

ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Содержание

- 1,2 – Основные понятия и определения
- 3 – Закон Ома
- 4 – Первый и второй законы Кирхгофа
- 5 – Режимы работы электрических цепей
- 6 – Последовательное соединение резисторов
Параллельное соединение резисторов
- 7 – Смешанное соединение резисторов
- 8 – Преобразование схем соединения резисторов «звезда» и «треугольник»
- 9 – Классификация электрических цепей
- 10 – Метод прямого применения законов Кирхгофа
- 11 – Метод наложения (суперпозиции)
- 12 – Метод контурных токов
- 13 – Метод эквивалентного генератора
- 14 – Метод узлового напряжения
- 15 – Уравнение баланса мощностей электрической цепи
- 16 – Потенциальная диаграмма
- 17 – Включение амперметра и вольтметра



Литература

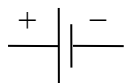
1. Электротехника, основы электроники и электрооборудование химических производств / В. И. Горошко, И. О. Оробей, Л. М. Давидович. – Минск: БГТУ, 2006. – 246 с.
2. Данилов, И. А. Общая электротехника с основами электроники / И. А. Данилов, П. М. Иванов. – М.: Высш. шк., 1998. – 752с.
3. Иванов, А.А. Электротехника / А. А. Иванов. – СПб.: Лань, 2005. – 496 с.
4. Касаткин, А. С. Курс электротехники / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – М.: Современный литератор, 2005. – 542 с.
5. Основы електронікі / Н. П. Краеўская, В. К. Мороз. – Мінск.: БДТУ, 2007. – 84с.
- 6 . Рекус, Г. Г. Электрооборудование производств/ Г. Г. Рекус. – М.: Высш. шк., 2005. – 709 с.
7. Трансформаторы, электрические машины и электропривод. – Минск: БГТУ. 2006. – 59 с.
9. Электрические цепи. – Минск: БГТУ. 2005. – 56 с.
10. Электротехника и основы электроники / О. И. Александров, Н. П. Коровкина, В. В. Сорока. – Минск.: БГТУ, 2013. – 80с.

Основные понятия и определения

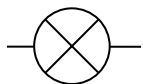
Электрической цепью называют совокупность источников питания (генераторы, гальванические элементы, аккумуляторные батареи и др.) и приемников электрической энергии (электрические двигатели, источники света, нагревательные элементы и др.) и соединяющих их проводов, создающих путь для электрического тока, процессы в которой описывают с помощью понятий электродвижущей силы (ЭДС), тока, напряжения.

Источники питания, приемники электрической энергии, соединяющие их провода являются основными элементами электрической цепи. К элементам цепи относятся также аппараты управления (автоматы, контакторы, магнитные пускатели и др.), защиты (предохранители, тепловые реле и др.), преобразующие устройства (трансформаторы, выпрямители и др.) и электроизмерительные приборы.

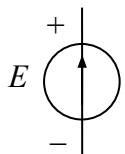
Графическое изображение элементов электрической цепи с помощью условных обозначений (согласно действующему ГОСТу) называется **электрической схемой**.



- гальванический или аккумуляторный элем.



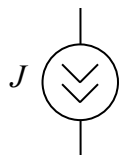
- лампа накаливания



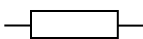
- источник ЭДС



-нагревательный элемент



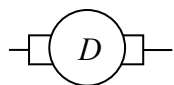
- источник тока



- резистор



- амперметр



- двигатель постоянного тока



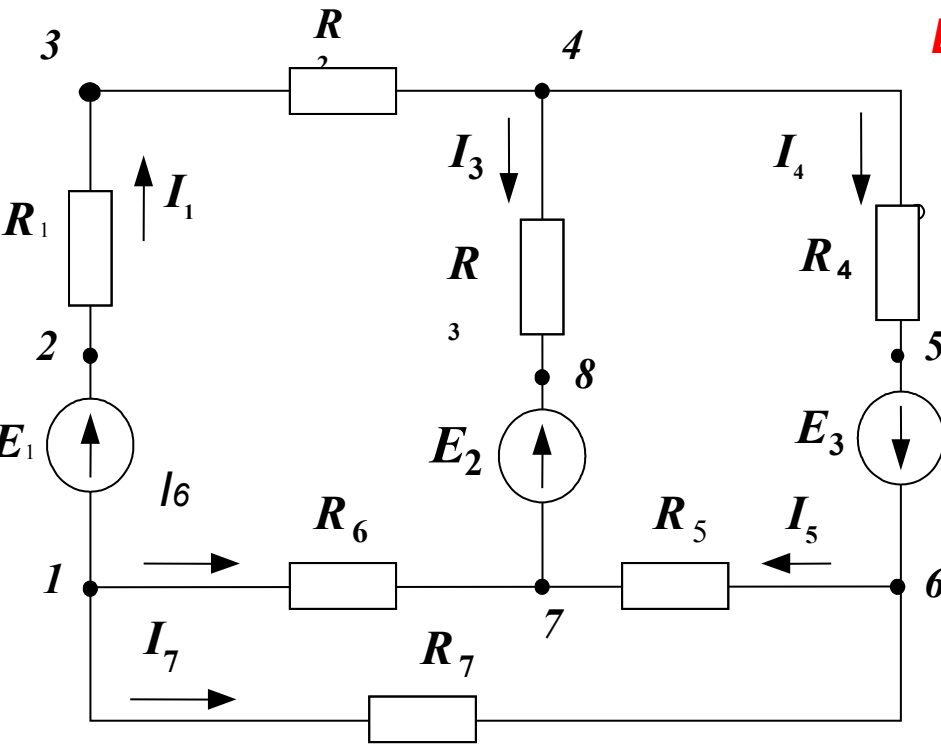
- предохранитель

Топологические понятия электрической цепи: точка, ветвь, узел, узловая точка, контур

Параметры, характеризующие элементы:

R – омическое сопротивление

E – электродвижущая сила (ЭДС)



Положительное направление тока I – направление движения положительных зарядов. Ток в цепи протекает в направлении убывания электрического потенциала.

Положительное направление напряжения U между двумя точками электрической цепи – направление движения положительного заряда под действием сил электрического поля, т. е. от большего потенциала к меньшему.

Положительное направление ЭДС E – направление перемещения положительных зарядов под действием сил стороннего поля, т.е. от меньшего потенциала к большему.

Закон Ома

Ом родился в семье немецкого ремесленника - слесоря **16 марта 1787 года**. В 1820 году почти одинаково с Ампером начинает заниматься исследованием гальванических цепей .

В 1826 г. экспериментально, а в **1827 г.** теоретически вывел основной закон электрической цепи, связывающий сопротивление цепи, электродвижущую силу и силу тока (**закон Ома**)



ГЕОРГ СИМОН ОМ

В 1827 году он опубликовал монографию под названием «Гальваническая цепь в математическом описании».

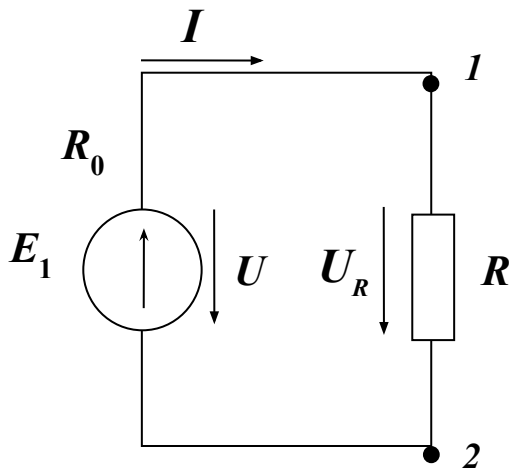
- .
- Согласно закону Ома, ток, протекающий по участку цепи, прямо пропорционален напряжению U на этом участке и обратно пропорционален сопротивлению R этого участка.
 - Закон Ома для электрической цепи

$$I = E / (R + R_0)$$

- .
- где R_0 – внутреннее сопротивление источника питания

- Для участка цепи 1–2 :

$$I = U_R / R$$

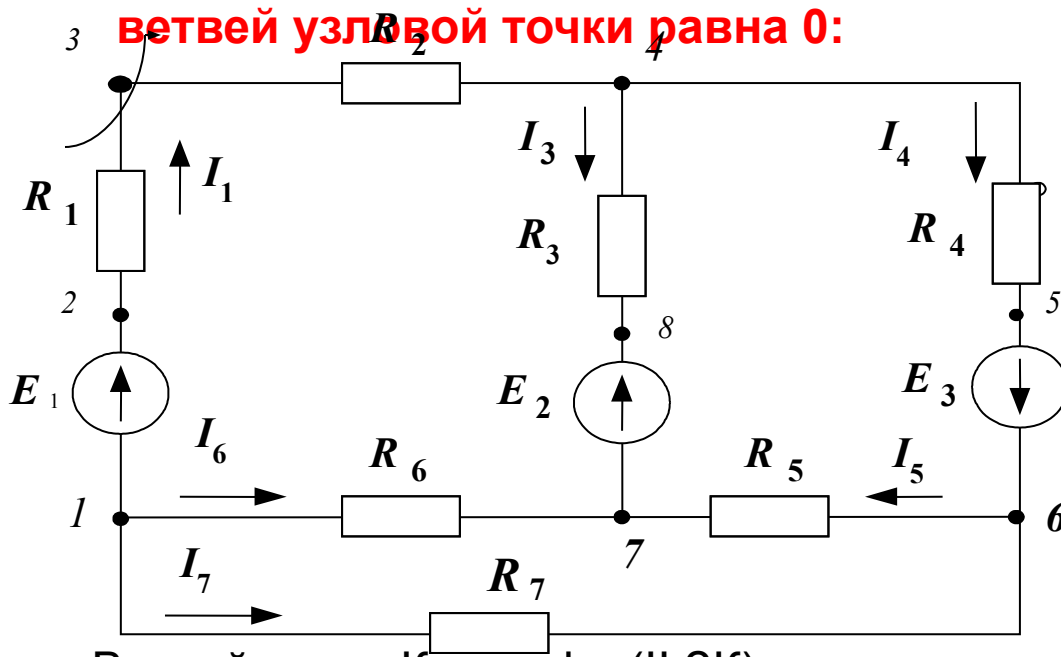


Первый и второй законы Кирхгофа

Первый закон Кирхгофа вытекает из закона сохранения заряда.

Согласно первому закону Кирхгофа (I ЗК), алгебраическая сумма токов

ветвей узловой точки равна 0:



$$\sum_{k=1}^n I_k = 0.$$

для узловой точки 4 :

$$I_1 - I_4 - I_3 = 0,$$

Второй закон Кирхгофа (II ЗК) является следствием закона сохранения энергии.

Согласно II закону Кирхгофа, в замкнутом контуре электрической цепи

алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме напряжений на

всех резистивных элементах контура:

$$\sum_{k=1}^m E_k = \sum_{k=1}^n U_k$$

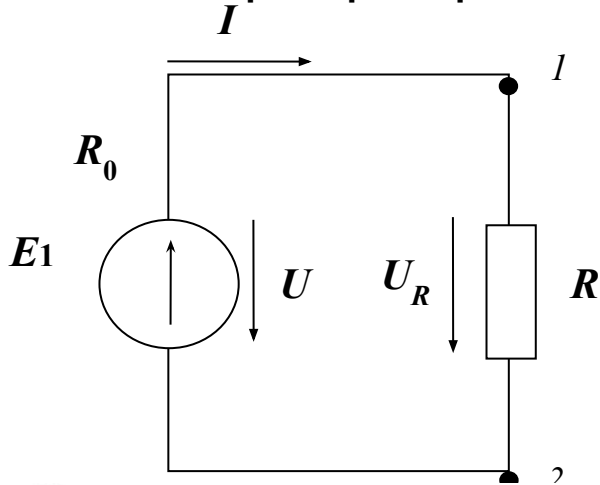
Для контура 1-4-7-1 запишем II ЗК:

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 + I_1 R_2 + I_3 R_3 - I_6 R_6,$$

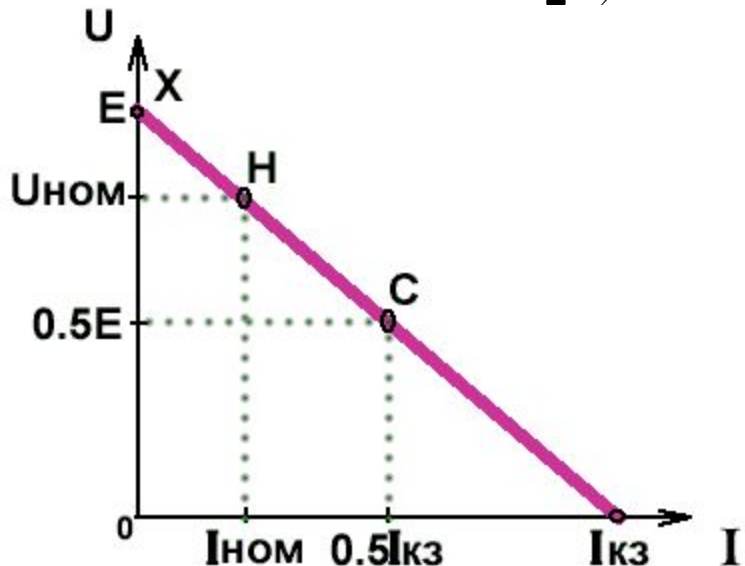
Режимы работы электрических цепей

Электротехнические устройства работают в различных режимах, которые характеризуются значениями токов и напряжений.

Наиболее характерные режимы работы электрических цепей следующие:

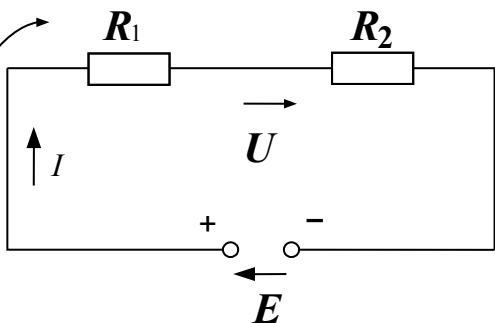


1. **Режим холостого хода** – это режим при отключенной нагрузке, следовательно, цепь разомкнута, а ток в цепи $I = 0$. Следовательно $E_1 = IR_0 + IR$, или $E_1 = IR_0 + U$. Если $I = 0$, то ЭДС источника питания $E_1 = U$.
2. **Номинальный режим** – это режим, когда элементы цепи работают при паспортных значениях тока, напряжения и мощности, т. е. номинальных значениях тока $I_{ном}$, напряжения $U_{ном}$, мощности $P_{ном}$, соответствующим самым выгодным условиям работы устройства с точки зрения экономичности надежности, долговечности и т. п.
3. **Режим короткого замыкания** – это режим, когда сопротивление приемника $R = 0$, что соответствует соединению разнопотенциальных зажимов источника питания проводником с нулевым сопротивлением. Тогда, $I_k = E_1/R_0$, а $U = 0$ – это значит, что ток короткого замыкания может достигать больших значений, во много раз превышая номинальный ток. Поэтому этот режим является аварийным для электроустановок.
4. **Согласованный режим** источника питания и внешней цепи имеет место, когда $R = R_0$. Ток в этом режиме $I_c = E_1/2R_0 = 0,5I_k$.



Внешняя характеристика источника Э.Д.С.

Последовательное соединение резисторов



Применив II ЗК для цепи, определим **эквивалентное сопротивление**

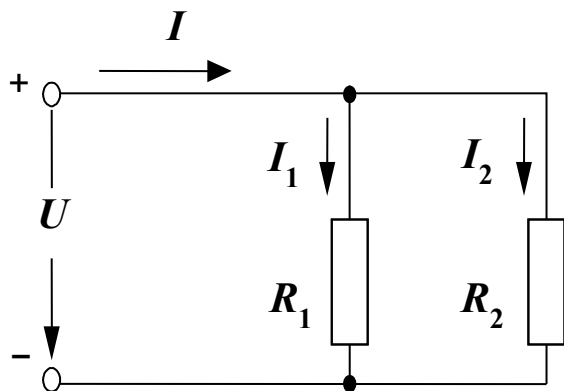
$$IR_1 + IR_2 = E; U_1 + U_2 = E; U_1 + U_2 = U; I(R_1 + R_2) = U; IR_{\text{ЭКВ}} = U,$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = R_1 + R_2.$$

$$I = U/R_{\text{ЭКВ}}$$

При последовательном соединении сопротивлений по всем элементам цепи протекает один и тот же ток.

Параллельное соединение резисторов



$$I_1 = U/R_1, I_2 = U/R_2.$$

$$I = I_1 + I_2, \text{ или } I = U/R_{\text{ЭКВ}}.$$

$U/R_{\text{ЭКВ}} = U/R_1 + U/R_2; UG_{\text{ЭКВ}} = UG_1 + UG_2,$
где G – проводимость элемента цепи, См

$$G_{\text{ЭКВ}} = 1/R_{\text{ЭКВ}}; G_1 = 1/R_1; G_2 = 1/R_2$$

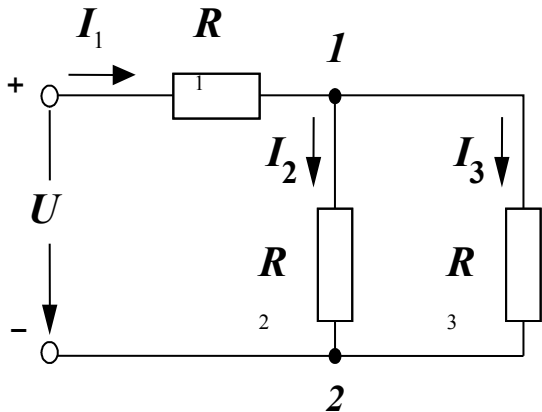
$$1/R_{\text{ЭКВ}} = 1/R_1 + 1/R_2,$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2).$$

При параллельном соединении сопротивлений напряжения на элементах схемы одинаковы.

Смешанное соединение резисторов

Расчет цепи ведется методом эквивалентных преобразований



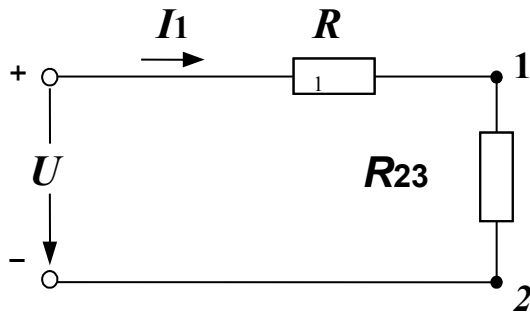
$$R_{23} = R_2 R_3 / (R_2 + R_3);$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = R_1 + R_{23};$$

$$I_1 = U / R_{\text{ЭКВ}}, \text{ или } I_1 = G_{\text{ЭКВ}} U;$$

$$U_{12} = I_1 R_{23},$$

$$I_2 = U_{12} / R_2; \quad I_3 = U_{12} / R_3;$$



При расчете цепи со смешанным соединением сопротивлений пользуются методом эквивалентных преобразований схемы.

Преобразование схем соединения сопротивлений "звезда" и "треугольник"

Эквивалентность преобразования требует, чтобы в обеих схемах были одинаковые токи узлов, а также напряжения между узловыми точками.

Сопротивления схемы «звезда», выраженные через сопротивления схемы «треугольник»:

$$R_1 = R_{12}R_{31}/(R_{12} + R_{23} + R_{31})$$

$$R_2 = R_{12}R_{23}/(R_{12} + R_{23} + R_{31})$$

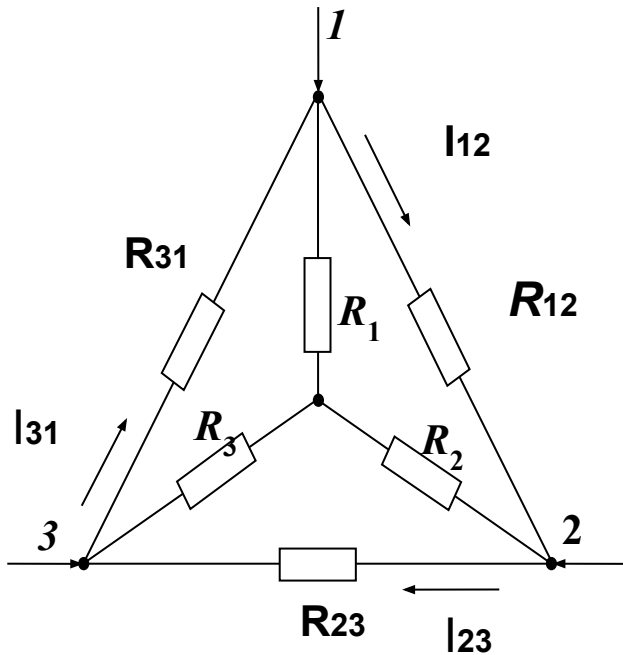
$$R_3 = R_{23}R_{31}/(R_{12} + R_{23} + R_{31})$$

Сопротивления схемы «треугольник», выраженные через сопротивления схемы «звезда»

$$R_{12} = R_1 + R_2 + (R_1R_2)/R_3;$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 + (R_2R_3)/R_1;$$

$$R_{31} = R_3 + R_1 + (R_3R_1)/R_2.$$



Классификация электрических цепей

Электрические цепи классифицируются следующим образом:

- линейные, содержащие только линейные элементы, которые характеризуются неизменными значениями своих параметров вне зависимости от протекающих через них токов (приложенных к ним напряжений);**
 - нелинейные, в которых содержится хотя бы один нелинейный элемент;**
 - пассивные, которые не содержат источников питания;**
 - активные, содержащие источники питания;**
 - простые, содержащие один источник питания;**
 - сложные неразветвленные, содержащие один контур, но несколько источников питания;**
 - сложные разветвленные, в состав которых входят несколько контуров с источниками питания.**

Для расчета сложных цепей применяют методы законов Кирхгофа, контурных токов, наложения, эквивалентного генератора, узлового напряжения (метод двух узлов).

Метод прямого применения законов Кирхгофа

Метод заключается в составлении системы уравнений по I и II ЗК, решение которой позволяет определить токи всех ветвей.

Составляем уравнения по I ЗК для трех узловых точек – 4, 6, 7.

$$4: I_1 - I_3 - I_4 = 0;$$

$$6: I_4 - I_5 + I_7 = 0;$$

$$7: I_5 + I_3 + I_6 = 0.$$

Определяем число уравнений, составленных по II ЗК:

$$m - (n - 1) = 6 - (4 - 1) = 3.$$

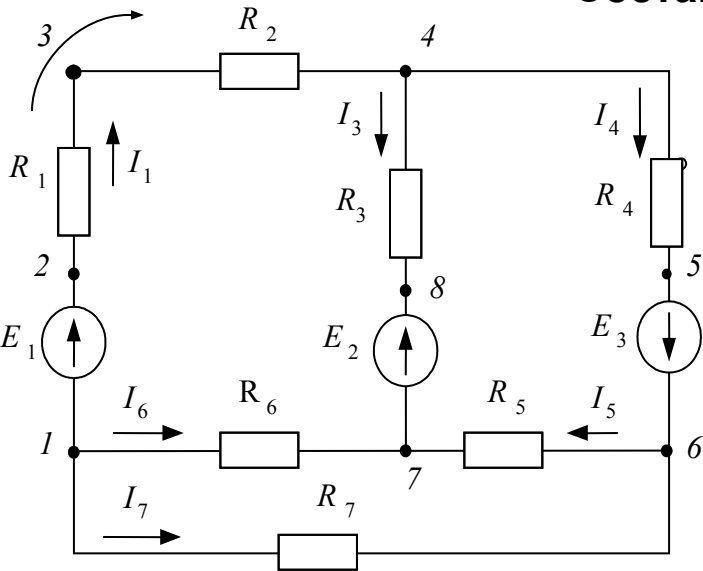
Составляем уравнения по II ЗК для трех контуров:

$$(1-4-7-1): E_1 - E_2 = (R_1 + R_2)I_1 + R_3I_3 - R_6I_6;$$

$$(7-4-6-7): E_2 + E_3 = -R_3I_3 + R_4I_4 + R_5I_5;$$

$$(1-7-6-1): 0 = R_6I_6 - R_5I_5 - R_7I_7.$$

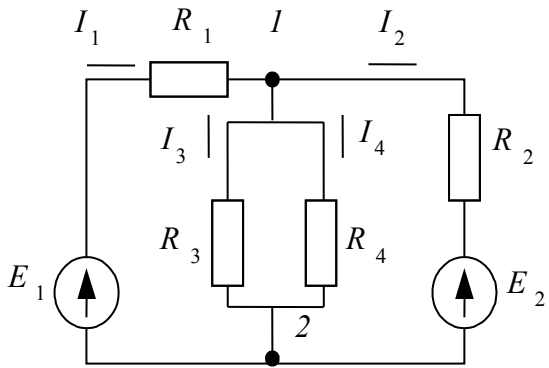
Совместное решение шести уравнений дает возможность определить токи шести ветвей.



Следует обратить внимание на знаки полученных токов. Если ток получен со знаком «-», это значит, что положительное направление тока обратно принятому произвольно. Тогда на электрической схеме надо показать действительные направления токов ветвей.

Метод наложения (суперпозиции)

Применение данного метода основано на принципе наложения (суперпозиции):
в электрических цепях все источники работают независимо друг от друга и токи ветвей равны алгебраической сумме токов, создаваемых каждым из источников в отдельности.



$$R_{2,3,4} = R_2 R_3 R_4 / (R_2 R_3 + R_3 R_4 + R_2 R_4),$$

$$R'_{\text{ЭКВ}} = R_1 + R_{2,3,4}.$$

$$I'_1 = E_1 / R'_{\text{ЭКВ}}; U'_{12} = R_{2,3,4} I;$$

$$I'_2 = U'_{12} / R_2; I'_3 = U'_{12} / R_3; I'_4 = U'_{12} / R_4.$$

$$R_{1,3,4} = R_1 R_3 R_4 / (R_1 R_3 + R_3 R_4 + R_1 R_4);$$

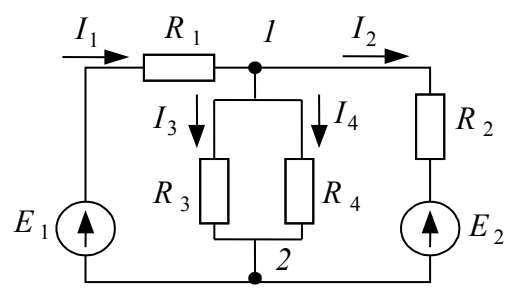
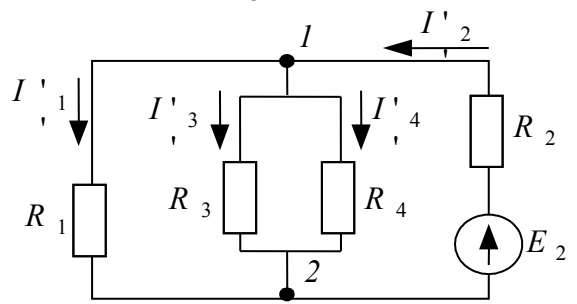
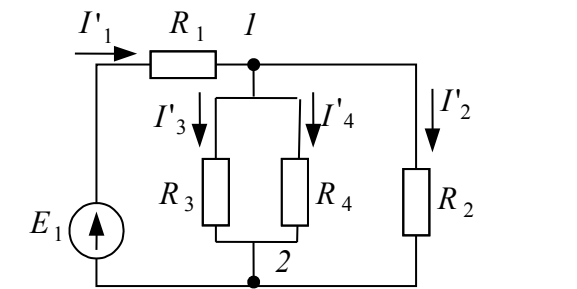
$$R''_{\text{ЭКВ}} = R_2 + R_{1,3,4};$$

$$I''_2 = E_2 / R''_{\text{ЭКВ}}; U''_{12} = R_{1,3,4} I''_2;$$

$$I''_1 = U''_{12} / R_1; I''_3 = U''_{12} / R_3; I''_4 = U''_{12} / R_4.$$

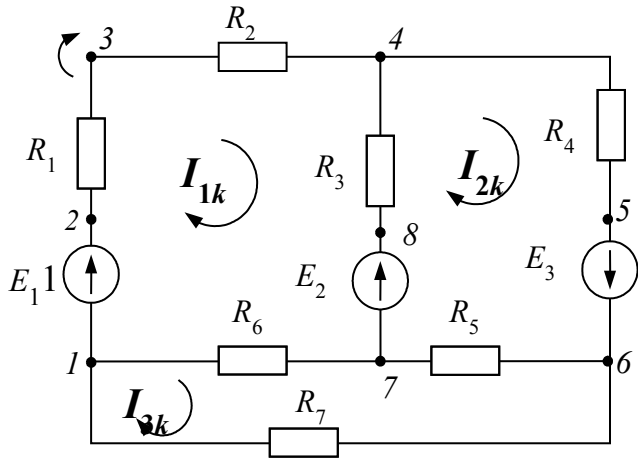
Действительные токи ветвей
 $I_1 = I'_1 - I''_1; I_2 = I'_2 - I''_2;$
 $I_3 = I'_3 + I''_3; I_4 = I'_4 + I''_4.$

Направления токов показаны при условии: $I'_1 > I''_1$, а $I'_2 > I''_2$



Метод контурных токов

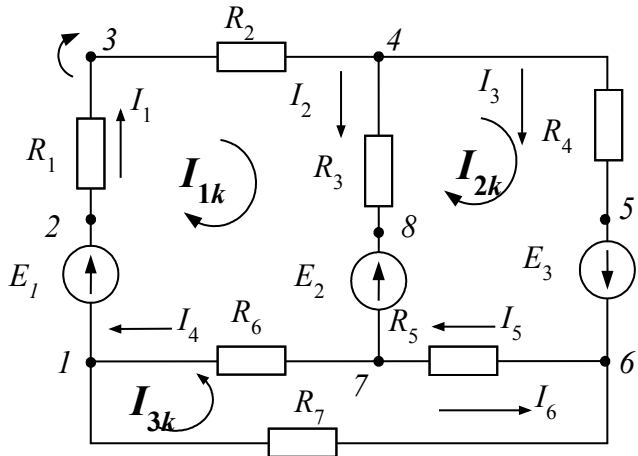
Данный метод основан на введении нового понятия – **контурного тока**.
 Принимается, что в каждом независимом контуре замыкается
 собственный контурный ток I_k , одинаковый во всех ветвях контура.



$$E_2 + E_3 = (R_3 + R_4 + R_5)I_{2k} - R_3I_{1k} - R_5I_{3k};$$

$$E_1 - E_2 = (R_1 + R_2 + R_3 + R_6)I_{1k} - R_3I_{2k} - R_6I_{3k};$$

$$0 = (R_6 + R_7 + R_5)I_{3k} - R_6I_{1k} - R_5I_{2k}.$$



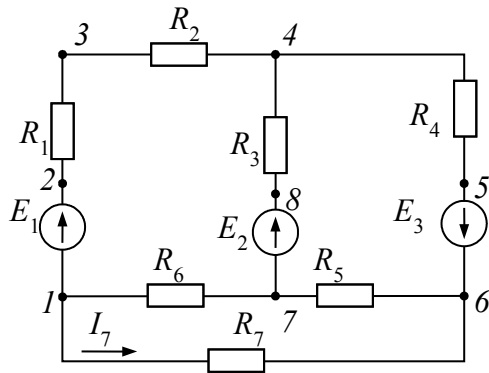
$$I_1 = I_{1k}; \quad I_3 = I_{2k}; \quad I_2 = |I_{1k} - I_{2k}|;$$

$$I_6 = I_{3k};$$

$$I_4 = |I_{1k} + I_{3k}|; \quad I_5 = |I_{2k} + I_{3k}|.$$

Метод эквивалентного генератора

Данный метод применим для определения тока одной ветви, например тока I_7 в ветви 1–6.



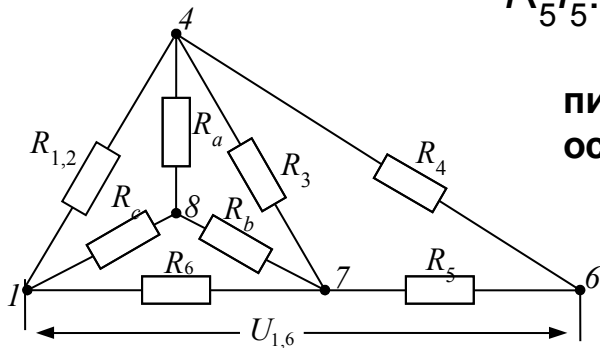
По отношению к исследуемой ветви остальная сложная цепь заменяется эквивалентным генератором с ЭДС $E_{\text{ЭКВ}}$ и внутренним сопротивлением $R_{\text{ЭКВ}}$.

Для определения этих параметров исследуемая ветвь 1–6 размыкается, а оставшаяся цепь рассчитывается любым известным методом с целью определения токов I_5 и I_6 . Тогда

$$E_{\text{ЭКВ}} = U_{16} = \pm R_6 I_6 \pm$$

$$R_5 I_5.$$

Для определения $R_{\text{ЭКВ}}$ закорачивают все источники питания и рассчитывают эквивалентное сопротивление оставшейся цепи относительно точек 1 и 6.



Сопротивления сторон схемы «звезда» R_a, R_b, R_c :
 $R_a = R_{12}R_3/(R_{12} + R_3 + R_6)$; $R_b = R_3 R_6/(R_{12} + R_3 + R_6)$;

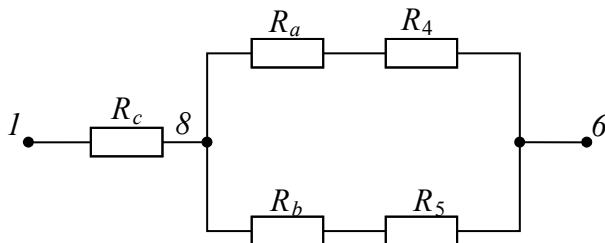
$$R_c = R_{12}R_6/(R_{12} + R_3 + R_6).$$

$$R_{12} = R_1 + R_2.$$

$$R_{a4} = R_a + R_4 ; R_{b5} = R_b + R_5 ;$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = R_c + R_{a4} R_{b5}/(R_{a4} + R_{b5})$$

Определяем ток ветви 1–6



$$I_7 = E_{\text{ЭКВ}}/(R_{\text{ЭКВ}} + R_7).$$

Метод узловых напряжений (метод двух узлов)

Метод узловых напряжений применяют для расчета электрических цепей, имеющих несколько параллельных ветвей, сходящихся в двух узловых точках.

$$-E_1 = -I_1(R_1 + R_4) + U_{AB},$$

$$E_2 = -I_2(R_2 + R_5) + U_{AB},$$
$$0 = -I_3(R_3 + R_6) + U_{AB}.$$

Токи ветвей:

$$I_1 = (E_1 + U_{AB}) / (R_1 + R_4) = (E_1 + U_{AB})G_1; \quad G_1 = 1 / (R_1 + R_4),$$
$$I_2 = (-E_2 + U_{AB}) / (R_2 + R_5) = (-E_2 + U_{AB})G_2; \quad G_2 = 1 / (R_2 + R_5),$$
$$I_3 = U_{AB} / (R_3 + R_6) = U_{AB}G_3; \quad G_3 = 1 / (R_3 + R_6).$$

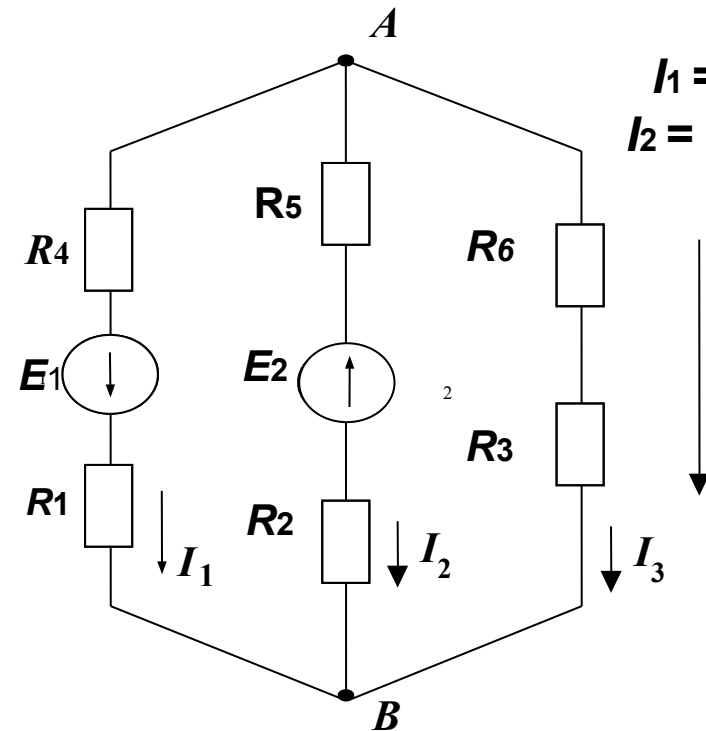
Для узловой точки В:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$(E_1 + U_{AB})G_1 + (-E_2 + U_{AB})G_2 + U_{AB}G_3 = 0$$

Узловое напряжение U_{AB} определяется по формуле

$$U_{AB} = (-E_1G_1 + E_2G_2) / (G_1 + G_2 + G_3).$$



Уравнение баланса мощностей электрической цепи

Правильность расчета электрической цепи проверяется

составлением

баланса мощностей.

В электрической цепи всегда сохраняется баланс мощностей: мощность, выработанная источником питания, равна мощности, потребляемой приемниками электрической энергии.

Это положение вытекает из закона сохранения энергии.

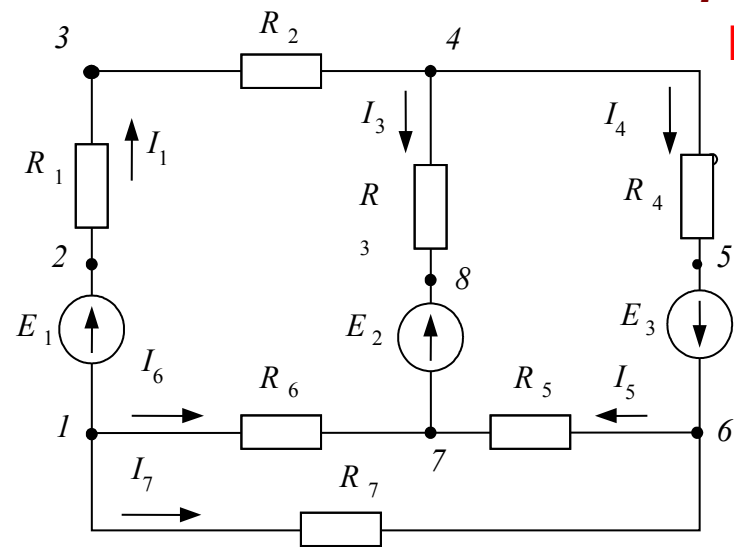
$$P_{\text{ист}} = P_{\text{пр}}$$

Мощность, выработанная источниками питания:

$$P_{\text{ист}} = \sum_{k=1}^n E_k I_k$$

Мощность, потребляемая приемниками электрической энергии:

$$P_{\text{пр}} = \sum_{k=1}^n R_k I_k^2$$



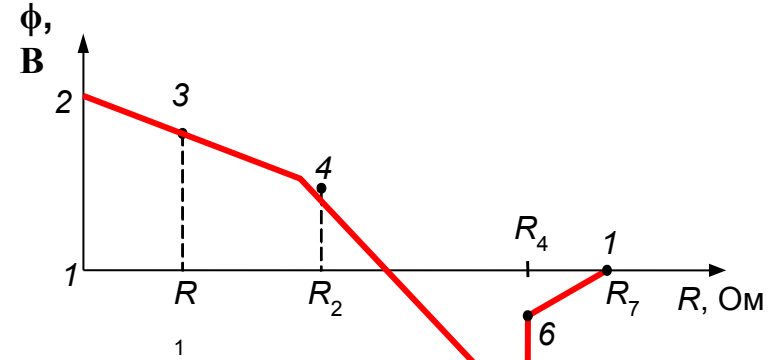
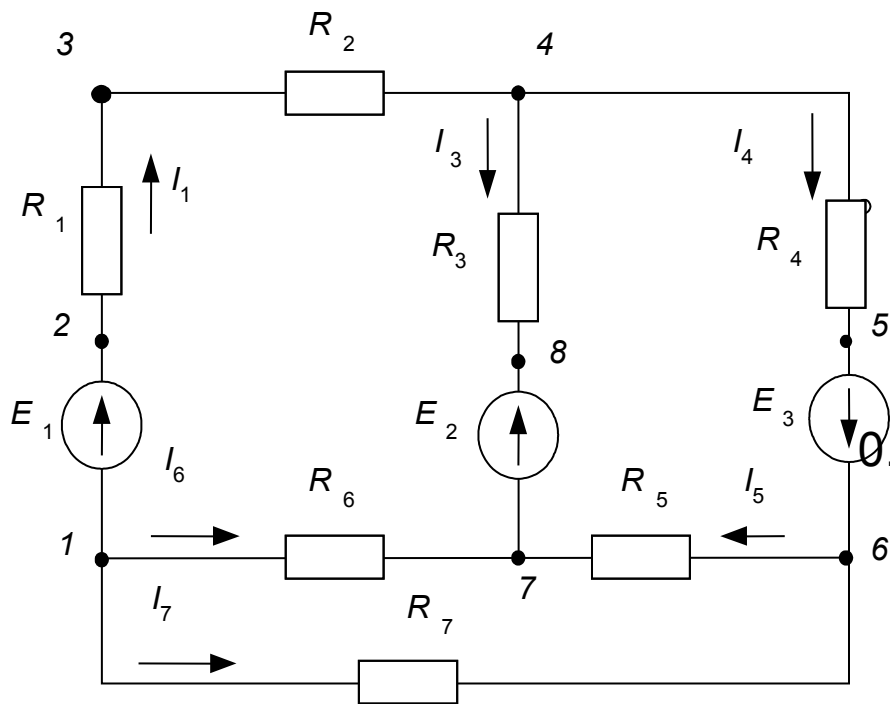
Для электрической схемы баланс мощностей:

$$E_1 I_1 - E_2 I_3 + E_3 I_4 = (R_1 + R_2) I_1^2 + R_3 I_3^2 + R_4 I_4^2 + R_5 I_5^2 + R_6 I_6^2 + R_7 I_7^2$$

Потенциальная диаграмма

Потенциальная диаграмма – график распределения потенциала в Электрической цепи в функции сопротивления участков цепи $\phi = f(R)$.

Потенциальная диаграмм для внешнего контура 1–2–3–4–5–6–1 схемы.



Примем потенциал ϕ точки 1 равным

Тогда:

$$\phi_1 = 0;$$

$$\phi_2 = \phi_1 + E_1;$$

$$\phi_3 = \phi_2 - R_1 I_1;$$

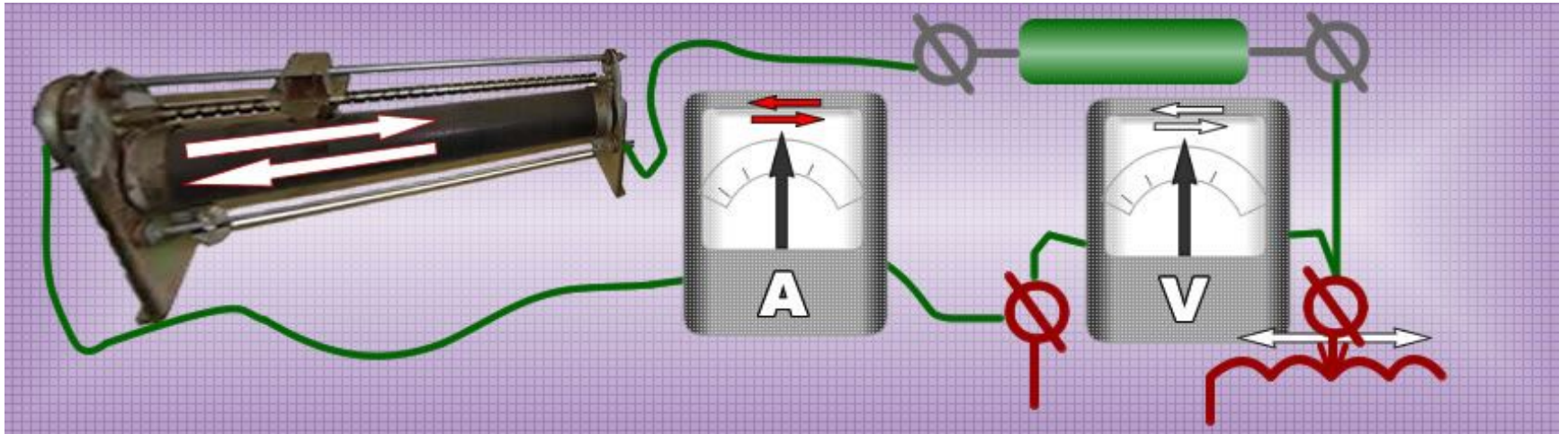
$$\phi_4 = \phi_3 - R_2 I_1;$$

$$\phi_5 = \phi_4 - R_4 I_4;$$

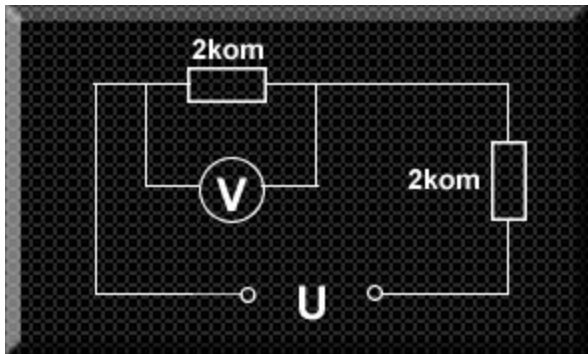
$$\phi_6 = \phi_5 + E_3;$$

$$\phi_1 = \phi_6 + R_7 I_7 = 0$$

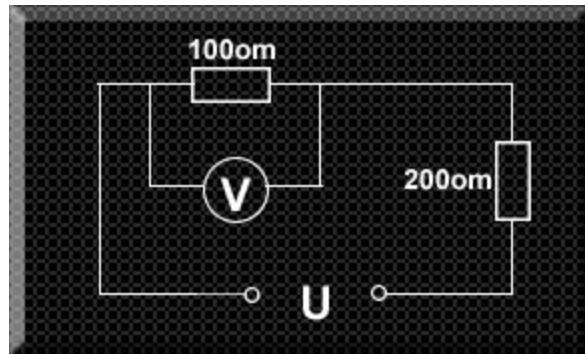
Включение амперметра и вольтметра



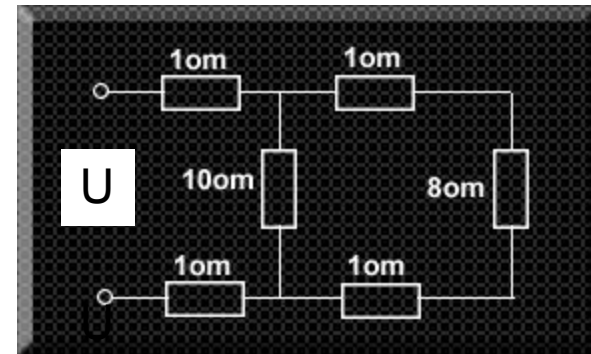
Задачи



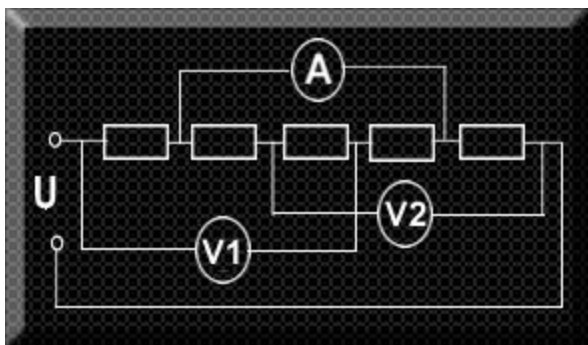
$U_v = 20\text{V}$
Определить U .



$U = 100\text{V}$
Определить U_v



$U = 50\text{V}$
Определить токи
ветвей



$U = 10\text{V}$; $R = 5\text{Ohm}$
Определить показания
приборов.



Единица измерения сопротивления **Ом**
названа в честь немецкого физика

ГЕОРГА СИМОНА ОМА

Ом родился в семье немецкого ремесленника - слесаря **16 марта 1787 года**. В 1820 году почти одновременно с Ампером начинает заниматься исследованием гальванических цепей .

В 1826 г. экспериментально, а в 1827 г. теоретически вывел основной закон электрической цепи, связывающий сопротивление цепи, электродвижущую силу и силу тока (см. закон Ома)

В 1827 году он опубликовал монографию под названием “Гальваническая цепь в математическом описании”.

Единица измерения силы тока **Ампер**
названа в честь французского физика

АНДРЕ - МАРИ АМПЕРА



Андре - Мари Ампер появился на свет в Лионе **20 января 1775 года**. В **13 лет** он представил первое математическое сочинение в Лионскую академию.

Материальные трудности заставили Ампера заняться преподавательской деятельностью. В **1814 году** Ампер избирается членом Академии наук Франции по разряду математических наук.

Впервые внимание Ампера электричество привлекло в **1801 году**.

Единица измерения напряжения **ВОЛЬТ**
названа в честь итальянского физика
АЛЕКСАНДРО ВОЛЬТА



Александр Вольта родился **18 февраля 1745 года** в старинной аристократической семье, проживавшей в небольшом городе Комо на Севере Италии.

В **1779 году** Вольту пригласили занять кафедру физики в университете Павия близ Комо, где он проработал до **1815 года**. С **1815 - 1819 года** - служил деканом философического факультета в Пауле. В **1793 году** Вольта поставил уникальный эксперимент по изменению контактной разности потенциалов (КРП), который завершился составлением “ряда Вольта”. Явление КРП сейчас широко используется при конструировании всех полупроводниковых приборов.