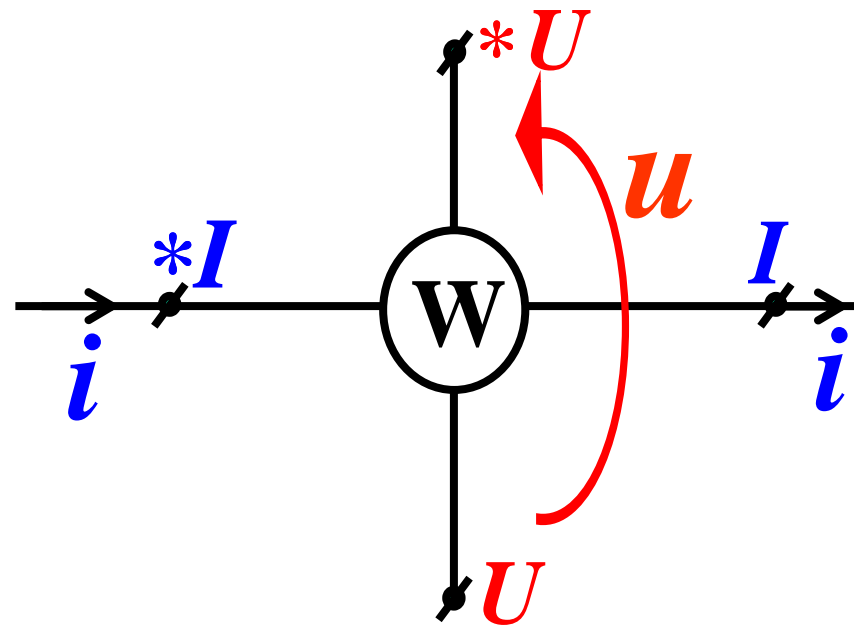
Внутреннее сопротивление идеального амперметра равно **нулю**.

Напряжение измеряют вольтметрами.
Вольтметр подключают к точкам,
между которыми необходимо измерить
напряжение.



Внутреннее сопротивление идеального
вольтметра равно **бесконечности**

Измерение **средней (активной) величины (P)** мощности $p=p(t)$ при **постоянных и периодических** напряжениях (u) и токах (i) осуществляется **ваттметрами**, которые имеют **две обмотки**: **токовую обмотку (I)** с **малым сопротивлением** и **обмотку напряжения (U)** с **большим сопротивлением**:



Источники и приемники электромагнитной энергии

Источники – это устройства, в которых
различные виды энергии
преобразуются в электромагнитную
энергию
(генераторы, аккумуляторы и т.д.).

Приемники – это устройства, в которых электромагнитная энергия превращается в другие виды энергии: световую (электрические лампы), тепловую (электронагревательные приборы), механическую (двигатели) и т.д.

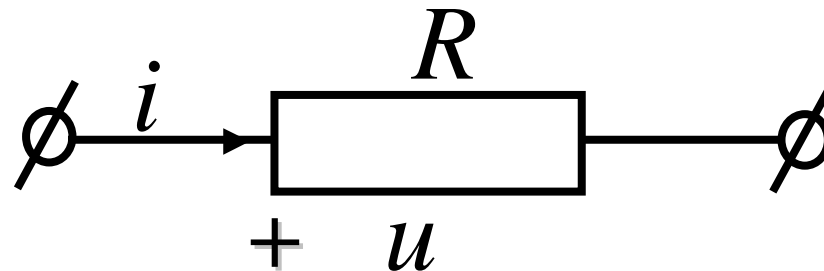


При расчете электрической **цепи** ее заменяют **схемой замещения**, которая отображает свойства реальной цепи. **Схемы замещения** состоят из **активных** и **пассивных** элементов. Это **идеальные** элементы, математическое описание которых отражает процессы, происходящие в цепи.

Пассивные линейные элементы

(имеют линейные характеристики)

1. Резистивный элемент необратимо преобразует электромагнитную энергию в тепло или в другие виды энергии.



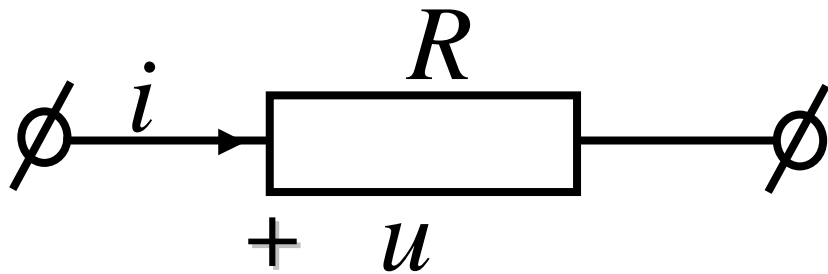
R [Ом] – сопротивление, характеризующее способность элемента препятствовать протеканию тока.

$$g = \frac{1}{R} \quad [\text{СМ}] \text{ - проводимость}$$

Мгновенная мощность, поступающая в резистивный элемент:

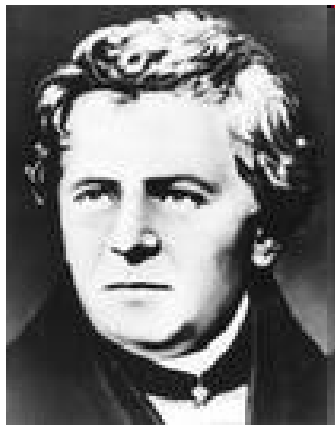
$$p = u \cdot i = R \cdot i^2 = g \cdot u^2$$

Закон Ома



$$u = i \cdot R$$

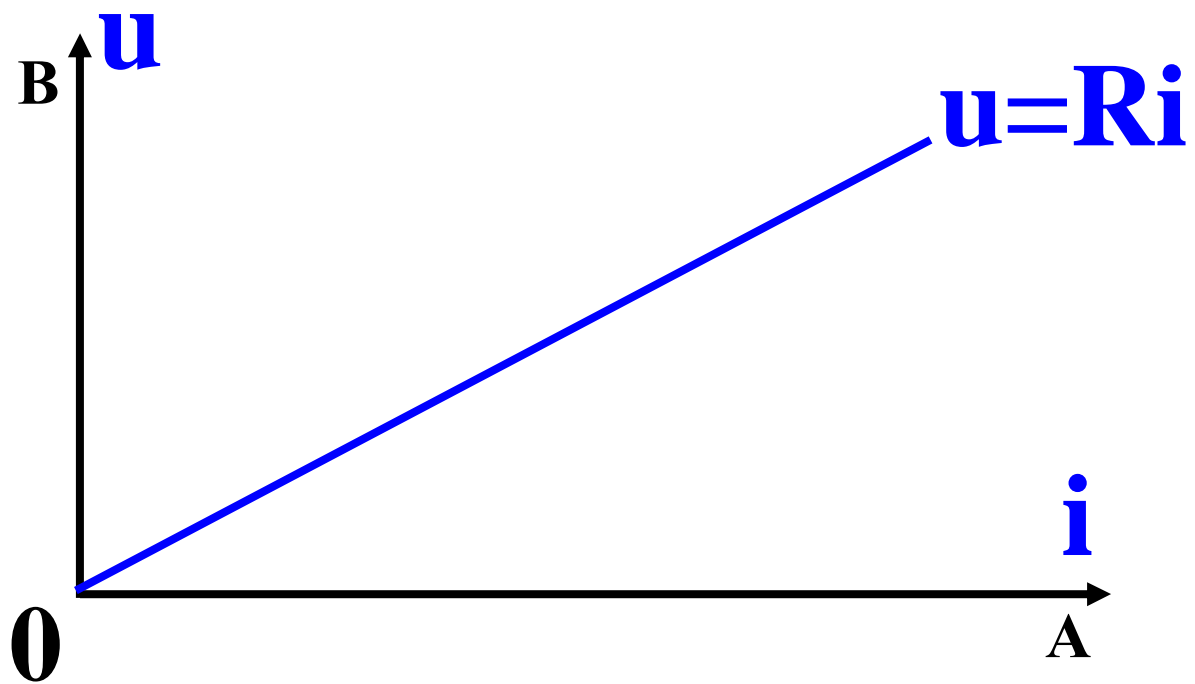
Впервые (для металлов) его установил немецкий ученый
Георг Ом в 1826 г.



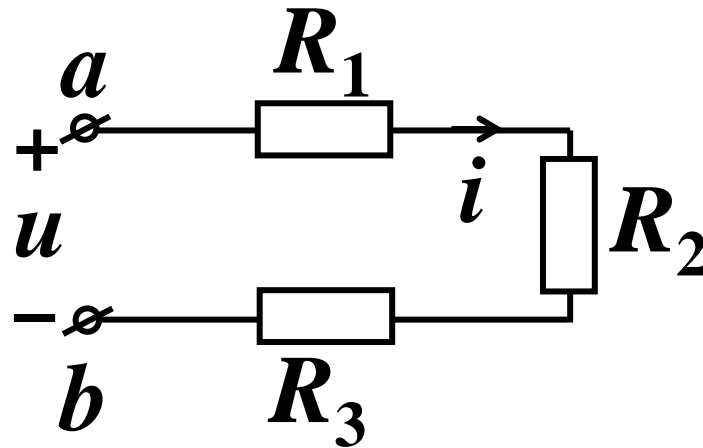
1787 – 1854 г

$$i = \frac{u}{R}$$

Вольтамперная характеристика $u(i)$

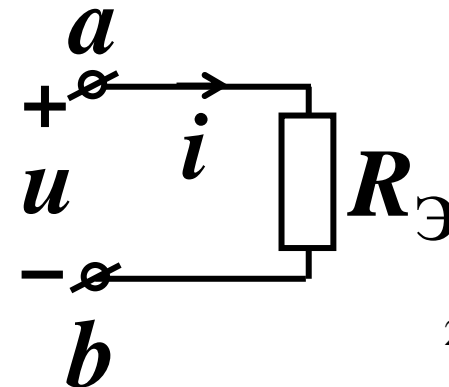


При **последовательном** соединении элементов через них течет **один ток i** :

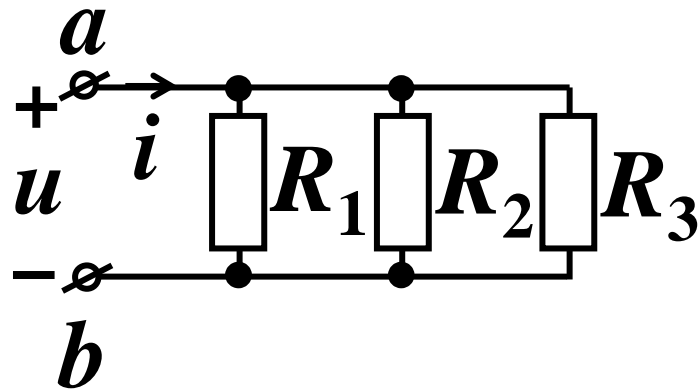


Эквивалентное сопротивление $R_{\text{Э}}$
последовательного соединения:

$$R_{\text{Э}} = R_1 + R_2 + R_3$$

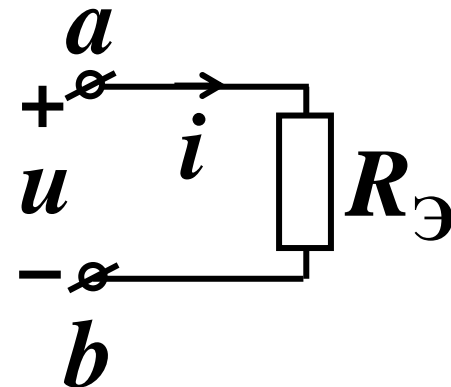


При **параллельном** соединении элементов к ним приложено **одно напряжение u** :

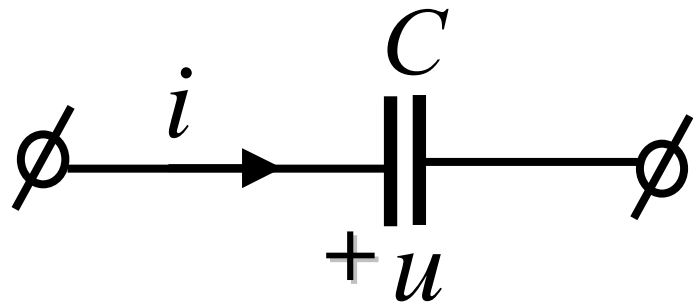


Эквивалентное сопротивление $R_{\text{Э}}$
параллельного соединения:

$$R_{\text{Э}} = 1/(1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3)$$



2. Емкостной элемент – это элемент, в котором накапливается энергия $W_{\text{эл}}$ электрического поля:

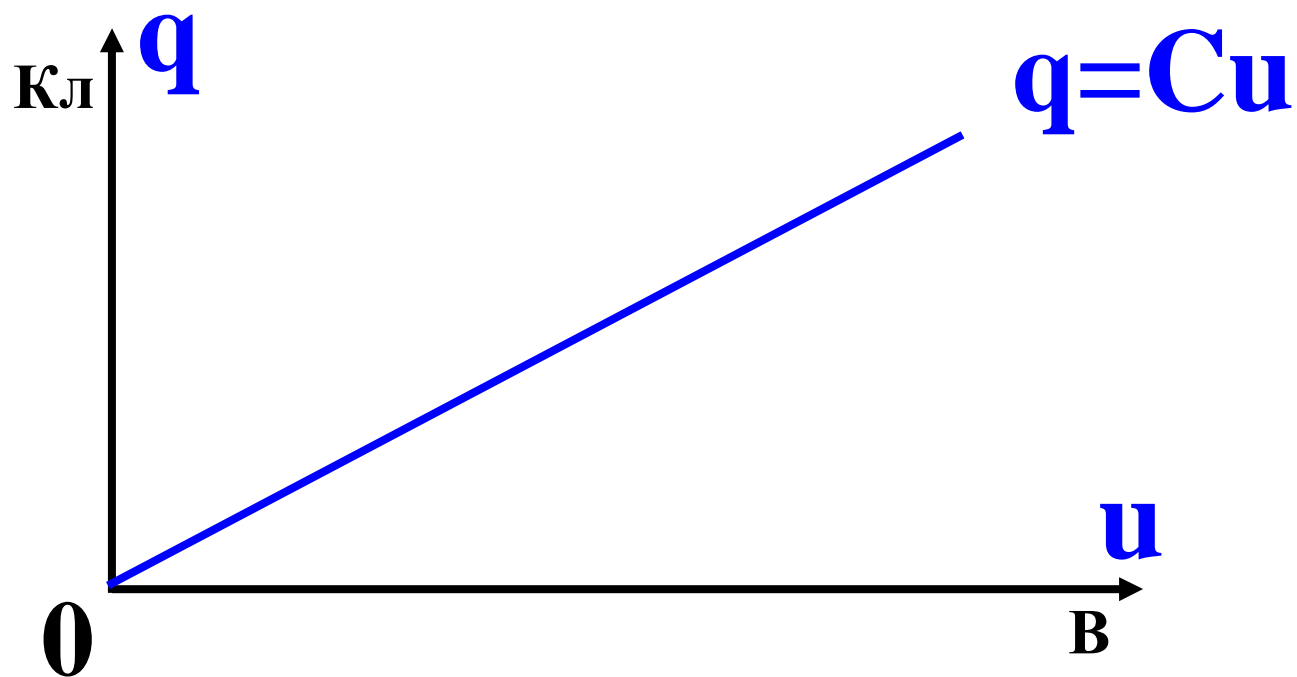


$$W_{\text{эл}} = \frac{C \cdot u^2}{2}$$

$$i = C \frac{du}{dt} \quad u = \frac{1}{C} \int i dt$$

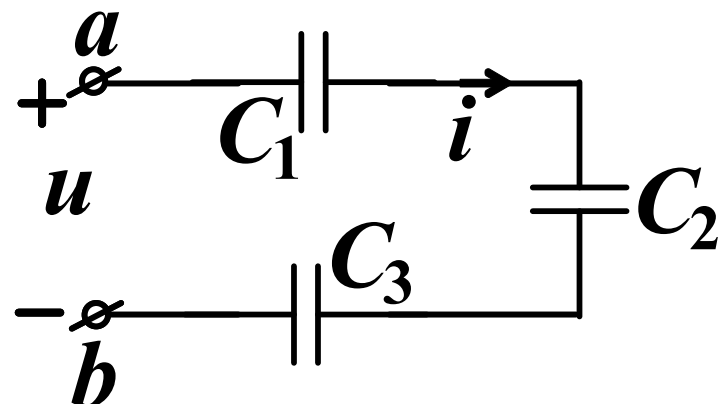
Емкость C (Ф=фарада) – это коэффициент пропорциональности между зарядом обкладки конденсатора $q=Cu$ и напряжением между его обкладками u .

Кулонвольтная характеристика $q(u)$



q – заряд (Кулон= $\text{Кл}=\text{А}\cdot\text{с}$)

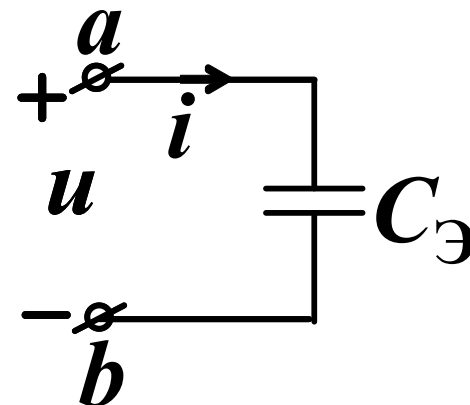
При **последовательном** соединении элементов через них течет **один ток i** :



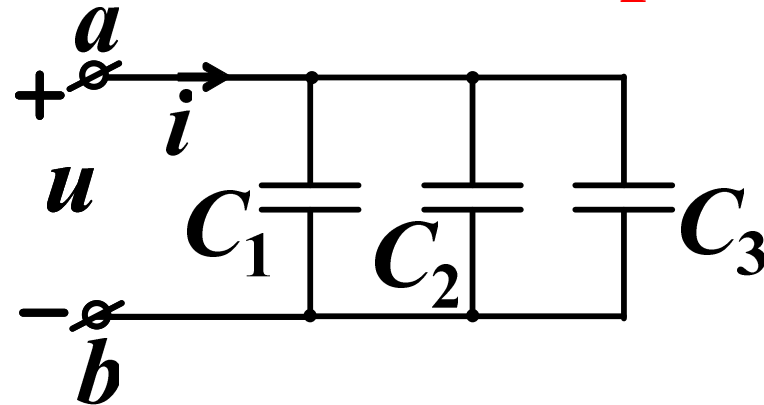
Эквивалентная емкость $C_Э$

последовательного соединения:

$$C_Э = 1/(1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3)$$



При **параллельном** соединении элементов к ним приложено **одно напряжение u** :



Эквивалентная емкость $C_Э$
параллельного соединения:

$$C_Э = C_1 + C_2 + C_3$$

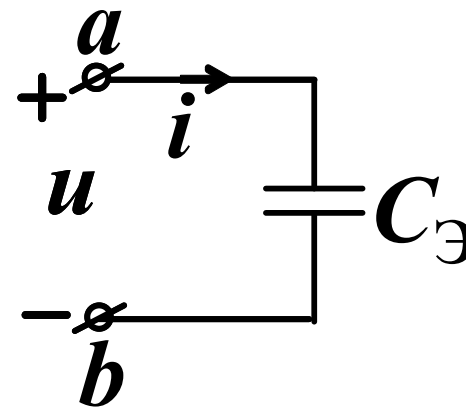
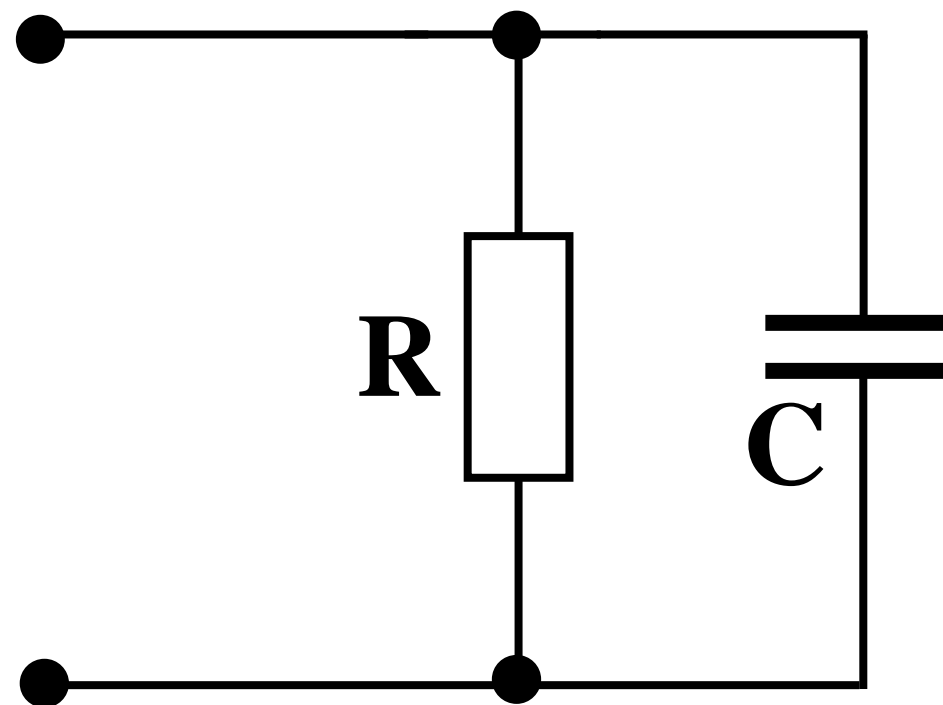
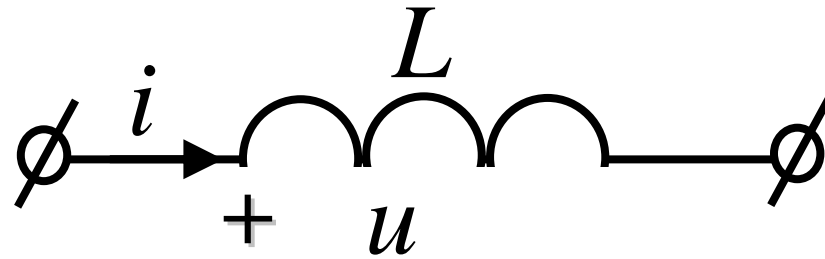


Схема замещения конденсатора при частотах $f < 10^6$ Гц:



3. Индуктивный элемент – это элемент, в котором накапливается энергия магнитного поля W_M :

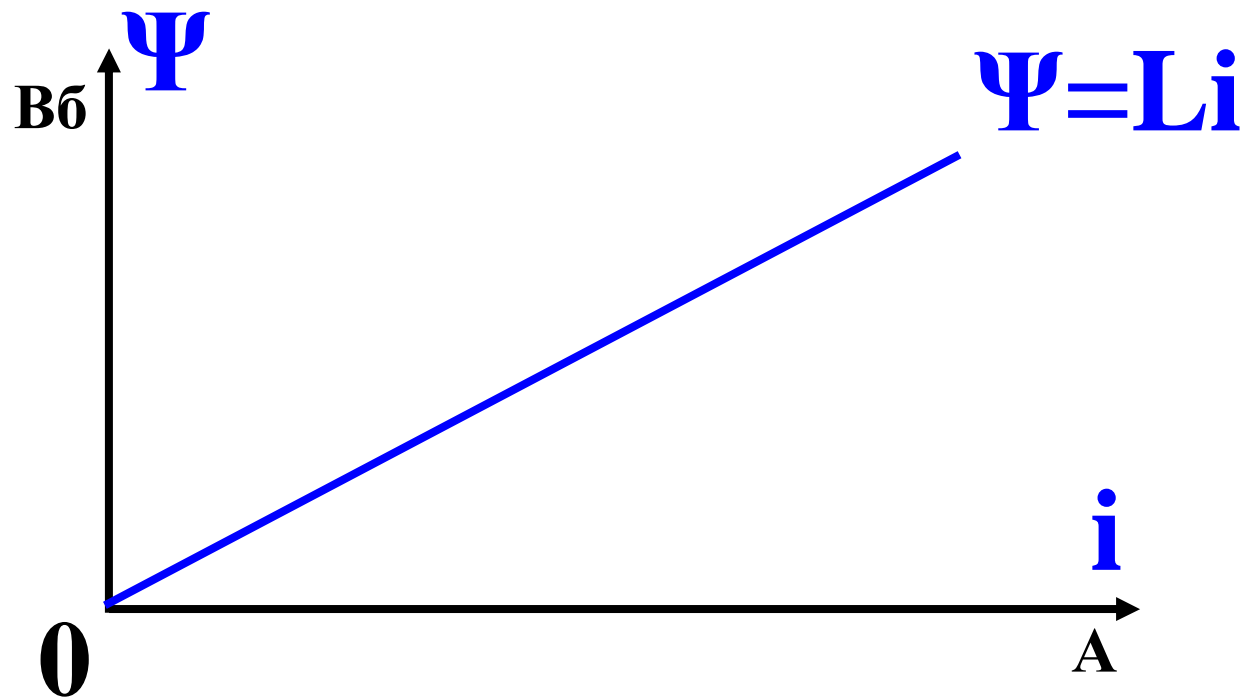
$$W_M = \frac{Li^2}{2}$$



$$u = L \frac{di}{dt} \quad i = \frac{1}{L} \int u dt$$

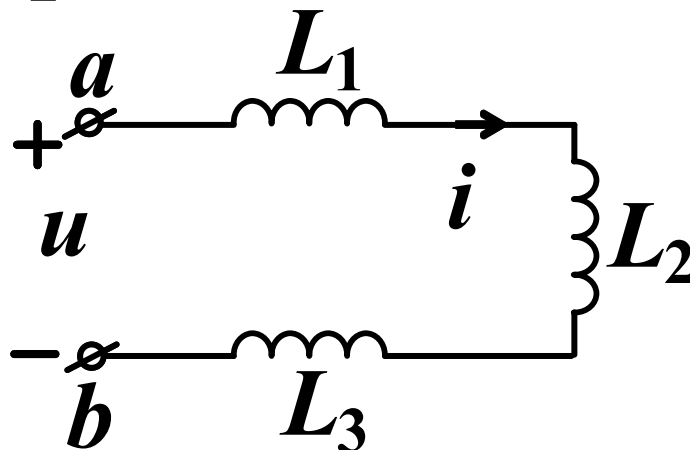
Индуктивность L (Гн=генри) - это коэффициент пропорциональности между током i и потокосцеплением $\Psi = Li$

Веберамперная характеристика $\Psi(i)$



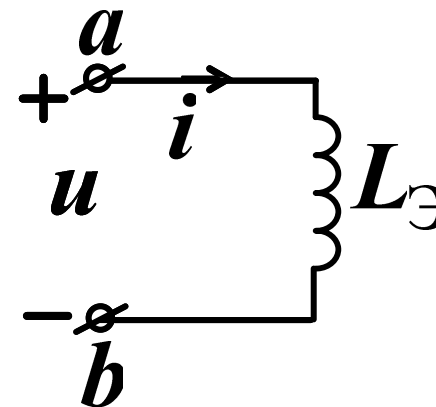
Ψ – потокосцепление (Вебер= Wb = $\Gamma n \cdot A = V \cdot c$)

При **последовательном** соединении элементов через них течет **один ток i** :

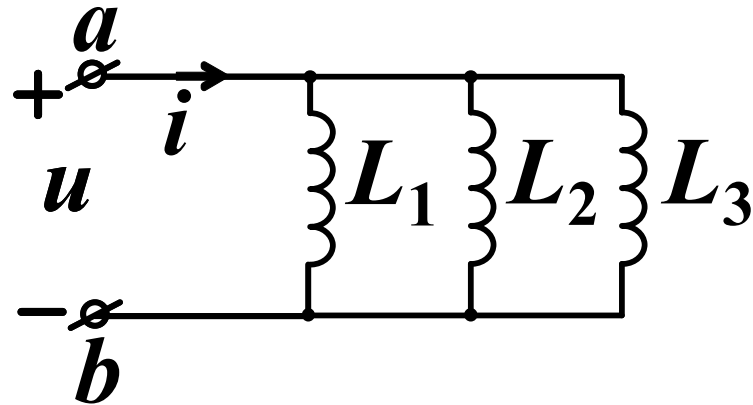


Эквивалентная индуктивность L_{Σ}
последовательного соединения:

$$L_{\Sigma} = L_1 + L_2 + L_3$$



При **параллельном** соединении элементов к ним приложено **одно напряжение u** :



Эквивалентная индуктивность $L_{\text{Э}}$
параллельного соединения:

$$L_{\text{Э}} = 1/(1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3)$$

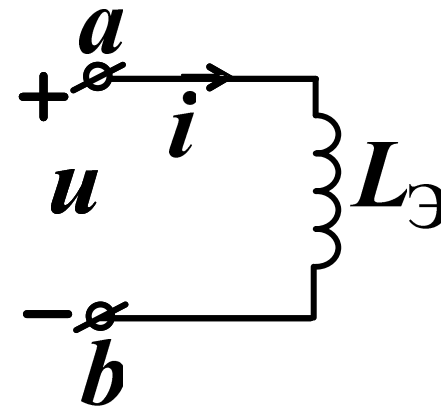
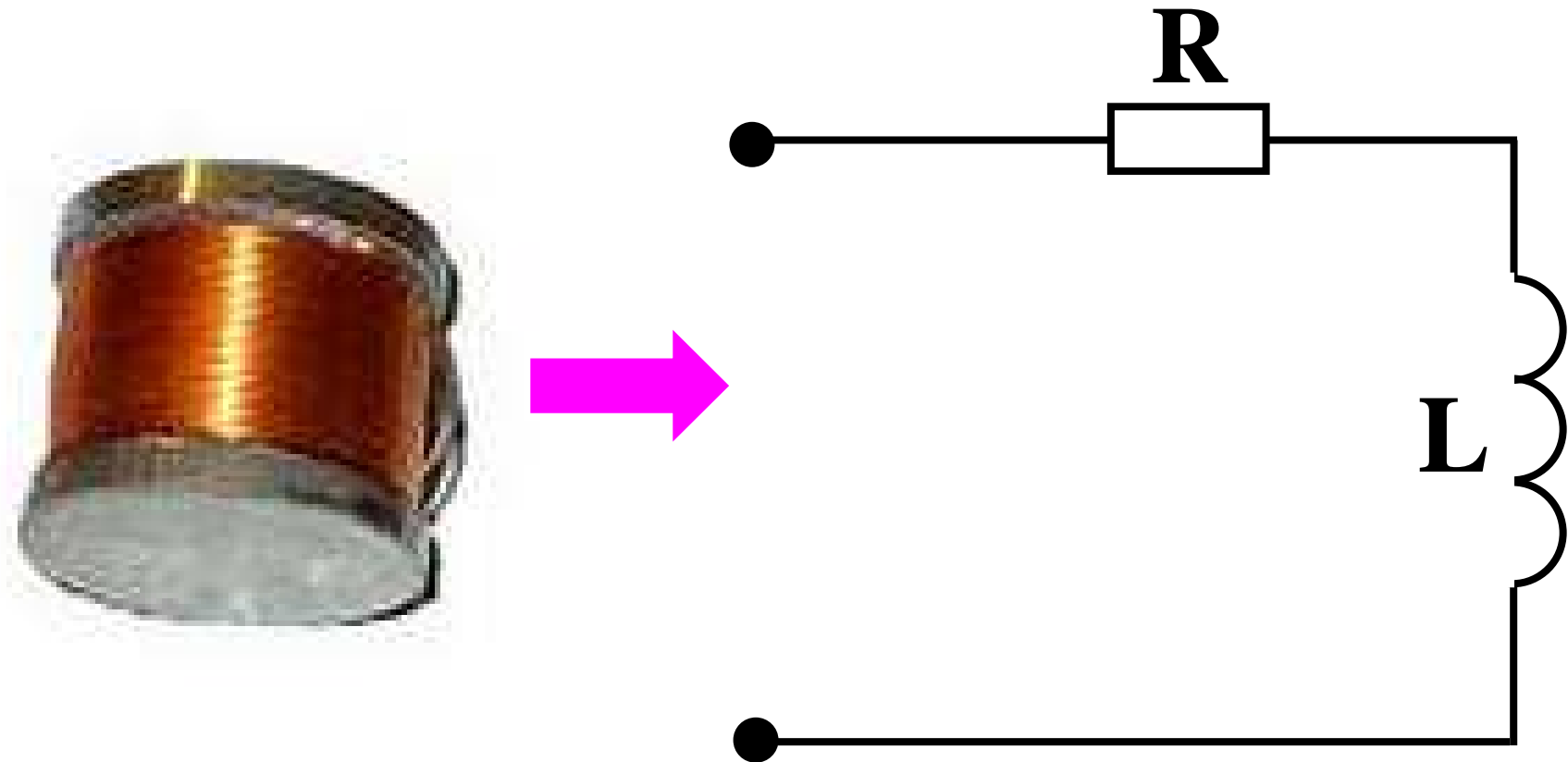


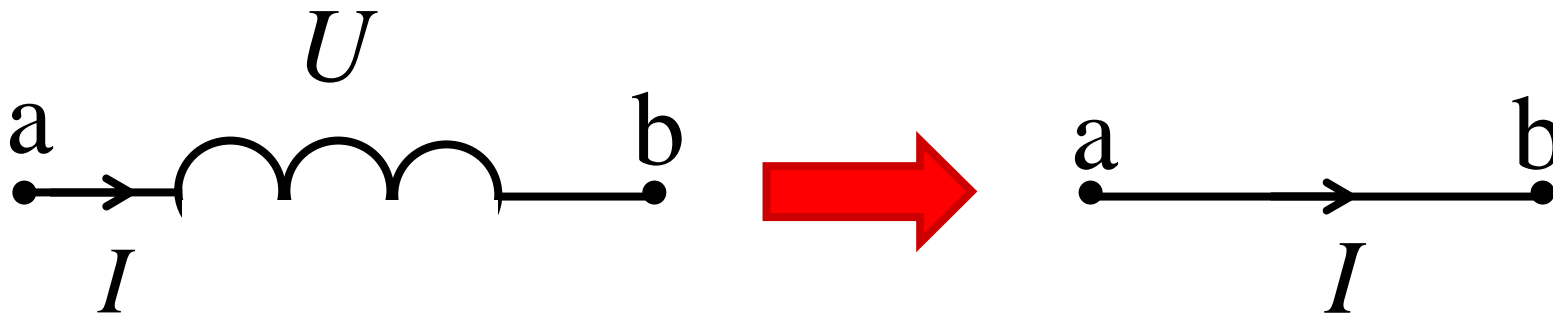
Схема замещения катушки при частотах $f < 10^6$ Гц:



Примечания

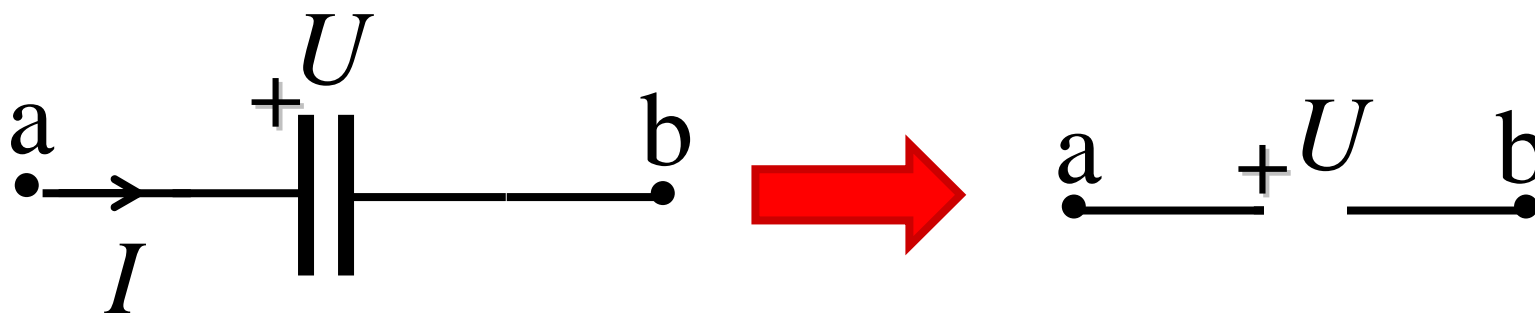
1. При постоянном токе индуктивный элемент - “закоротка”:

Так как $U = L \frac{dI}{dt} = 0$, то



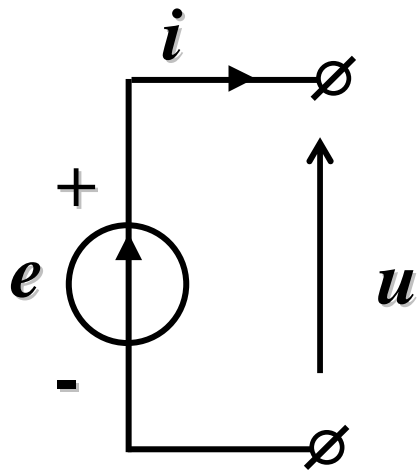
2. При постоянном напряжении емкостный элемент - “разрыв”:

Так как $I = C \frac{dU}{dt} = 0$, то



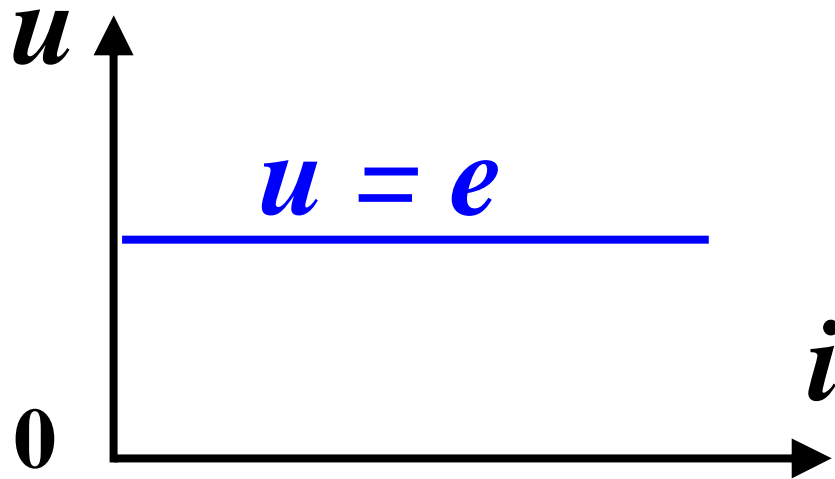
Активные линейные элементы

1. Источник ЭДС – это источник, напряжение u на зажимах которого не зависит от величины протекающего через него тока i и внутреннее сопротивление которого равно нулю.



$$u = e$$

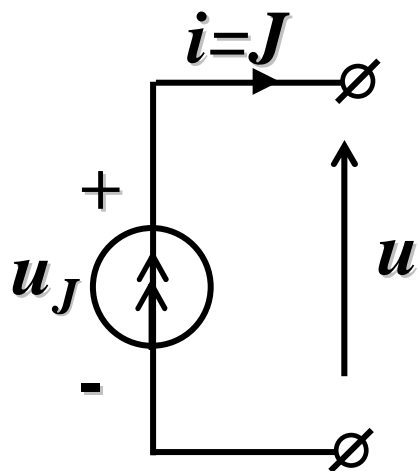
Вольтамперная характеристика



Мощность источника ЭДС

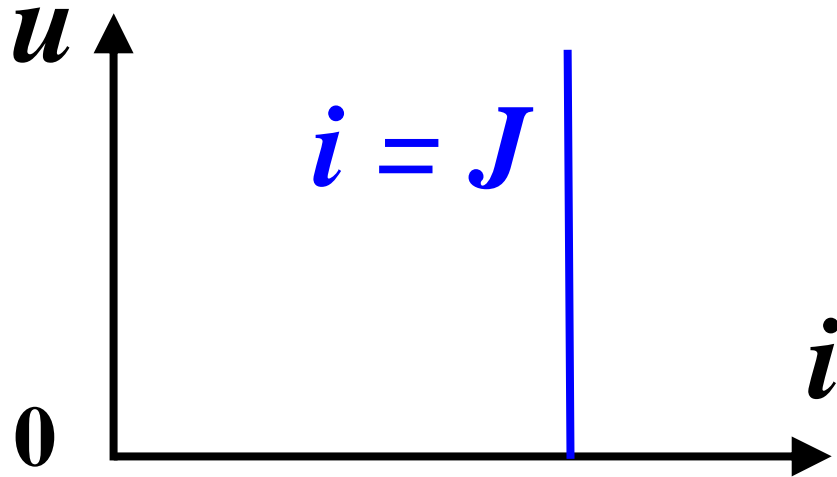
$$p = e \cdot i$$

2. Источник тока J – это источник, ток которого $i=J$ не зависит от параметров цепи. Внутреннее сопротивление идеального источника тока равно бесконечности.



Полярность напряжения $u_J = u$ соответствует случаю, когда источник вырабатывает энергию.

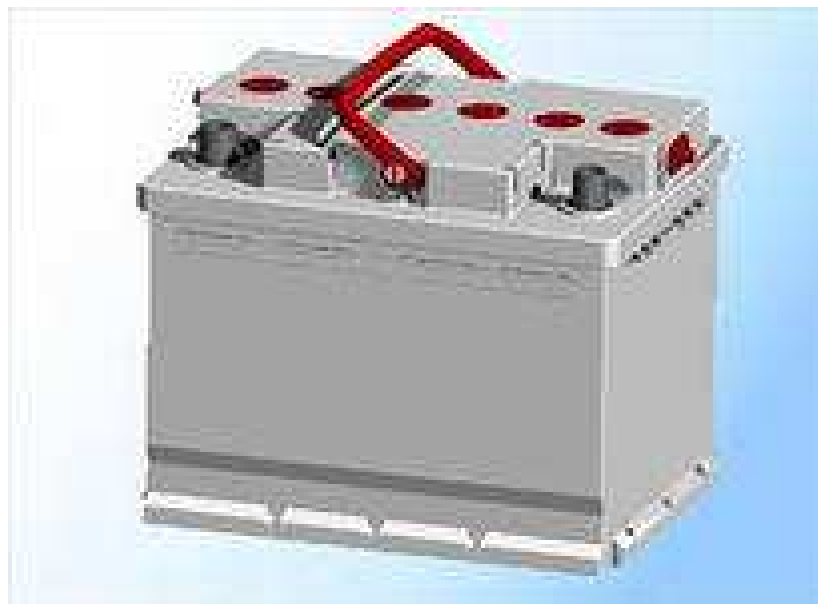
Вольтамперная характеристика



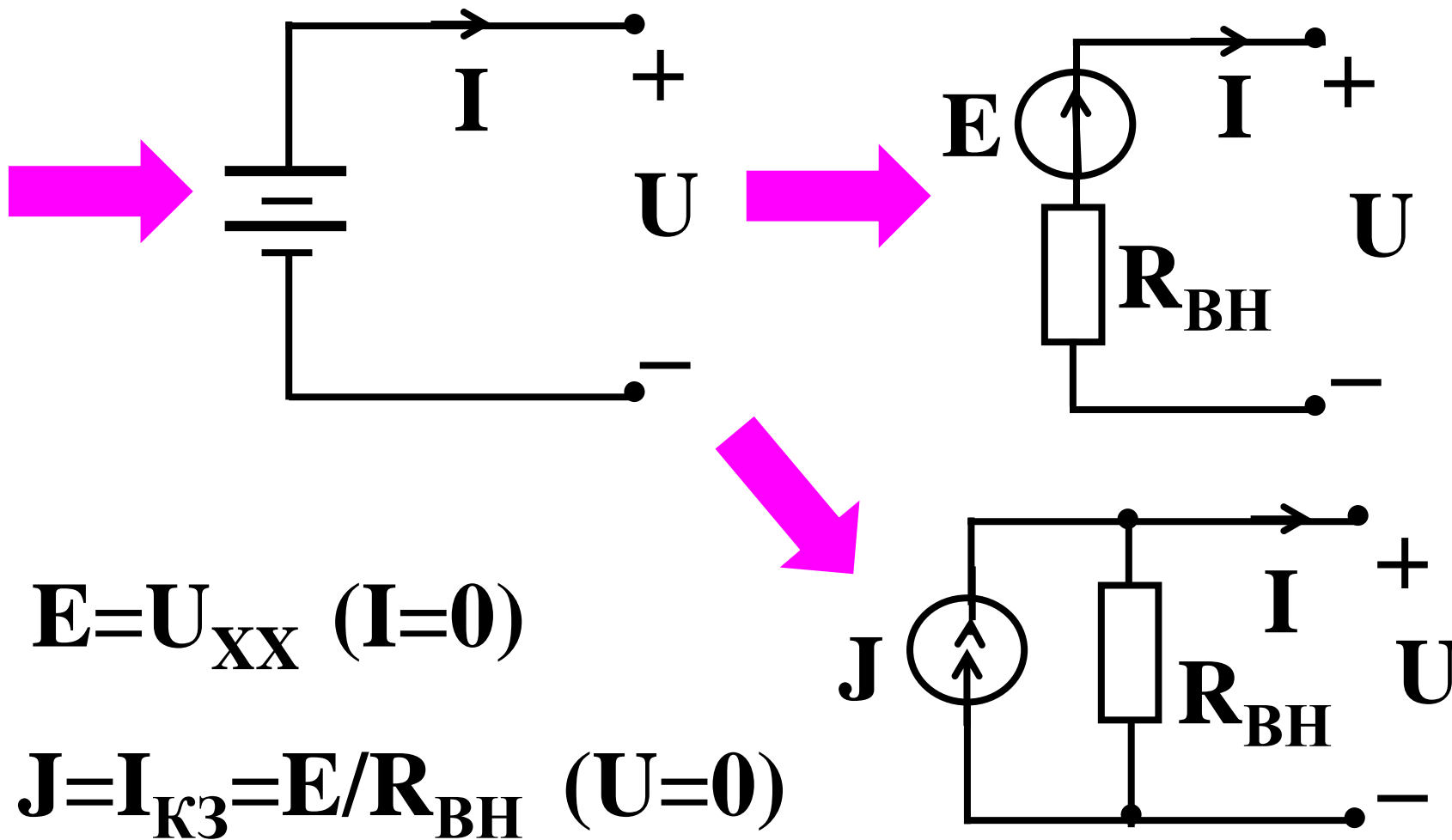
Мощность источника тока

$$P = u_J \cdot J$$

Активные и пассивные элементы
применяются для составления
схем замещения **реальных**
источников электромагнитной
энергии, например, **аккумуляторов**:



Схемы замещения аккумулятора:



Топологические понятия

Схема – это графическое изображение электрической цепи.

Ветвь – это участок схемы, в котором течет один и тот же ток.

Узел – это место соединения трех или большего числа ветвей.

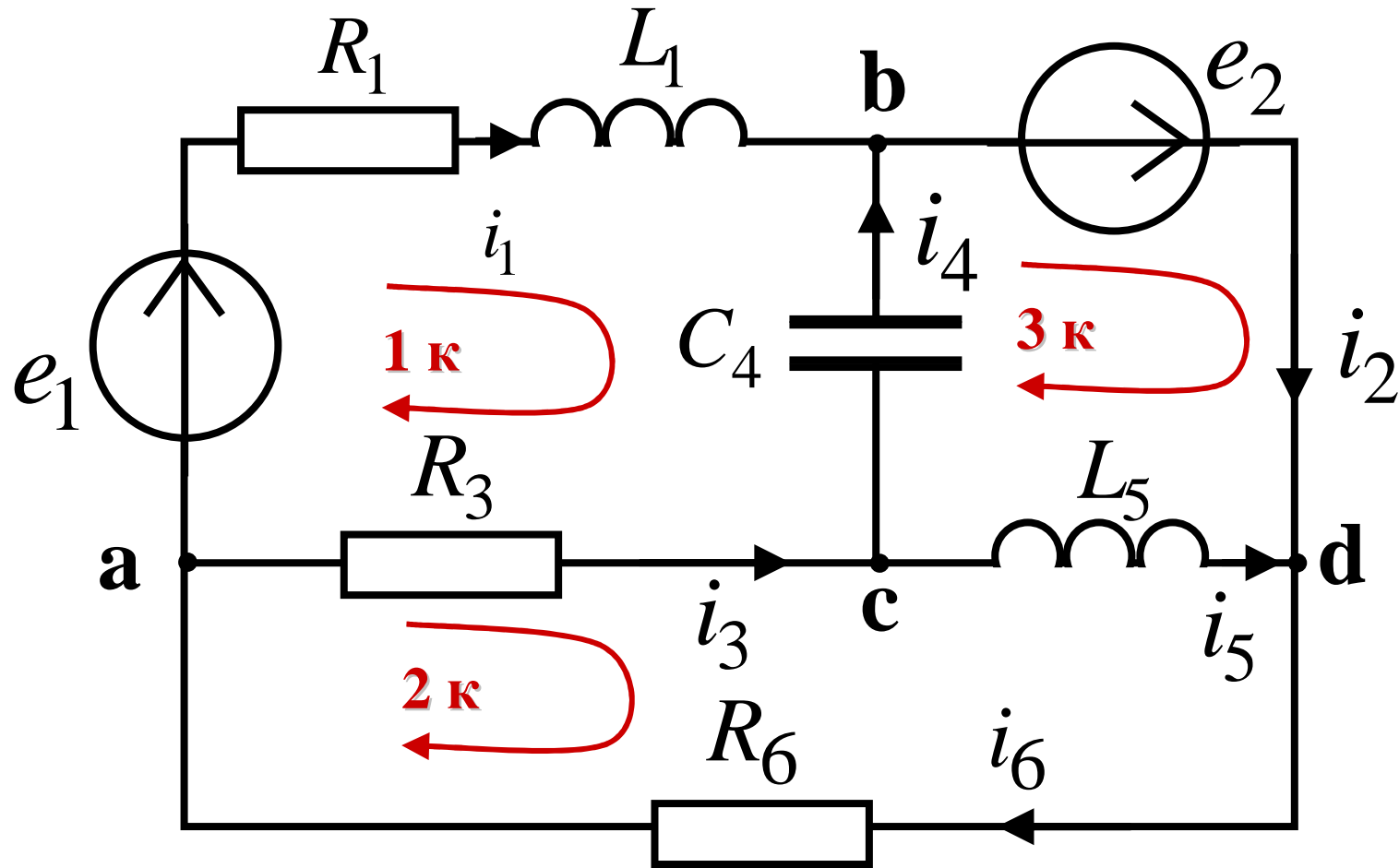
Замкнутый контур – это путь, проходящий по нескольким ветвям.

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

$N=4$ – число узлов

Схема

$M=6$ – число ветвей



Законы Кирхгофа



Кирхгоф (Kirchhoff) Густав Роберт

1824-1887г.

**немецкий физик, член Берлинской АН,
член-корреспондент Петербургской АН.**

В возрасте двадцати одного года, сформулировал основные законы для расчета токов и напряжений в электрических цепях, которые теперь носят его имя и до сих пор остаются важным рабочим инструментом специалистов в области электронной инженерии и электротехники.

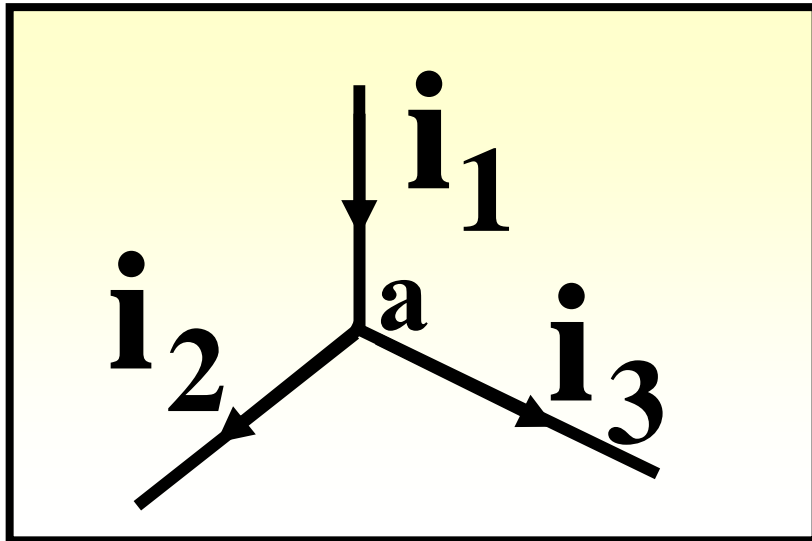
Первый закон Кирхгофа:

алгебраическая сумма токов в узле равняется нулю (токи, вытекающие из узла, считаются положительными, а втекающие – отрицательными):

$$\sum (\pm i_k) = 0$$

Физический смысл этого закона прост: если бы он не выполнялся, в узле непрерывно накапливался бы электрический заряд, а этого никогда не происходит.

Например:



узел **a**:

$$-i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

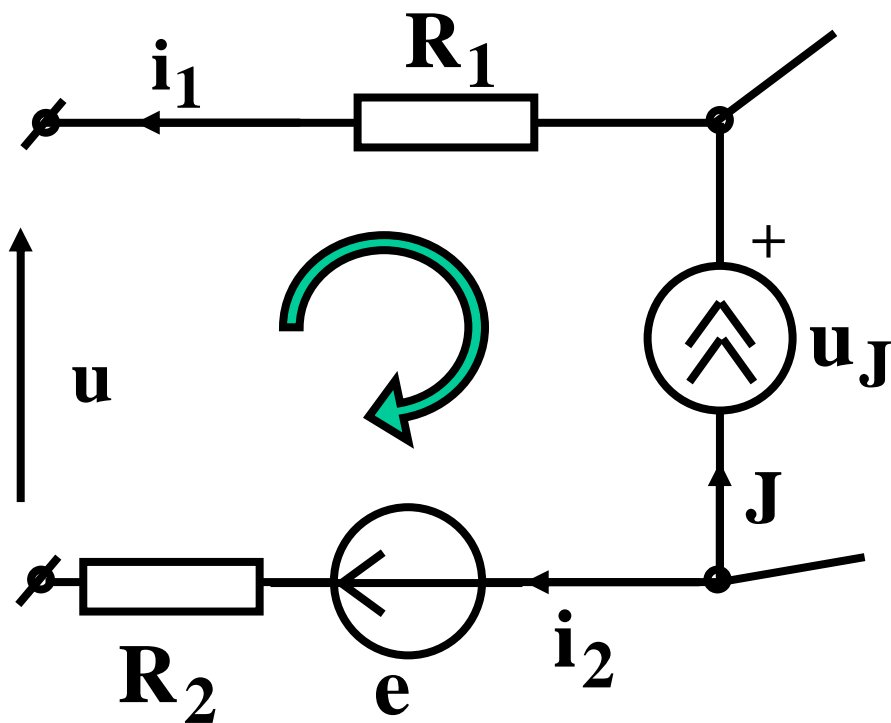
Второй закон Кирхгофа:

в контуре алгебраическая сумма напряжений на пассивных элементах равна алгебраической сумме ЭДС и напряжений на зажимах источников тока.

Со знаком “+” берутся все слагаемые, положительное направление которых совпадает с выбранным обходом контура:

$$\sum_{k=1}^n \pm u_k = \sum_{k=1}^m \pm e_k \pm \sum_{k=1}^d u_{Jk}$$

Например:



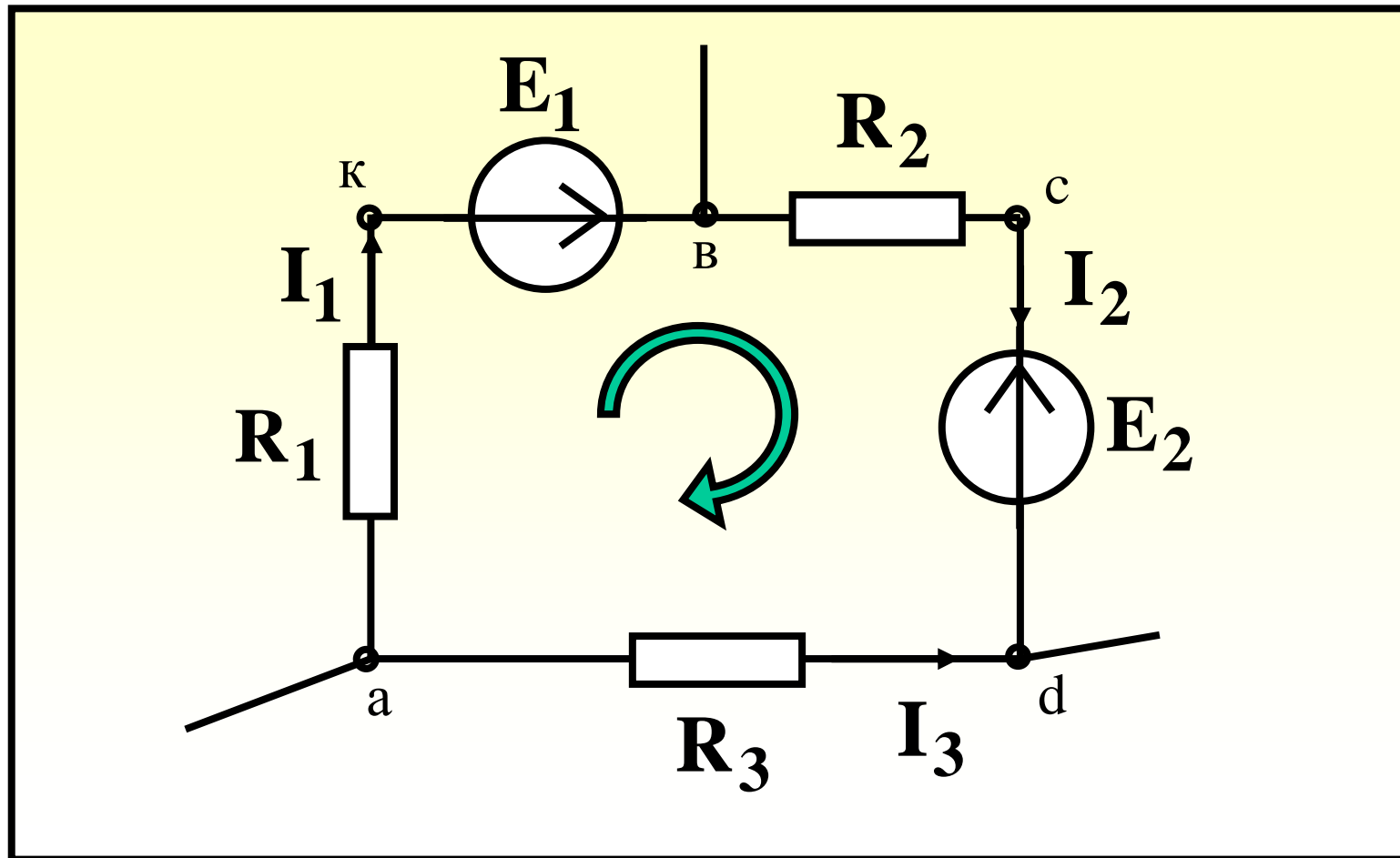
$$-i_1 R_1 + i_2 R_2 = u + e - u_J$$

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ДИАГРАММА

**Потенциальная диаграмма -
это графическое изображение
второго закона Кирхгофа,
которая применяется для
проверки правильности расчетов
в линейных резистивных цепях**

Потенциальная диаграмма
строится для замкнутого контура
без источников тока, причем
потенциалы точек начала и
конца диаграммы должны
получиться одинаковыми

Схема контура



Потенциалы точек контура:

$$\varphi_a = 0$$

$$\varphi_k = \varphi_a - I_1 R_1$$

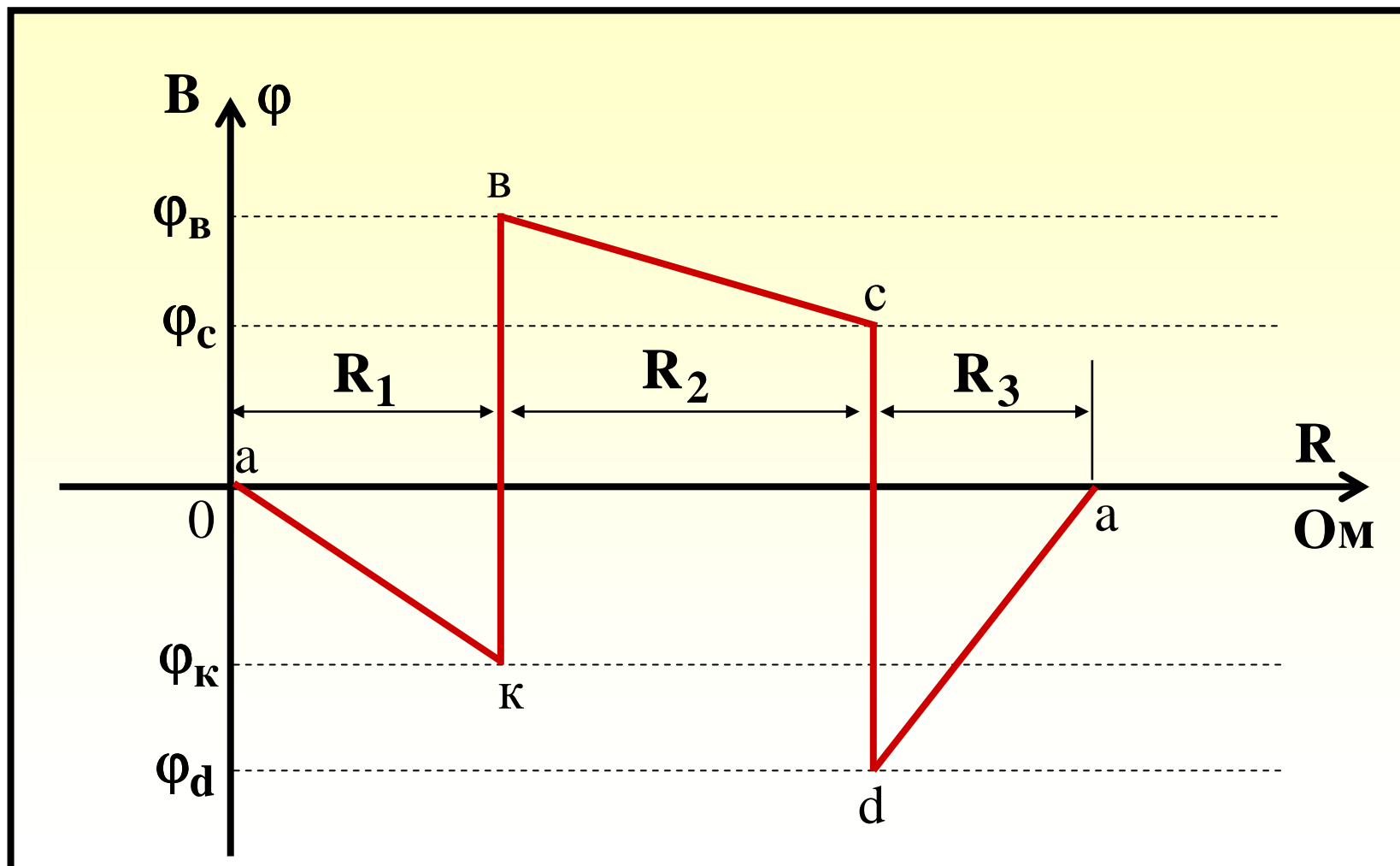
$$\varphi_b = \varphi_k + E_1$$

$$\varphi_c = \varphi_b - I_2 R_2$$

$$\varphi_d = \varphi_c - E_2$$

$$\varphi_a = \varphi_d + I_3 R_3 = 0$$

Потенциальная диаграмма



Баланс мощностей

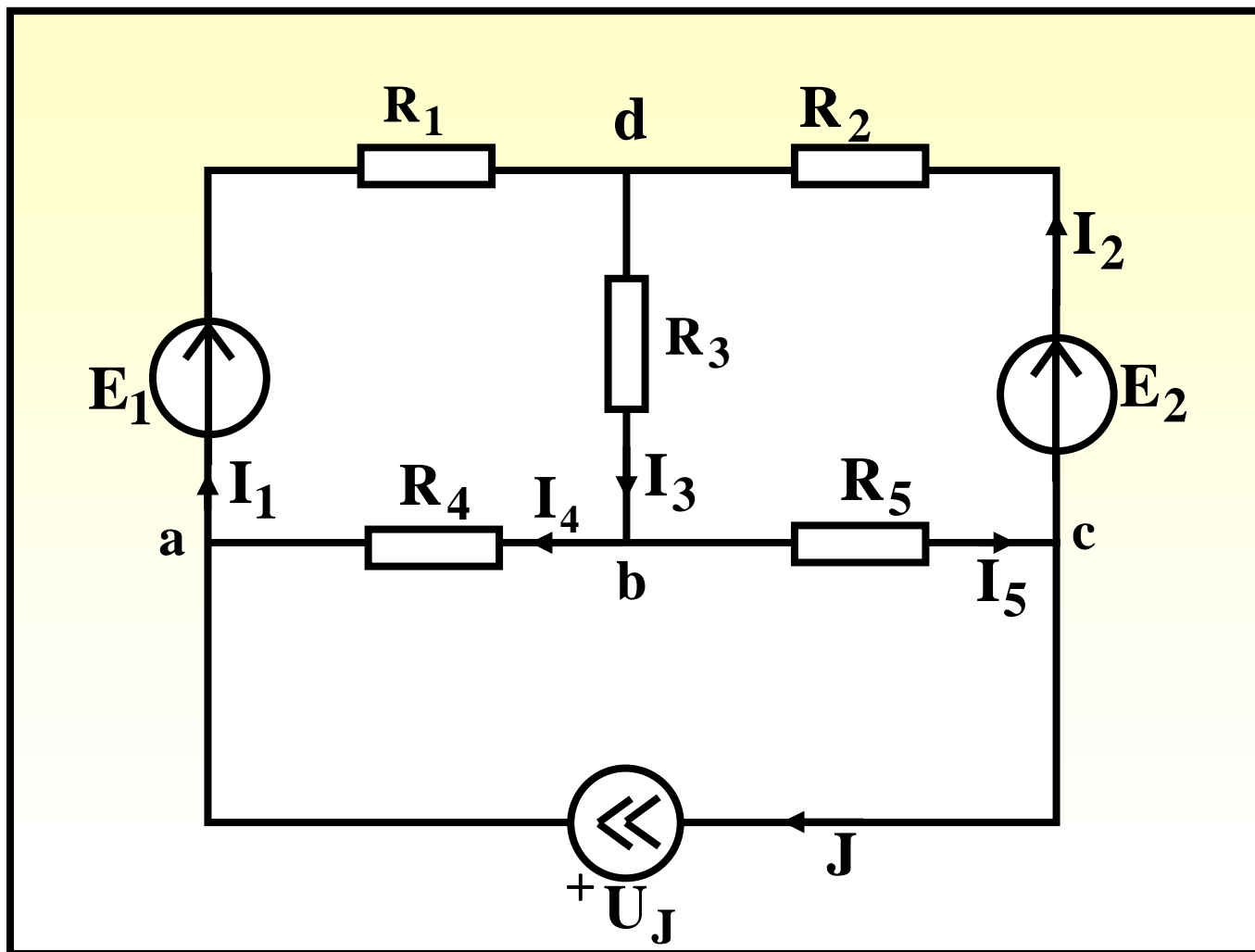
**Для любого момента времени
сумма вырабатываемых
мощностей источников равна
сумме потребляемых мощностей
во всех пассивных элементах
рассматриваемой цепи**

$$\sum \pm e_k i_k + \sum \pm U_{J_q} J_q = \sum u_n i_n$$

ИЛИ

$$P_V = P_{II}$$

**Этот баланс является законом
сохранения энергии в
электрической цепи и
применяется для проверки
правильности расчетов**



$$P_B = E_1 I_1 + E_2 I_2 + U_J J = \dots B_T$$

$$P_{II} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 = \dots B_T$$

$$\delta_P \% = \frac{|P_B - P_{II}|}{P_B} 100 \leq 1\%$$