

# 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**

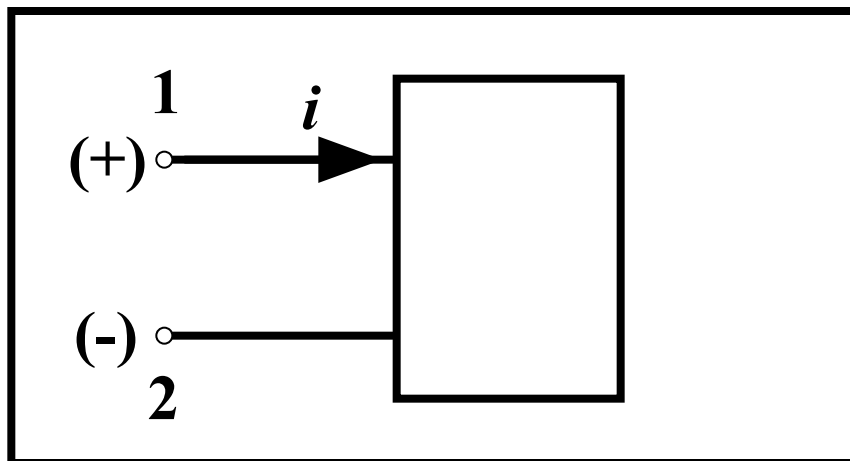
**Свое назначение  
электрическая цепь  
выполняет при наличии в  
ней электрического тока  
и напряжения**

**Электрический ток в**

**проводнике – это направленное**

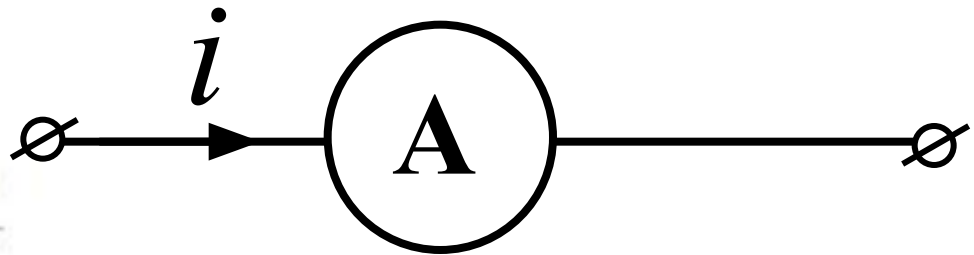
**движение электрических зарядов**

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





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

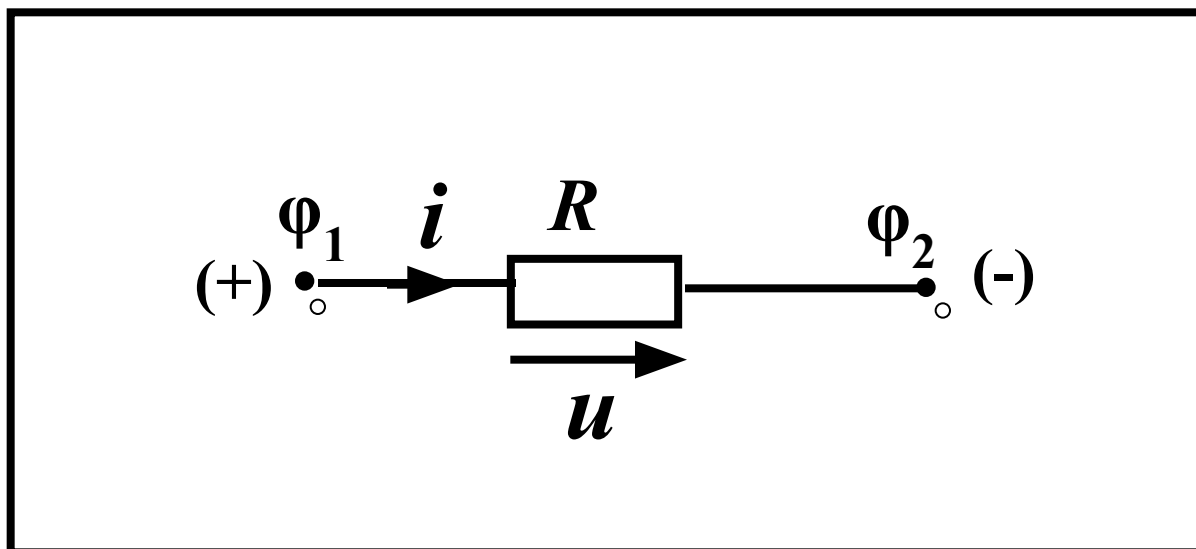


**Внутреннее сопротивление идеального амперметра равно нулю.**

**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.**

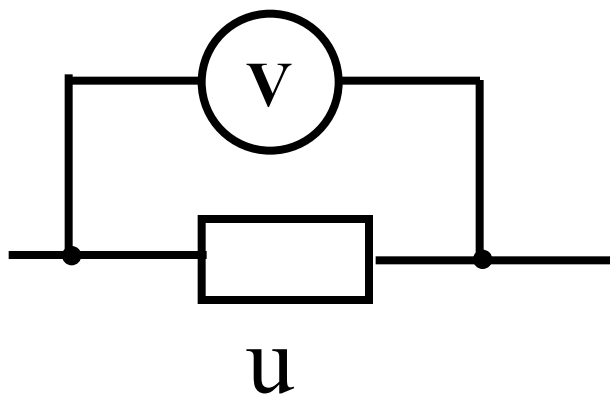
**Напряжение – это разность потенциалов между двумя точками электрического поля**



**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.).

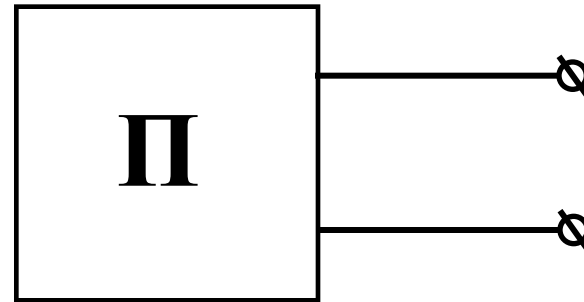
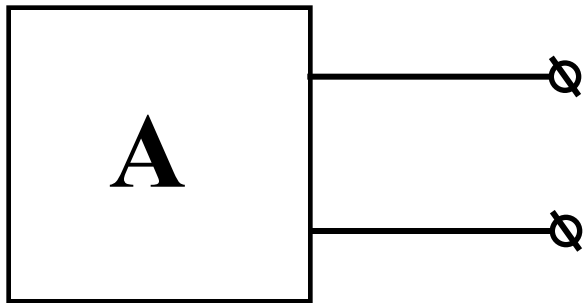
**Приемники** – это устройства, в которых электромагнитная энергия превращается в другие виды энергии: световую (электрические лампы), тепловую (электронагревательные приборы), механическую (двигатели) и т.д.



**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.**

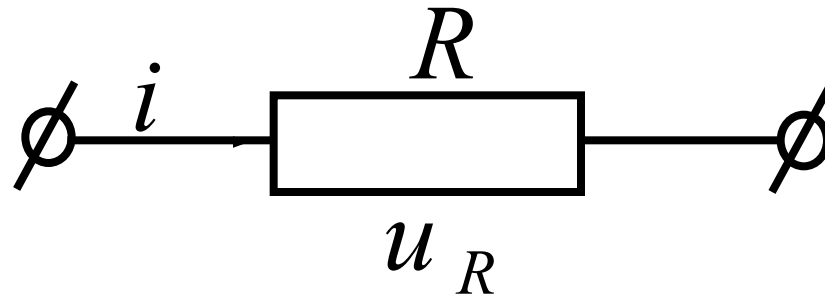
**Активные элементы:** источники ЭДС и источники тока.

**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**

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

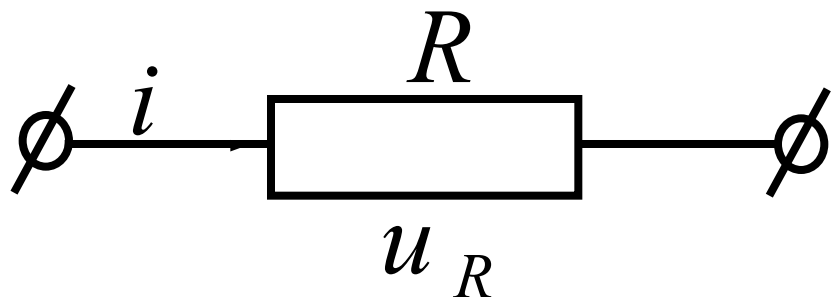
**Электрическая энергия, поступившая в сопротивление  $R$  и превращенная в тепло, начиная с некоторого момента времени, например  $t=0$ , до рассматриваемого момента  $t$**

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

**Если ток постоянный**

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

# Закон Ома

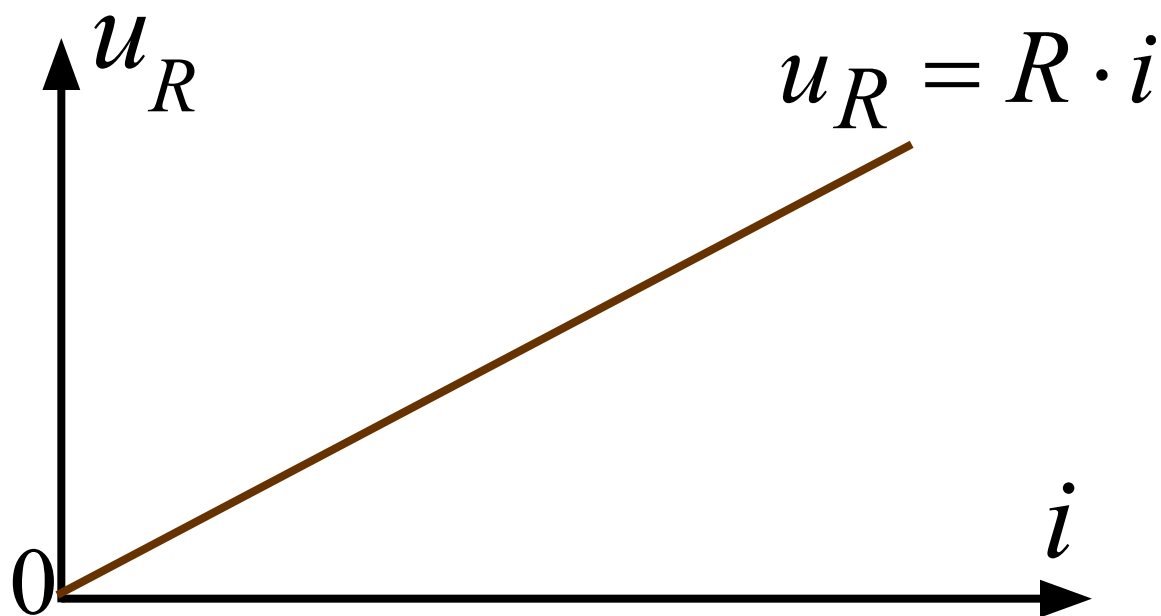


$$u_R = i \cdot R$$

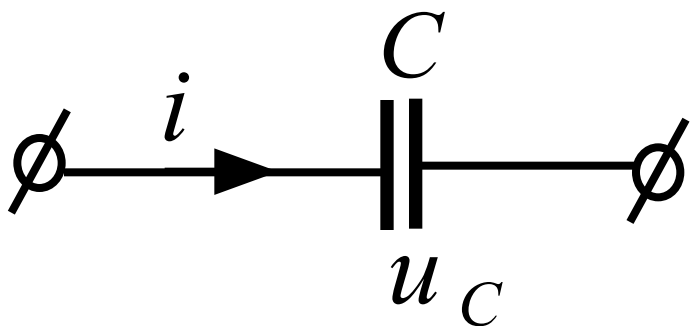
**Впервые (для металлов) его установил немецкий ученый  
Георг Ом в 1826 г.**

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

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



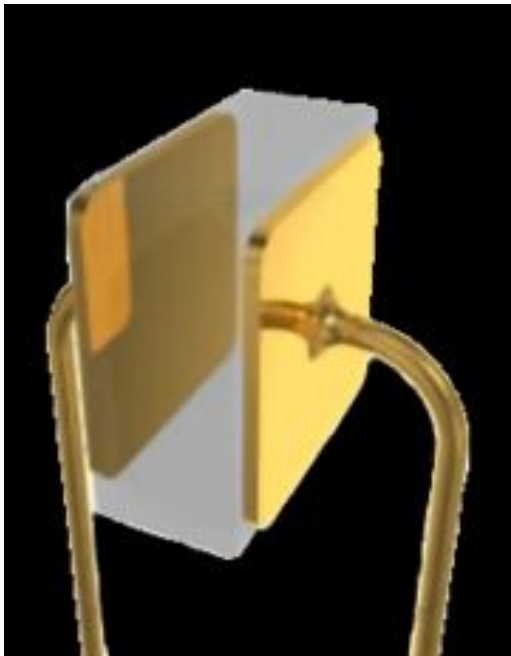
**2. Емкостной элемент – это элемент, приближенно заменяющий конденсатор, в котором накапливается энергия электрического поля:**



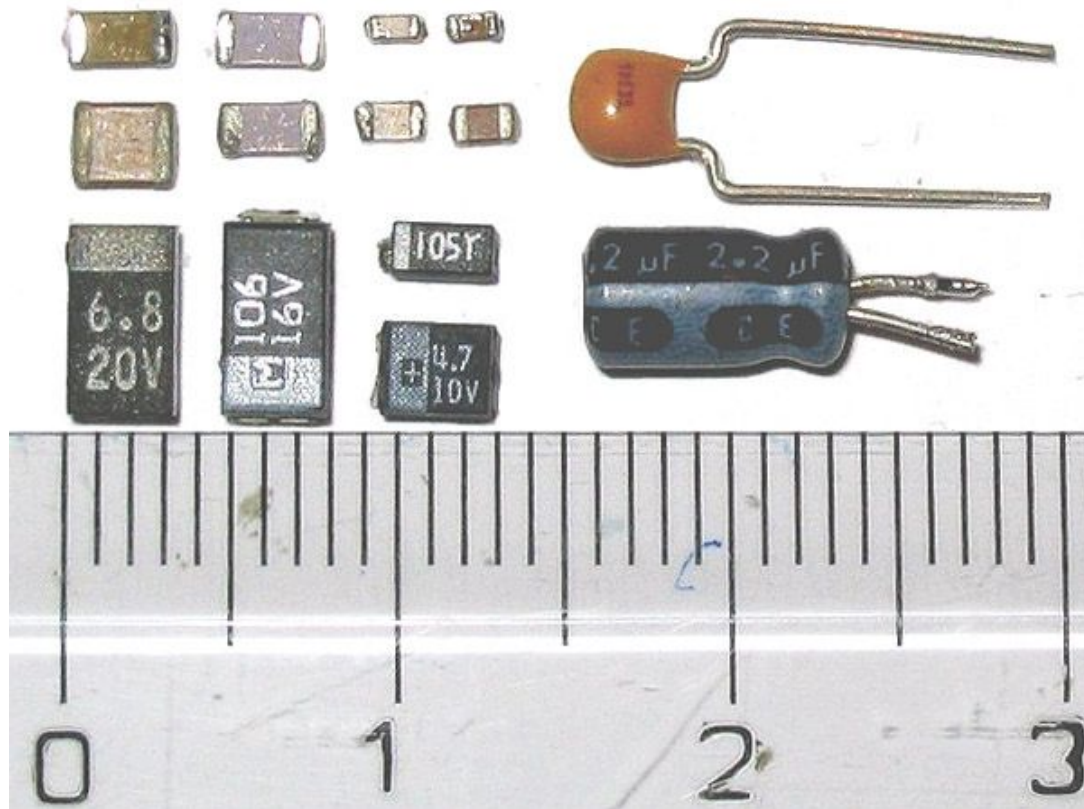
$$W_{\text{эл}} = \frac{C \cdot u_C^2}{2}$$

**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

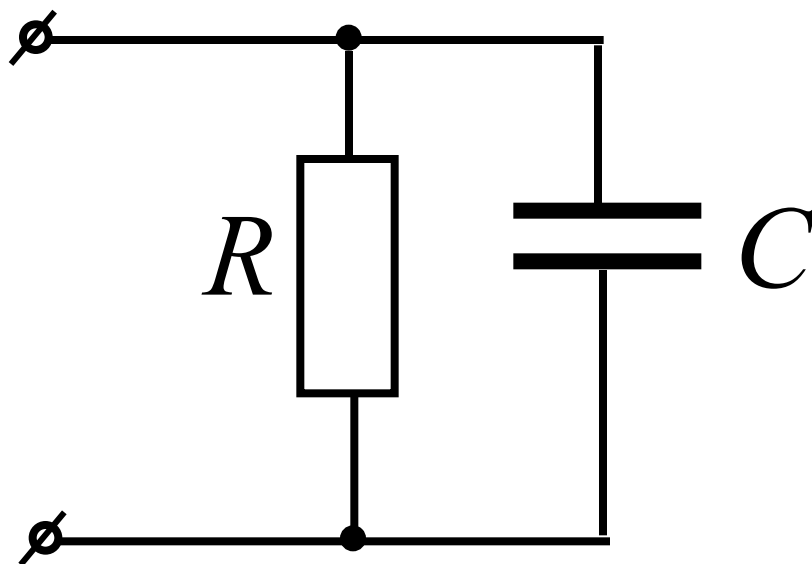
$$i = C \frac{du_C}{dt} \quad u_C = \frac{1}{C} \int i dt$$

**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.**



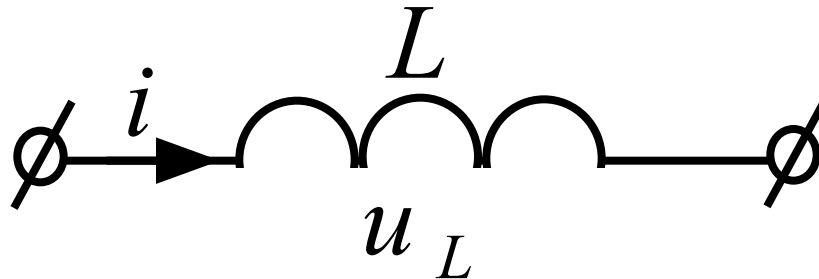
# Схема замещения реального конденсатора



**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 потоком сцеплением и током, текущим через катушку:**

$$L = \frac{\Psi}{i} [\text{Гн}]$$

**Потоком сцеплением  $\psi$  называется сумма произведений магнитных потоков на числа витков катушки, с которыми они сцеплены**

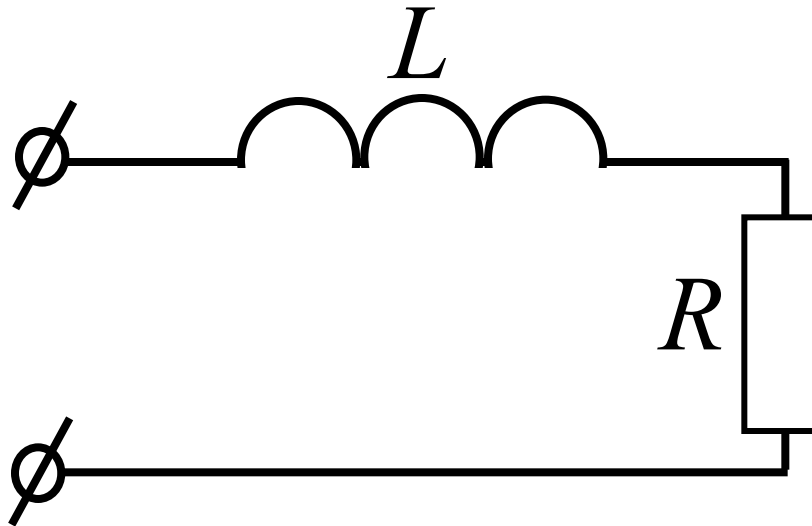
**Если все витки пронизываются одним и тем же магнитным потоком, то потокосцепление равно произведению магнитного потока  $\Phi$  на число витков  $w$ :**

$$\psi = \Phi \cdot w \text{ [Вб]}$$

**Связь между током и напряжением на индуктивном элементе**

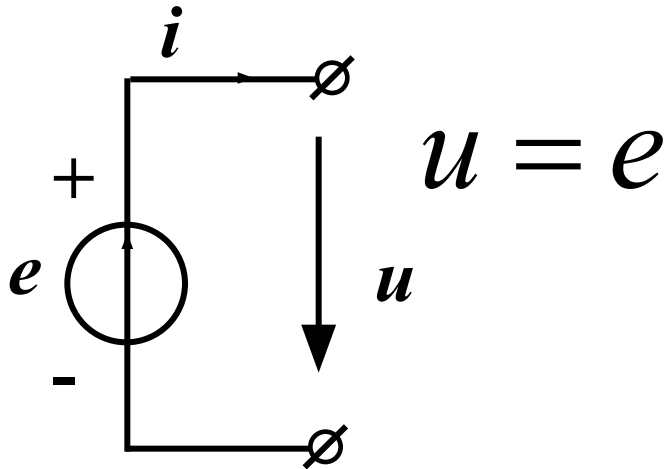
$$u_L = L \frac{di}{dt} \quad i = \frac{1}{L} \int u_L dt$$

# Схема замещения индуктивной катушки



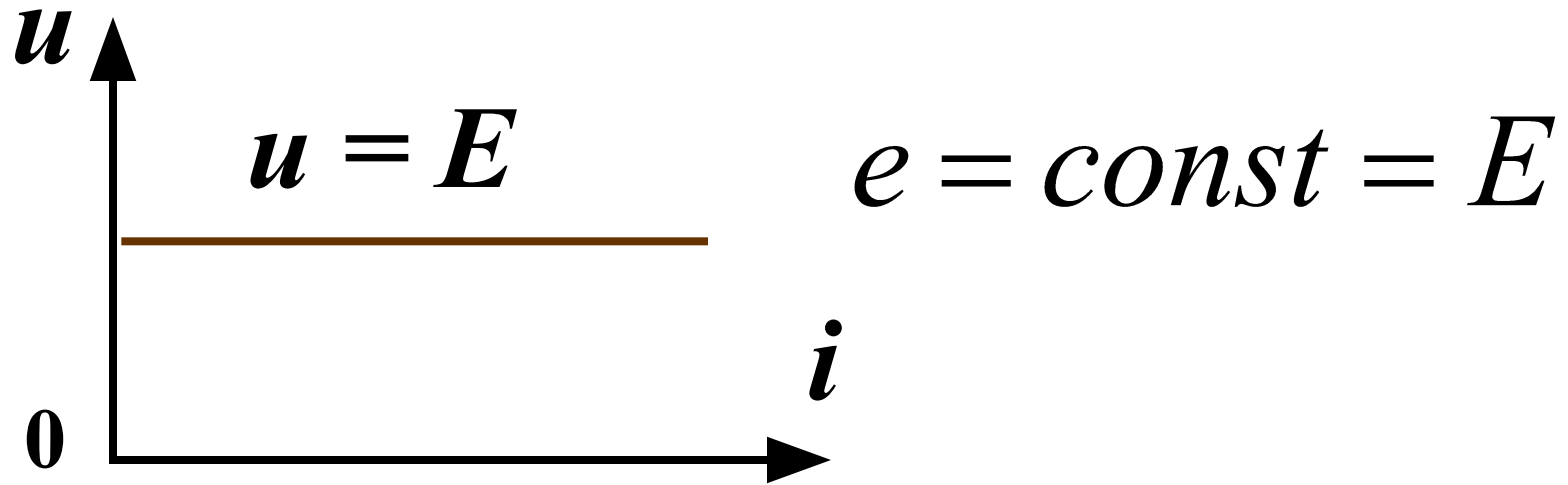
# Активные линейные элементы

**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.**

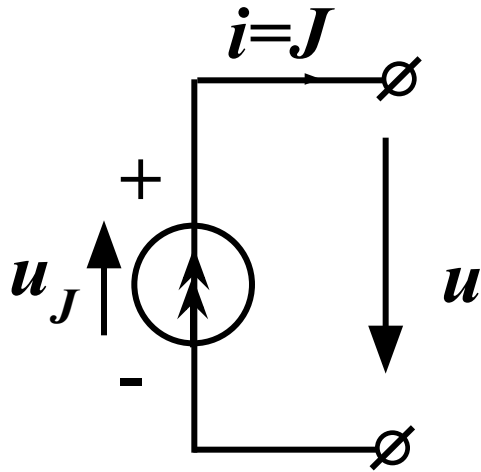
# Внешняя характеристика



Мощность источника ЭДС

$$P_e = e \cdot i$$

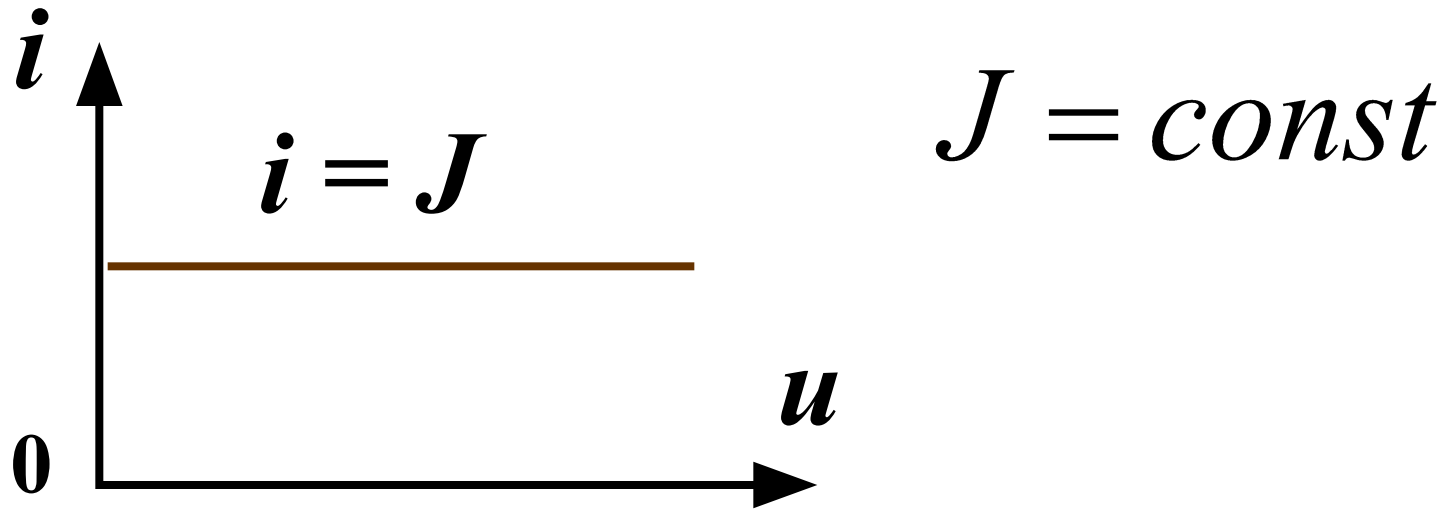
**Источник тока  $J$**  – это источник, который дает ток, не зависящий от напряжения на его зажимах. Внутреннее сопротивление источника тока равно бесконечности.



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



# Внешняя характеристика

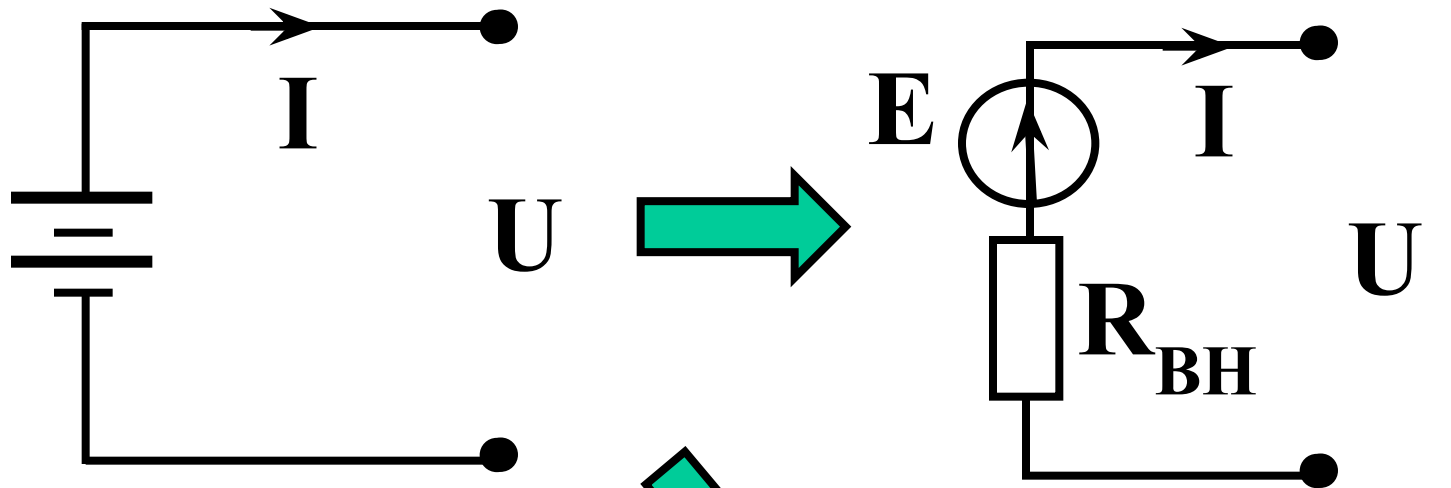


Мощность источника тока

$$P_J = u_J \cdot J$$

**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

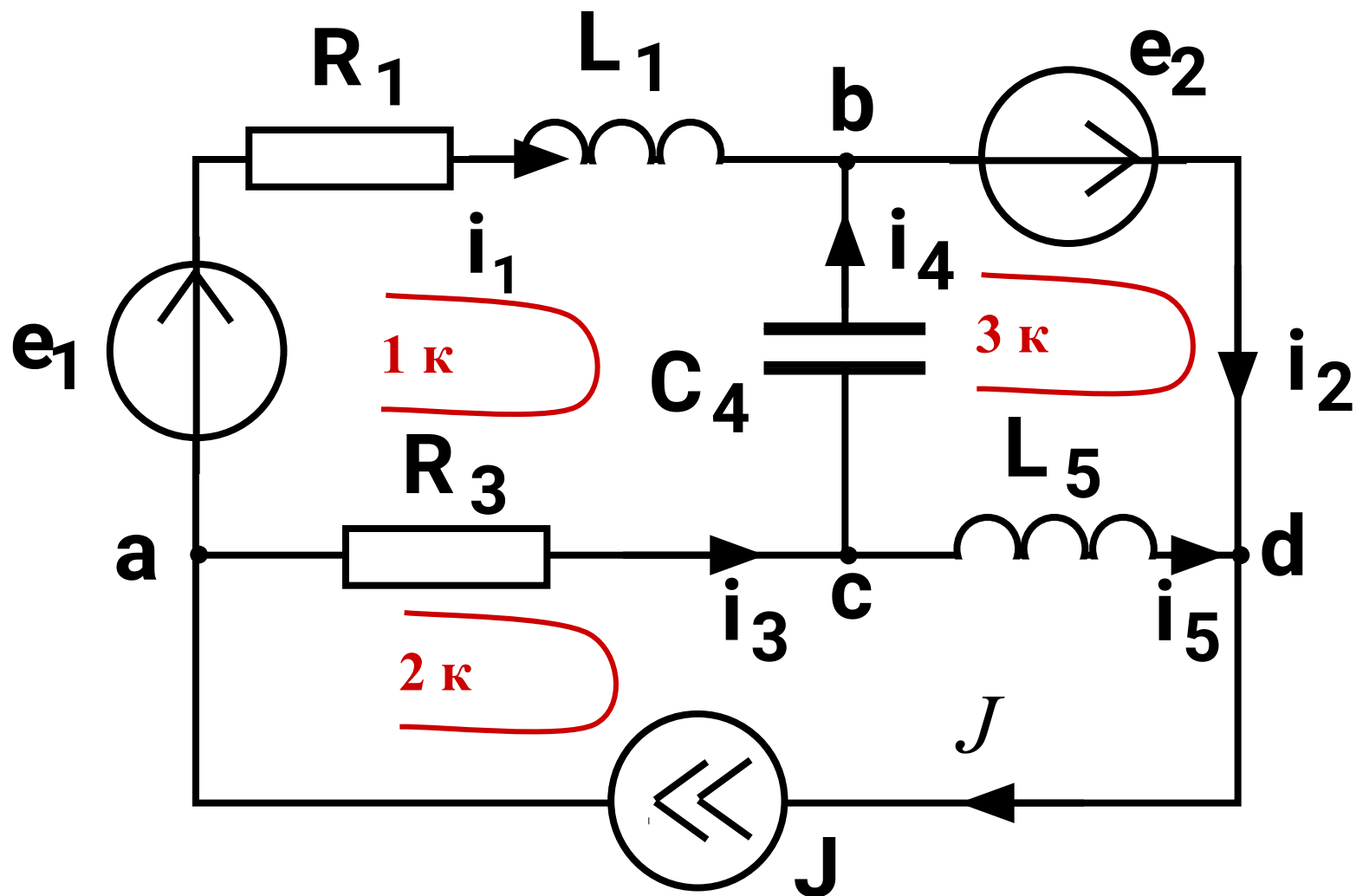
**Контур** – это замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям

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

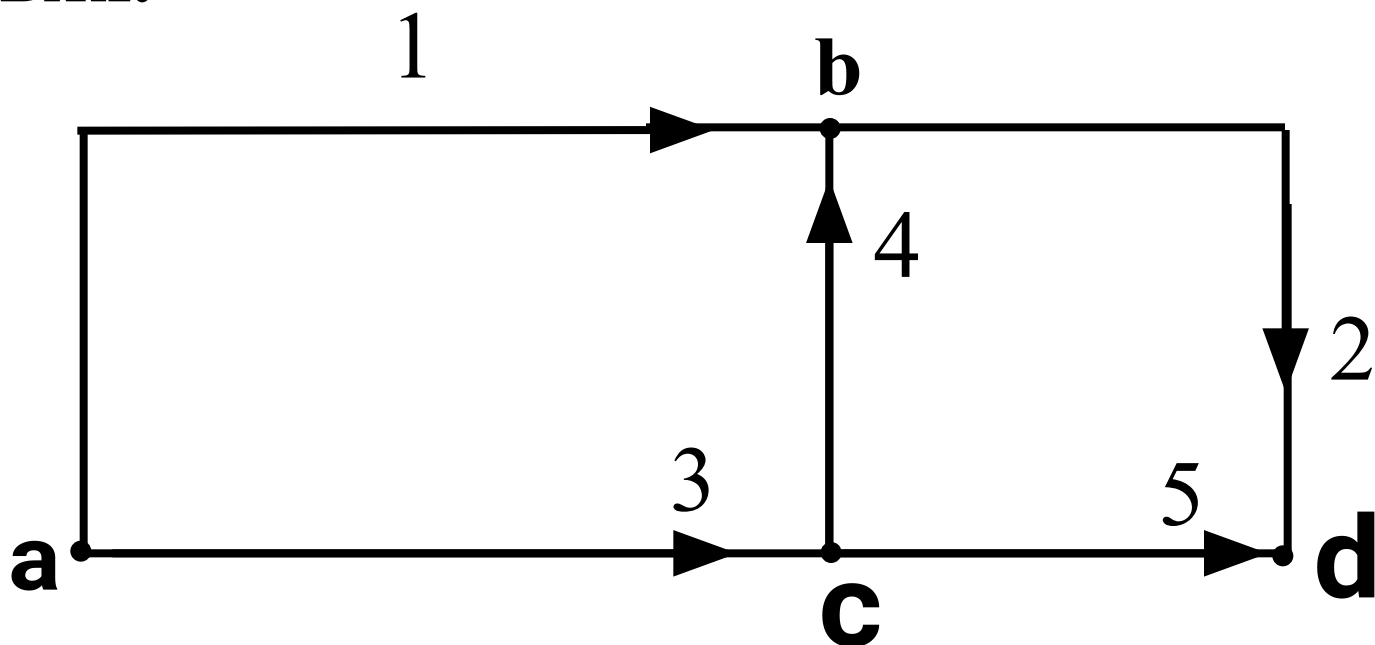
$N=4$  – число узлов

$M=6$  – число ветвей

# Схема

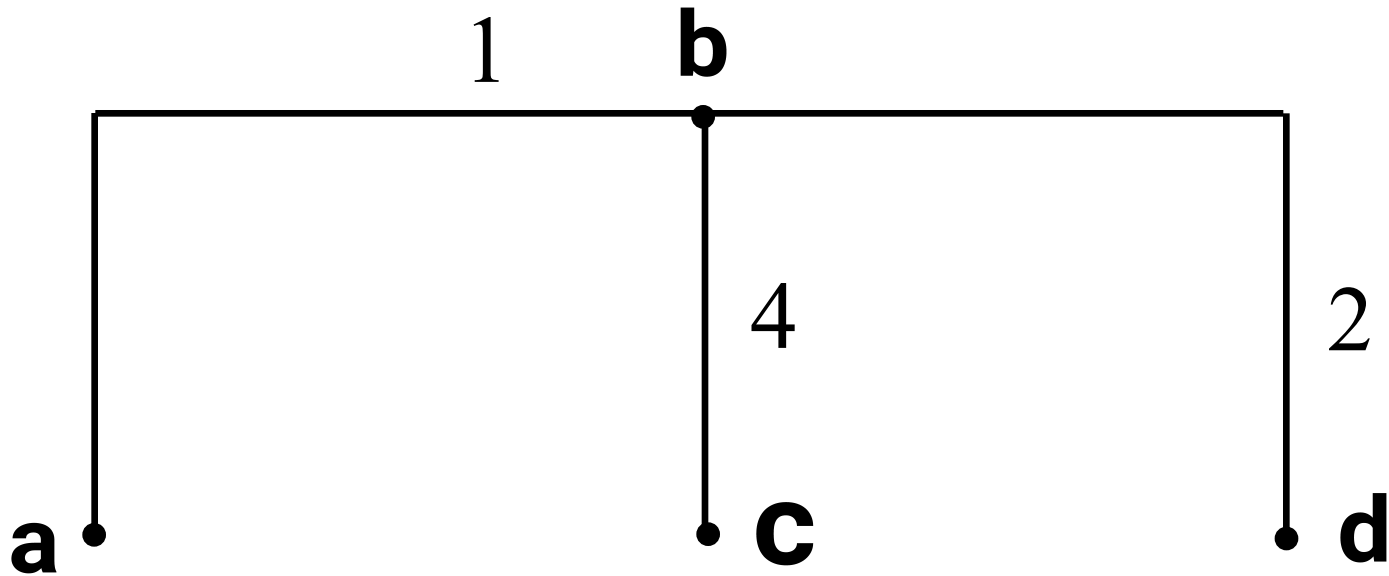


**Граф** – это изображение схемы в виде линий (ветвей) и точек (узлов). Стрелки на графе показывают направления токов в ветвях.

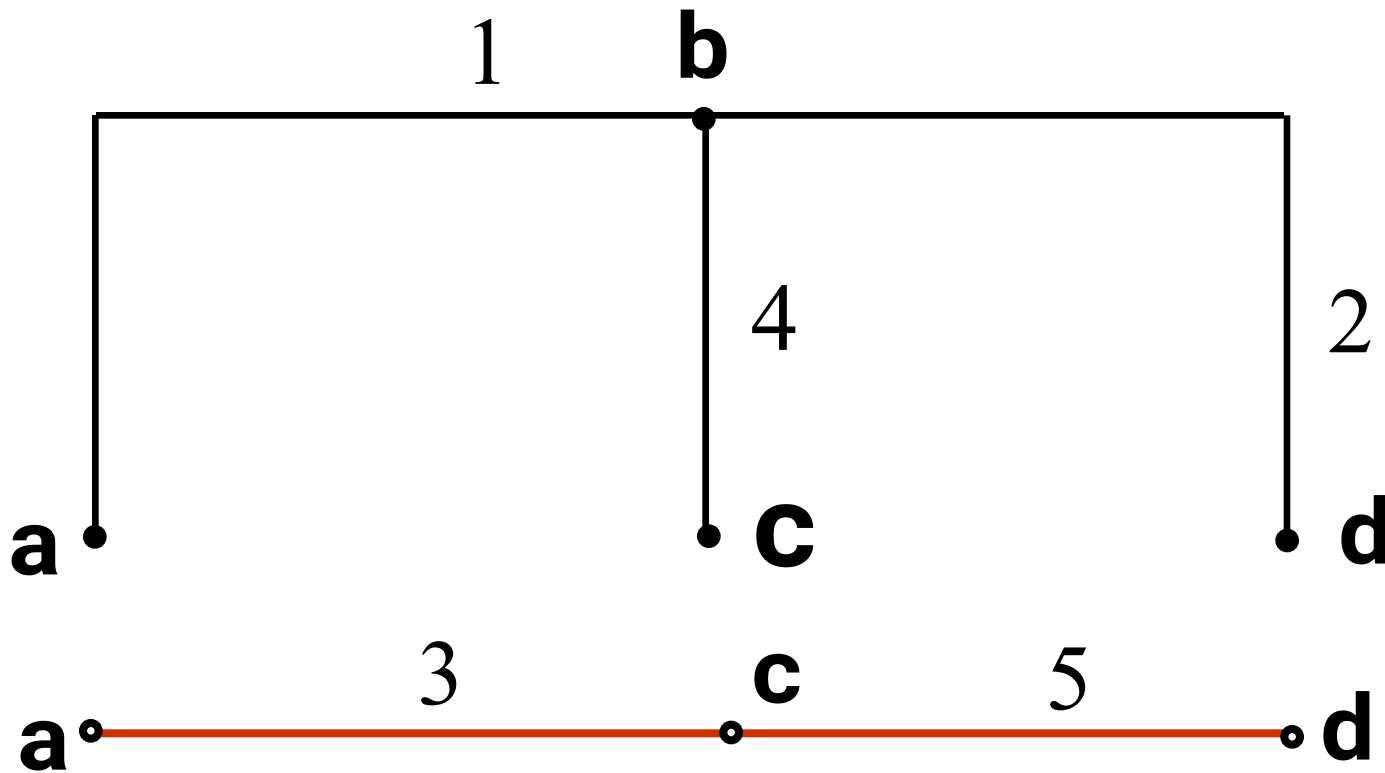




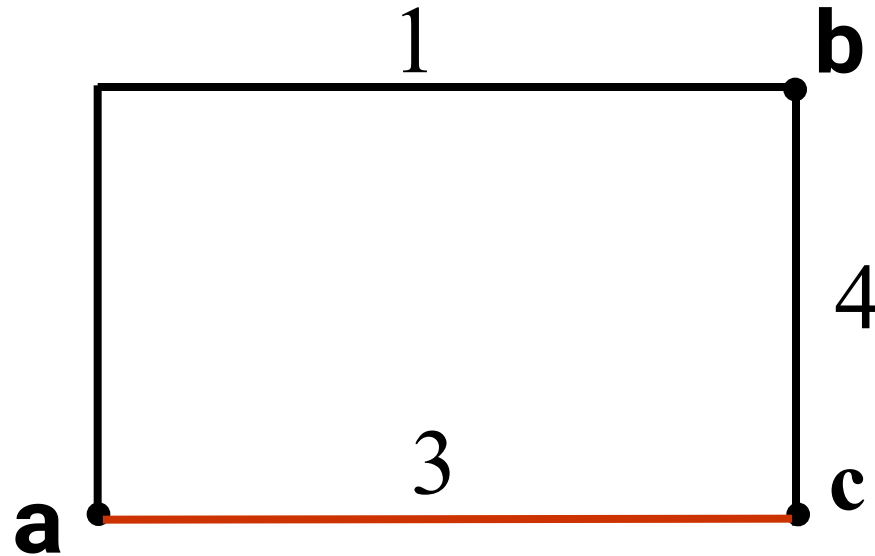
**Дерево** – это часть графа, соединяющая все узлы, но ни одного контура



**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

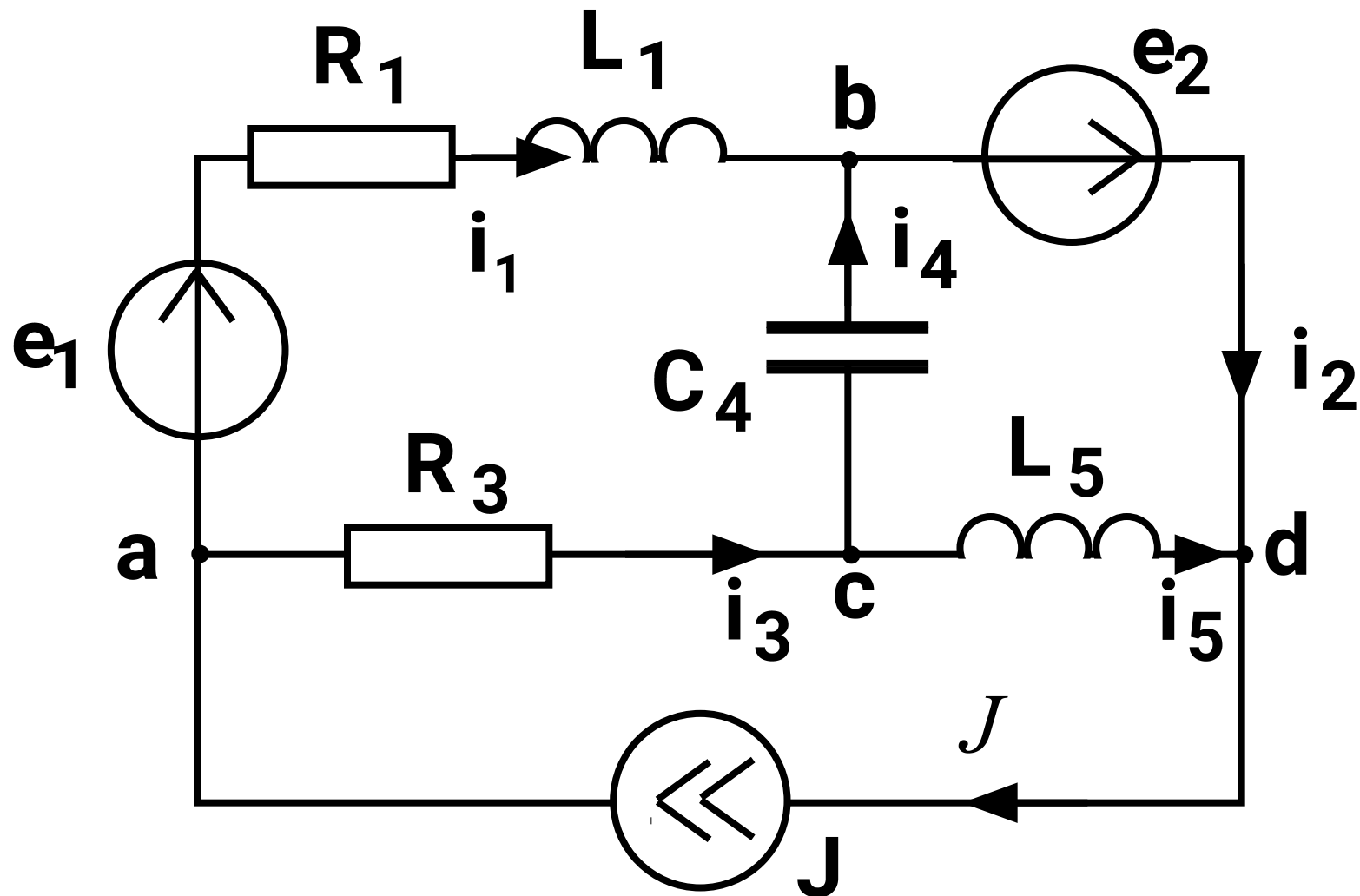
*Первый закон Кирхгофа:*

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.