



Астраханский государственный технический  
университет

Кафедра электротехники

# Линейные электрические цепи

## ПОСТОЯННОГО ТОКА

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- это отрасль науки и техники, связанная с применением электрических и магнитных явлений для преобразования энергии, охватывающая вопросы получения, преобразования и использования электрической энергии в практической деятельности человека.

Термины и определения основных понятий в области электротехники установлены

**ГОСТ Р 52002-2003 «Электротехника.**

**Термины и определения основных понятий».** - М.: Госстандарт России,

**2003 г.**, которые являются обязательными

для применения во всех видах

документации и литературы по

электротехнике.

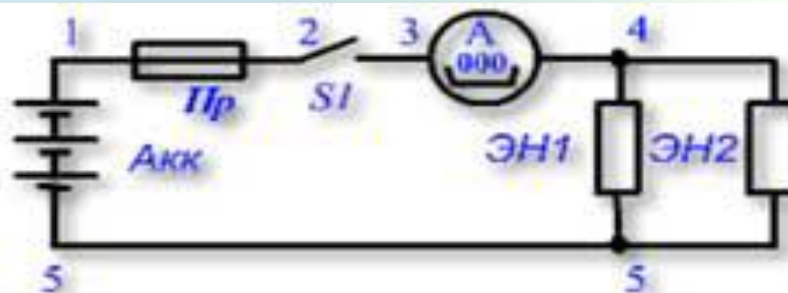
- **Электрическая цепь –**

- 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.

## **Схема электрической цепи**

- это её графическое изображение, содержащее условные обозначения элементов цепи и показывающее соединения этих элементов.

а) принципиальная схема



б) монтажная схема



в) схема замещения электрической цепи

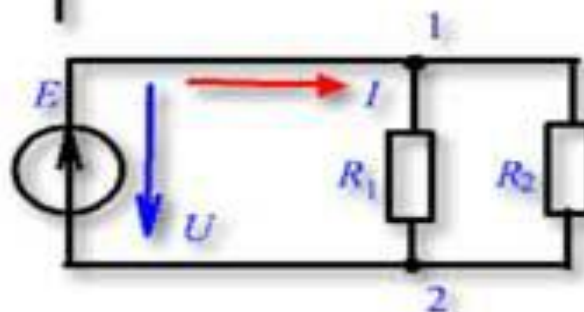


Рис. 1.1. Электрические схемы испытания двух нагревательных элементов

- **Схема замещения** - это расчетно-математическая модель электрической цепи, содержащая идеализированные **пассивные** и **активные** элементы.

# Топологические параметры схем

**ВЕТВЬ** - это участок электрической цепи, по которому протекает один и тот же ток

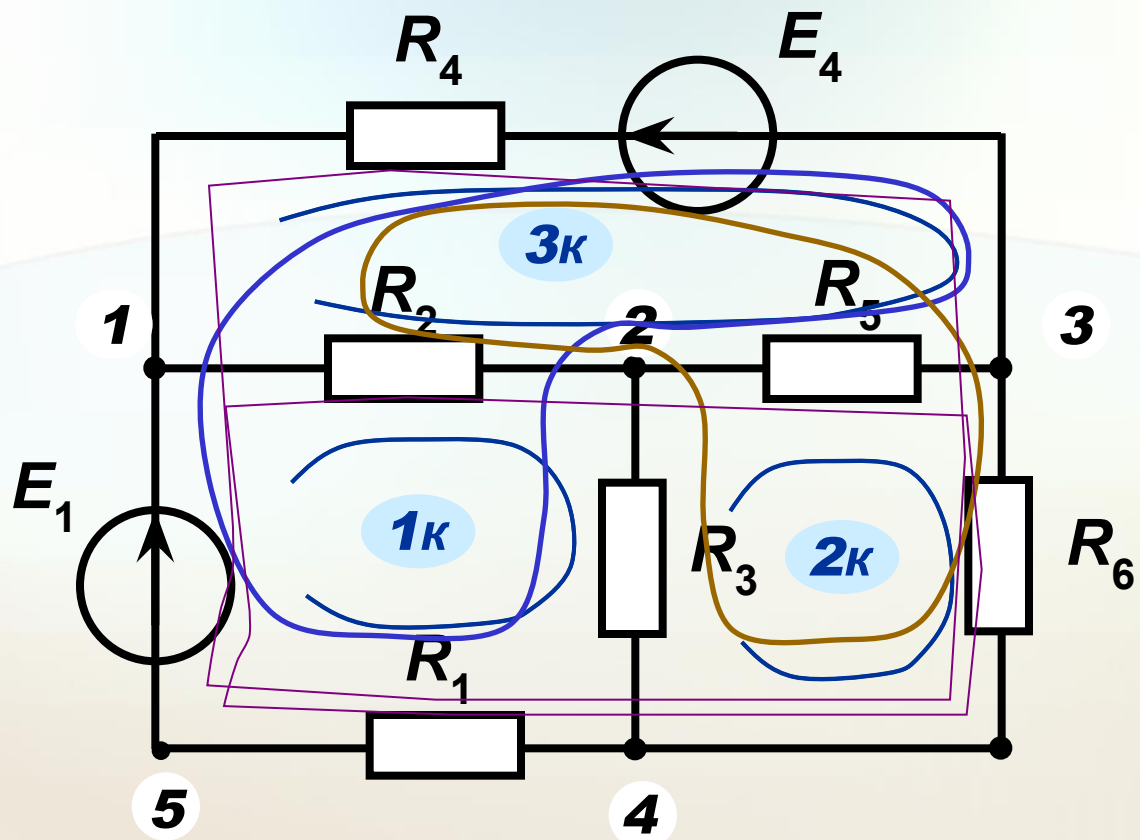
**УЗЕЛ** - это место соединения не менее трех ветвей электрической цепи.

Место, где объединены две ветви, обычно называют **соединением**

**КОНТУР** ветвей - это замкнутый участок цепи.

Линейно независимые контуры отличаются друг от друга хотя бы одной новой ветвью





# Состав электрической цепи





**Источник** электрической энергии — активный элемент электрической цепи, в котором преобразуются различные виды энергии (механическая, тепловая, световая и другие) в электрическую.



Приемники энергии (нагрузка) – это пассивные элементы, в которых **электрическая** энергия преобразуется **в другие виды**:

- механическую (электродвигатели)
- тепловую (нагревательные элементы)
- световую (люминесцентные лампы)

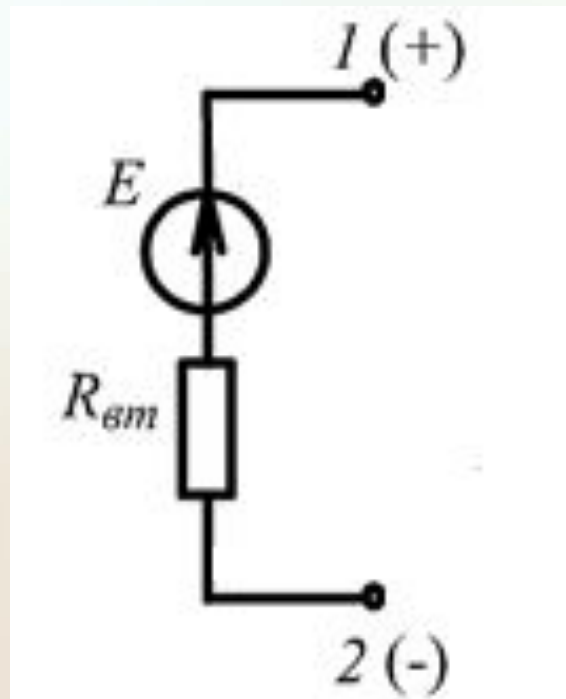


## Вспомогательные элементы:

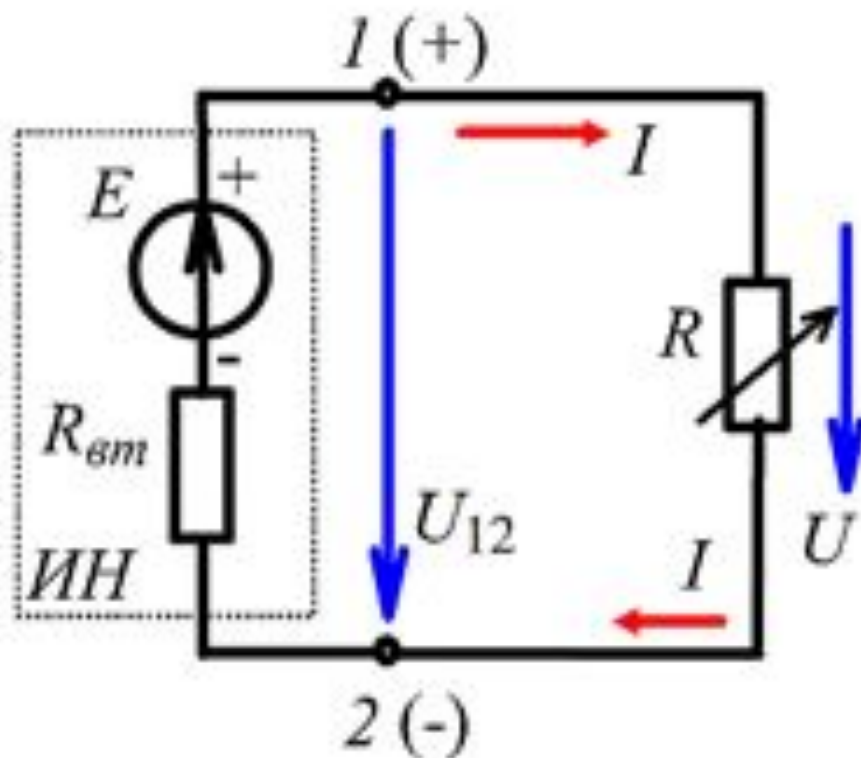
- выключатели
- предохранители
- измерительные приборы
- разъемы

# Источники напряжения и их характеристики

Источник электрического напряжения (ИН) - это источник электрической энергии, характеризующийся электродвижущей силой  $E$  и внутренним электрическим сопротивлением  $R_{вт}$ .



Рассмотрим процессы в цепи, состоящей из источника электрической энергии и нагрузки – резистора с сопротивлением  $R$ .



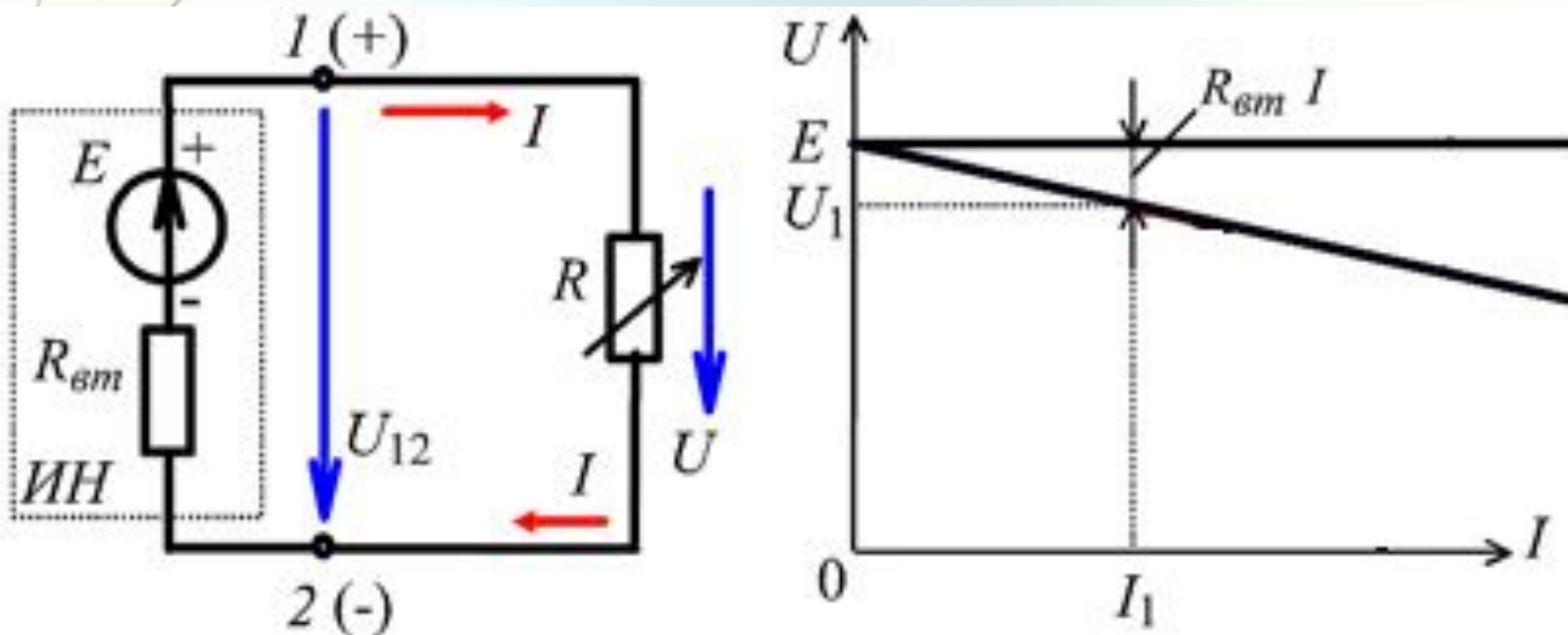
- При подключении к выводам 1 и 2 нагрузки  $R$  в замкнутом контуре цепи возникает ток  $I$

**Электрический ток** – явление направленного движения носителей электрических зарядов.

**Постоянным** называется электрический  
ТОК,  
**не изменяющийся** во времени.



**Вольт-амперная характеристика (внешняя)** – зависимость напряжения между его выводами от тока источника



напряжение на зажимах 1 и 2 уже не будет равно ЭДС вследствие

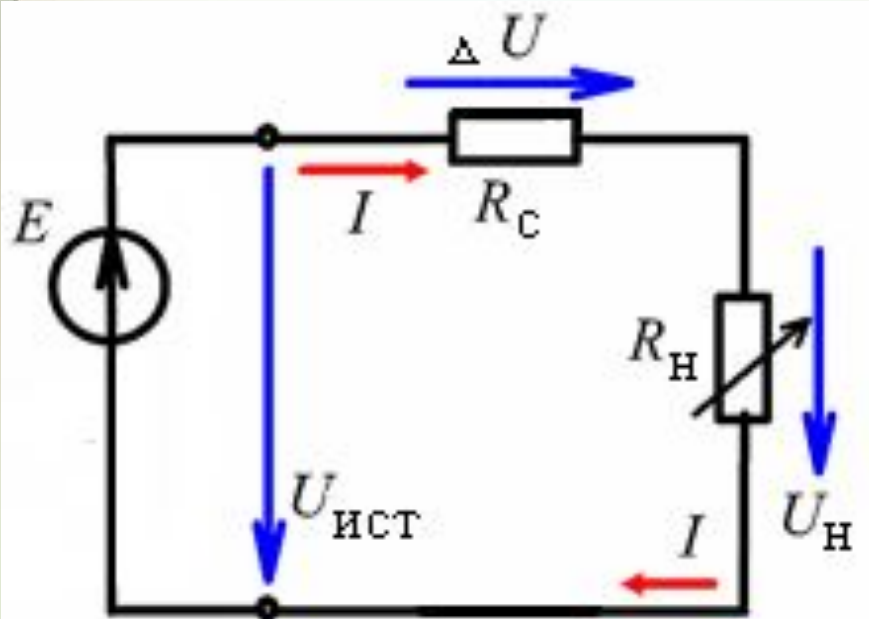
падения напряжения  $U_{вт} = R_{вт} I$  на внутреннем сопротивлении

$R_{вт}$  источника ЭДС:

$$U_{12} = E - U_{вт} = E - R_{вт} I$$

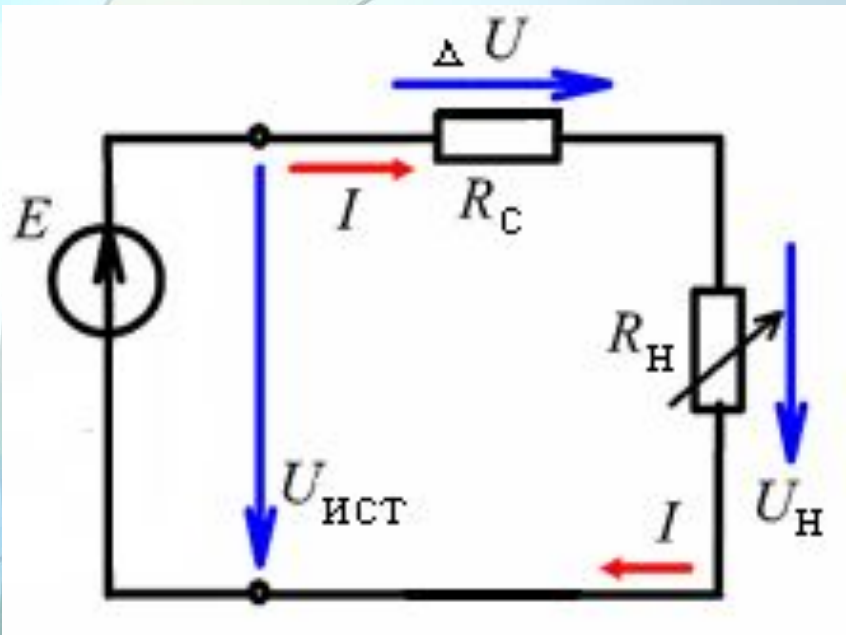
Обычно внутреннее сопротивление источника гораздо меньше сопротивления нагрузки  $R_{\text{вт}} \ll R_{\text{н}}$ , поэтому считают  $U_{\text{ист}} \approx E = \text{const.}$

Но в схему замещения электрической цепи добавляют сопротивление распределительной сети  $R_{\text{с}}$  ( $R_{\text{л}}$ ) — сопротивление проводов, соединяющих источник электрической энергии и потребителя:



$$\Delta U = U_{\text{ист}} - U_{\text{н}}$$

потери напряжения в сети

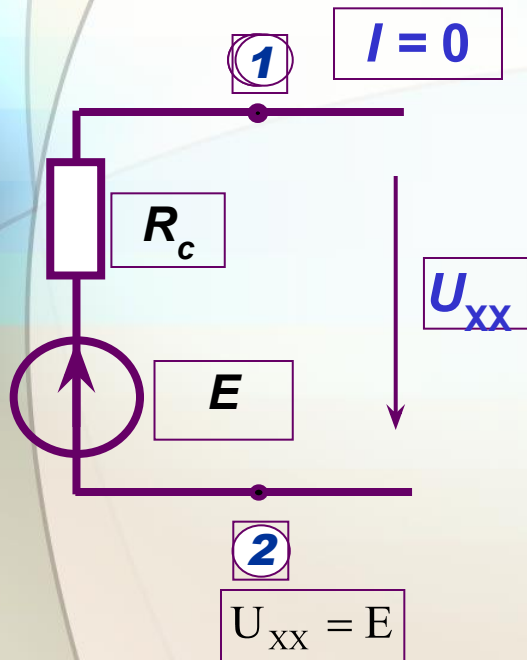


$$I = \frac{U_{ист}}{R_c + R_n}$$

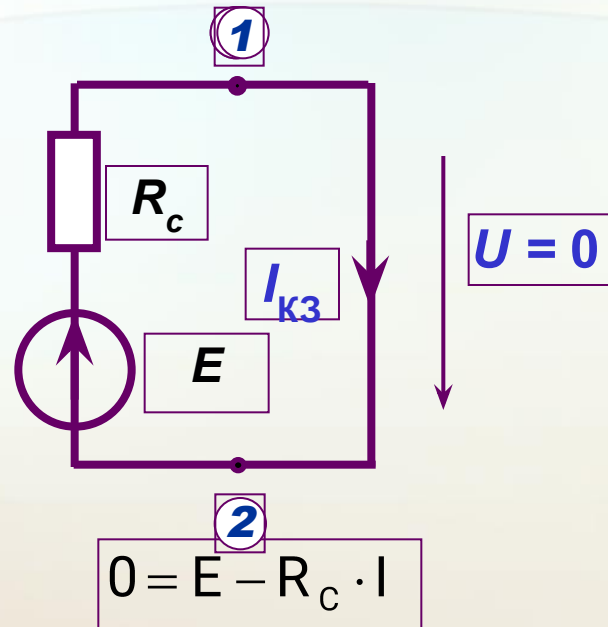
$$U_n = R_n I = U_{ист} - \Delta U = U_{ист} - R_c I$$

# Режимы работы реального источника ЭДС (напряжения)

Холостой ход

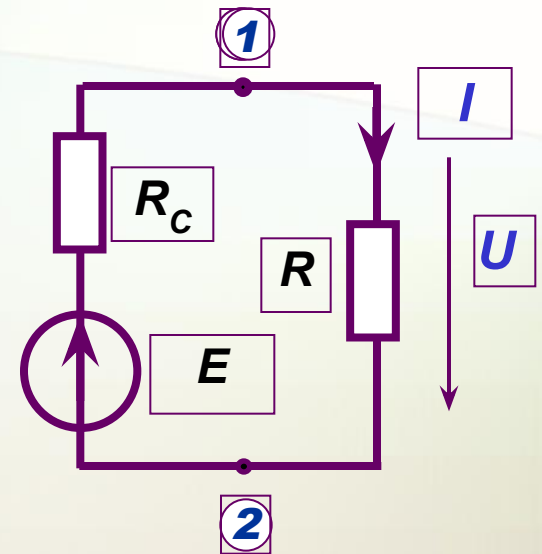


Короткое замыкание



$$R_c = \frac{U_{xx}}{I_{кз}}$$

Режим нагрузки



$$U = R \cdot I = E - R_c \cdot I$$

$$I = \frac{E}{R_c + R}$$

$$R_c = \frac{E}{I} - R = \frac{U_{xx}}{I} - R$$

# Работа и мощность электрического тока

- **Работа**, совершаемая электрическим полем при перемещении положительного заряда  $Q$  вдоль участка электрической цепи, не содержащего источников электрической энергии, равна произведению этого заряда на напряжение между концами участка:
  - $A=QU$ .
- Для оценки энергетических условий важно знать, как быстро совершается работа, то есть определить мощность
  - $P=UI$
- Основная единица работы – джоуль (Дж)
- мощности – ватт (Вт)

# КПД

**Полезная работа** – электрическая энергия, преобразованная в приемниках в другие виды (тепловая и механическая).

**Затраченная работа** – электрическая энергия, обусловленная источниками.

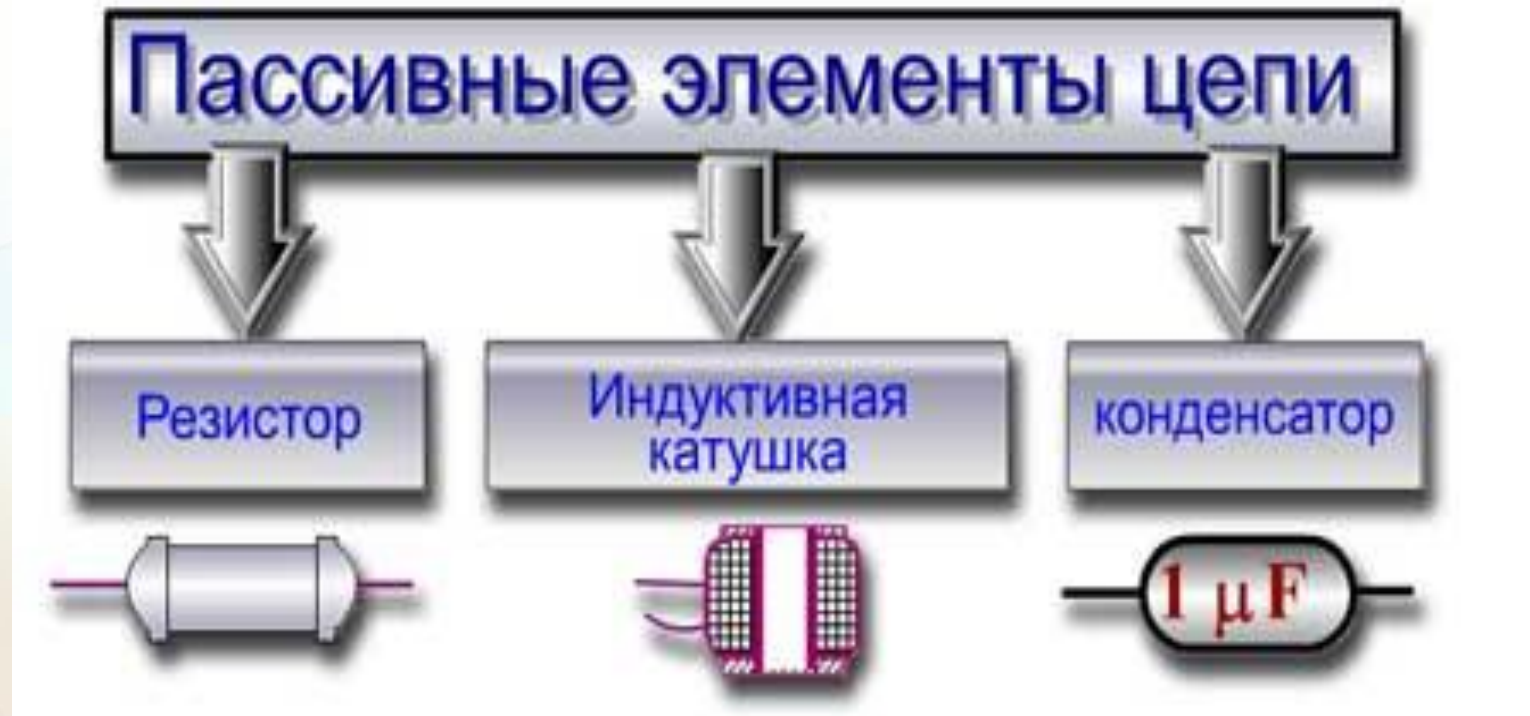
Отношение полезной работы к затраченной называют коэффициентом полезного действия.

$$\eta = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{ист}}}$$

$$P_{\text{ист}} = U_{\text{ист}} I$$

$$P_{\text{н}} = U_{\text{н}} I$$

# Пассивные элементы цепи и их характеристики



**Пассивными** называют элементы, которые не способны генерировать электрическую энергию.

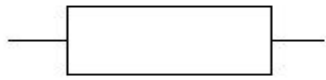
В линейной электрической цепи постоянного тока параметры всех элементов считаются неизменными.

**Резистор** - это идеализированный элемент электрической цепи, предназначенный для использования его **электрического сопротивления**.

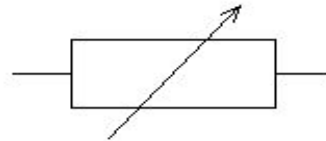
Этот элемент не может накапливать энергию, а получив электрическую энергию, мгновенно и необратимо преобразовывает её в другие виды энергии: тепловую, световую и др.



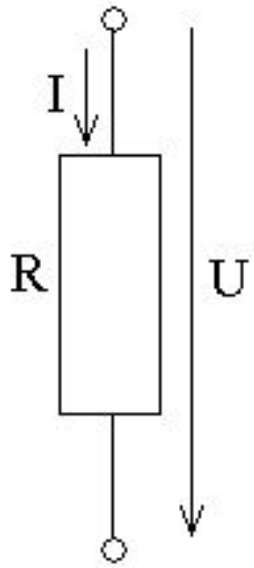
# Условные графические обозначения:



- резистор постоянный



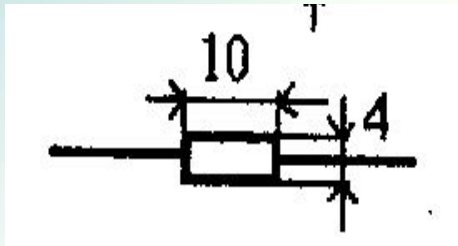
- резистор переменный



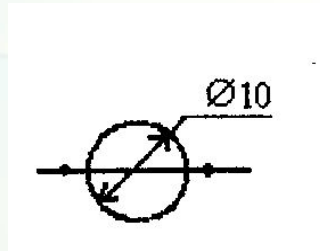
**Электрическое сопротивление** постоянному току - скалярная величина  $R$ , равная отношению постоянного напряжения  $U$  на участке  $ab$  пассивной цепи к постоянному току  $I$  в нем, при отсутствии на участке ЭДС, т. е.  $R = U_R / I_R$ .

Единица сопротивления в системе СИ – ом (Ом)

Резистор



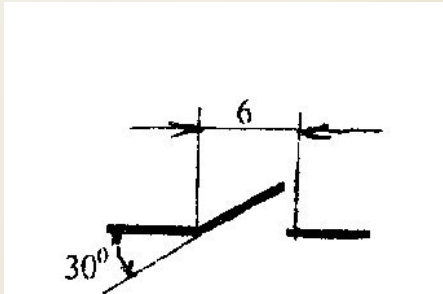
Измерительный прибор



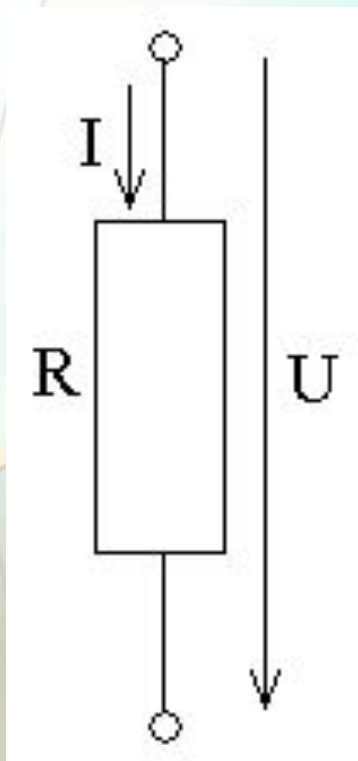
Лампа накаливания



Контакт замыкающий



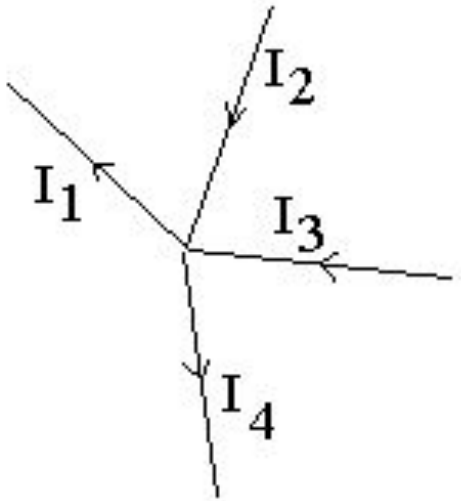
# Закон Ома для участка цепи



Сила тока на участке электрической цепи прямо пропорциональна напряжению, приложенному к этому участку, и обратно пропорциональна сопротивлению:

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

# Первый закон Кирхгофа



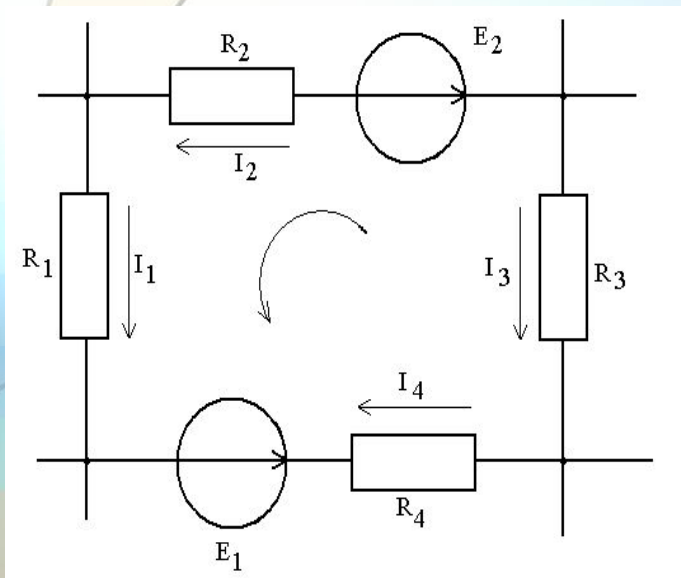
Алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю:

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

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

При этом токи, направленные к узлу, записываются со знаком «плюс», а токи, направленные от узла, - со знаком «минус».

## Второй закон Кирхгофа



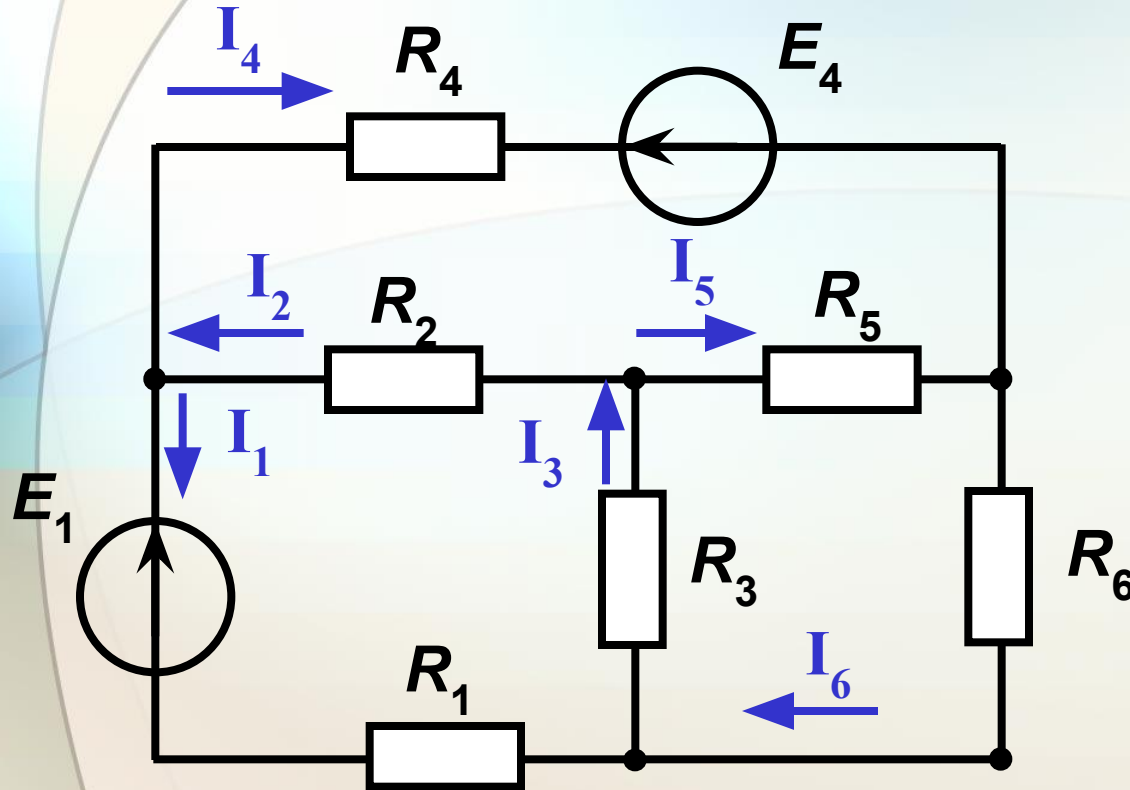
Алгебраическая сумма падений напряжений в ветвях любого замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре,:

$$\sum_{i=1}^n R_i I_i = \sum_{i=1}^n E_i$$

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4 = E_1 - E_2$$

Направление обхода контура выбираем произвольно (в примере против часовой стрелки).

# Применение законов Кирхгофа к расчету цепей



Даны:  $E$ ,  $R$

Определить токи на  
каждом участке цепи

Составляем систему  
уравнений

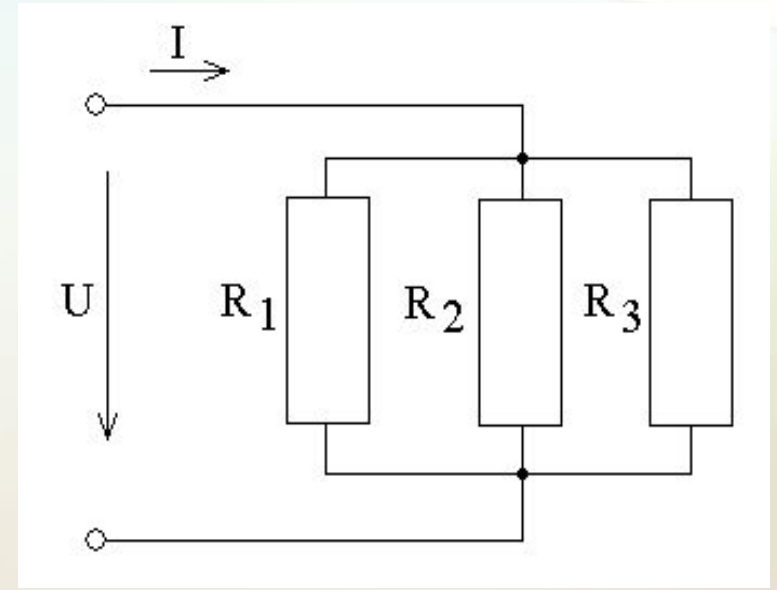
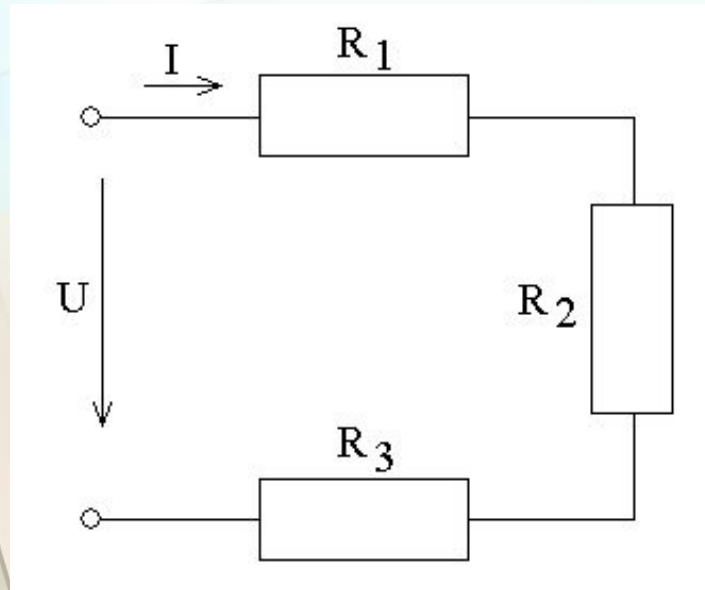
Число уравнений системы  
= числу токов  
= числу ветвей = 6

Число уравнений по 1 закону =  
число узлов - 1  
То есть  $4 - 1 = 3$

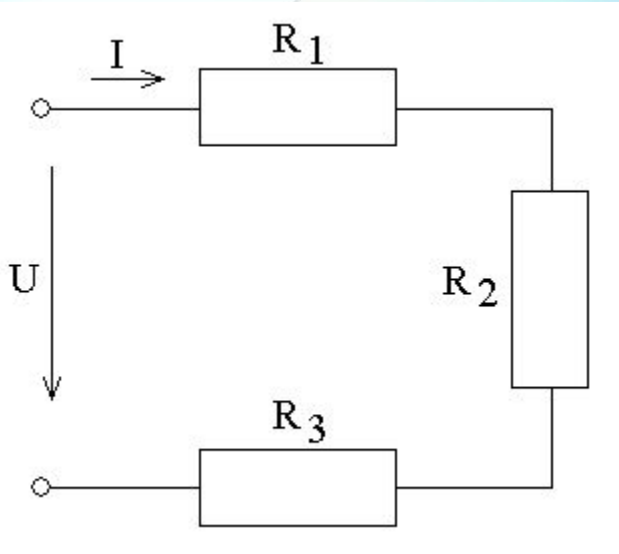
Остальные – по 2 закону

# Возможны следующие соединения резисторов в цепи постоянного тока:

последовательное      и      параллельное.



# Последовательное соединение резисторов



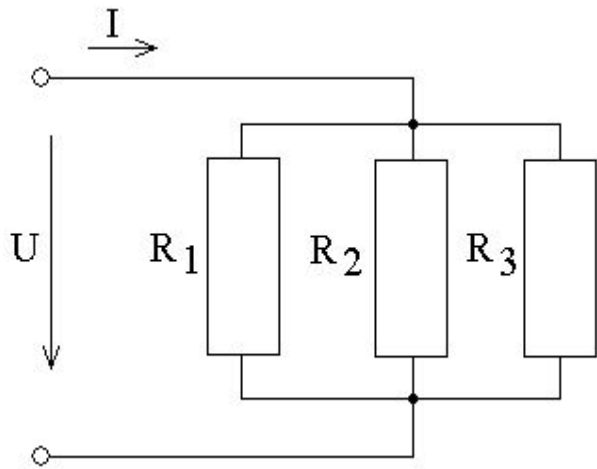
Конец первого резистора  
соединяется с началом второго,  
конец второго с началом третьего  
и т.д.

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

Сопротивление всей цепи равно сумме  
сопротивлений резисторов последовательных  
участков



# Параллельное соединение резисторов



Величина, обратная сопротивлению, называется **проводимостью**  $G = 1/R$

Единица проводимости  
в системе СИ – сименс (См)

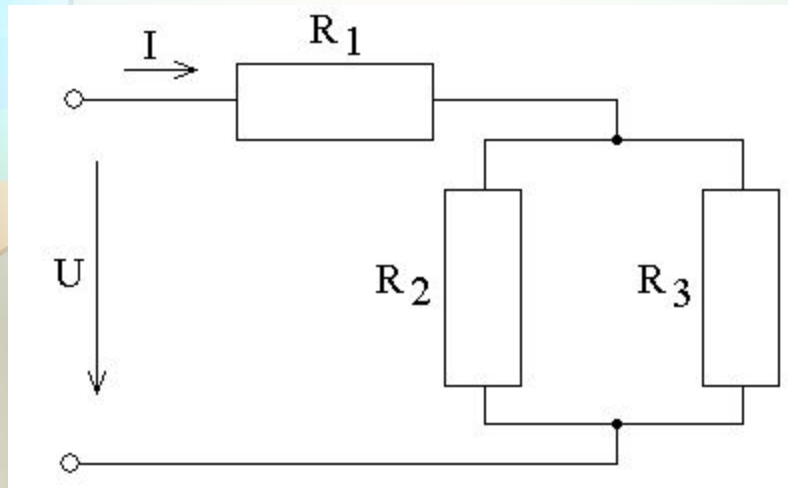
$$G = G_1 + G_2 + G_3$$

или  $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$

**Проводимость всей цепи равна  
сумме проводимостей  
резисторов параллельных  
участков**

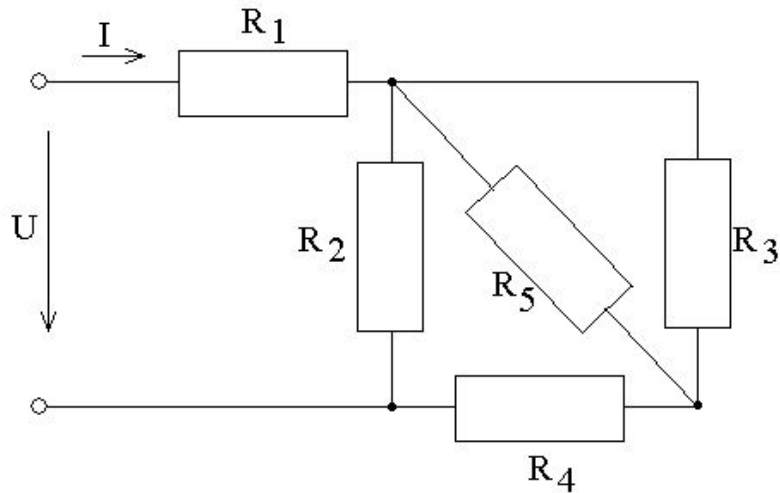
## Смешанное соединение резисторов —

соединение, где имеются и последовательное, и параллельное соединения отдельных резисторов.



При расчете таких цепей вначале определяют сопротивления параллельно или последовательно соединенных групп, после чего определяют сопротивление всей цепи.

# Практическое задание



$$R_1 = 1 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 4 \text{ Ом}$$

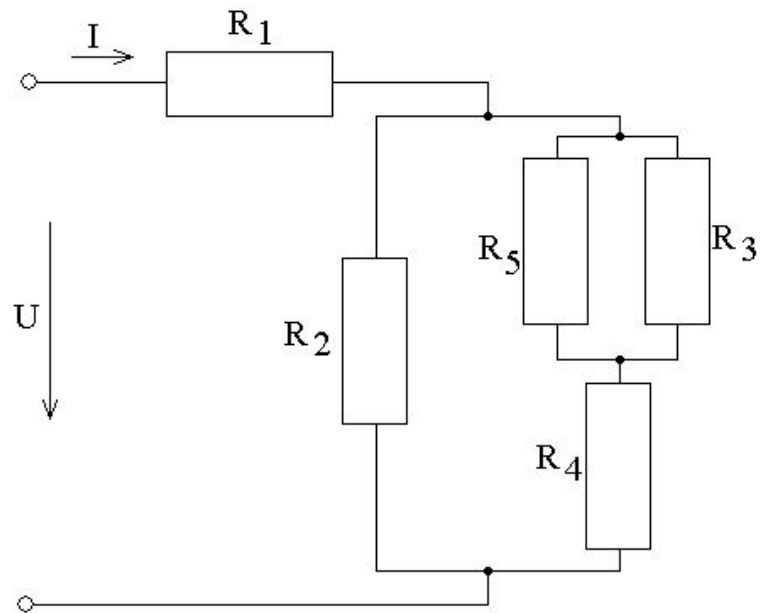
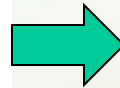
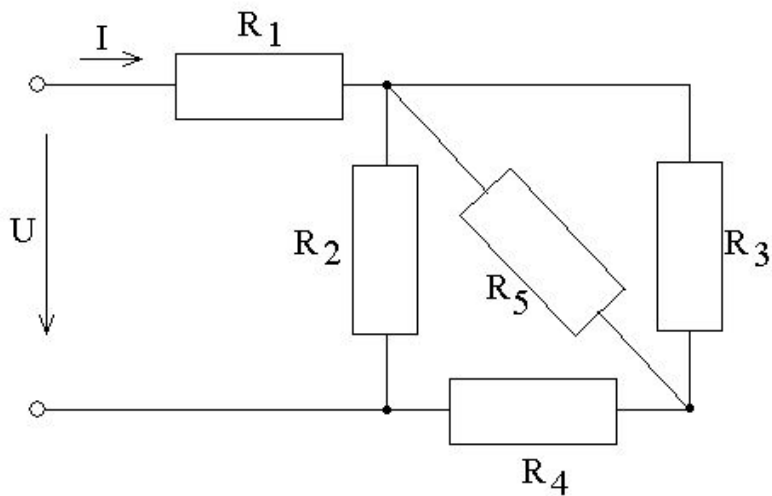
$$R_3 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_5 = 6 \text{ Ом}$$

Определить сопротивление  
схемы

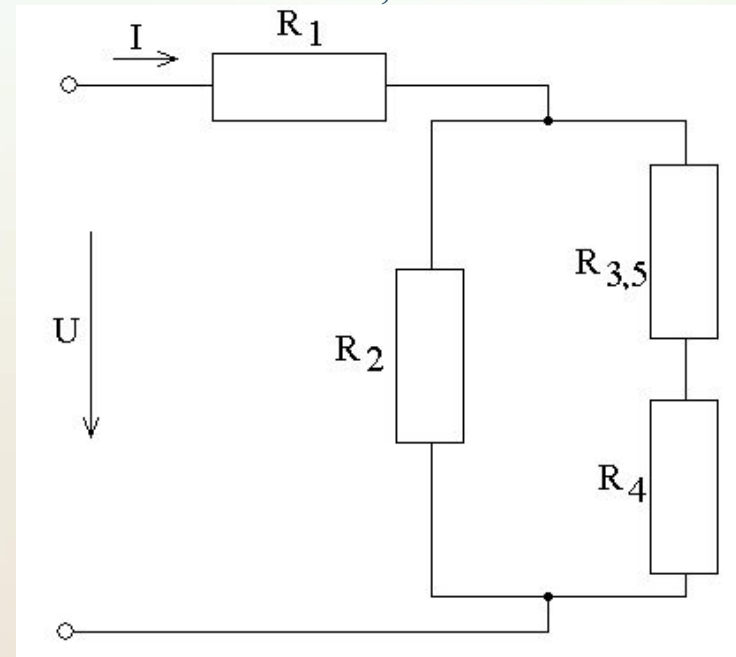
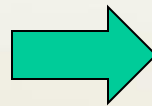
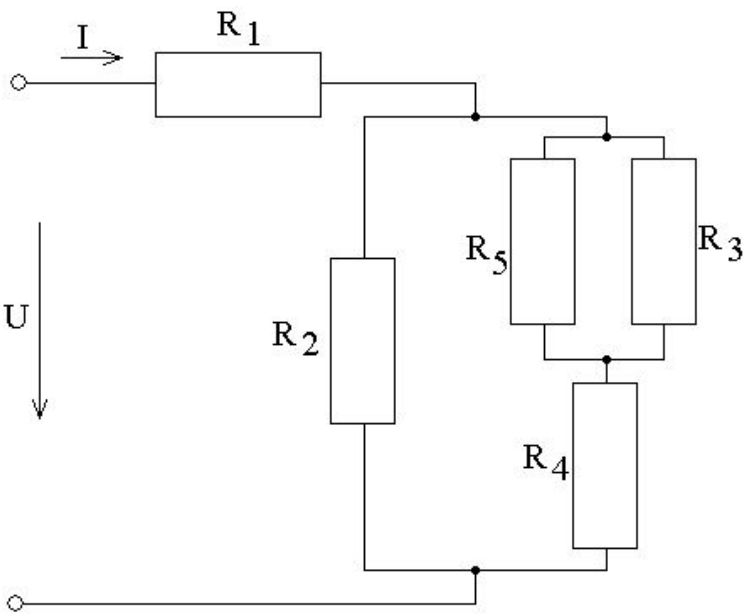
Для большей наглядности параллельного и последовательного соединения резисторов данную схему можно преобразовать:



Сначала находим сопротивление для  $R_3$  и  $R_5$ , которые соединены параллельно:

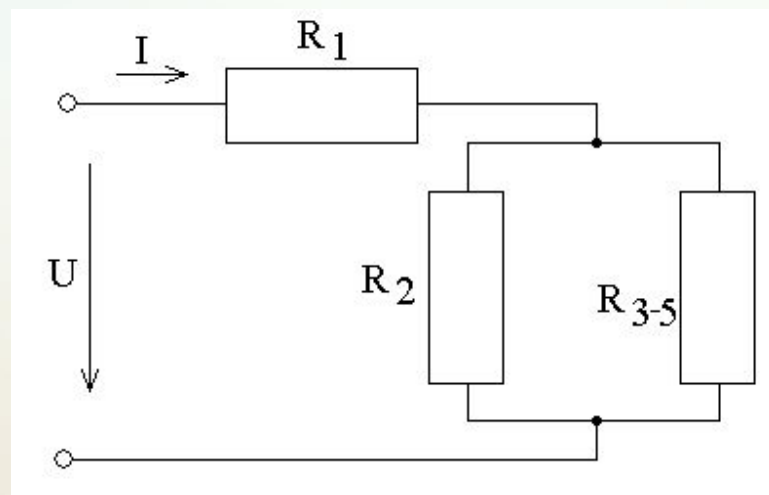
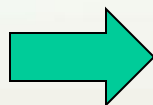
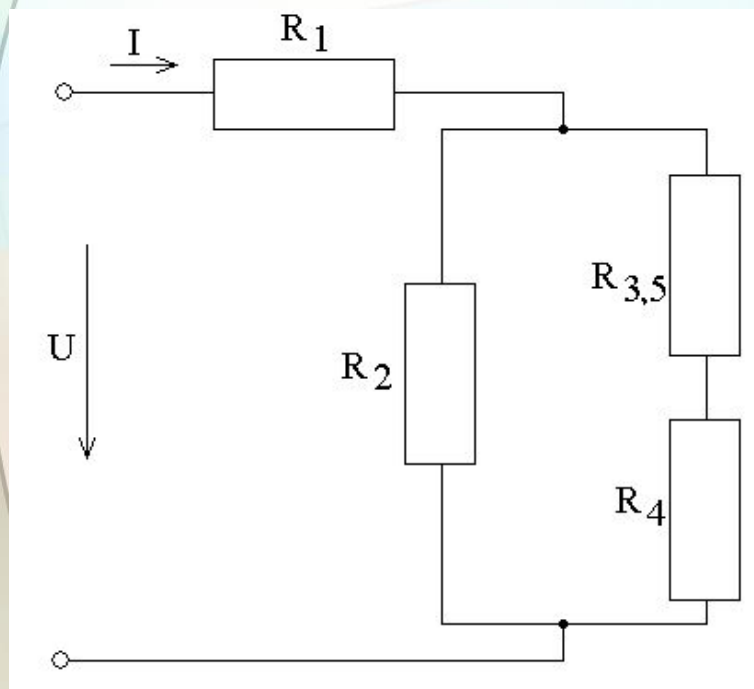
$$\frac{1}{R_{3,5}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{1}{2} \Rightarrow R_{3,5} = 2 \text{ Ом}$$

Упрощаем исходную схему, заменяя  $R_3$  и  $R_5$  на  $R_{3,5}$ :



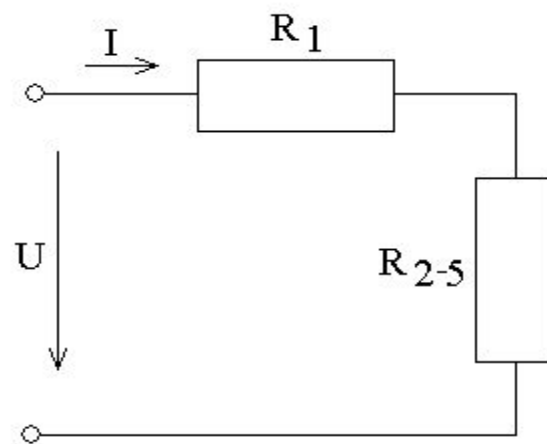
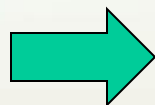
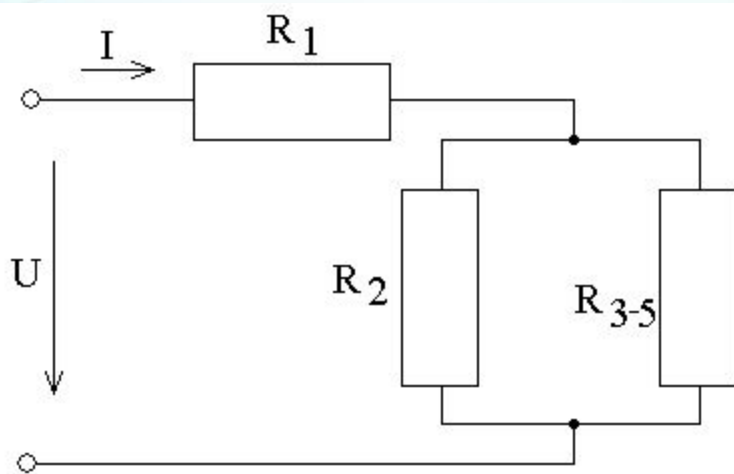
Далее находим  $R_{3-5}$  для последовательно соединенных  $R_{3,5}$  и  $R_4$ :  $R_{3-5} = R_{3,5} + R_4 = 2 + 2 = 4 \text{ Ом}$

Упрощаем схему:



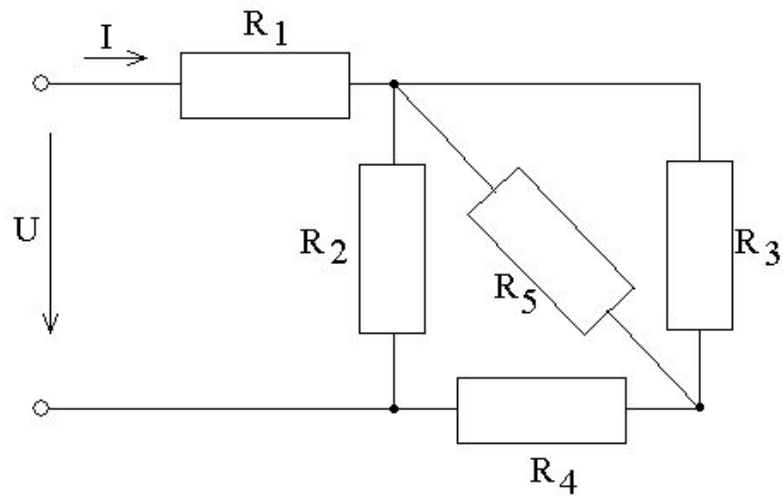
Определяем  $R_{2-5}$  для параллельных  $R_2$  и  $R_{3-5}$  :

$$\frac{1}{R_{2-5}} = \frac{1}{R_{3-5}} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \quad \Rightarrow R_{2-5} = 2 \text{ Ом}$$



Сопротивление всей схемы определим для последовательно соединенных резисторов  $R_1$  и  $R_{2-5}$ :

$$R = R_1 + R_{2-5} = 1 + 2 = 3 \text{ Ом}$$



**Итого:  $R = 3 \text{ Ом}$**