

Электротехника и электроника

Литература:

- 1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника.- М.: Издательский центр «Академия», 2003**
- 2. Электротехника и электроника. Кн.1:Электрические цепи/Под ред. В.Г. Герасимова. - М.: Энергоатомиздат, 1996; Кн.2: Электромагнитные устройства и электрические машины; Кн.3: Электрические измерения и основы электроники**
- 4. Шандарова Е.Б. Электротехника и электроника. Учебное пособие.-Томск: Изд-во ТПУ, 2006**

Основные понятия и законы теории электрических цепей

**Электрическая цепь – это
совокупность устройств,
предназначенных для
прохождения электрического
тока**

**Электрическая цепь
служит для передачи,
распределения и
преобразования
электромагнитной энергии**

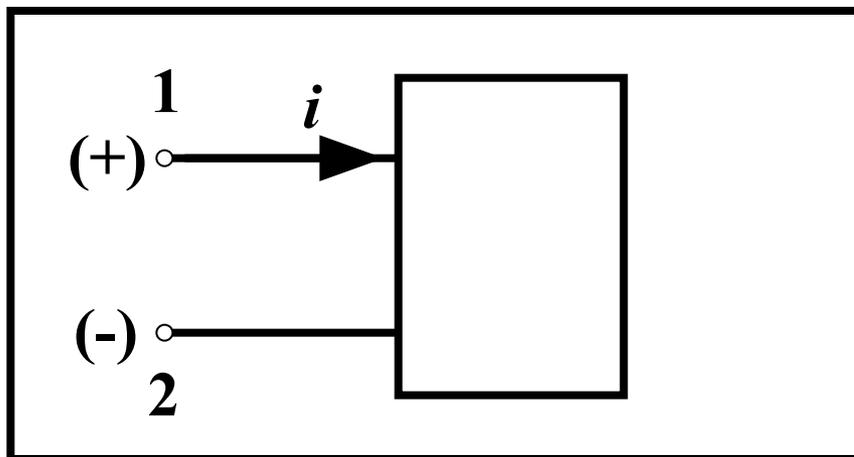
**Свое назначение
электрическая цепь
выполняет при наличии в
ней электрического тока
и напряжения**

Электрический ток в

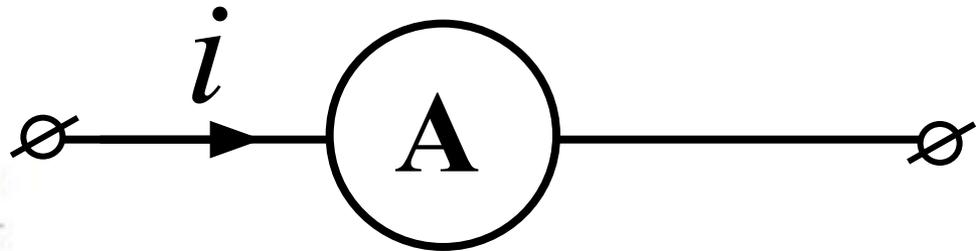
проводнике – это направленное

движение электрических зарядов

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad A = \frac{K_{\text{Л}}}{c}$$



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

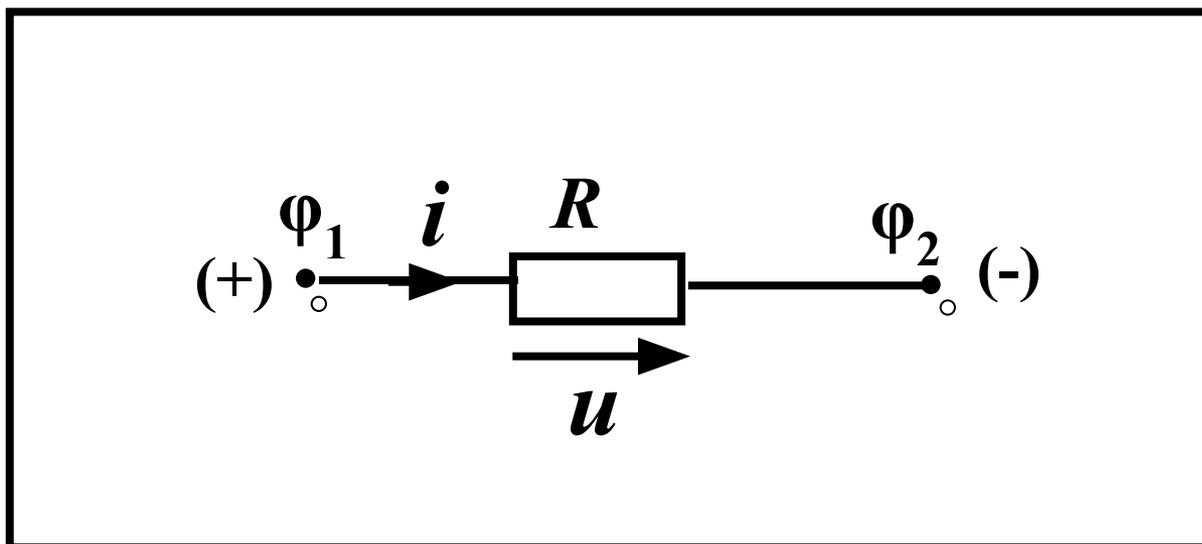


Внутреннее сопротивление идеального амперметра равно нулю.

**Ток возникает под влиянием
электрического поля, которое,
действуя на электроны, приводит
их в движение. Энергетической
характеристикой любой точки
поля является потенциал.**

**Потенциал точки – это
потенциальная энергия, которой
обладает единичный
положительный заряд, помещенный
в данную точку.**

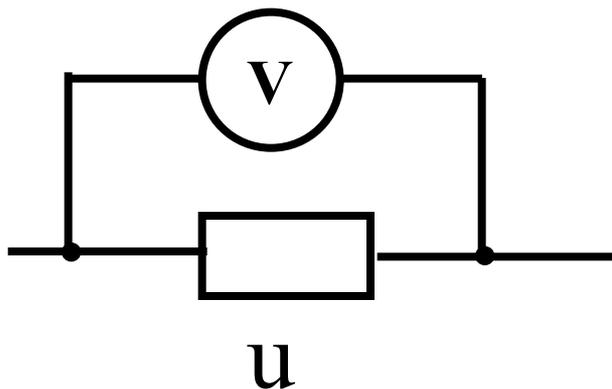
Напряжение – это разность потенциалов между двумя точками электрического поля



Напряжение равно энергии, которая
затрачивается на перемещение
единицы заряда из одной точки в
другую.

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

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



**Внутреннее сопротивление идеального
вольтметра равно бесконечности**

Энергия электрического поля – это энергия, затраченная на перемещение заряда q на участке цепи с напряжением u к моменту времени t :

$$W_{\text{эл}} = \int_{-\infty}^t u dq = \int_{-\infty}^t u i dt \quad [\text{Дж}]$$

Мощность характеризует преобразование энергии на участке цепи и равна скорости изменения этой энергии

$$p = \frac{dW_{\text{эл}}}{dt} = ui \quad [\text{Вт}]$$

**Источники и
приемники
электромагнитной
энергии**

Источники – это устройства, в которых происходит процесс преобразования химической, тепловой, механической или другого вида энергии в электромагнитную (генераторы, гальванические элементы, аккумуляторы и т.д.).

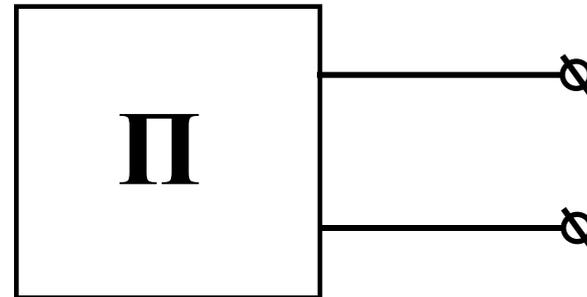
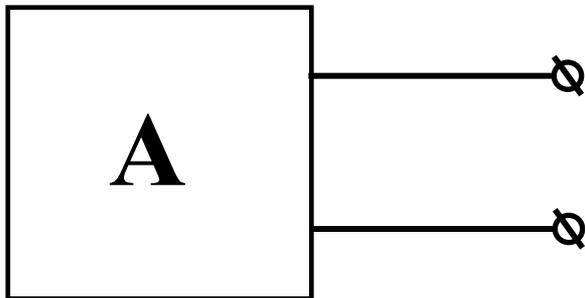
Приемники – это устройства, в которых электромагнитная энергия превращается в другие виды энергии: световую (электрические лампы), тепловую (электронагревательные приборы), механическую (двигатели) и т.д.



Двухполюсник - любая часть электрической цепи, имеющая два зажима

Активный двухполюсник содержит источники электрической энергии

Пассивный двухполюсник не содержит источников



Каждый источник электрической энергии характеризуется электродвижущей силой – ЭДС.

ЭДС – это работа сторонних сил источника, затраченная на перемещение единичного положительного заряда внутри источника от меньшего потенциала к большему.

**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.**

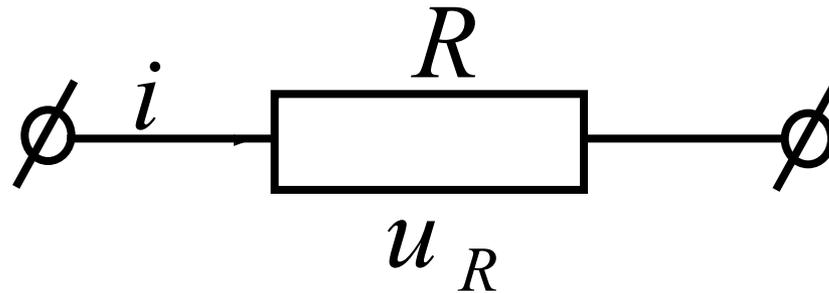
Активные элементы: источники ЭДС и источники тока.

Пассивные элементы: резистивные, индуктивные и емкостные элементы.

Линейная цепь – это цепь, у которой связь между током и напряжением является линейной функцией. Это происходит, когда характеристики элементов линейны.

Пассивные линейные элементы

1. Резистивный элемент необратимо преобразует электромагнитную энергию в тепло.



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

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

Мгновенная мощность, поступающая в сопротивление

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

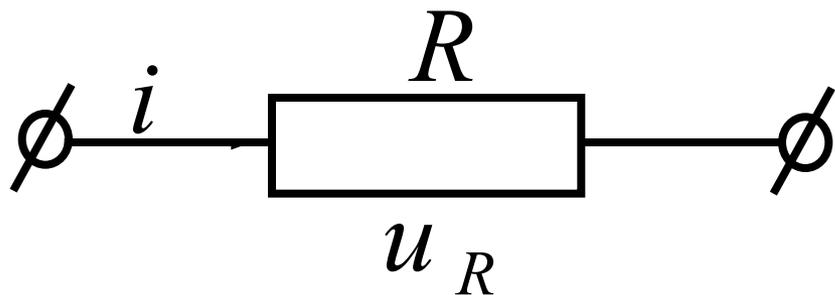
Электрическая энергия, поступившая в сопротивление R и превращенная в тепло, начиная с некоторого момента времени, например $t=0$, до рассматриваемого момента t

$$W_{\text{эл}} = \int_0^t p dt = \int_0^t R \cdot i^2 dt \quad [\text{Дж}]$$

Если ток постоянный

$$W_{\text{эл}} = R \cdot I^2 \cdot t$$

Закон Ома

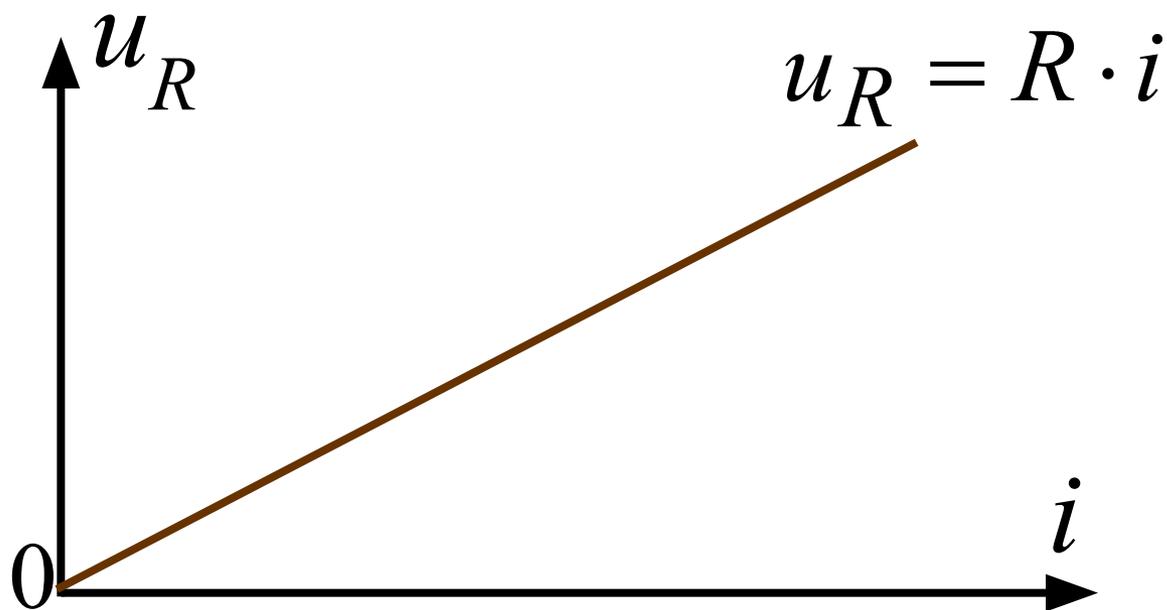


$$u_R = i \cdot R$$

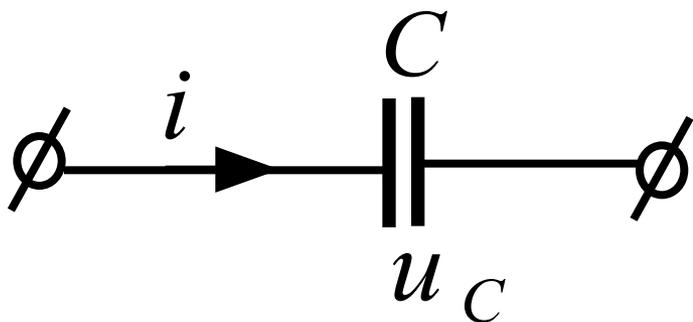
**Впервые (для металлов) его установил немецкий ученый
Георг Ом в 1826 г.**

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

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) – это зависимость напряжения на сопротивлении от силы тока, проходящего через это сопротивление



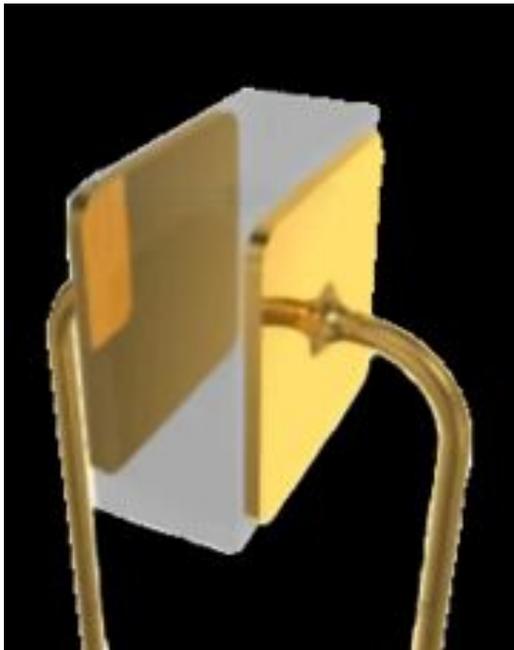
2. Емкостной элемент – это элемент, приближенно заменяющий конденсатор, в котором накапливается энергия электрического поля:



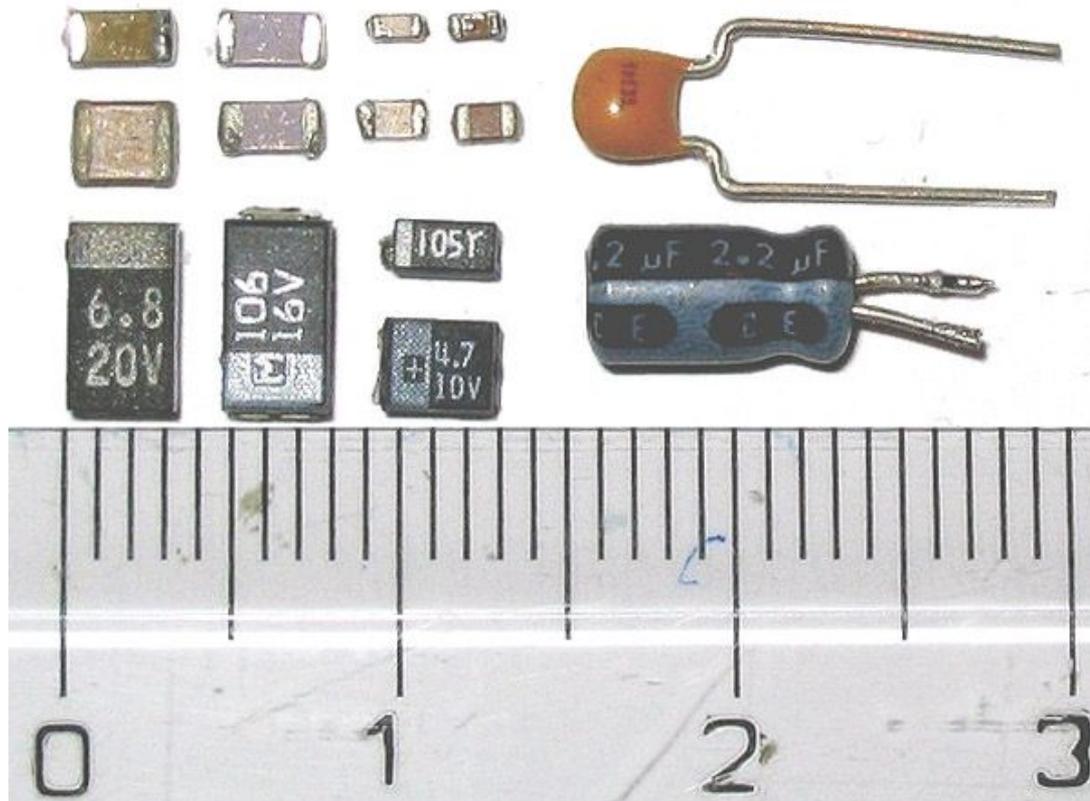
$$W_{\text{эл}} = \frac{C \cdot u_C^2}{2}$$

Емкость – это коэффициент пропорциональности между зарядом обкладки конденсатора и напряжением между его обкладками

$$C = \frac{q}{u_C} \quad [\Phi]$$



Основа конструкции конденсатора — две токопроводящие обкладки, между которыми находится диэлектрик



**Слева - конденсаторы для поверхностного монтажа;
справа - конденсаторы для объёмного монтажа; сверху -
керамические; снизу - электролитические.**

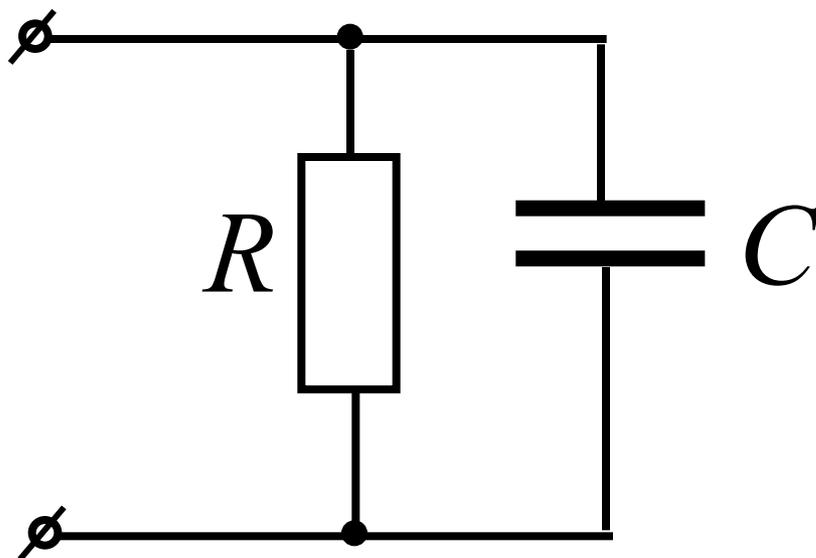
Связь между током и напряжением на емкостном элементе

$$i = C \frac{du_C}{dt} \quad u_C = \frac{1}{C} \int i dt$$

Когда ток положителен, в емкостной элемент поступает электрическая энергия из внешней цепи.

Когда ток отрицателен, то энергия, ранее накопленная в электрическом поле, возвращается во внешнюю цепь.

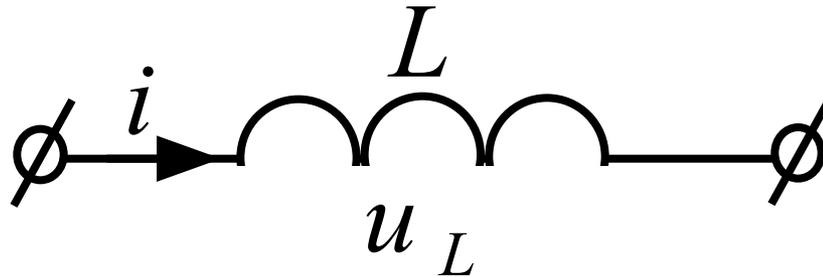
Схема замещения реального конденсатора



3. Индуктивный элемент – это элемент, приближенно заменяющий индуктивную катушку, в котором накапливается энергия магнитного поля:



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



Индуктивность L – это коэффициент пропорциональности между потокоцеплением и током, текущим через катушку:

$$L = \frac{\Psi}{i} [\text{Гн}]$$

Потокоцеплением Ψ называется сумма произведений магнитных потоков на числа витков катушки, с которыми они сцеплены

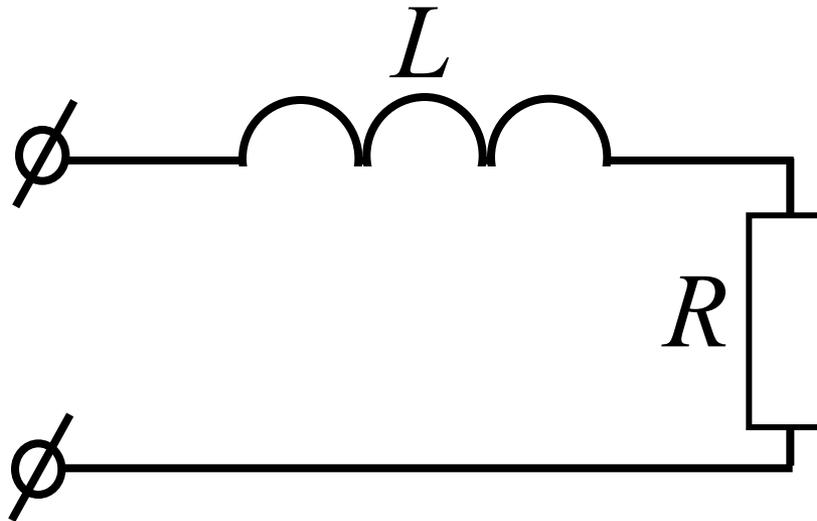
Если все витки пронизываются одним и тем же магнитным потоком, то потокосцепление равно произведению магнитного потока Φ на число витков w :

$$\psi = \Phi \cdot w \text{ [Вб]}$$

Связь между током и напряжением на индуктивном элементе

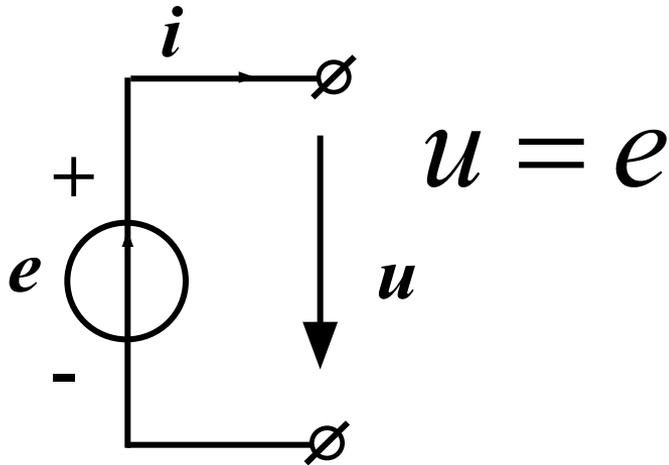
$$u_L = L \frac{di}{dt} \quad i = \frac{1}{L} \int u_L dt$$

Схема замещения индуктивной катушки



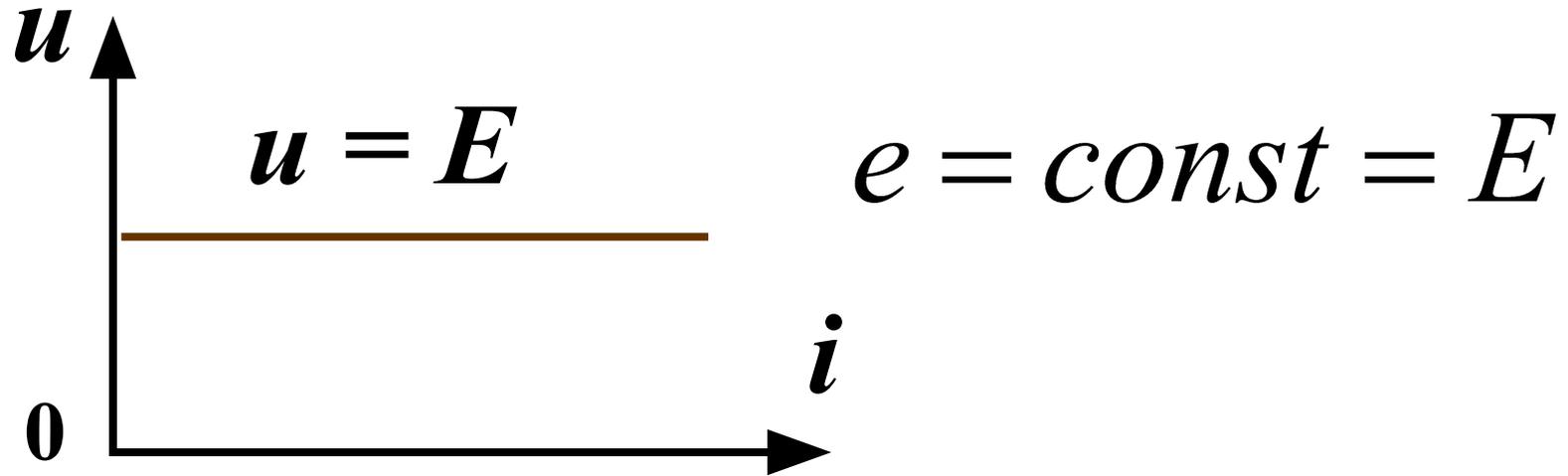
Активные линейные элементы

1. Источник ЭДС – это источник, ЭДС e которого не зависит от величины протекающего через него тока и внутреннее сопротивление которого равно нулю.



Стрелка указывает точку более высокого потенциала. Источник вырабатывает энергию, поэтому ток внутри него течет от точки более низкого к точке более высокого потенциала.

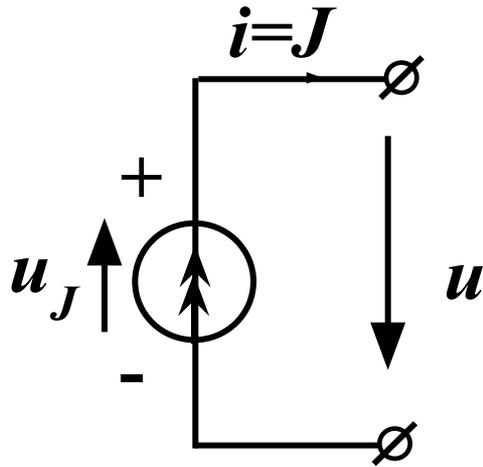
Внешняя характеристика



Мощность источника ЭДС

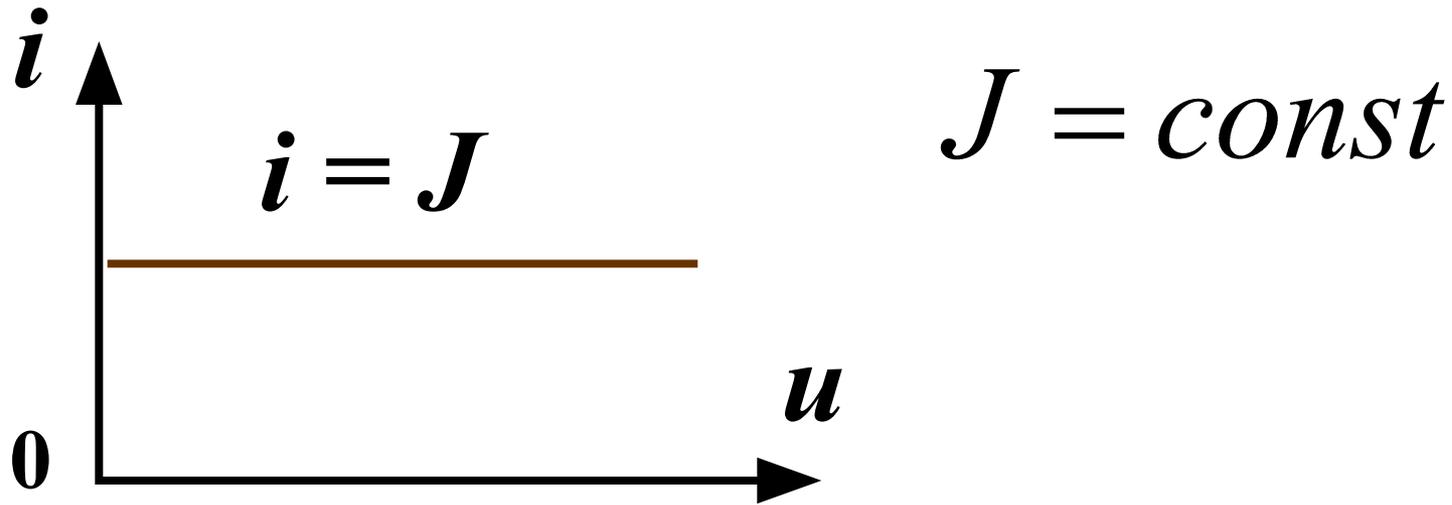
$$P_e = e \cdot i$$

Источник тока J – это источник, который дает ток, не зависящий от напряжения на его зажимах. Внутреннее сопротивление источника тока равно бесконечности.



Полярность напряжения u_J соответствует случаю, когда источник вырабатывает энергию.

Внешняя характеристика

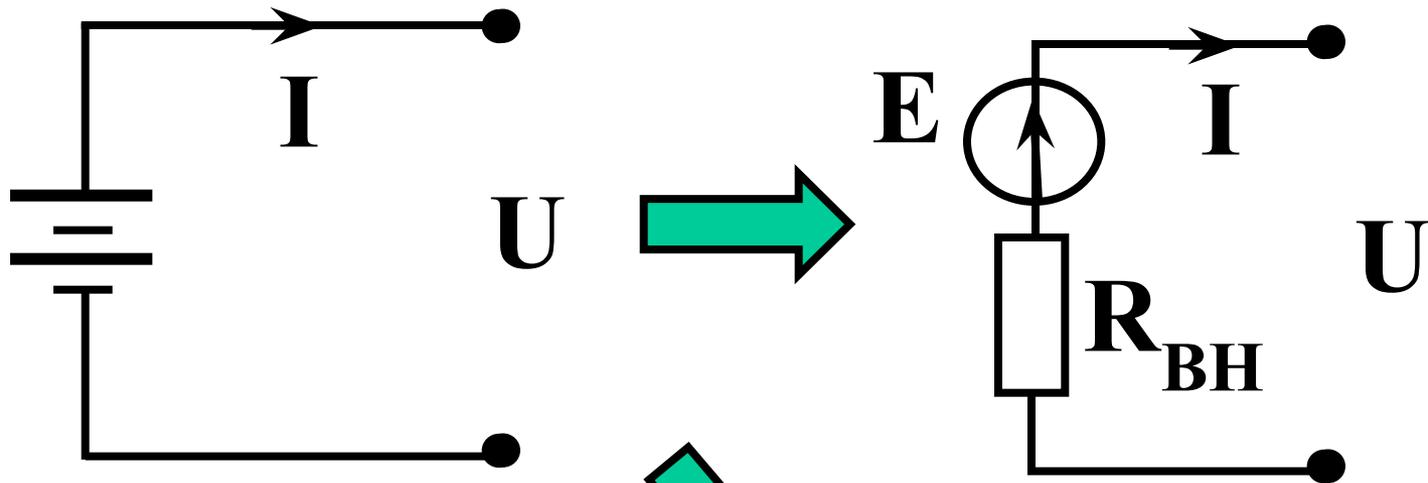


Мощность источника тока

$$P_J = u_J \cdot J$$

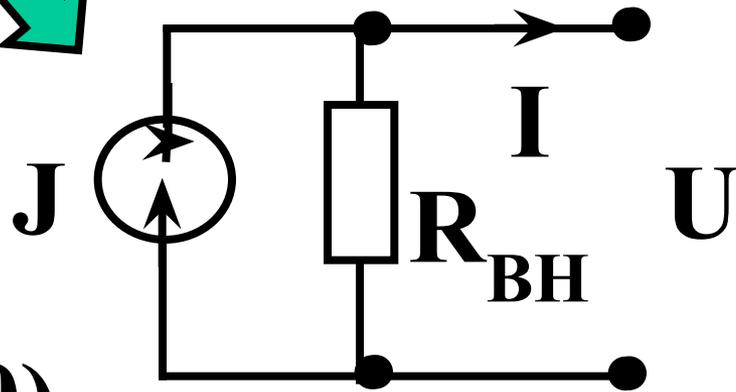
**Активные и пассивные элементы
применяются для составления
схем замещения реальных
источников электромагнитной
энергии**

Например, схема замещения аккумулятора:



$$E = U_{XX} \quad (I = 0)$$

$$J = I_{K3} = E / R_{BH} \quad (U = 0)$$



Топологические понятия

**Топологические понятия
применяются
при анализе и расчете
схем замещения электрических
цепей**

Схема – это графическое изображение электрической цепи.

Ветвь – это участок схемы, вдоль которого течет один и тот же ток.

Узел – это место соединения трех или большего числа ветвей

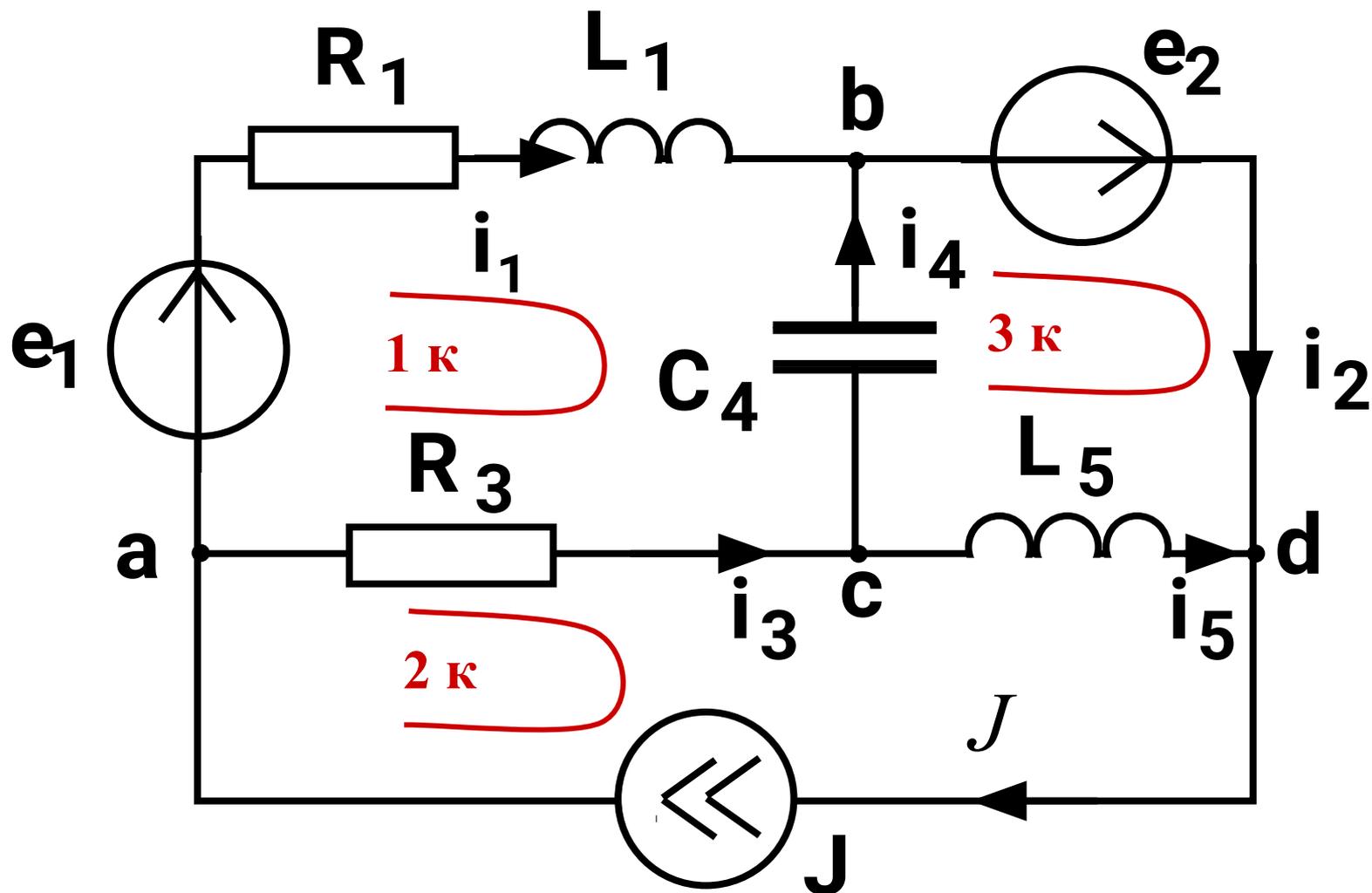
Контур – это замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям

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

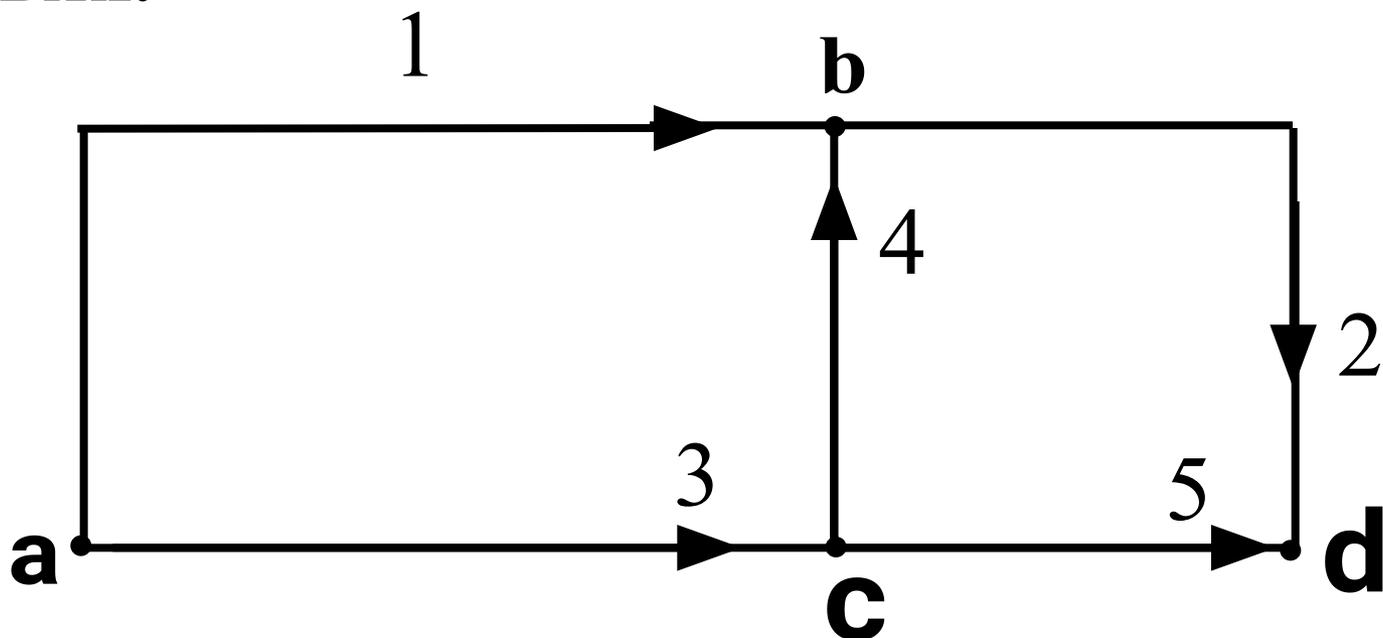
$N=4$ – число узлов

$M=6$ – число ветвей

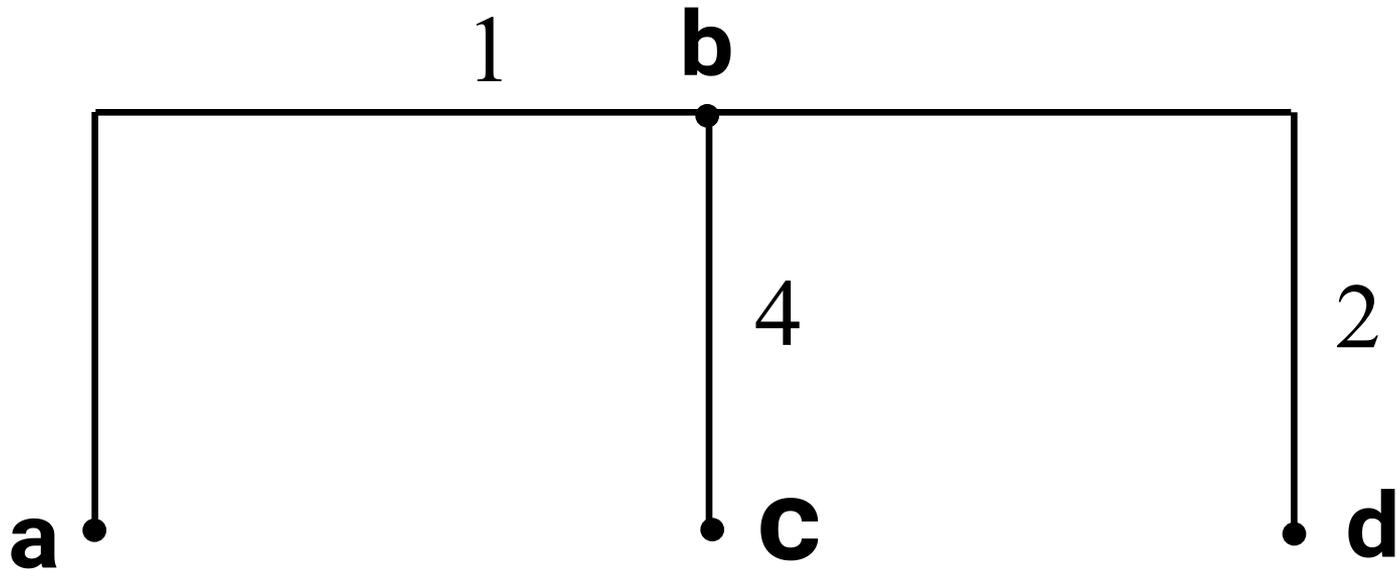
Схема



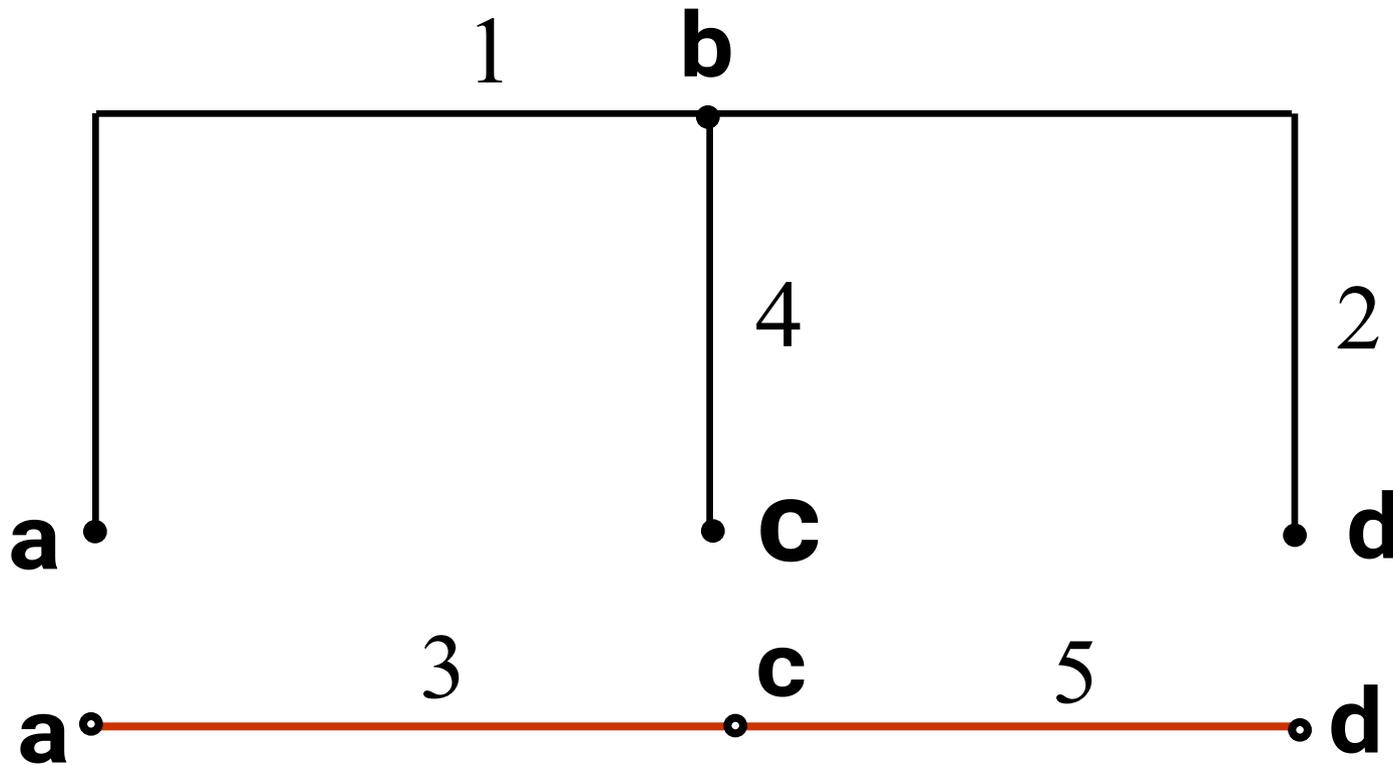
Граф – это изображение схемы в виде линий (ветвей) и точек (узлов). Стрелки на графе показывают направления токов в ветвях.



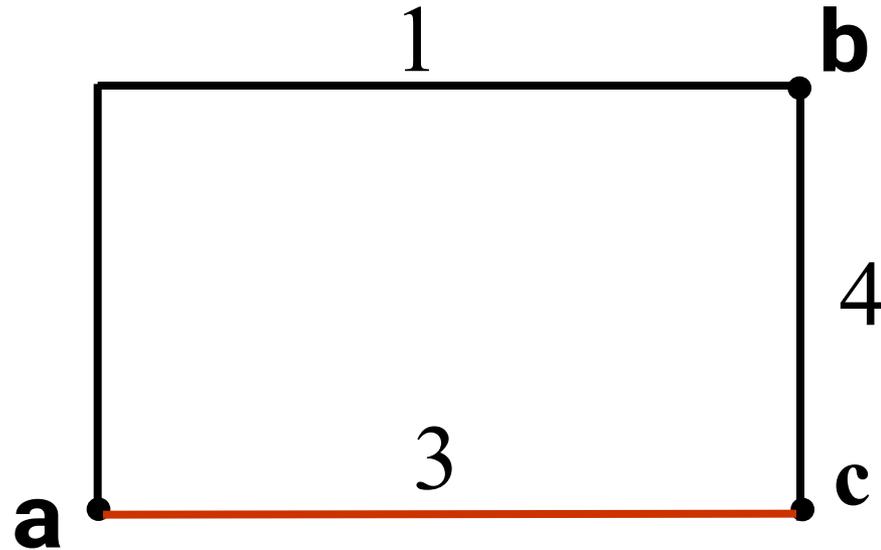
Дерево – это часть графа, соединяющая все узлы, но ни одного контура



Хорды – это ветви, которые дополняют дерево до графа



Независимый контур – это контур, который состоит из ветвей дерева и только одной хорды. Число независимых контуров равно числу хорд



Законы Кирхгофа

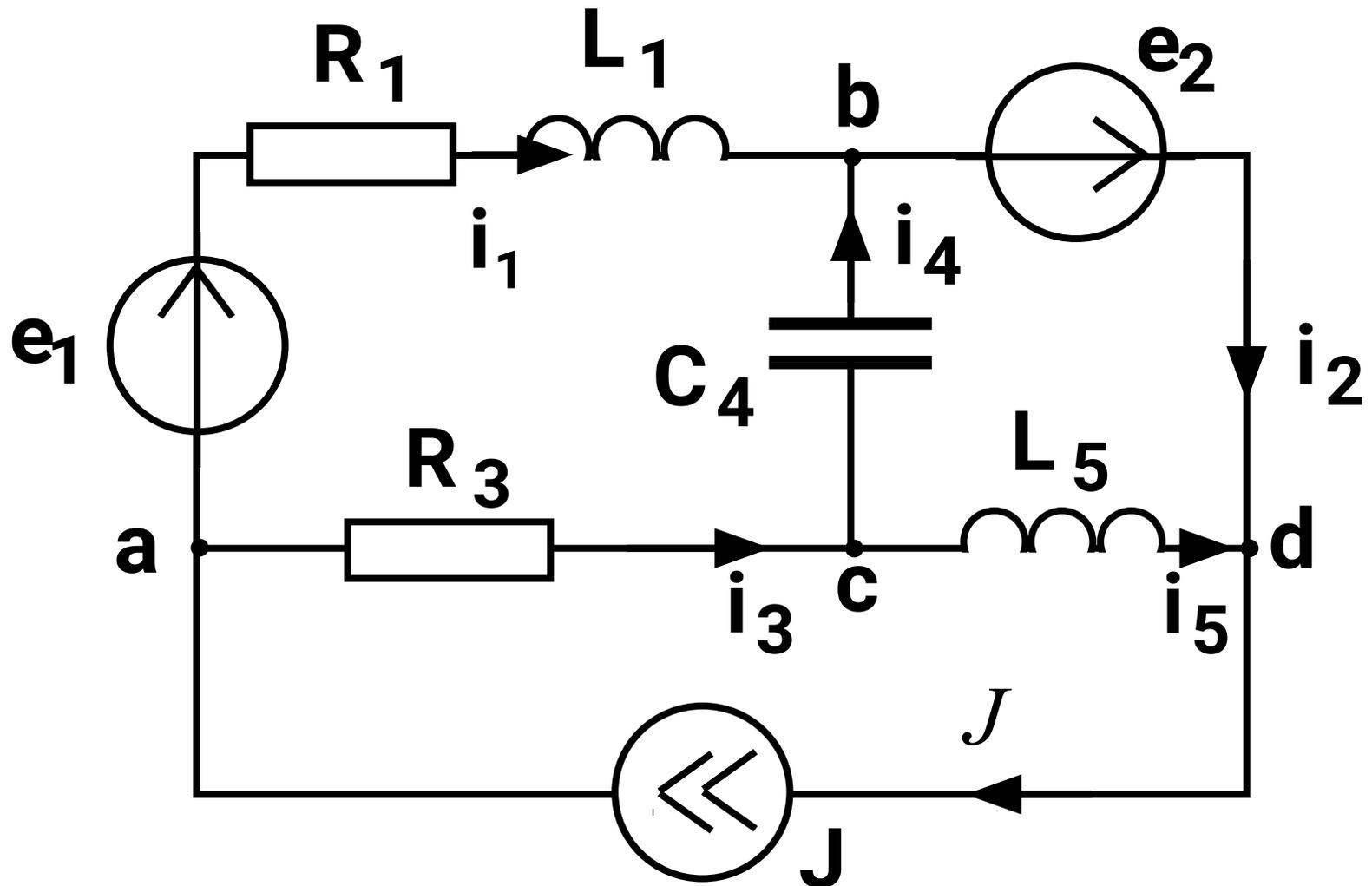
Первый закон Кирхгофа:

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

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

Для узла **b**: $-i_1 - i_4 + i_2 = 0$

Схема



**Этот закон характеризует
непрерывность электрического тока.
Если схема имеет N узлов, то по первому
закону Кирхгофа можно записать $N-1$
независимых уравнений.**

Второй закон Кирхгофа:

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

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

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

По второму закону Кирхгофа можно записать $M-N+1$ независимых уравнений, где M – число ветвей в схеме.

Для контура 1: $u_1 + u_{L1} - u_{C4} - u_3 = e_1$

$$i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - \frac{1}{C_4} \int i_4 dt - i_3 R_3 = e_1$$

Для контура 2: $u_3 + u_{L5} = u_J$

$$i_3 R_3 + L_5 \frac{di_5}{dt} = u_J$$

Более подробная информация:

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника.- М.: Издательский центр «Академия», 2003, стр. 1-15, 33-35.
2. Электротехника и электроника. Кн.1:Электрические цепи/Под ред. В.Г. Герасимова. - М.: Энергоатомиздат, 1996, стр. 8-24.
3. Зевеке Г.В., Ионкин П.А. Основы теории цепей.-М: Энергоатомиздат, 1989, стр. 9-13, 21-22
4. Шандарова Е.Б. Электротехника и электроника. Учебное пособие.-Томск: Изд-во ТПУ, 2006, стр. 3-12.