

Дисциплина: Теория электрических цепей





Лекция №1

**Тема: «Основные
понятия теории
электрических
цепей»»**



Учебные вопросы

- 1. Введение.
- 2. Понятие об электрической цепи.
- 3. Основные электрические величины: электрический ток, напряжение, ЭДС, мощность и энергия.
- 4. Идеализированные пассивные элементы. Схемы замещения реальных элементов электрических цепей.
- 5. Идеализированные активные элементы. Схемы замещения реальных источников.

Литература



- 1. Попов В.П. Основы теории цепей: Учебник для вузов спец. "Радиотехника".-М.: Высшая школа, 2007, с. 6-36.
- 2. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника: Учебник для студентов неэлектрических специальностей вузов.— М.: Высшая школа, 2003, с. 4-15.

Содержание и предмет дисциплины «Теория электрических цепей»

Содержание дисциплины составляют задачи анализ и синтеза линейных и нелинейных электрических цепей, изучение как с качественной, так и с количественной стороны установившихся и переходных процессов, протекающих в различных электронных приборах и устройствах.

Предметом теории цепей является разработка инженерных методов исследования процессов в электротехнических и радиоэлектронных устройствах, основанных на замене этих устройств упрощенными *моделями*, процессы в которых описываются в терминах токов и напряжений.

Состав электрической цепи

ГОСТ Р52002-2003
«Электротехника.
Термины и
определения
основных понятий»

Электрическая
цепь

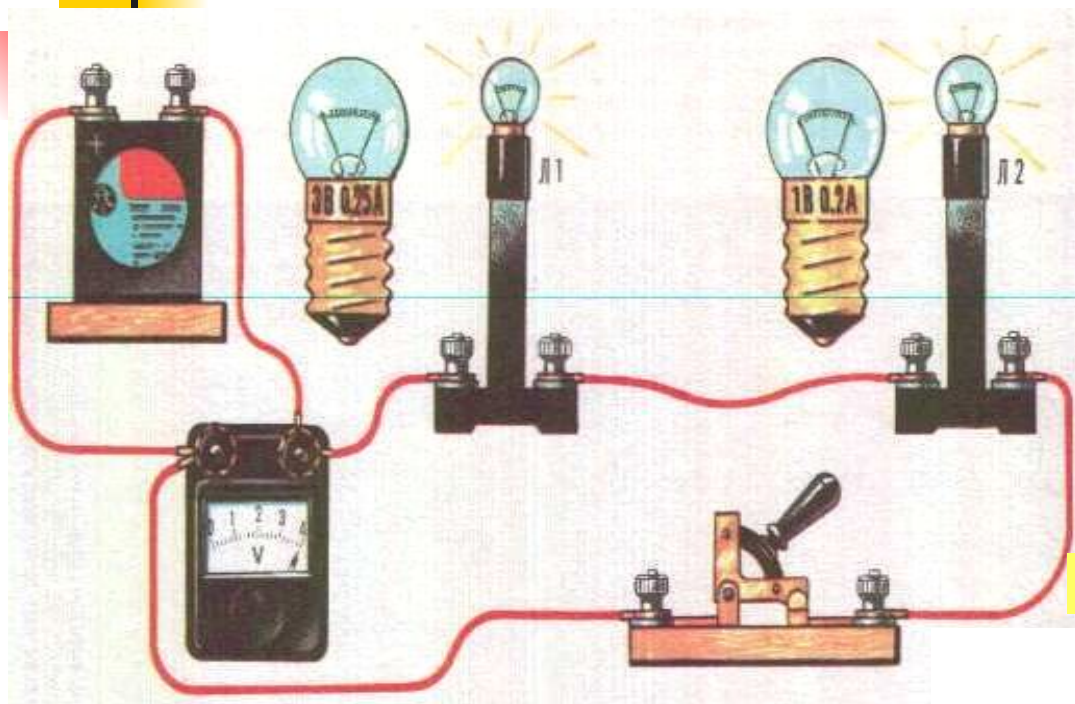
Электрическая цепь – это совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об электродвижущей силе, электрическом токе и электрическом напряжении.

Источники
электрической
энергии

Приемники
электрической
энергии

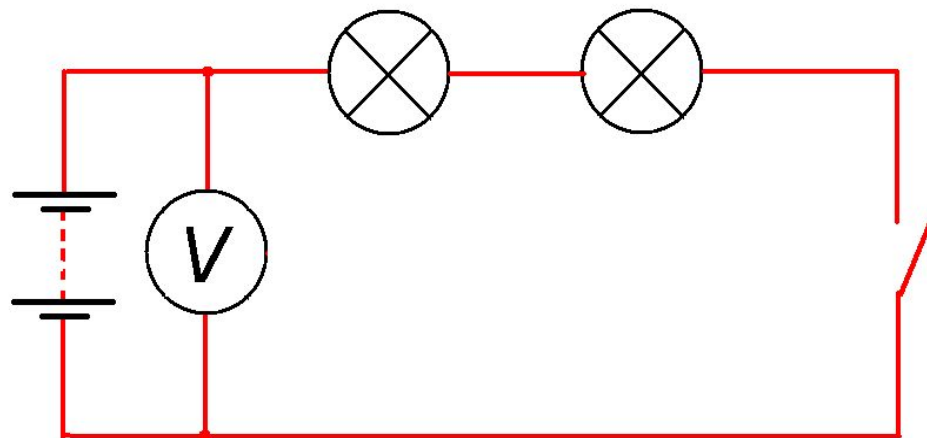
Вспомогательны
е
элементы

Последовательное соединение проводников

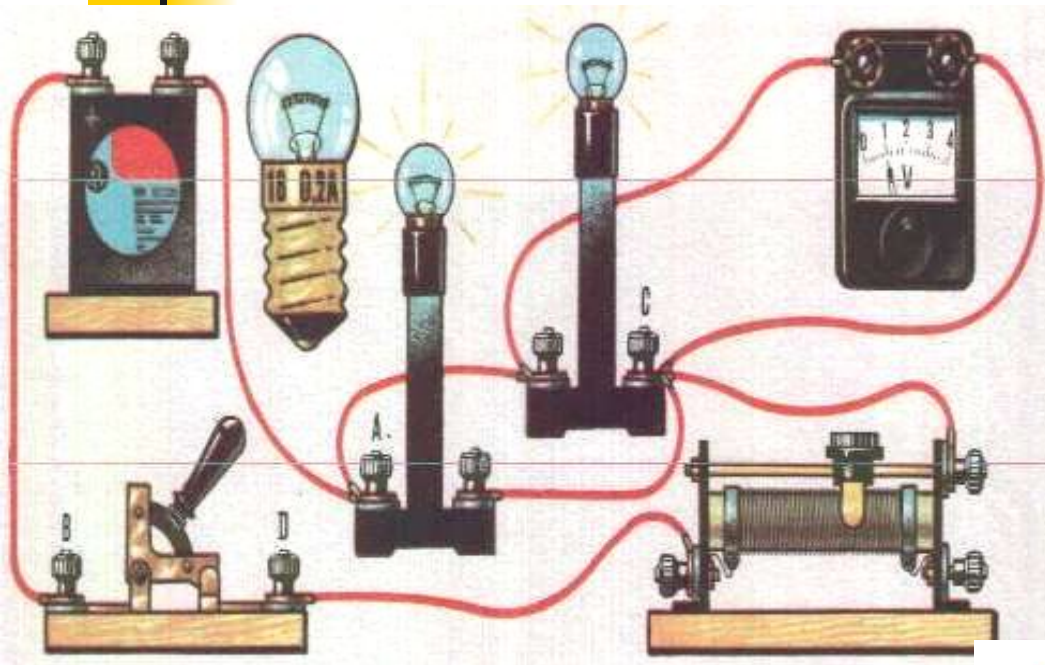


Принципиальная схема

Монтажная схема

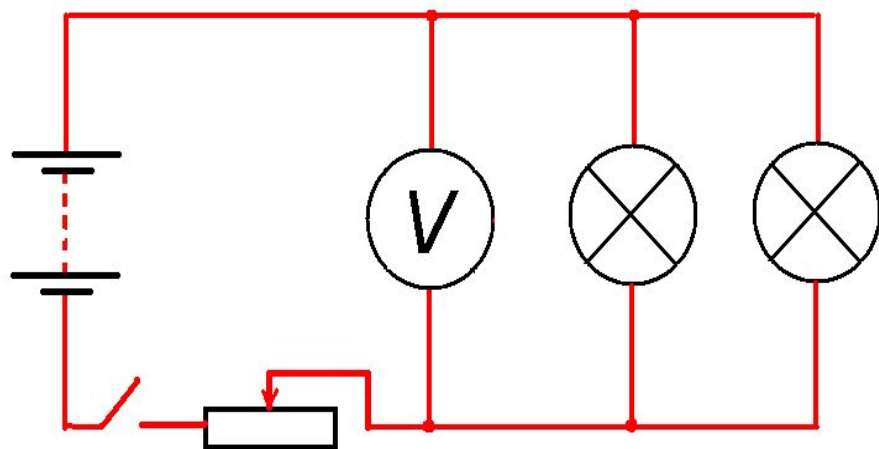


Параллельное соединение проводников



Монтажная схема

Принципиальная схема



Основные допущения и принципы теории цепей

В теории цепей предполагается:

каждый элемент цепи полностью характеризуется зависимостью между током и напряжениями на его зажимах, при этом процессы, имеющие место внутри элементов, не рассматриваются .

В основе теории электрических цепей

лежит принцип моделирования. В соответствии с этим принципом реальные элементы цепи заменяются их упрощенными моделями, построенными из идеализированных элементов.



Идеализированные двухполюсные элементы

ИДЭ

Идеаль-
ный
резисто-
р

Идеальная
индуктив-
ная
катушка

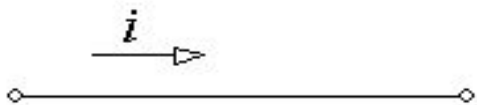
Идеаль-
ный
конденса-
тор

Идеаль-
ный
источник
напряжени-
я

Идеаль-
ный
источник
тока

Понятие об электрическом токе

Электрический ток проводимости – явление направленного движения свободных носителей электрического заряда в веществе или в пустоте, количественно характеризуемое скалярной величиной, равной производной по времени от электрического заряда, переносимого свободными носителями заряда сквозь рассматриваемую поверхность.



$$i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{q}{t} = I = \text{const}$$

Постоянный электрический ток – это неизменное во времени однонаправленное движение заряженных частиц (зарядов).
Условное **положительное направление тока** при расчетах электрических цепей может быть выбрано совершенно **произвольно**.

Электрические величины и единицы их измерения

Мгновенное значение тока равно скорости изменения заряда во времени:

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}.$$



**Андре-Мари
Ампер 1775 - 1836**

Единица измерения тока в системе СИ – ампер (А).

Сила тока. Единицы силы тока. Амперметр.

Заряд, протекающий через данное поперечное сечение проводника в единицу времени, характеризует электрический ток.

Ток в цепи измеряют специальным прибором - амперметром.

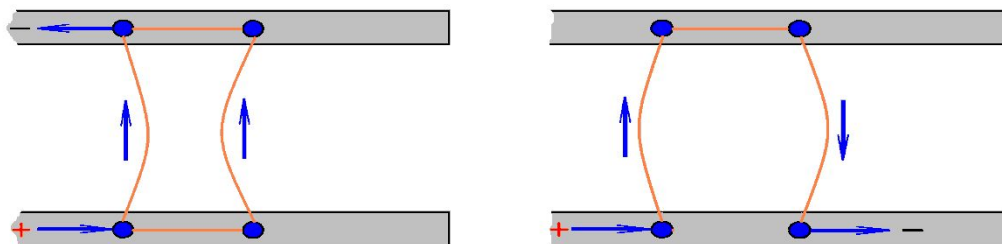



Схема включения: амперметр включается в электрическую цепь последовательно с элементом, в котором он измеряет электрический тока.

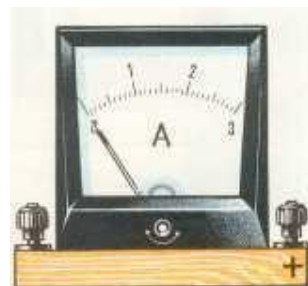


 **АМПЕР** Андре Мари (22.I 1775 - 10.VI 1836) французский физик, математик и химик

Амперметр - электрический прибор для измерения силы тока.



Амперметр лабораторный



Амперметр технический

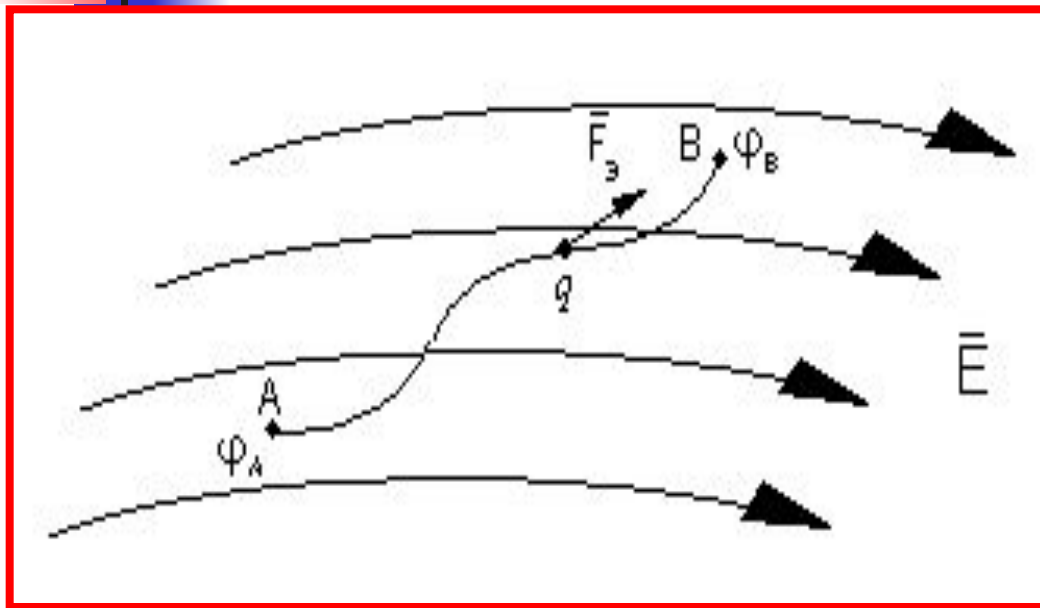


Амперметр демонстрационный



Условное обозначение на схемах

Понятие о напряжении



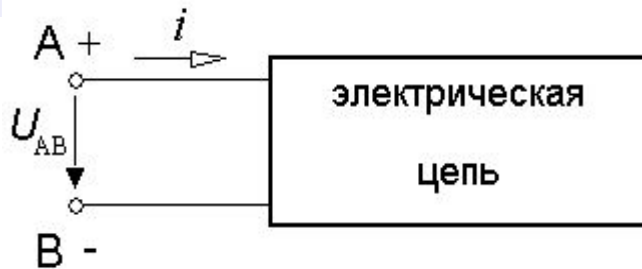
$$\varphi_A = \int_A^{\infty} \overline{E} dl = \frac{1}{q} \int_A^{\infty} \overline{F}_{\text{Э}} dl = \frac{A}{q}$$

$$\varphi_B = \int_B^{\infty} \overline{E} dl$$

$$u = \varphi_A - \varphi_B = \int_A^B \overline{E} dl$$

Электрическое напряжение между точками А и В электрической цепи (или **разность потенциалов** точек А и В) – это **работа совершаемая силами электрического поля по перемещению единичного положительного заряда по произвольному пути из точки А в точку В поля и равная линейному интегралу напряженности электрического поля.**

Понятие о напряжении



$$u = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta w}{\Delta q} = \frac{dw}{dq}$$

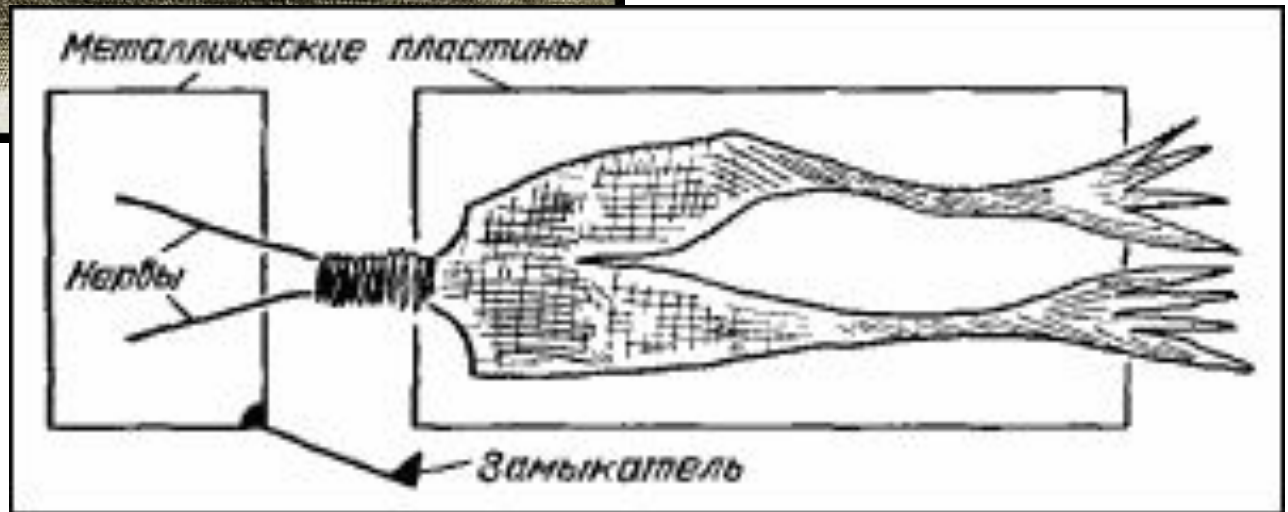
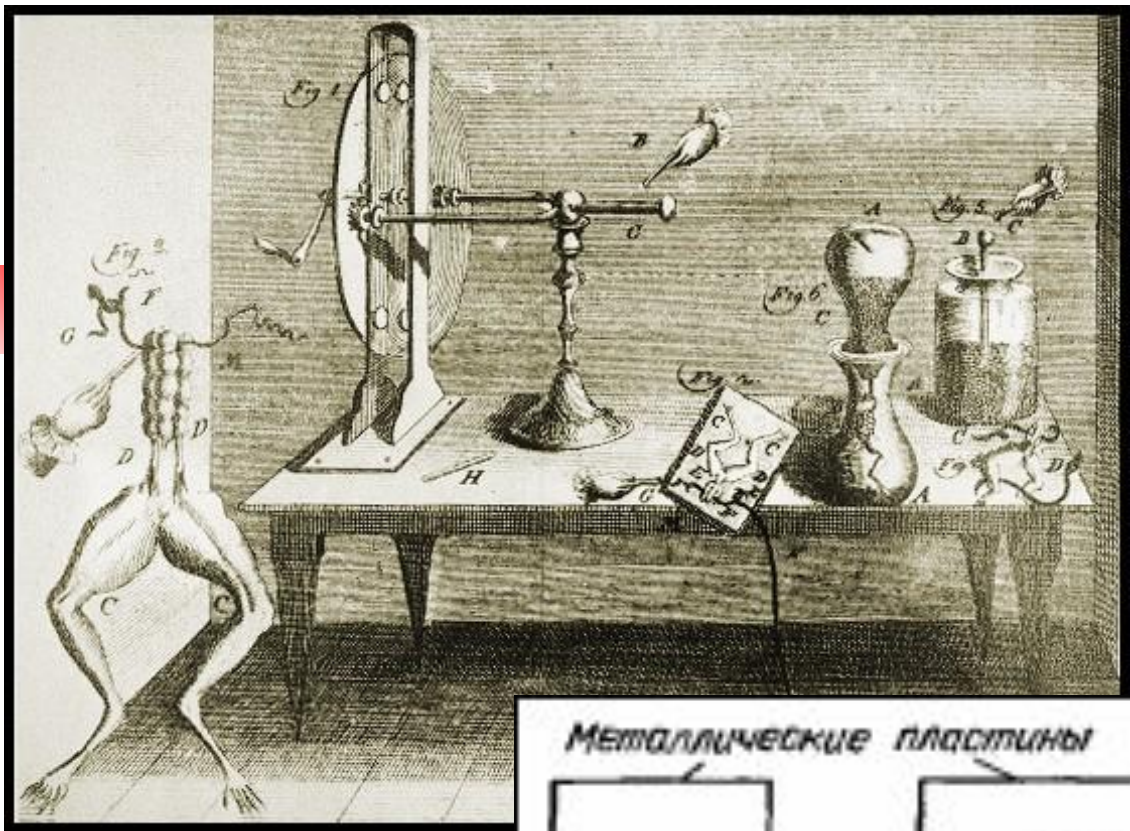
Напряжение между точками A и B электрической цепи может быть определено как предел отношения энергии электрического поля w , затрачиваемой на перенос положительного заряда q из точки A в точку B к этому заряду при

Единица измерения напряжения в системе СИ – вольт(В).

$$\Delta q \rightarrow 0$$



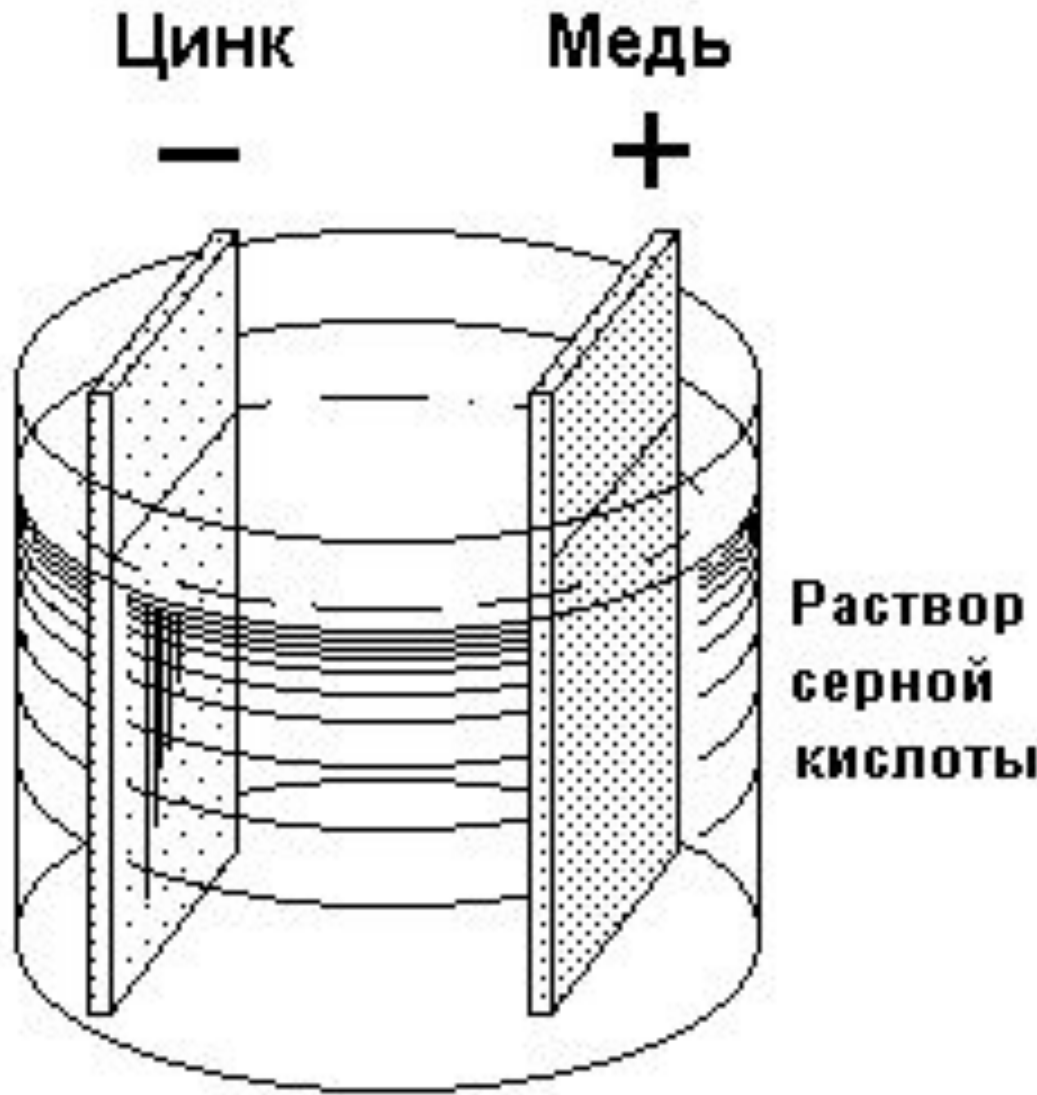
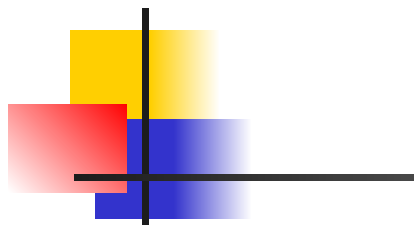
Луиджи Гальвани (1737-1798)



Опыт Луиджи Гальвани с лапками лягушки

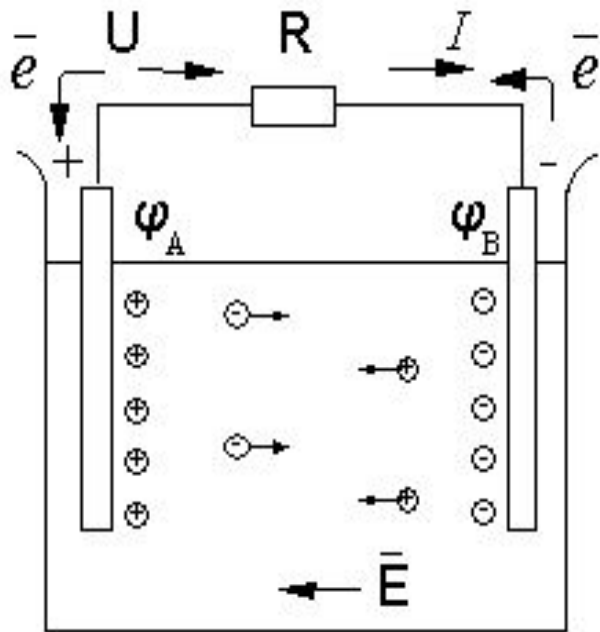


Алессандро Вольтта(1745-1827)



Гальванический (или химический) элемент
Алессандро Вольта

Понятие об ЭДС



Электродвижущая сила –
скалярная величина, численно
равная работе сторонних сил,
затрачиваемая на
перемещение единичного
положительного заряда внутри
источника от зажима с
меньшим потенциалом к
зажиму с большим
потенциалом.

Независимо от природы сторонних сил **ЭДС источника численно равна напряжению** между зажимами источника энергии при отсутствии в нем тока, т.е. в режиме холостого хода.

Электрическое напряжение. Единицы напряжения. Вольтметр

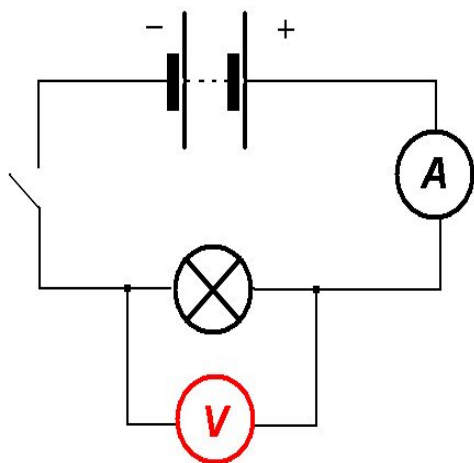
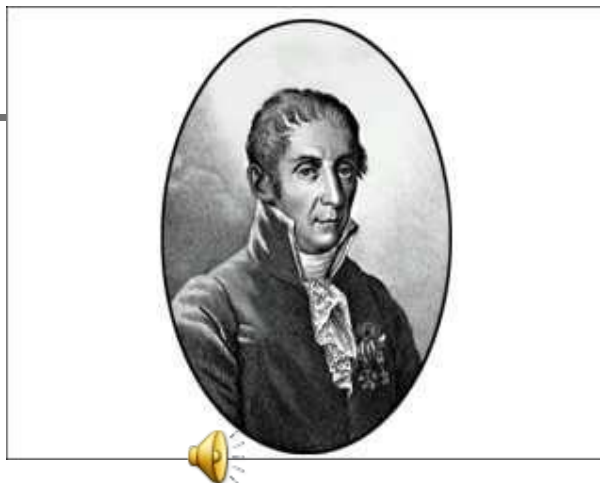


Схема включения:

вольтметр включается в электрическую цепь параллельно вольтметр включается в электрическую цепь параллельно тому элементу, на котором он измеряет напряжение.

Условное обозначение на схемах



ВОЛЬТА Алессандро - (1745-1827) итальянский физик и физиолог

Вольтметр – электрический прибор для измерения напряжения.



Вольтметр технический



Вольтметр лабораторный



Вольтметр лабораторный

Понятие о мощности и энергии

$$u = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta w}{\Delta q} = \frac{dw}{dq}$$

$$dw = u dq = u i dt$$

Энергия,
затрачиваемая на
перемещение
заряда:

$$w = \int_0^q u dq = \int_{-\infty}^t u i dt$$

$$p = u i = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = \frac{dw}{dt}$$

Понятие о мощности и энергии

Мгновенная мощность участка цепи:

$$p = \frac{dw}{dt} = ui.$$

Мощность
измеряется в
ваттах (Вт)

Джеймс Уатт
1736 – 1819



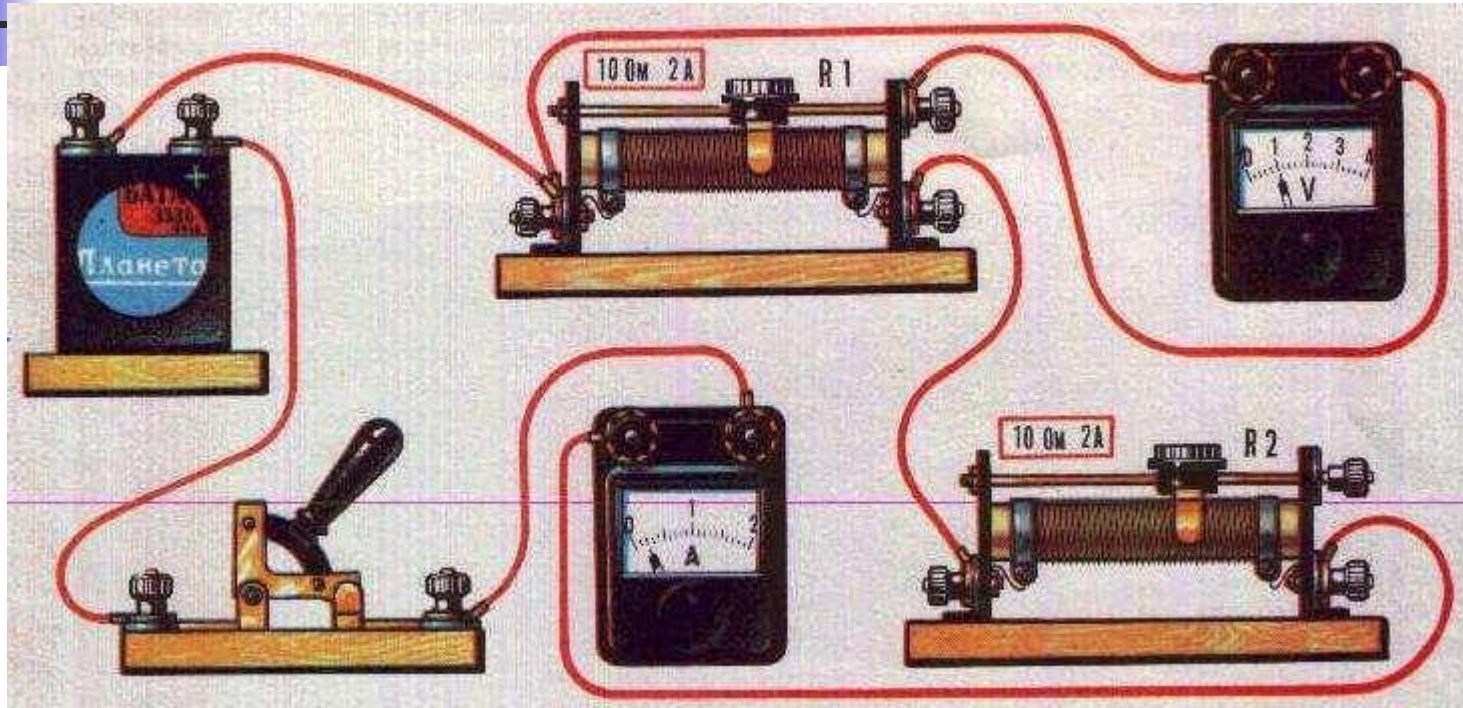
Джеймс Джоуль
1818 – 1889

$$w(t) = \int_{-\infty}^t p dt$$

Энергия измеряется
в джоулях (Дж)

$$W = w(t_2) - w(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} p dt$$

Экспериментальное определение мощности электрического тока

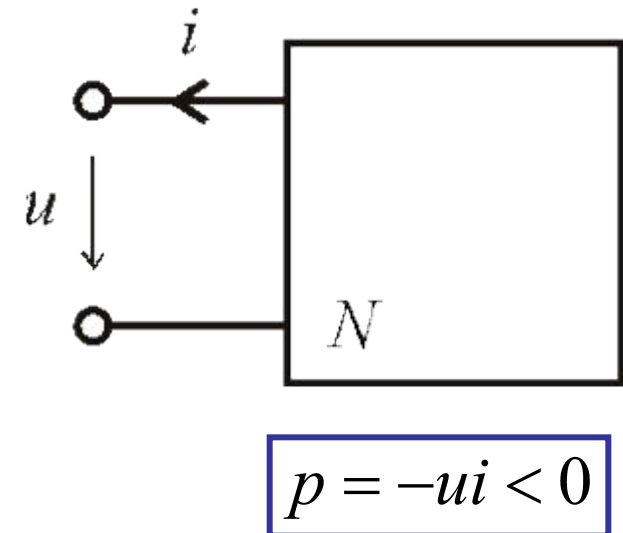
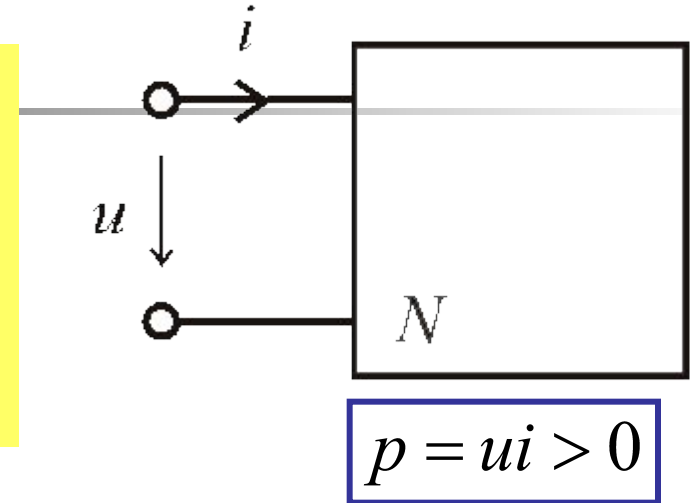


$$P = U \cdot I \quad 1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Электрическая цепь может быть потребителем и источником энергии

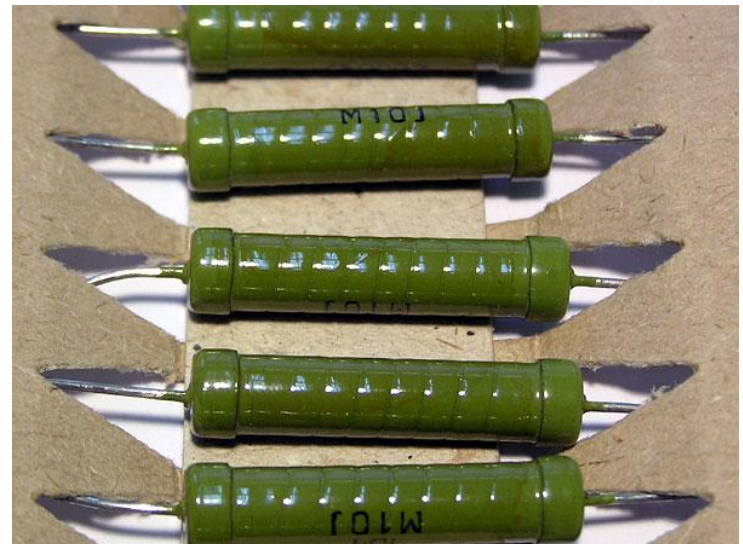
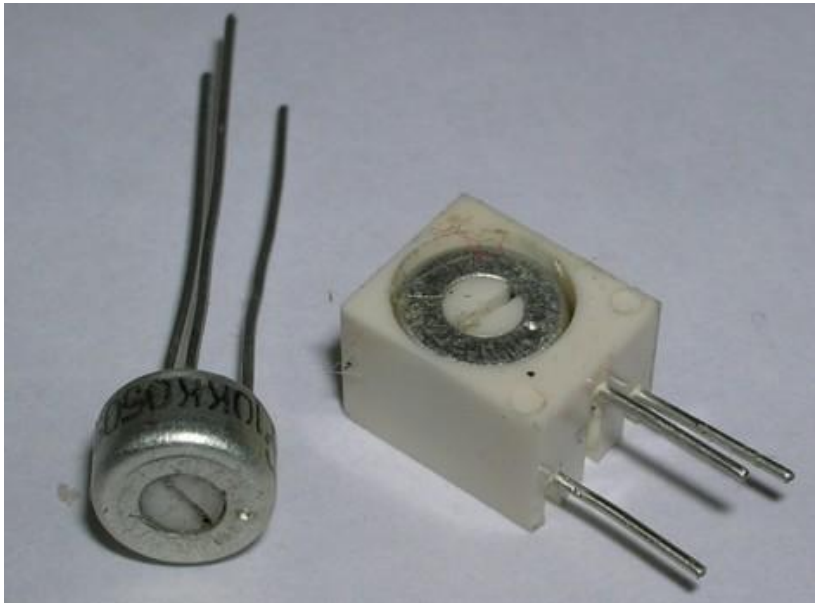
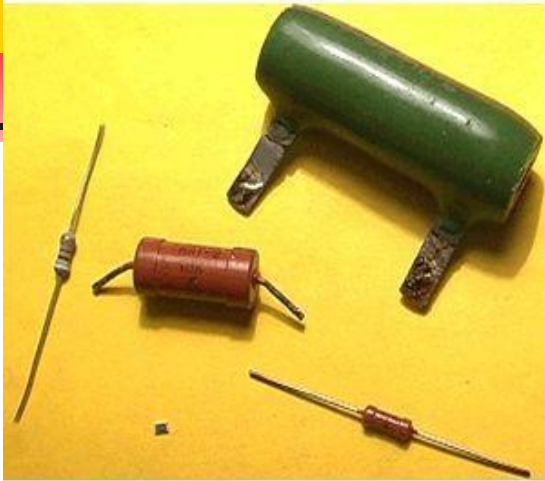
При совпадении знаков напряжения и тока мощность положительна. Это соответствует потреблению энергии участком цепи.

При несовпадении знаков напряжения и тока мощность отрицательна. Это означает, что участок цепи является источником энергии.

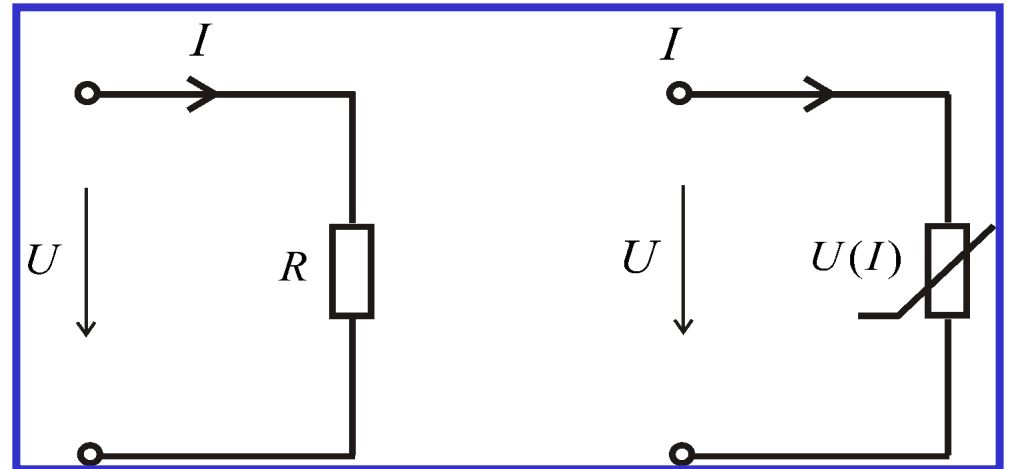
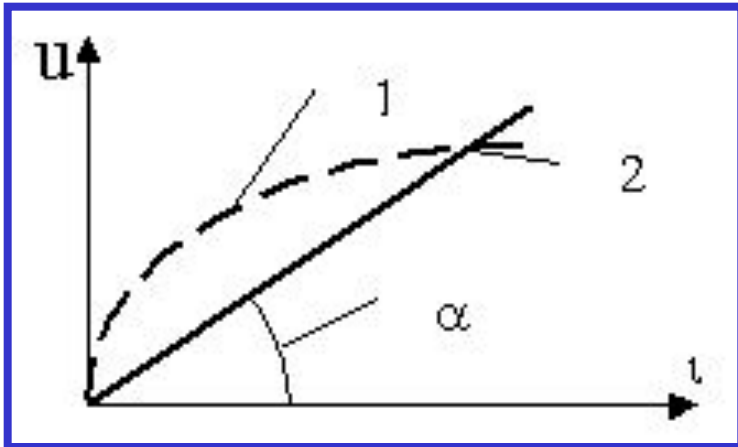
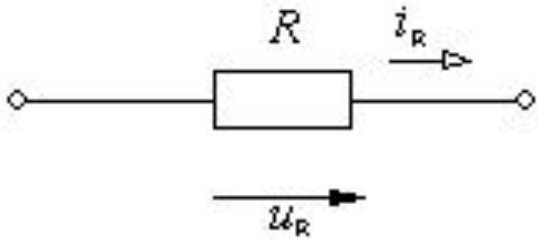


Резистивный элемент

Резистивный элемент – идеализированный элемент, в котором происходит только необратимое преобразование электромагнитной энергии в тепло и другие виды энергии.



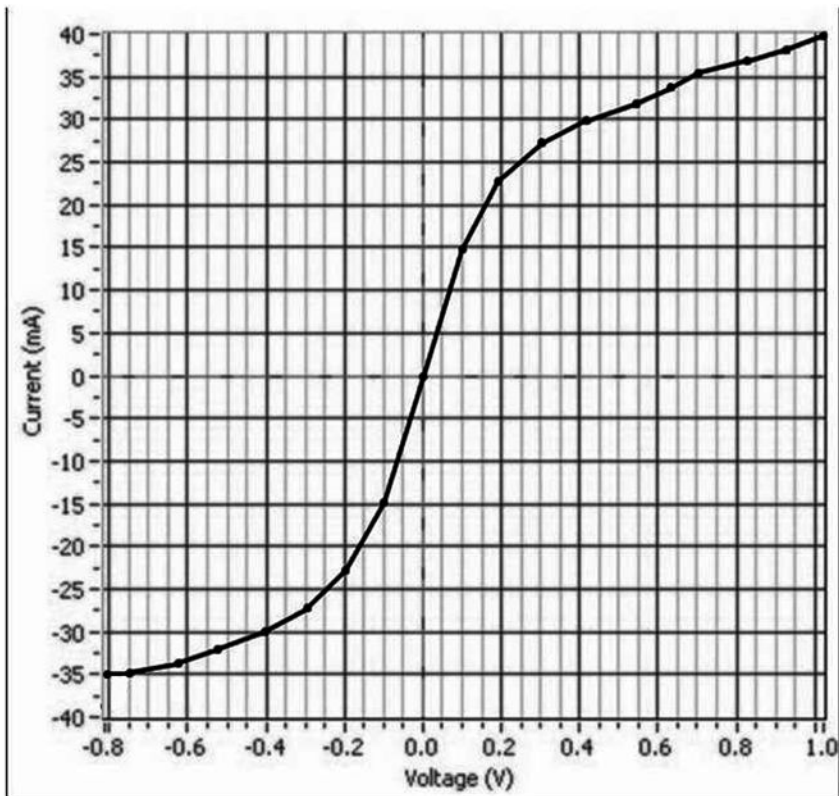
Условное графическое обозначение и ВАХ резистивного элемента



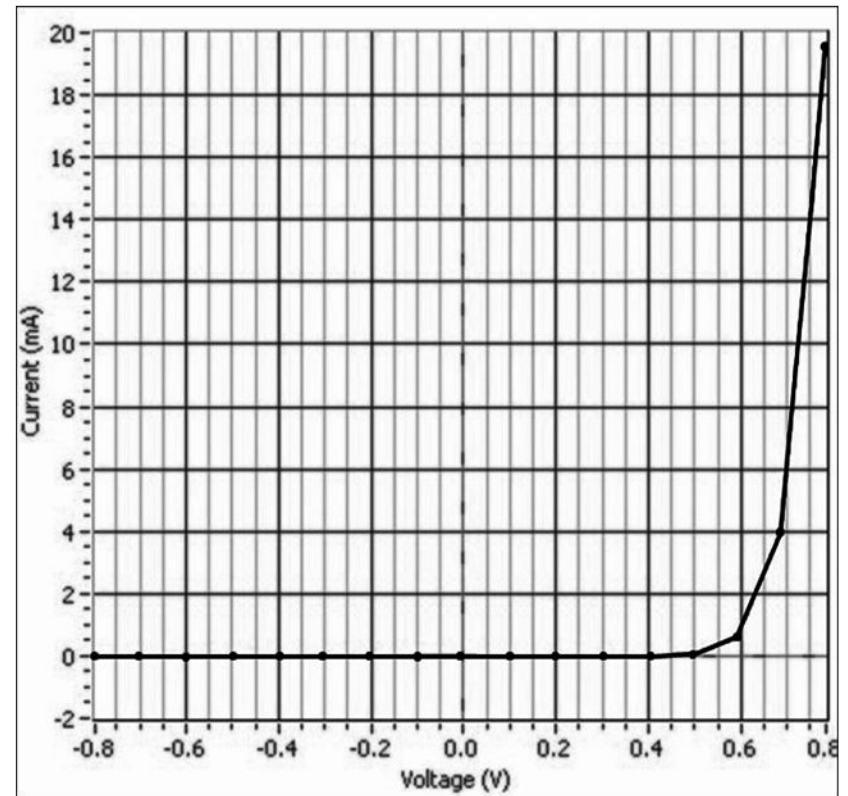
Резистивный элемент

Вольт-амперные характеристики нелинейных резистивных элементов

Лампа накаливания



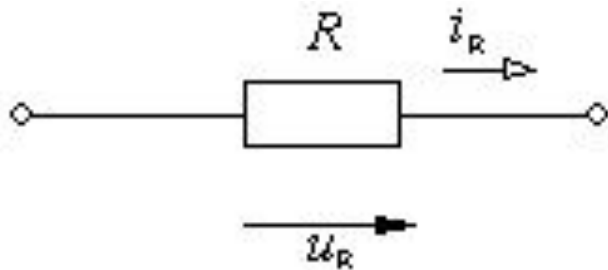
Полупроводниковый диод



Резистивный элемент

Если ВАХ – прямая, проходящая через начало координат, то резистор называют линейным.

Закон Ома:



$$u_R = Ri_R$$

$$i_R = Gu_R$$

R – сопротивление



Георг Симон Ом
1789 – 1854

$$u = Ri$$

Единица измерения сопротивления – Ом.

Резистивный элемент

Закон Ома:

$$i = Gu$$

Проводимость:

$$G = \frac{1}{R}$$

Единица измерения проводимости – Сименс (См).



Вернер фон Сименс
1816-1892

Электрическое сопротивление. Единицы сопротивления. Закон Ома для участка цепи.

Омметр - электрический прибор для измерения сопротивления проводника.

Определение: *сопротивление* - мера противодействия проводника установлению в нем электрического тока.

Обозначение: **R.**

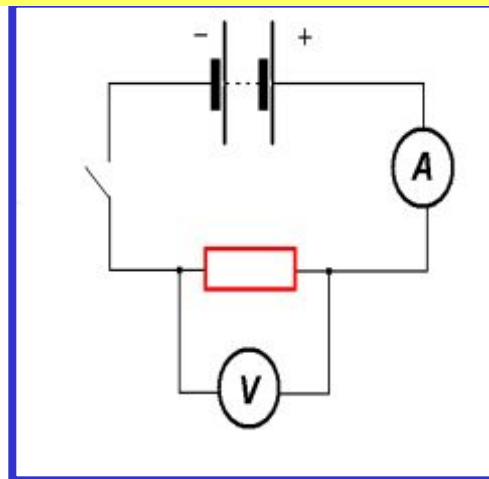
Единица измерения: **1 Ом.**

Определяющая формула:

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

ρ удельное сопротивление вещества,
 l - длина проводника, S - площадь поперечного сечения проводника.

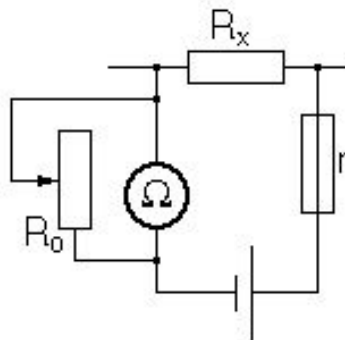
$$R = \frac{U}{I}$$



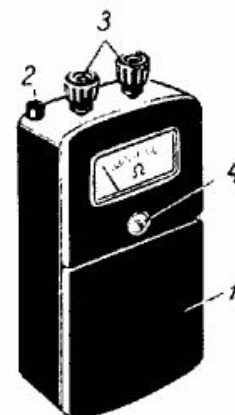
Ом Георг Симон
(1787-1854 гг.)
немецкий физик

Схема включения:

омметр включается аналогично амперметру вместе с источником тока и переменным резистором, необходимым для установки нуля шкалы.

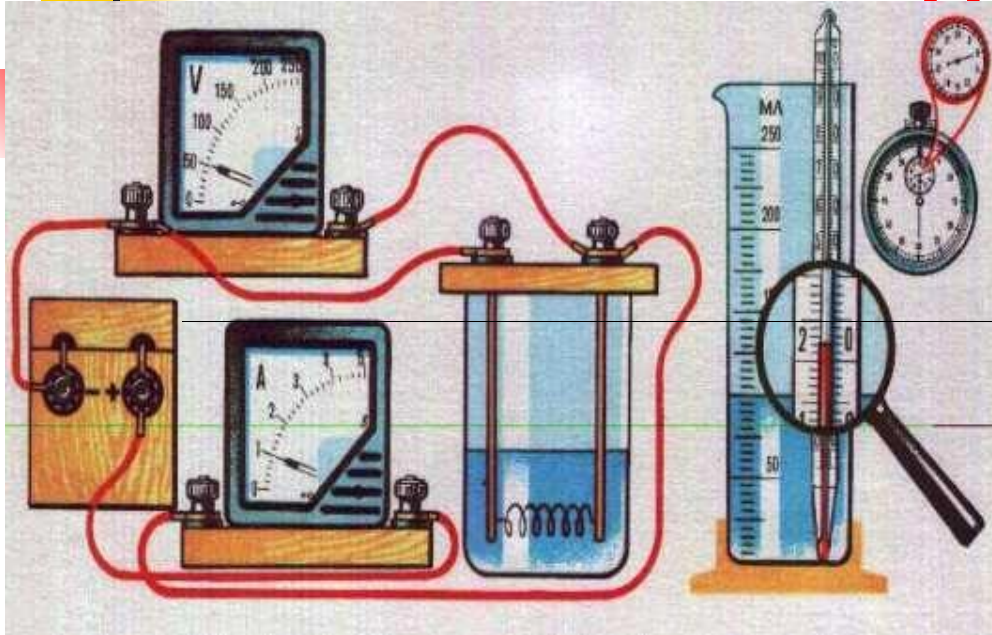


Условное обозначение на схемах



Омметр лабораторный

Нагревание проводников электрическим током. Закон Джоуля-Ленца.



ДЖОУЛЬ ДЖЕЙМС ПРЕССКОТТ
(1818–1889), английский физик

Ленц Эмилий Христианович
(1804–1865 гг.), российский физик

$$U = I \cdot R$$

$$A = IUt = I \cdot IRt = I^2 Rt$$

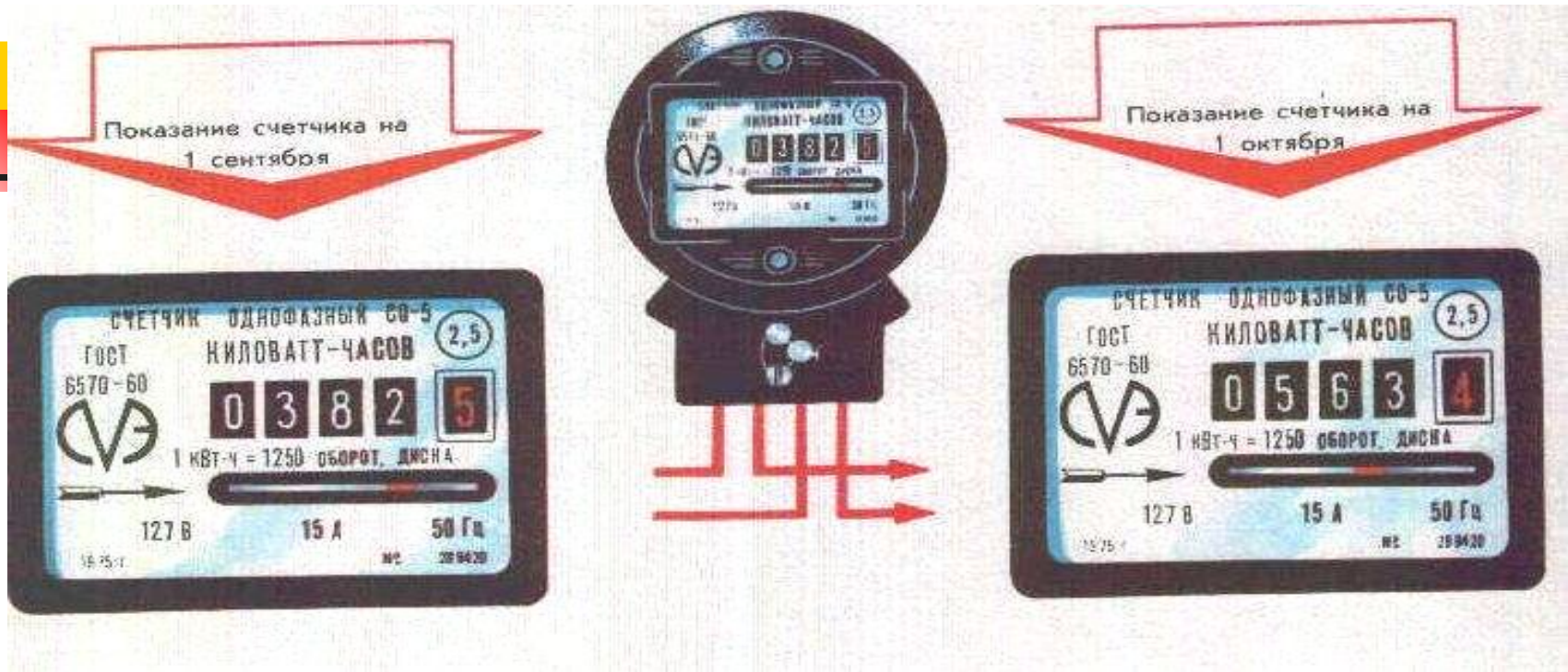
$$P_R = u_R i_R = R i_R^2 = G u_R^2$$

$$W_R(t) = \int_{-\infty}^t P_R dt = R \int_{-\infty}^t i_R^2 dt = G \int_{-\infty}^t u_R^2 dt > 0$$

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

$$A = \frac{U}{R} Ut = \frac{U^2 t}{R}$$

Работа электрического тока



$$A = Pt$$

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с}$$

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600000 \text{ Дж}$$

ИНДУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

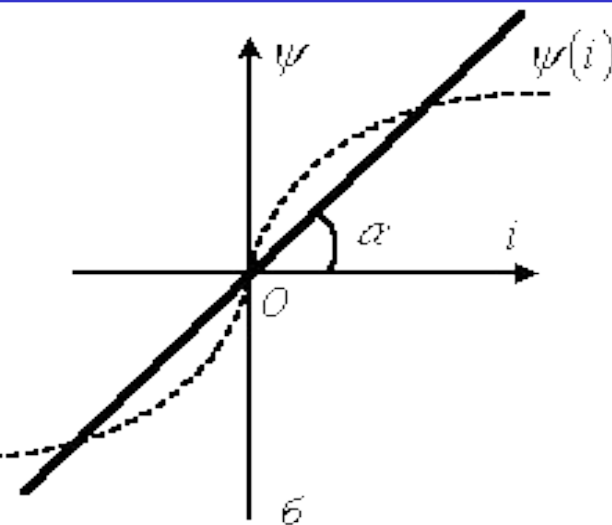
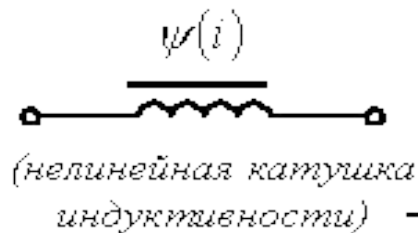
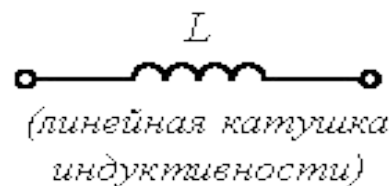
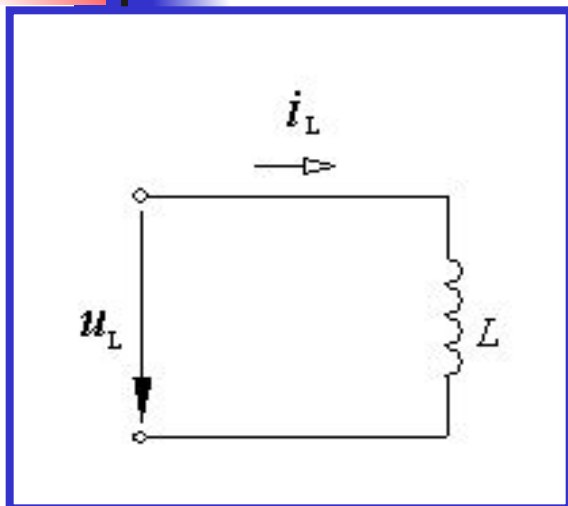
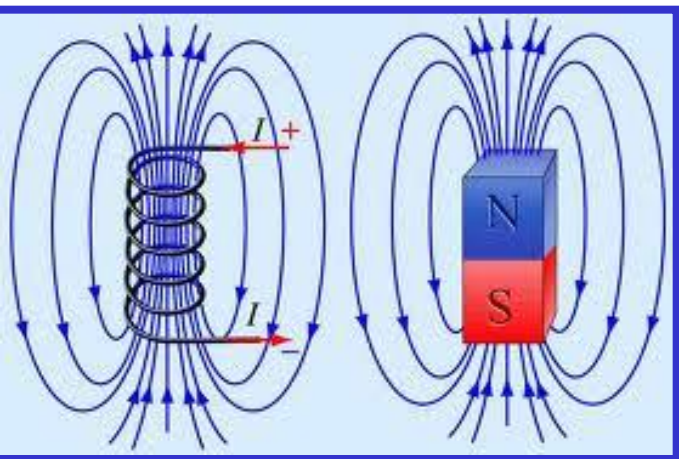


Рис.2

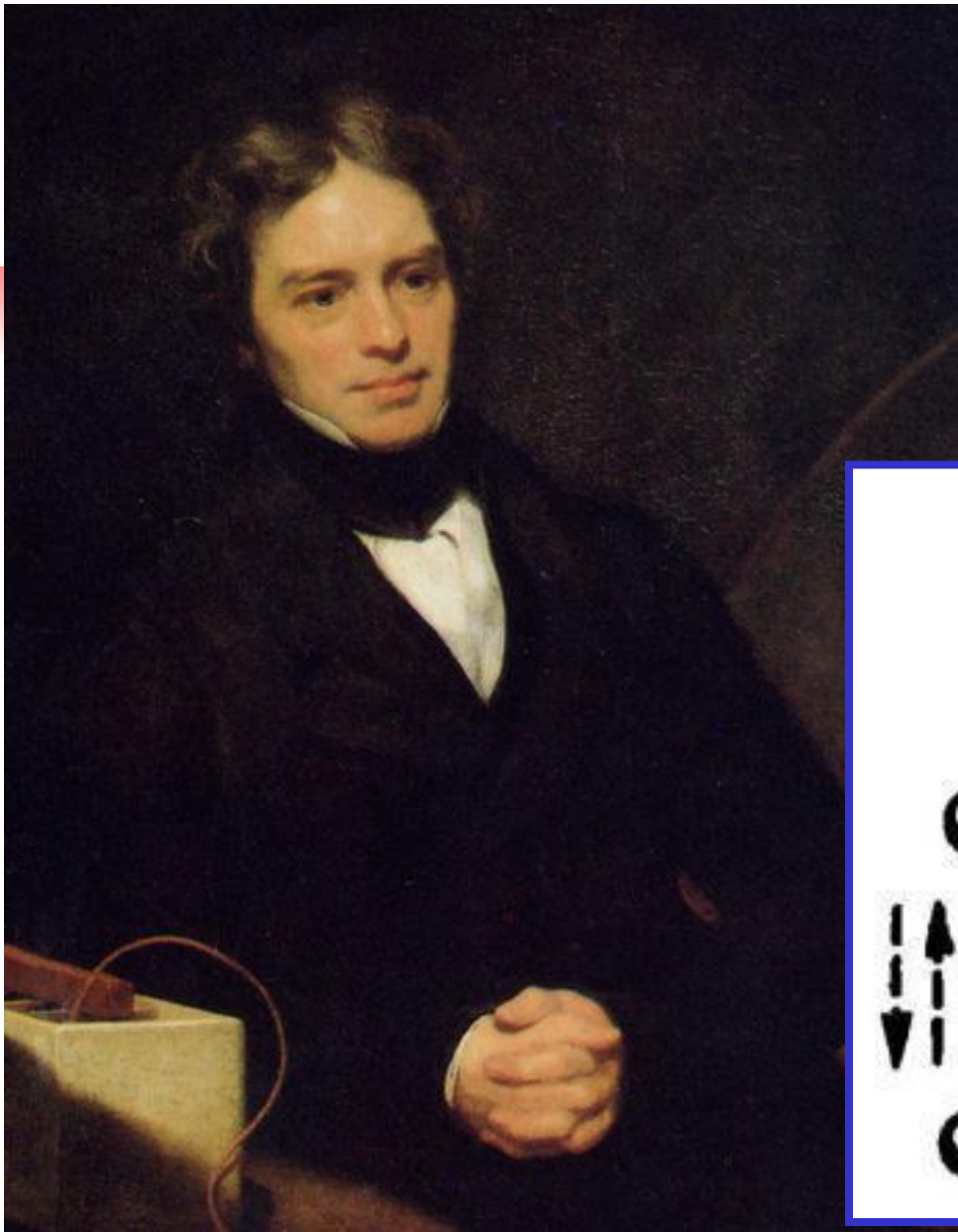


$$\psi = Li$$

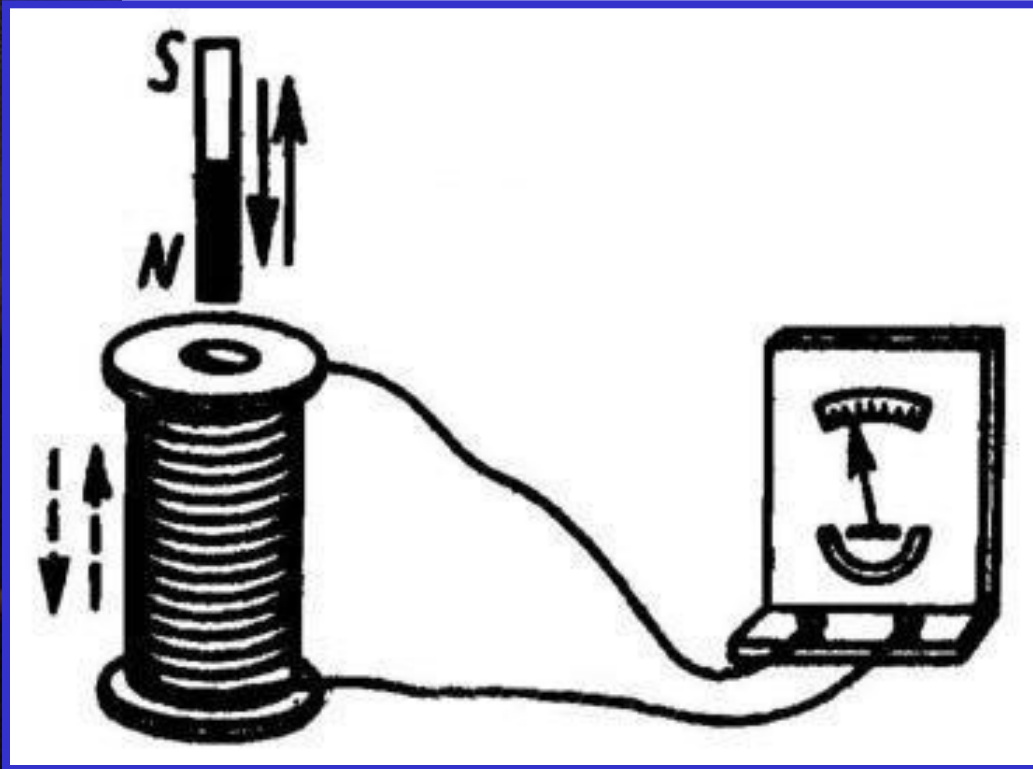
Вебер-амперная характеристика

$$\psi = \sum_{k=1}^N \Phi_k$$

$$\psi = N\Phi$$

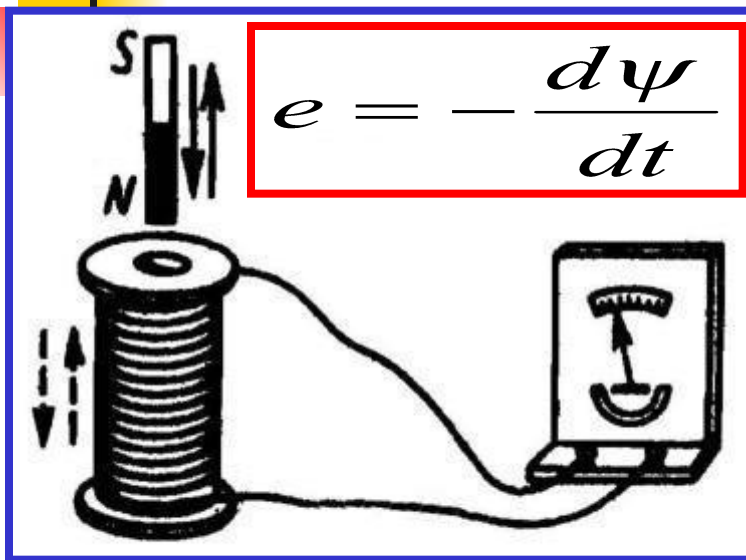


$$e = - \frac{d\psi}{dt}$$



Майкл Фарадей (1791-1867)

Закон электромагнитной индукции Майкла Фарадея (открыт в 1831 г.)



$$e = - \frac{d\psi}{dt}$$

$$u_L = -e = L \frac{di_L}{dt}$$

$$i_L = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u_L dt$$

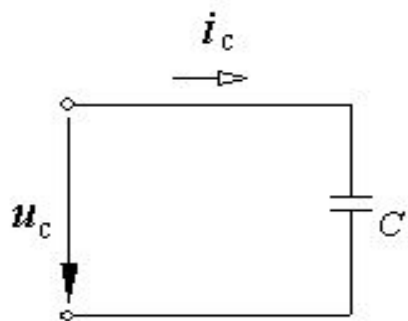
$$P_L = u_L i_L = L i_L \frac{di_L}{dt}$$

Это закон устанавливает взаимосвязь между магнитными и электрическими явлениями.

Формулировка: ЭДС электромагнитной индукции, в контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную этим контуром.

Ёмкостной элемент

$$q = CU_c$$



$$i_c = C \frac{du_c}{dt}$$

$$i_c = \frac{dq}{dt} = \frac{dq}{du_c} \cdot \frac{du_c}{dt}$$

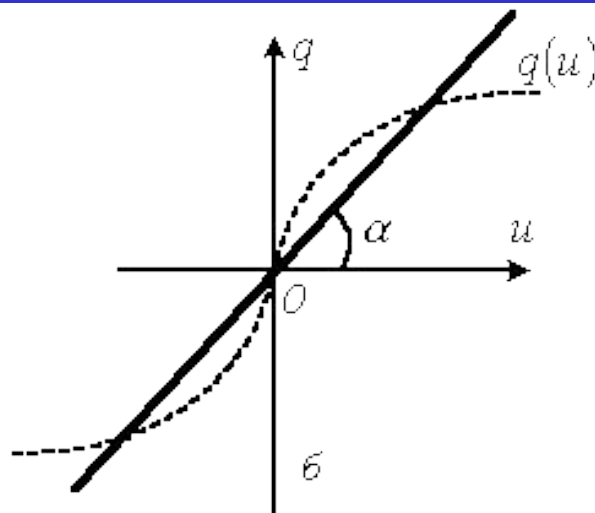
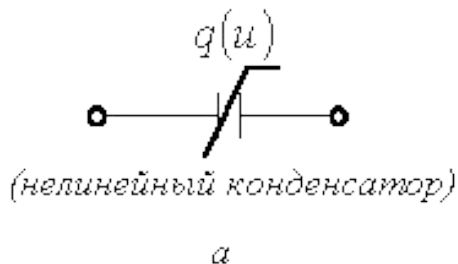
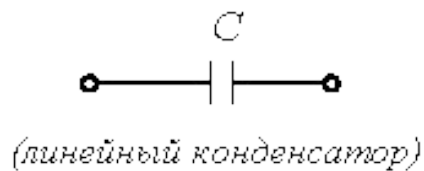
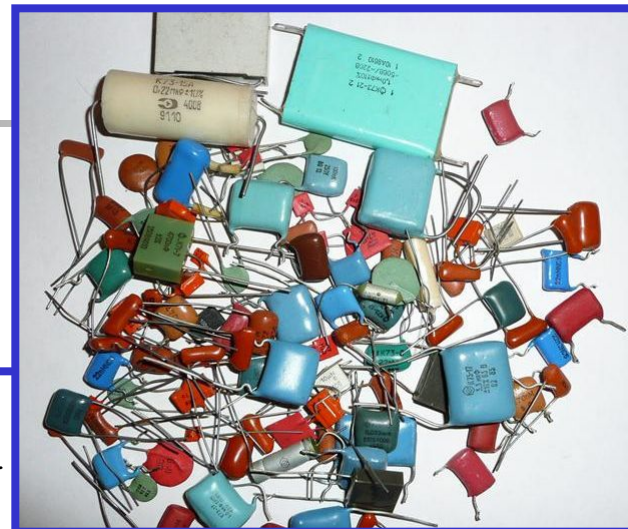
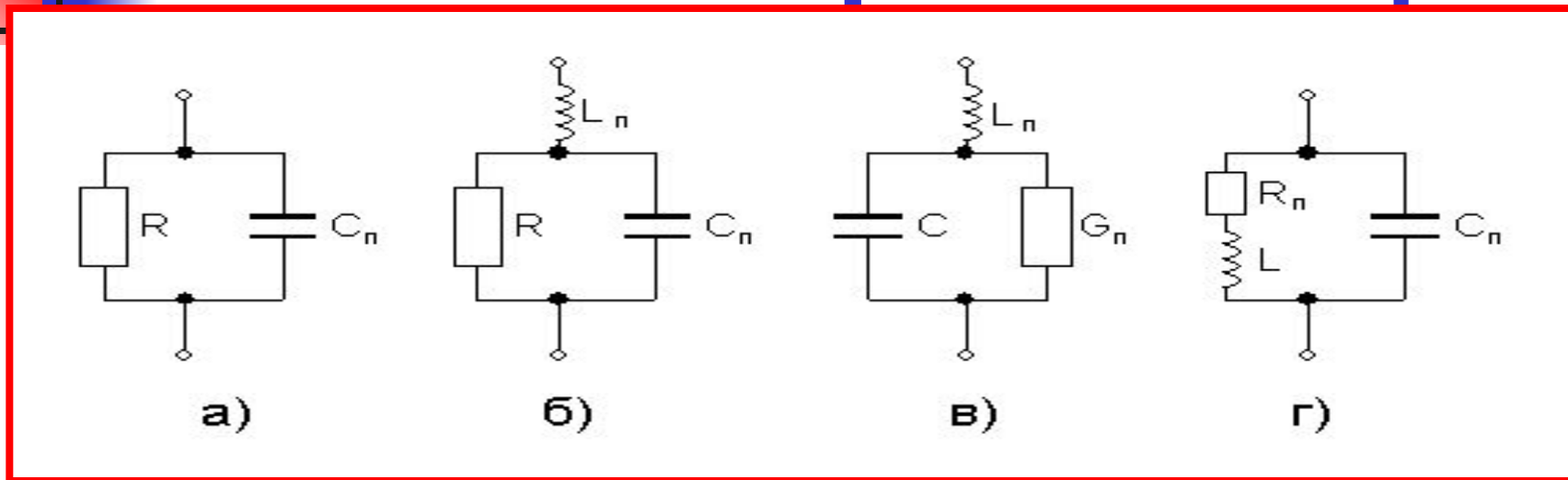


Рис.3

$$u_c = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i_c dt$$

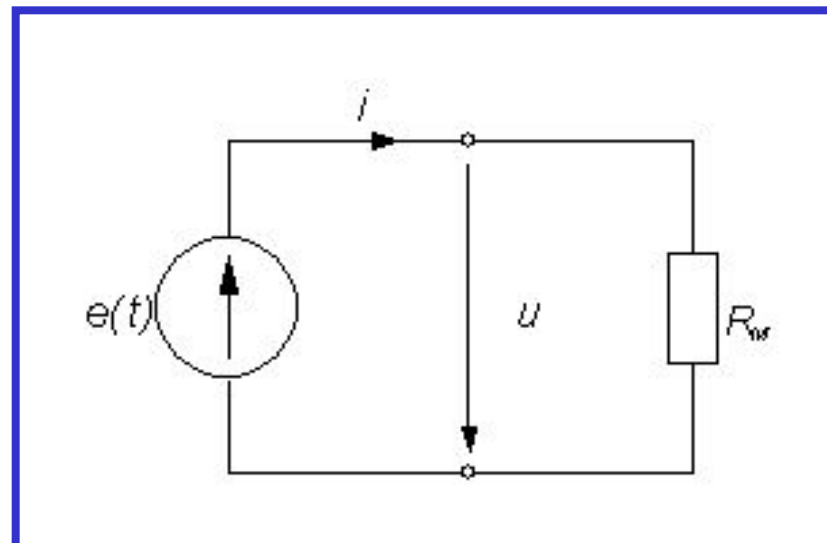
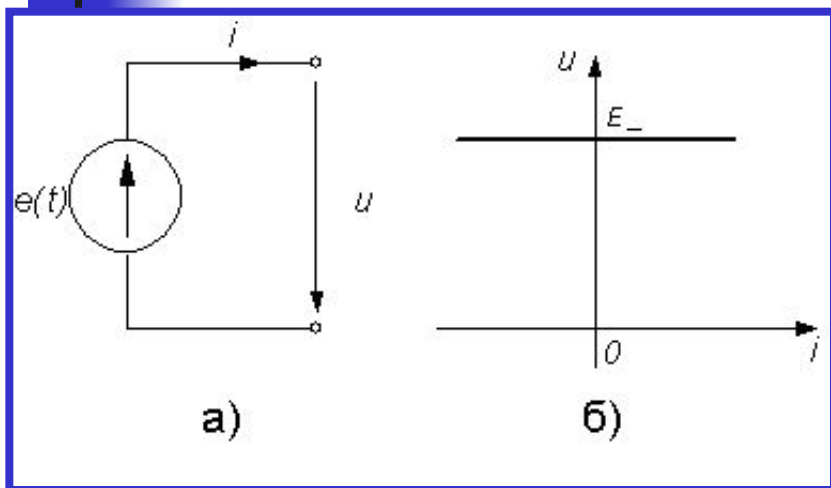
$$P_C = u_c i_c = cu_c \frac{du_c}{dt}$$

Схемы замещения реальных элементов электрической цепи



- ВЫВОДЫ:** 1. Чем выше требуемая точность, тем большее число факторов принимается во внимание, и тем сложнее будет схема замещения каждого элемента.
2. С целью снижения трудоемкости расчетов стремятся использовать упрощенные схемы замещения, содержащие минимально допустимое число элементов.
3. Схемы замещения одного и того же элемента могут иметь различный вид в зависимости от рассматриваемого диапазона частот.

Идеальный источник напряжения (источник напряжения, источник ЭДС) представляет собой идеализированный активный элемент, напряжение на зажимах которого не зависит от тока через эти зажимы.

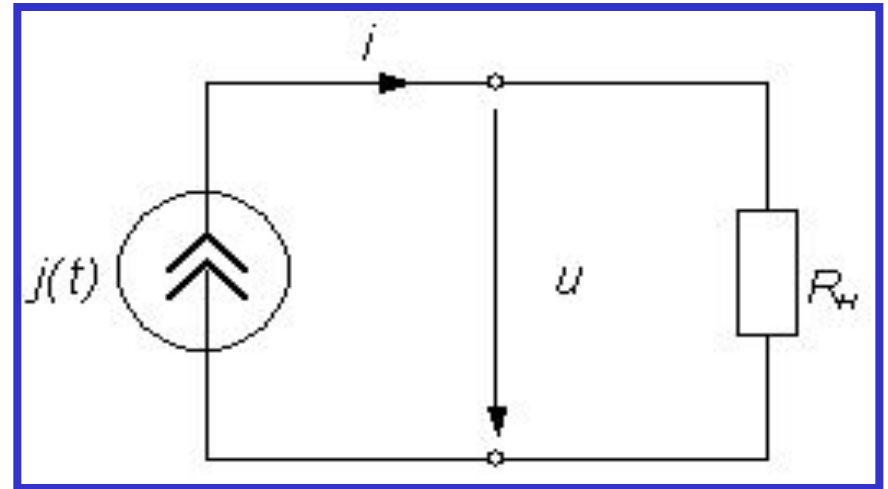
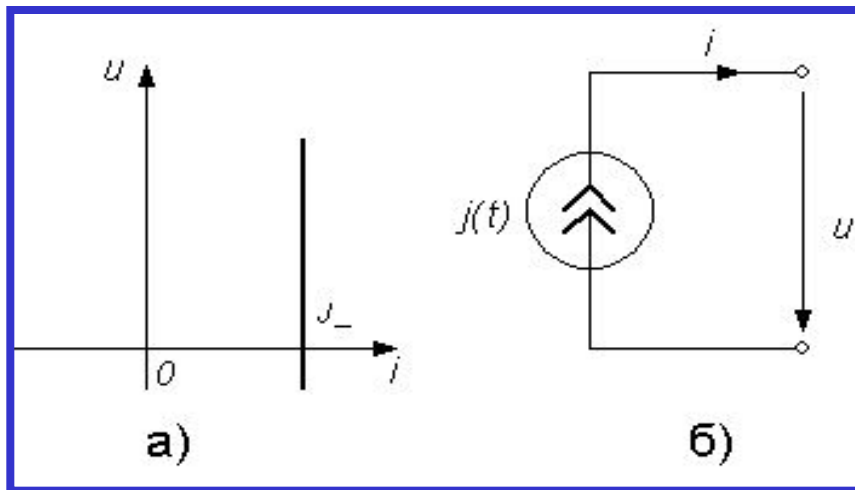


$$u = e(t)$$

$$i = u / R_H = (1 / R_H) e(t) \quad p = (1 / R_H) u^2 = (1 / R_H) e^2(t)$$

Идеальный источник напряжения можно рассматривать как источник энергии, внутреннее сопротивление которого равно нулю.

Идеальный источник тока (источник тока) — это идеализированный активный элемент, ток которого не зависит от напряжения на его зажимах.

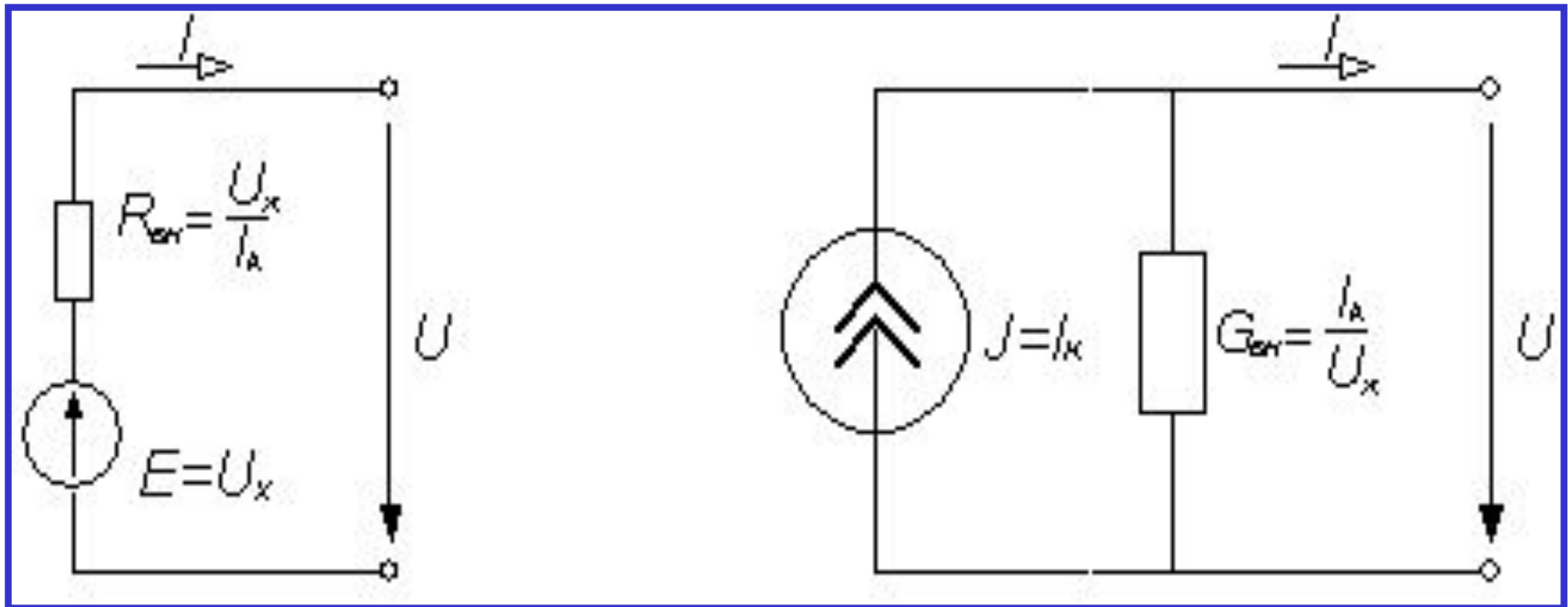


$$i=j(t)$$

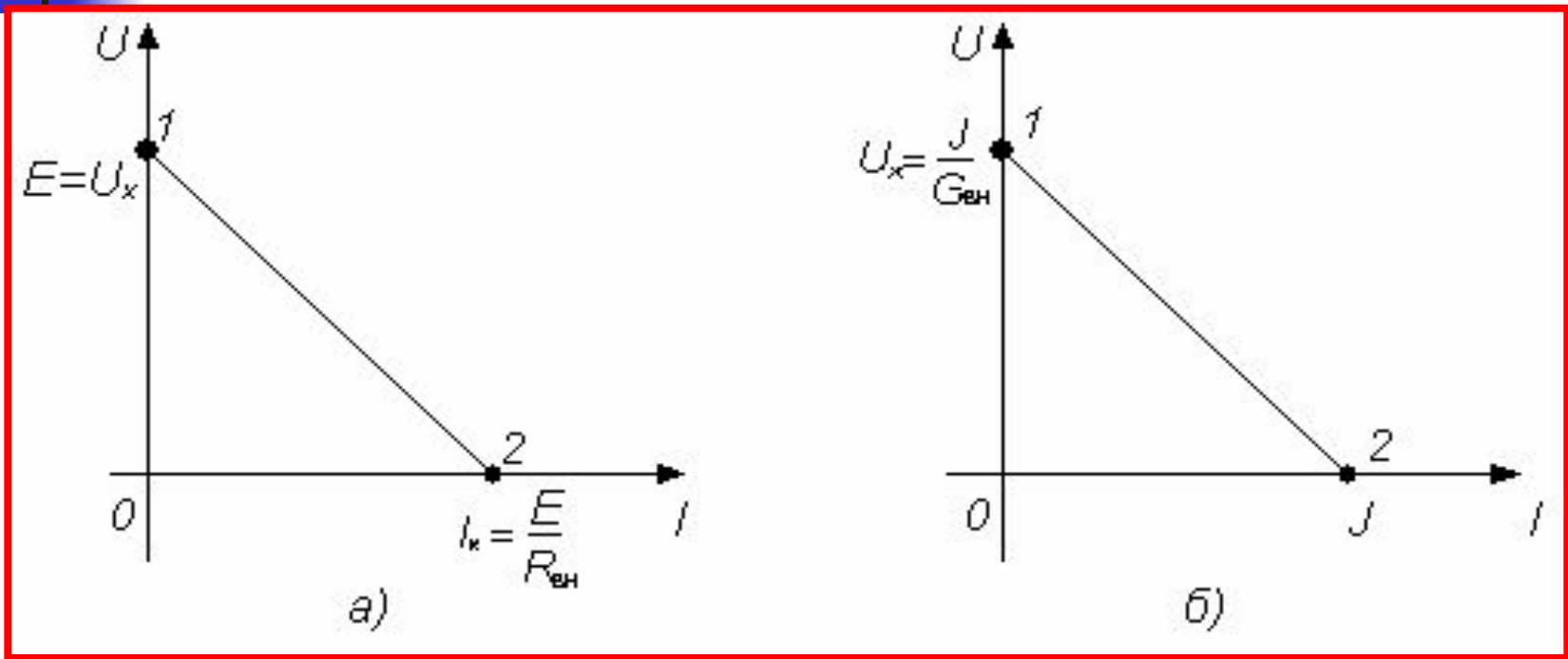
$$u = R_H i = R_H j(t) \quad p = R_H i^2 = R_H j^2(t)$$

Идеальный источник тока можно рассматривать как источник энергии с бесконечно малой внутренней проводимостью (бесконечно большим внутренним сопротивлением).

Схемы замещения реальных источников



Внешние характеристики реальных источников



$$U = E - R_{вн} I$$

$$I = J - G_{вн} U$$

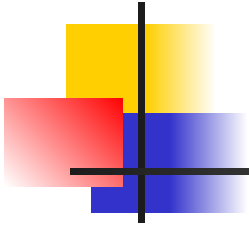
$$J = \frac{E}{R_{вн}}$$

$$G_{вн} = \frac{1}{R_{вн}}$$

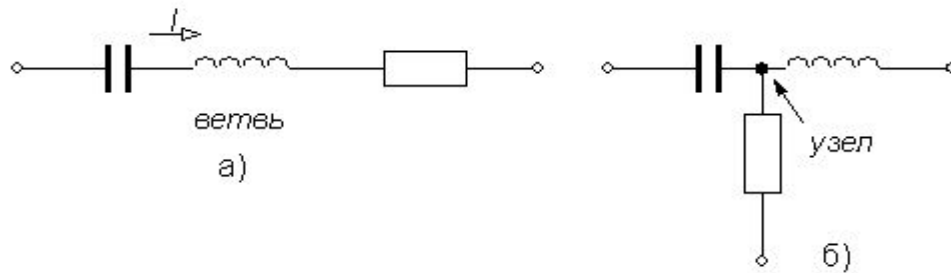
$$E = \frac{J}{G_{вн}}$$

$$R_{вн} = \frac{1}{G_{вн}}$$

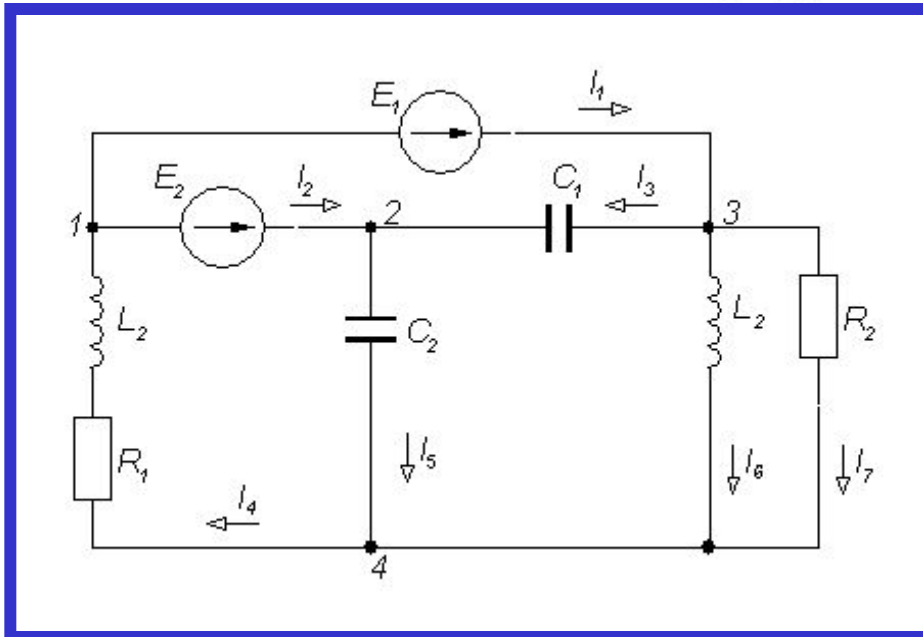
Спасибо за внимание!!!



Основные понятия топологии цепей



Узел цепи является независимым, если к нему присоединена хотя бы одна новая ветвь, не подходящая к ранее рассматриваемым узлам.



Контур цепи является независимым, если он содержит хотя бы одну новую ветвь, не входящую в ранее рассматриваемые контуры.

Компонентные уравнения идеализированных элементов

- $u_R = Ri_R$
- $i_R = Gu_R$

$$i_R = \frac{u_R}{R}$$

$$u_R = \frac{i}{G}$$

$$u_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$i_L = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u_L dt$$

$$u = e(t)$$

$$i = j(t)$$

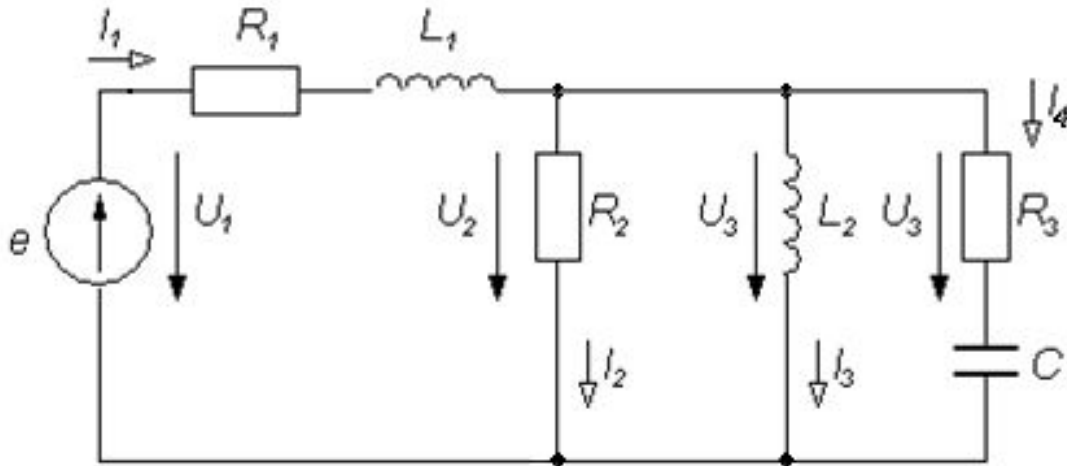
$$i_C = C \frac{du_C}{dt}$$

$$u_C = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i_C dt$$

$$u = E - R_j i$$

$$i = J - G_j u$$

Математическое моделирование ветвей электрической цепи на базе компонентных уравнений



$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - e;$$

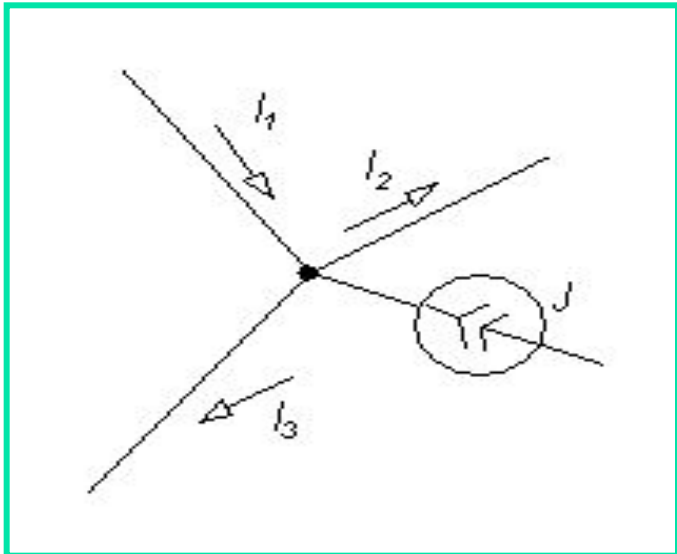
$$u_2 = R_2 i_2;$$

$$u_3 = L_3 \frac{di_3}{dt};$$

$$u_4 = R_3 i_4 + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i_4 dt.$$

Первый закон Кирхгофа

- **Первый закон Кирхгофа** – это закон баланса токов в разветвленной цепи, формулируется для узлов электрической цепи.
- **Он гласит: алгебраическая сумма токов в любом узле электрической цепи в любой момент времени равна нулю, т.е.**



$$\sum_{k=1}^m i_k(t) = 0$$

$$I_1 - I_2 - I_3 + J = 0.$$



Второй закон Кирхгофа

- **Второй закон Кирхгофа** – это закон баланса напряжений на замкнутых участках цепи, формулируется для контуров электрической цепи.
- Он гласит: **алгебраическая сумма напряжений в любом замкнутом контуре в любой момент времени равна нулю:**

$$\sum_{k=1}^n u_k(t) = 0$$

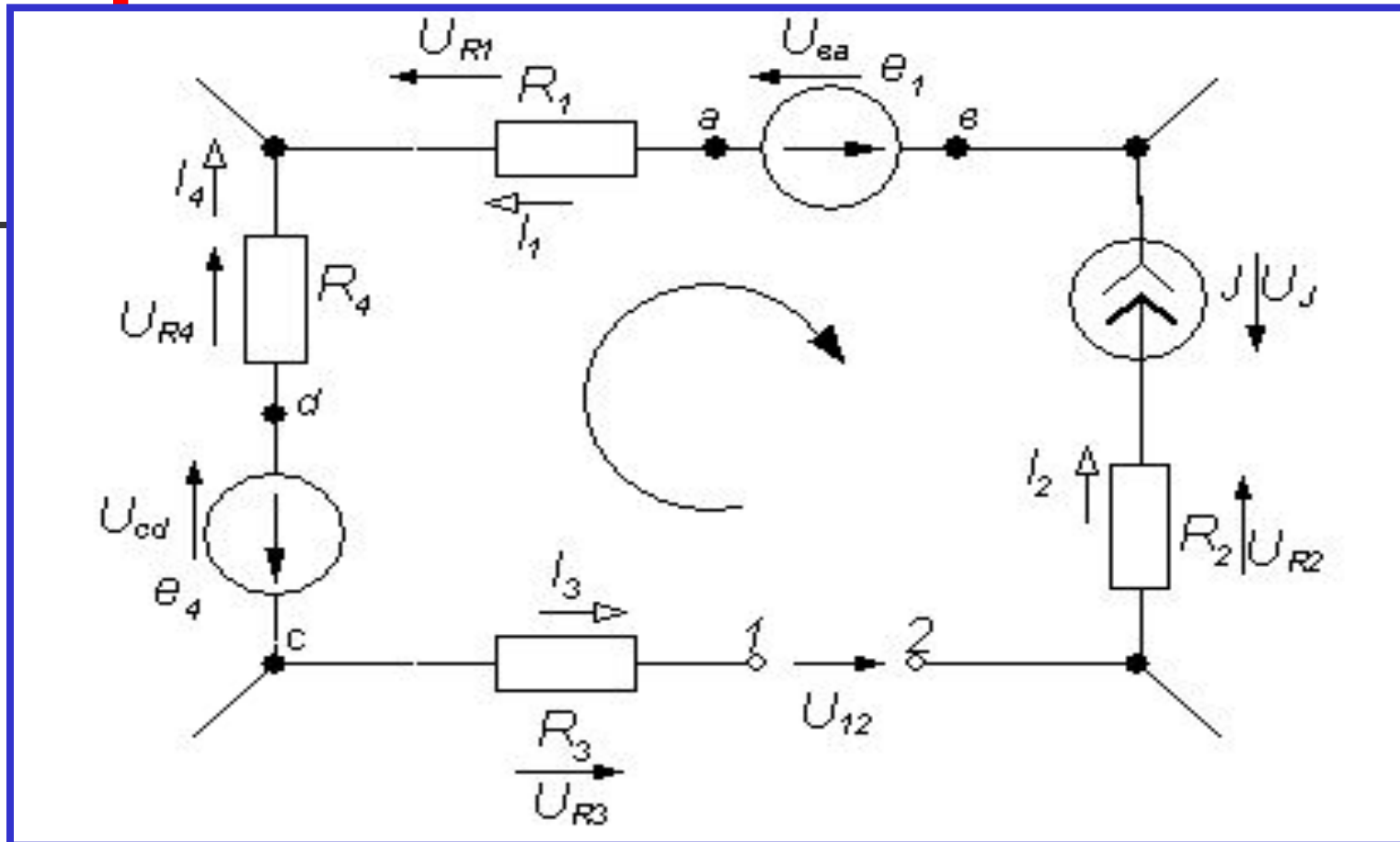


Второй закон Кирхгофа

- *Вторая формулировка второго закона Кирхгофа: алгебраическая сумма ЭДС в любом замкнутом контуре цепи в любой момент времени равна алгебраической сумме падений напряжений на элементах этого контура:*

$$\sum_{k=1}^m e_k(t) = \sum_{k=1}^n u_k(t)$$

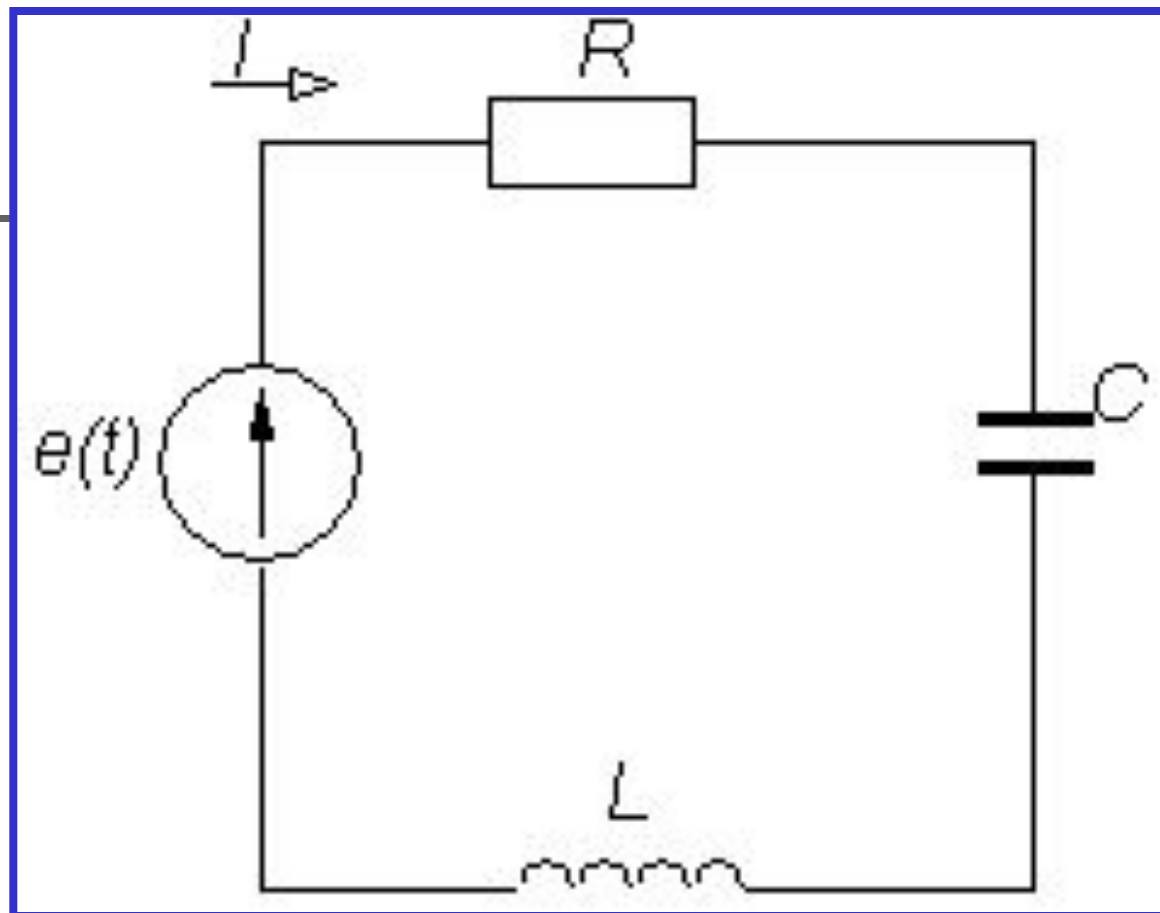
Пример 1.



$$-u_{R1} - u_{ba} + u_J - u_{R2} - u_{12} - u_{R3} + u_{cd} + u_{R4} = 0$$

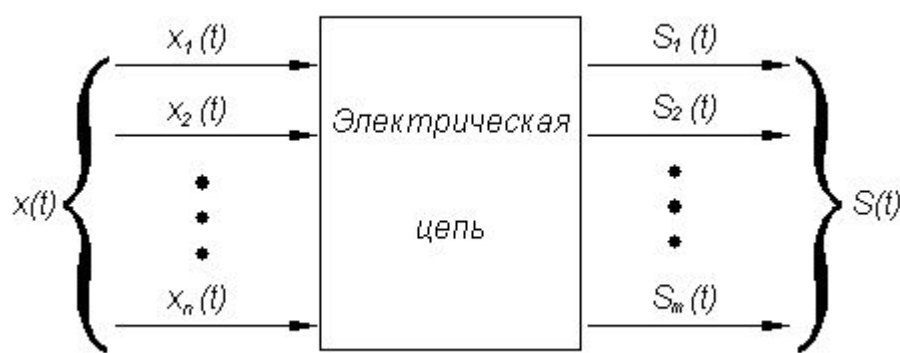
$$e_1 - e_4 = -R_1 i_1 + u_J - u_{12} - R_2 i_2 - R_3 i_3 + R_4 i_4$$

Пример 2.



$$Ri + \frac{1}{C} \int i dt + L \frac{di}{dt} = e(t)$$

Основные задачи теории цепей



$$x(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$$

$$S(t) = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_m(t)\}$$

Задачи анализа цепи – это задачи, в которых по известным внешнему воздействию $x(t)$, конфигурации и параметрам цепи определяют реакцию цепи $S(t)$.

Задачи синтеза – это задачи, в которых требуется определить структуру и параметры цепи по заданной реакции цепи $S(t)$ на некоторое внешнее воздействие $x(t)$.