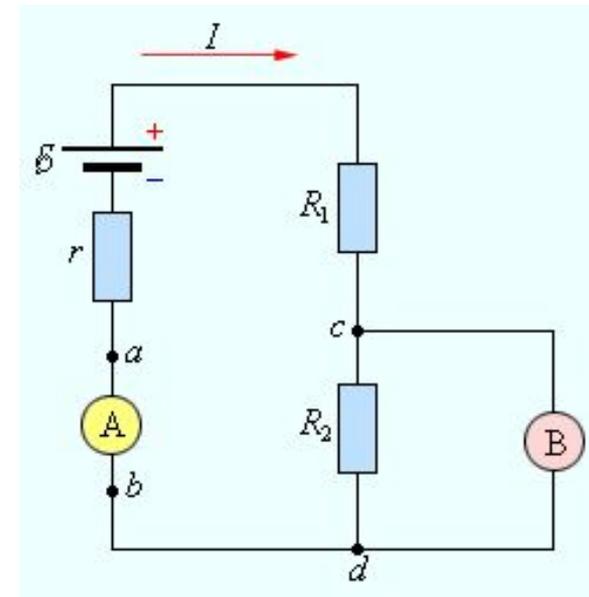


### Лекция 2

Электрические цепи постоянного тока.  
Основные понятия электрических цепей.  
Основные законы цепей постоянного тока.  
Энергетический баланс в электрических цепях.

Типовые соединения элементов.  
Потенциальная диаграмма.  
Методы расчёта цепей постоянного тока.

Доцент кафедры  
электромеханики,  
к.т.н. Рожненко Ж. Г.



**Электротехника** - область науки и техники, изучающая электрические и магнитные явления и их использования в практических целях.

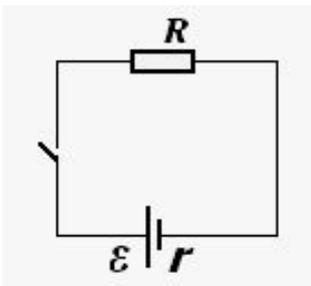
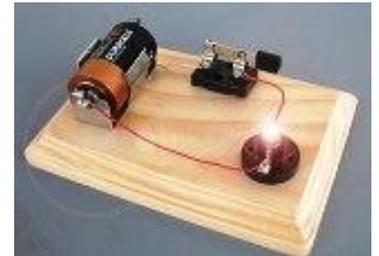
Столь обширное проникновение электротехники в жизнь человека привело к необходимости включить ее в состав общетехнических дисциплин при подготовке специалистов всех технических специальностей. При этом перед студентами стоят две главные задачи:

- 1) ознакомиться и усвоить физическую сущность электрических и магнитных явлений;
- 2) понять принципы работы электромагнитных устройств, правильно их эксплуатировать.

Электротехническое устройство это магнитные пускатели, автоматические выключатели, всевозможные реле, датчики, электродвигатели, преобразователи, счетчики и измерители электрической энергии и т.д.

Электротехническое устройство и происходящие в нем физические процессы в теории электротехники заменяют расчетным эквивалентом - электрической цепью.

**Электрическая цепь** - это совокупность соединенных друг с другом проводниками источников электрической энергии, потребителей и вспомогательных элементов, по которым может протекать электрический ток.

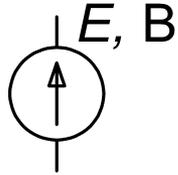


**Электрическая схема** – графическое изображение электрической цепи с помощью условных обозначений её элементов.

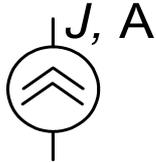
Электромагнитные процессы в электрической цепи можно описать с помощью понятий: ток, напряжение, ЭДС, сопротивление, проводимость, индуктивность, емкость.

# Условные обозначения

Источники электрической энергии – элементы которые генерируют электрическую энергию:

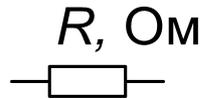


элемент: идеальный источник ЭДС;  
параметр:  $E$ , В – характеризует способность элемента создавать разность потенциалов на выводах и поддерживать ток в цепи;



элемент: идеальный источник тока;  
параметр:  $J$ , А – характеризует способность элемента создавать ток.

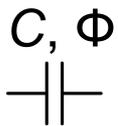
Потребители электрической энергии – элементы которые потребляют электрическую энергию:



элемент: резистор;  
параметр:  $R$ , Ом – активное сопротивление, характеризует способность элемента потреблять электрическую энергию и преобразовывать её в тепло;



элемент: катушка индуктивности;  
параметр:  $L$ , Гн – индуктивность, характеризует способность элемента создавать магнитное поле и запасать энергию в катушке индуктивности;



элемент: конденсатор;  
параметр:  $C$ , Ф – ёмкость, характеризует способность элемента накапливать заряд и создавать электрическое поле в конденсаторе.

# Условные обозначения

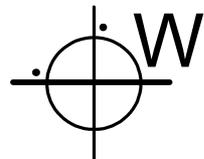
## Измерительных приборов



Амперметр: прибор для измерения силы тока;



Вольтметр: прибор для измерения напряжения;



Ваттметр: прибор для измерения активной мощности.

## Основные топологические понятия и определения

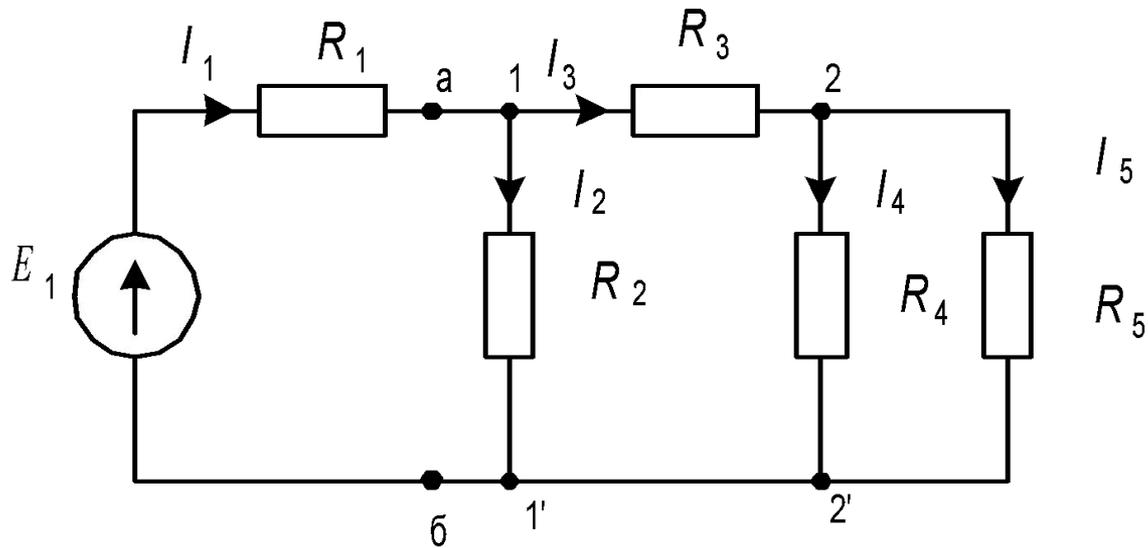
Основными топологическими понятиями теории электрических цепей являются: ветвь, узел, контур, двухполюсник, четырехполюсник, граф схемы электрических цепей, дерево графа схемы.

**Ветвь** – последовательное соединение элементов, по которым протекает одним и тот же ток (или участок схемы между двумя ближайшими узлами).

**Узел** - место соединения в одной точке трех и более ветвей. Узел обозначается на схеме точкой. Узлы, имеющие равные потенциалы, объединяются в один потенциальный узел.

**Контур** - замкнутый путь, проходящий через несколько ветвей и узлов электрической цепи, так что ни один узел и ни одна ветвь не повторяются более одного раза.

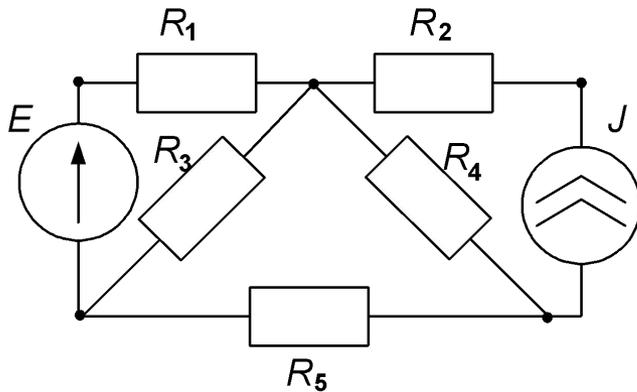
# Основные топологические понятия и определения



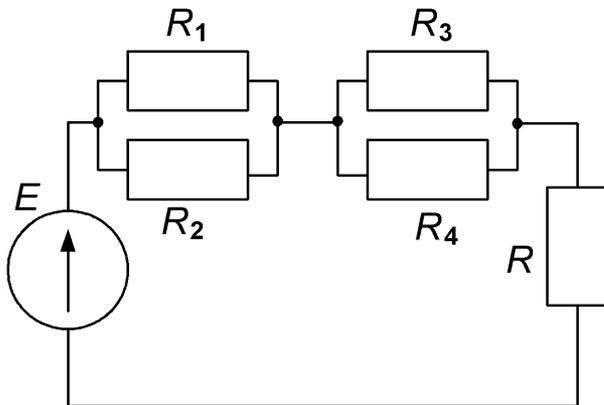
источников –  
потребителей –  
узлов –  
ветвей –  
контуров –

## Примеры электрических схем:

Самостоятельно определить топологические (геометрические) понятия приведенных ниже электрических схем:



*источников –  
потребителей –  
узлов –  
ветвей –  
контуров –*



*источников –  
потребителей –  
узлов –  
ветвей –  
контуров –*

# Основные понятия электрических цепей

электрический ток; электродвижущая сила; напряжение на элементах.

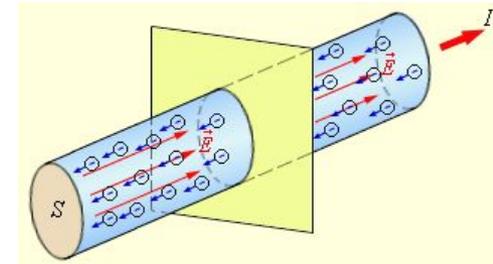
Электрический ток может быть постоянным и переменным. Постоянным называют ток, неизменный во времени. Постоянный ток принято обозначать символом  $I$ , переменный  $i(t)$ .

**Электрический ток** - явление направленного движения носителей электрического заряда.

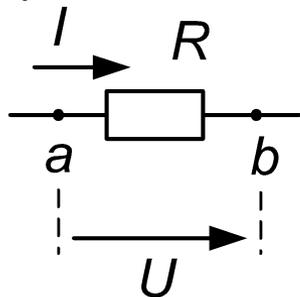
Носителями зарядов в металлах являются электроны, в полупроводниках электроны и дырки (ионы), в жидкостях - ионы.

**Сила тока** - скорость переноса электрического заряда  $Q$  во времени  $t$ .

$$I = \frac{Q}{t} \text{ [A]} \quad E = \frac{A}{Q} \text{ [B]}$$



**ЭДС** определяется работой, совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда. Количественно ЭДС характеризуется работой  $A$ , которая совершается при перемещении заряда в один Кулон в пределах источника от отрицательного полюса источника к положительному к величине этого заряда.



При перемещении единичного положительного заряда по некоторому участку цепи работу совершают как электростатические (кулоновские), так и сторонние силы. Работа электростатических сил равна разности потенциалов  $\Delta\varphi_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$  между начальной ( $a$ ) и конечной ( $b$ ) точками неоднородного участка.

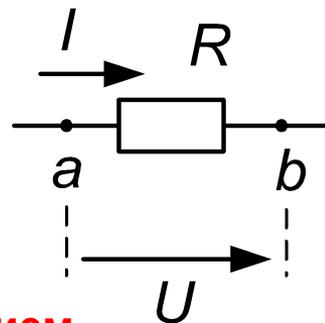
В случае однородного участка **напряжение** равно разности потенциалов:

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b, \text{ [B]}$$

# Основные законы электрических цепей

Немецкий физик Г. Ом в 1826 году экспериментально установил, что сила тока  $I$ , текущего по однородному металлическому проводнику, пропорциональна напряжению  $U$  на концах проводника.

**Закон Ома для однородного участка цепи:** сила тока в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.



$$I = U \frac{1}{R}$$

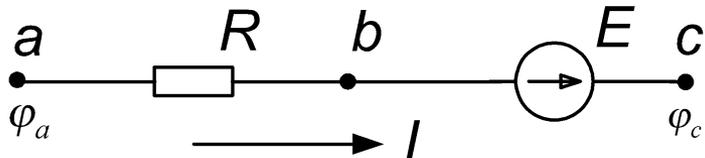
где  $R = \text{const.}$  [Ом].

Величину  $R$  принято называть **электрическим сопротивлением**.

$$\varphi_c = \varphi_a - IR + E$$

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = IR - E$$

$$I = \frac{U_{ac} + E}{R}$$



**Закон Ома** для участка цепи, содержащего ЭДС:

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

где знак «+» ставится при совпадении направления тока, протекающего по участку, с направлением ЭДС (напряжения).

Закон Ома применяется к **ветвям** электрической схемы.

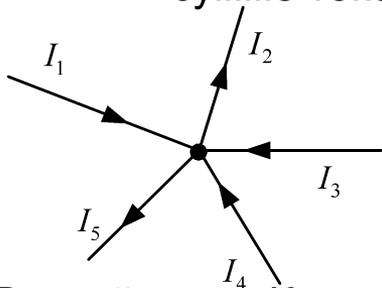
# Законы Кирхгофа

Первый закон Кирхгофа применяется к узлам электрической схемы и выражает баланс токов.

**Первый закон Кирхгофа** имеет две формулировки.

- 1) Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю.
- 2) Арифметическая сумма токов, которые втекают в узел равна сумме токов, которые вытекают из узла.

$$\sum_{k=1}^K \pm I_k = 0$$



$$I_1 - I_2 + I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

$$I_1 + I_3 + I_4 = I_2 + I_5$$

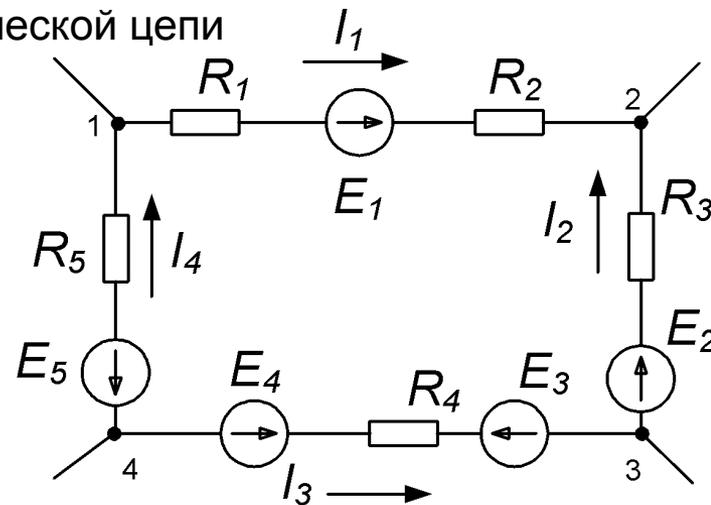
Второй закон Кирхгофа применяется к контурам электрической цепи и выражает баланс напряжений.

**Второй закон Кирхгофа:**

алгебраическая сумма падений напряжения в любом замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС вдоль этого контура.

$$\sum \pm U_m = \sum \pm E_n$$

В каждую из сумм слагаемые входят со знаком «плюс», если они совпадают с направлением обхода контура.



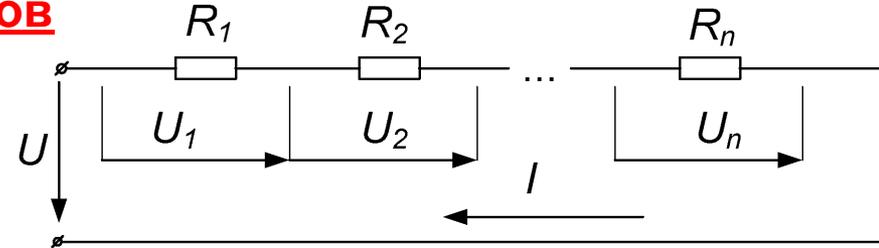
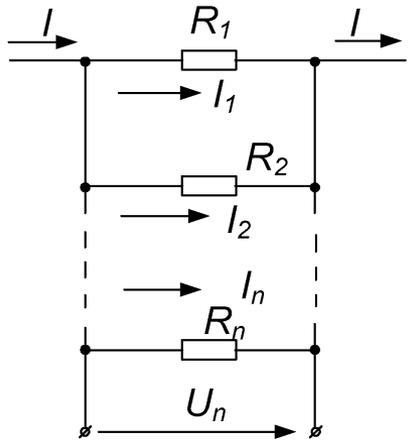
$$I_1 R_1 + I_1 R_2 - I_2 R_3 - I_3 R_4 + I_4 R_5 = E_1 - E_2 + E_3 - E_4 - E_5$$

# Типовые соединения элементов электрической цепи

## Последовательное соединение элементов

– соединение элементов через которые протекает один и тот же ток.

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



## Параллельное соединение элементов -

соединение элементов к которым приложено одно и то же напряжение.

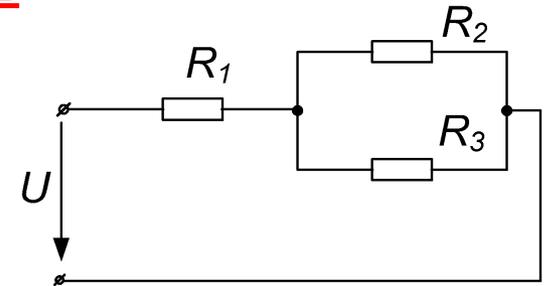
$$\frac{1}{R_{\text{экв}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$R_{\text{экв}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

## Смешанное соединение элементов

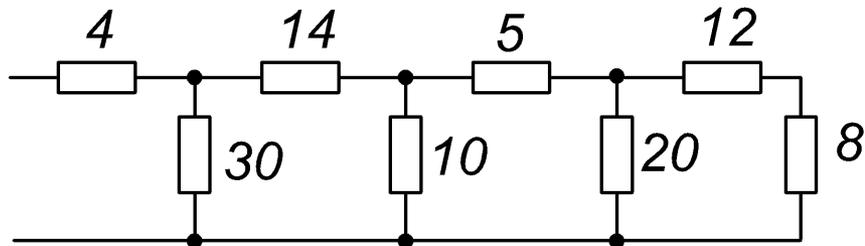
$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_{23}$$

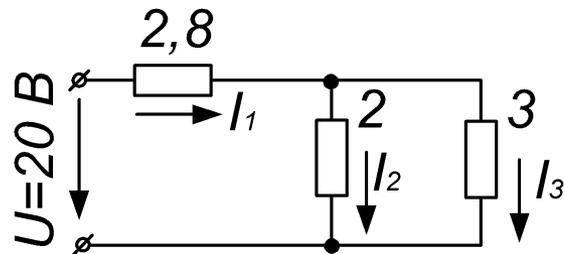


# Расчёт простых электрических цепей

Задача 1. Определить эквивалентное сопротивление схемы  $R_э$ .



Задача 2. Определить токи электрической схемы, сопротивления ( $R$ ) которой представлены в омах.



# Преобразования треугольника соединения элементов в звезду и наоборот

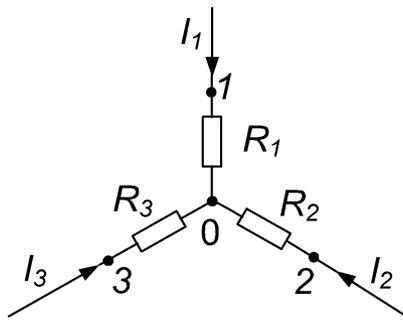


Схема соединения «звезда»

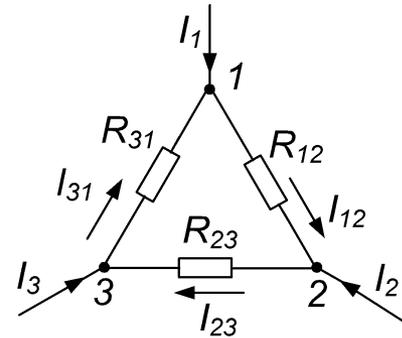


Схема соединения «треугольник»

("-⟨" → "Δ")

$$m = R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_1; \quad R_{12} = \frac{m}{R_3}; \quad R_{23} = \frac{m}{R_1}; \quad R_{31} = \frac{m}{R_2}$$

$$G_{12} = \frac{G_1 G_2}{G_1 + G_2 + G_3}; \quad G_{31} = \frac{G_3 G_1}{G_1 + G_2 + G_3}; \quad G_{23} = \frac{G_2 G_3}{G_1 + G_2 + G_3}$$

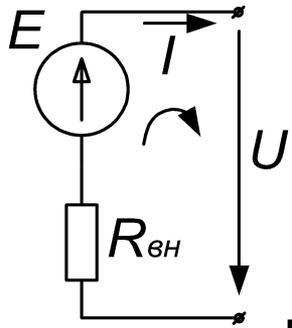
("Δ" → "-⟨")

$$R_1 = \frac{R_{31} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_2 = \frac{R_{23} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}; \quad R_3 = \frac{R_{23} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$M = G_{12} G_{23} + G_{23} G_{31} + G_{31} G_{12}; \quad G_1 = \frac{M}{G_{23}}; \quad G_2 = \frac{M}{G_{31}}; \quad G_3 = \frac{M}{G_{12}}$$

# Эквивалентные схемы замещения источников электроэнергии

**Реальный источник э.д.с.** – последовательное соединение э.д.с.  $E$  и внутреннего сопротивления  $R_{вн}$  источника.



Уравнение по второму закону Кирхгофа:  $IR_{вн} + U = E$ . (1)

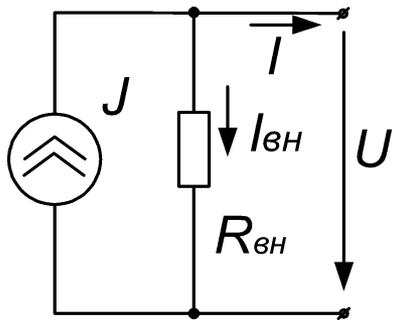
При закороченных выводах уравнение по второму закону Кирхгофа:

$$IR_{вн} = E, \quad I_{кз} = \frac{E}{R_{вн}}.$$

Разделим почленно уравнение (1) на  $R_{вн}$ :  $I + \frac{U}{R_{вн}} = \frac{E}{R_{вн}}$ . (2)

$$I + I_{вн} = I_{кз}, \quad \text{где } I_{вн} = \frac{U}{R_{вн}}. \quad I_{кз} - I_{вн} = I. \quad (3)$$

Уравнению (3) соответствует параллельная схема с источником тока  $J$  ( $I_{кз}$ ) и внутренним сопротивлением  $R_{вн}$  источника.



## **Реальный источник тока**

– параллельное соединение источника тока  $J$  и внутреннего сопротивления  $R_{вн}$  источника.

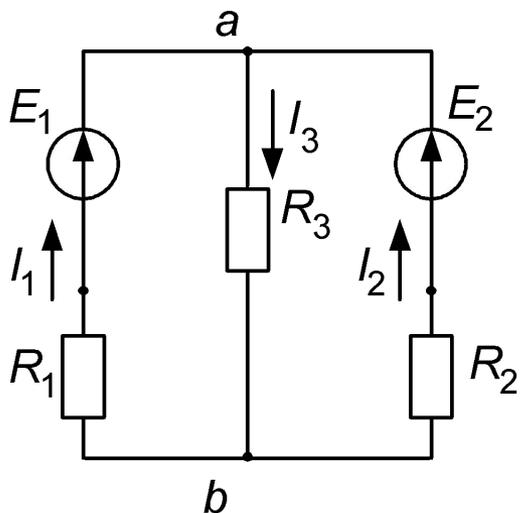
# Энергетический баланс в электрических цепях. (Баланс мощностей)

В любой электрической цепи алгебраическая сумма мощностей всех источников электрической энергии равна арифметической сумме мощностей всех приемников и вспомогательных элементов.

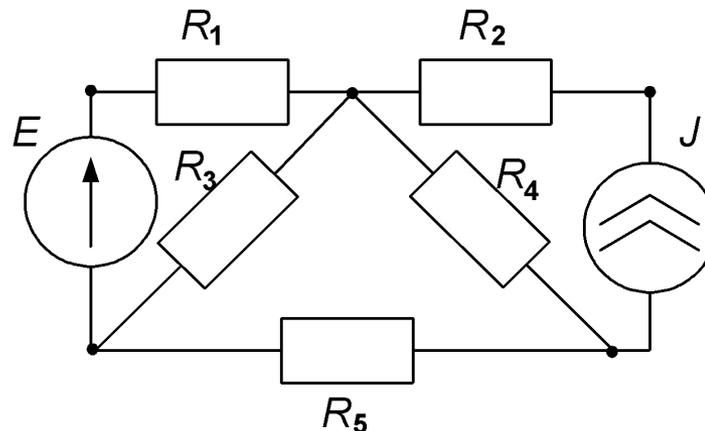
$$\sum \pm EI + \sum \pm U_{ab} J = \sum I^2 R$$

Если направление ЭДС и направление тока ветви не совпадают, то составляющая мощности этого источника в балансе мощностей берется со знаком «-». Если направление источника тока  $J$  совпадет с направлением приложенного напряжения  $U_{ab}$ , то составляющая мощности этого источника в балансе мощностей берется со знаком «-».

Для данной электрической цепи баланс мощностей:  $I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 = E_1 I_1 + E_2 I_2$ .



*Самостоятельно составить уравнение баланса мощностей для электрической цепи:*



# Потенциальная диаграмма

Потенциальной диаграммой - графическое изображение распределения электрического потенциала вдоль замкнутого контура в зависимости от сопротивления участков, входящих в выбранный контур.

Для построения потенциальной диаграммы выбирают замкнутый контур. Этот контур разбивают на участки таким образом, чтобы на участке находился один потребитель или источник энергии. Пограничные точки между участками необходимо обозначить буквами или цифрами.

Произвольно заземляют одну точку контура, её потенциал условно считается нулевым.

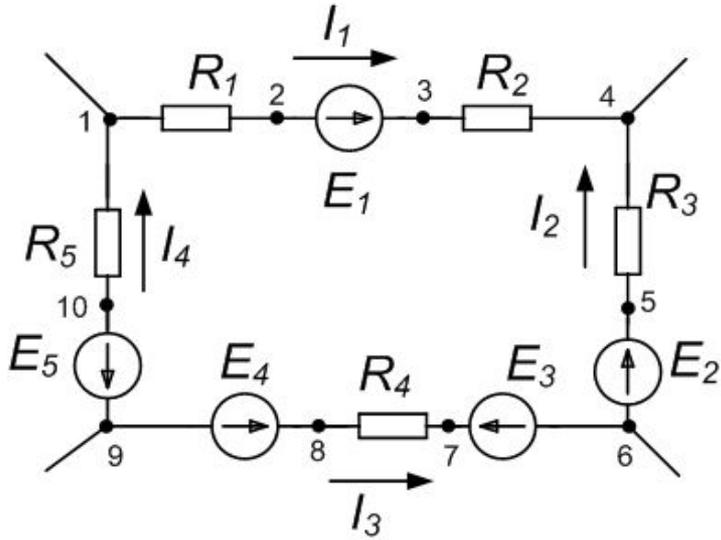
Обходя контур по часовой стрелке от точки с нулевым потенциалом, определяют потенциал каждой последующей пограничной точки.

При совпадении направлений тока через резистор и обхода контура знак напряжения отрицательный, в противном случае он положительный.

Если на участке находится источник ЭДС: при совпадении направления обхода контура и направления ЭДС изменение потенциала положительно, в противном случае оно отрицательно.

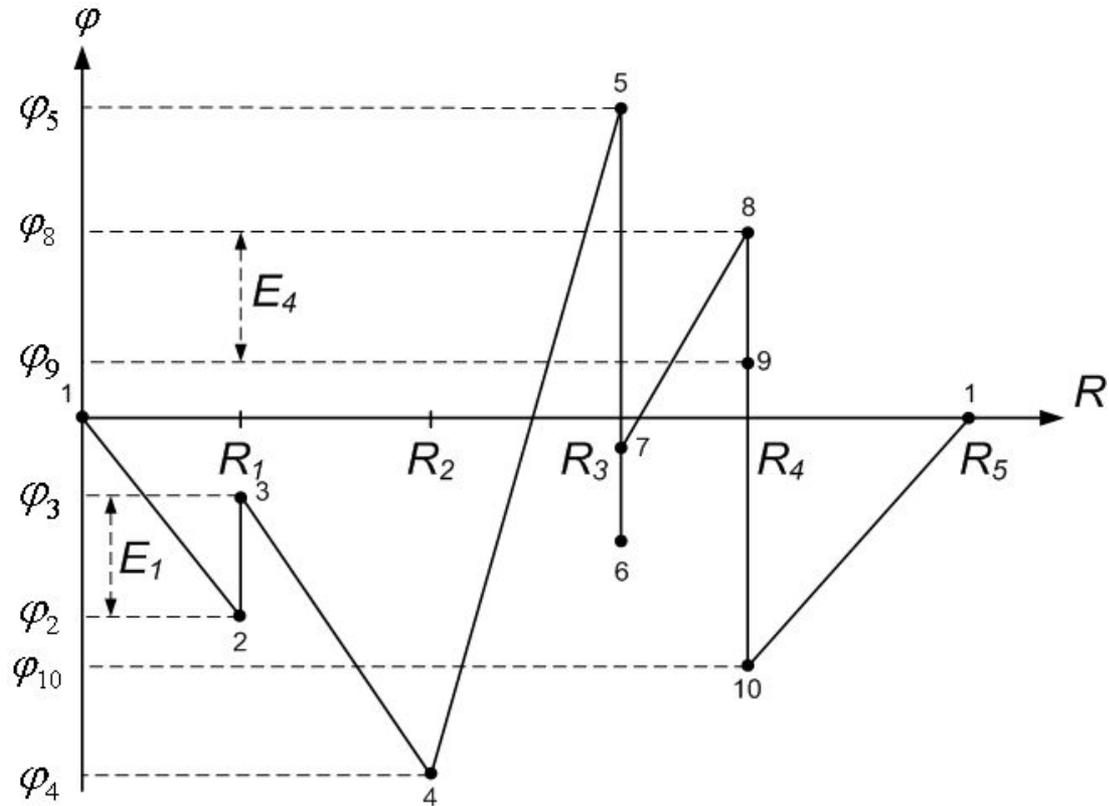
После расчета потенциалов всех точек строят в прямоугольной системе координат потенциальную диаграмму. На оси абсцисс откладывают в масштабе сопротивление участков в той последовательности, в которой они встречались при обходе контура, а по оси ординат – потенциалы соответствующих точек. Потенциальная диаграмма начинается с нулевого потенциала и заканчивается после обхода контура нулевым потенциалом.

# Потенциальная диаграмма



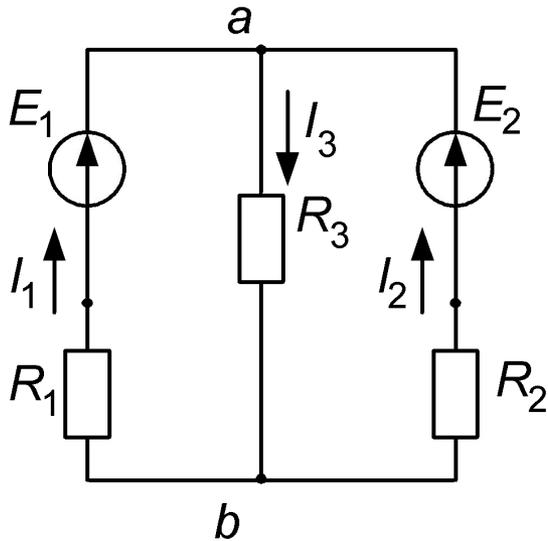
$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 0 \\ \varphi_2 &= \varphi_1 - I_1 R_1 \\ \varphi_3 &= \varphi_2 + E_1 \\ \varphi_4 &= \varphi_3 - I_1 R_2 \\ \varphi_5 &= \varphi_4 + I_2 R_3 \\ \varphi_6 &= \varphi_5 - E_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_7 &= \varphi_6 + E_3 \\ \varphi_8 &= \varphi_7 + I_3 R_4 \\ \varphi_9 &= \varphi_8 - E_4 \\ \varphi_{10} &= \varphi_9 - E_5 \\ \varphi_1 &= \varphi_{10} - I_4 R_5 = 0 \end{aligned}$$



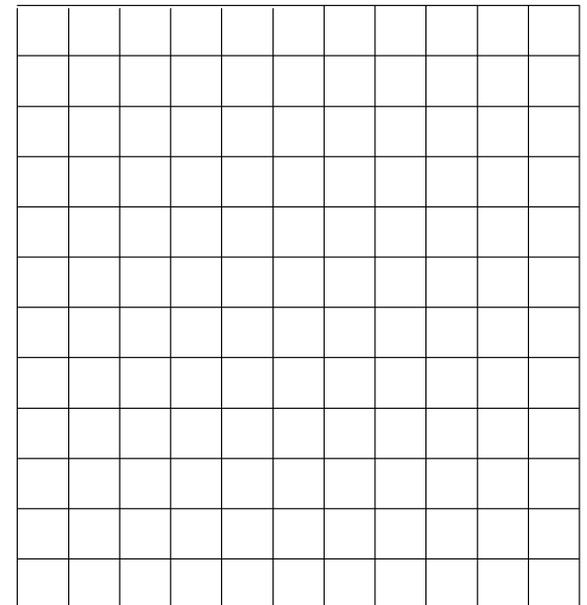
# Потенциальная диаграмма

Самостоятельно построить потенциальную диаграмму для внешнего контура электрической цепи:



Дано:

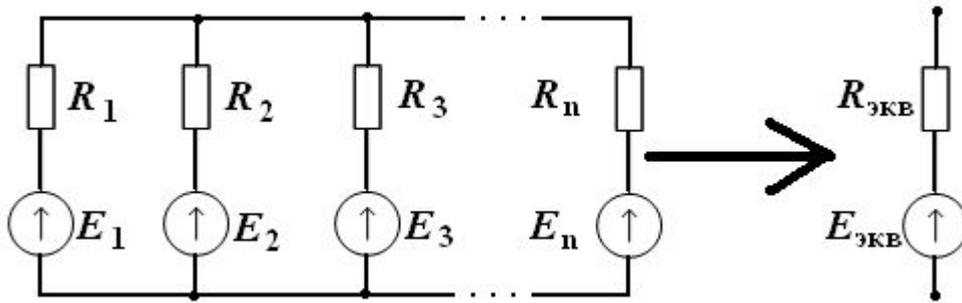
$$E_1=70 \text{ В}, E_2=80 \text{ В}, R_1=R_2=R_3=10 \text{ Ом},$$
$$I_1=2 \text{ А}, I_2=3 \text{ А}, I_3=5 \text{ А}.$$



# РАСЧЁТ СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

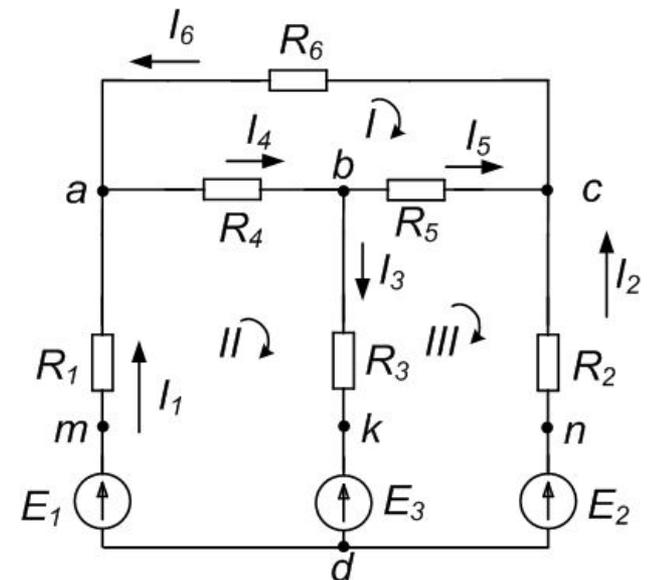
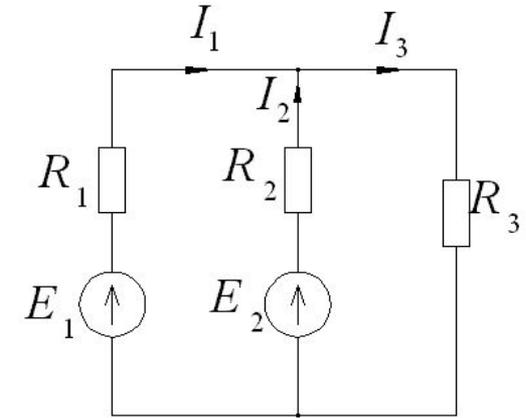
## Методы расчета линейных электрических цепей:

- метод эквивалентных преобразований;
- метод непосредственного применения законов Кирхгофа;
- метод узловых потенциалов (метод двух узлов);
- метод контурных токов;
- метод эквивалентного генератора;
- метод наложения (суперпозиции).



При расчете считаются известными ЭДС и токи источников тока, а так же сопротивления всех резисторов.

Неизвестными являются токи в ветвях.



# Метод непосредственного применения законов Кирхгофа

Перед тем, как составить систему уравнений по законам Кирхгофа необходимо:

- произвольно выбираем и указываем на схеме положительные направления токов ( $I$ ) в ветвях;
- подсчитываем число ветвей без источников тока ( $m$ ) и число узлов в электрической схеме ( $n$ );
- число уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа равно ( $n - 1$ );
- число уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа - ( $m - (n - 1)$ );

Выбираем узлы и контуры, для которых будем составлять уравнения, и обозначаем их на схеме электрической цепи.

Ветвей:  $m=3$  ( $I_1, I_2, I_3$ )

Узлов:  $n=2$  ( $a, b$ ).

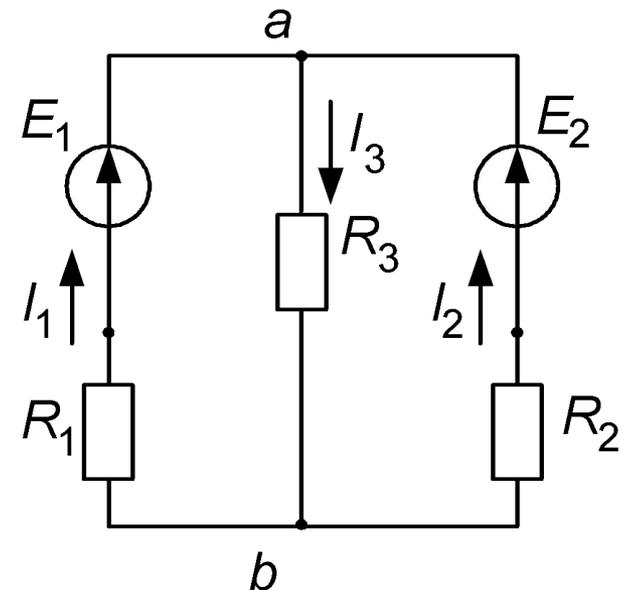
Число уравнений по I-му закону Кирхгофа:

$$(n - 1) = (2 - 1) = 1 \text{ уравнение.}$$

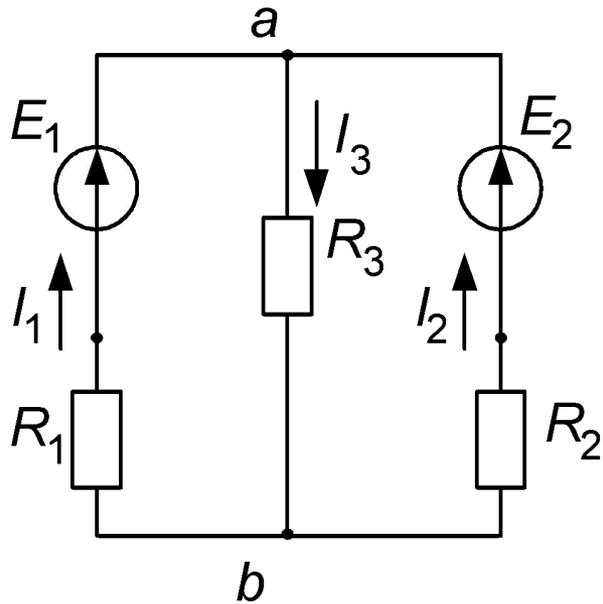
Число уравнений по II-му закону Кирхгофа:

$$(m - (n - 1)) = 3 - 1 = 2 \text{ уравнения.}$$

Контуры, для которых будем составлять уравнения, необходимо обозначить на схеме электрической цепи.



# Метод непосредственного применения законов Кирхгофа



Дано:

$$E_1=70 \text{ В}, E_2=80 \text{ В}, R_1=R_2=R_3=10 \text{ Ом.}$$

Найти:  $I_1=?$ ,  $I_2=?$ ,  $I_3=?$

Решение:

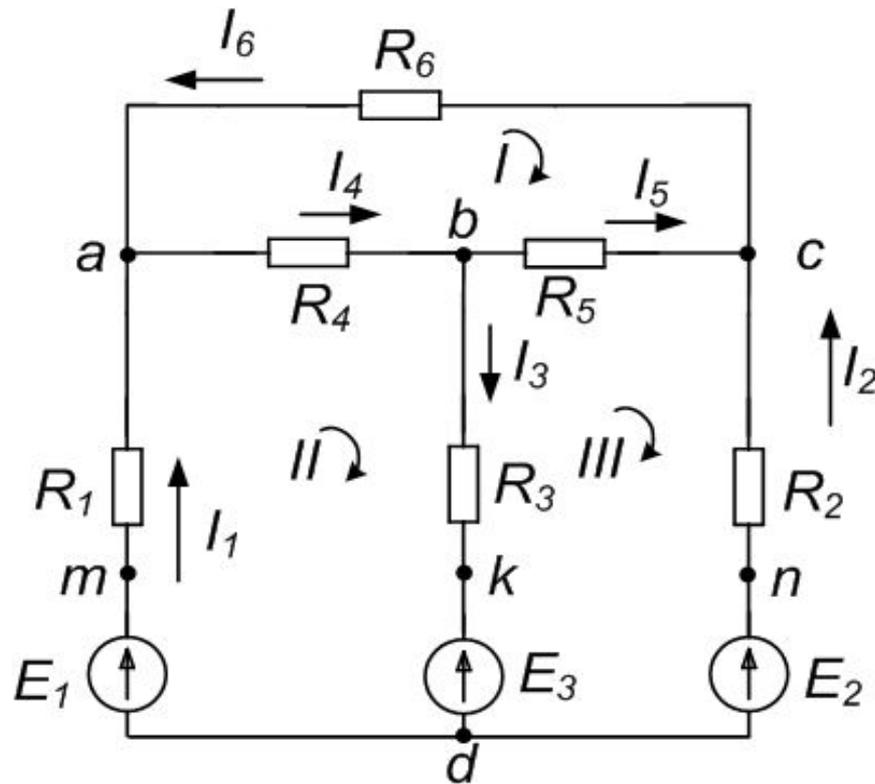
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Для узла } a, \quad ( \quad \quad \quad ); \\ \text{Для контура } 1 \quad - \quad \quad \quad ); \\ \text{Для контура } 2 \quad - \quad \quad \quad ). \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 + I_2 - I_3 = 0, \\ 10I_1 + 10I_3 = 70, \\ 10I_2 + 10I_3 = 80. \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} I_1 = 2, \\ I_2 = 3, \\ I_3 = 5. \end{array} \right.$$

Проверка: по первому закону Кирхгофа:  $2+3-5=0$ .

# Метод непосредственного применения законов Кирхгофа

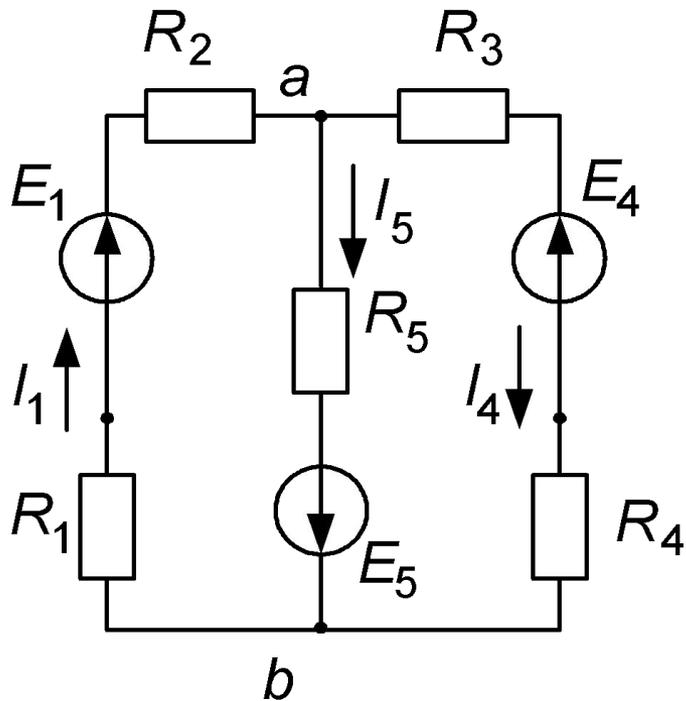
Самостоятельно составить систему уравнений по законам Кирхгофа для схемы:



# Метод контурных токов (МКТ)

МКТ позволяет понизить порядок системы уравнений и упростить расчет.

В этом методе неизвестными величинами являются контурные токи (фиктивные токи). Допускаем, что эти токи протекают в контурах электрической схемы. Поэтому контурных токов столько, сколько составлено уравнений по 2-му закону Кирхгофа.



Обозначим контурные токи -  $I_{11}, I_{22}$ .

Для вывода уравнений составленных по второму закону Кирхгофа выразим реальные токи ( $I_1, I_4, I_5$ ) в схеме через контурные токи  $I_{11}, I_{22}$ .

$$I_1 = I_{11}; \quad I_4 = I_{22}; \quad I_5 = I_{11} - I_{22}.$$

Составим уравнения по 2-му закону Кирхгофа для указанных контуров:

$$\begin{cases} I_{11} (R_1 + R_2 + R_5) - I_{22} R_5 = E_1 + E_5, \\ -I_{11} R_5 + I_{22} (R_3 + R_4 + R_5) = -E_4 - E_5. \end{cases}$$

# Метод контурных токов (МКТ)

Решаем систему уравнений известным методом относительно неизвестных  $I_{11}, I_{22}$ , после чего определяем реальные токи в ветвях.

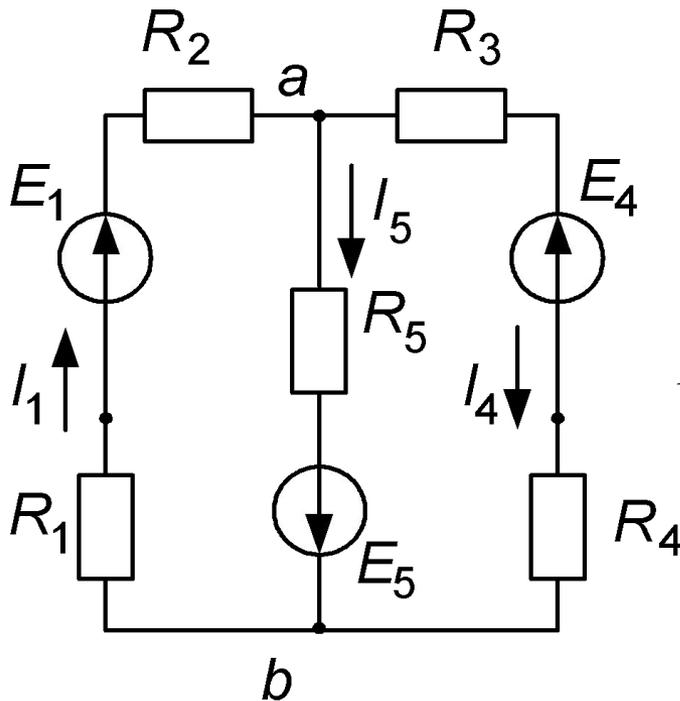
В общем виде последнюю систему возможно записать:

$$\begin{cases} I_{11} R_{11} + I_{22} R_{12} = E_{11}, \\ I_{11} R_{21} + I_{22} R_{22} = E_{22}, \end{cases}$$

где  $R_{11}, R_{22}$  - полное (собственное) сопротивление 1-го контура, 2-го контура соответственно.

$R_{12}, R_{21}$  - сопротивление смежной (общей) ветви 1-го и 2-го контуров.

Знак «+» перед сопротивлением смежной ветви ставиться если направления контурных токов совпадают в смежной (общей) ветви, «-» - если не совпадают.



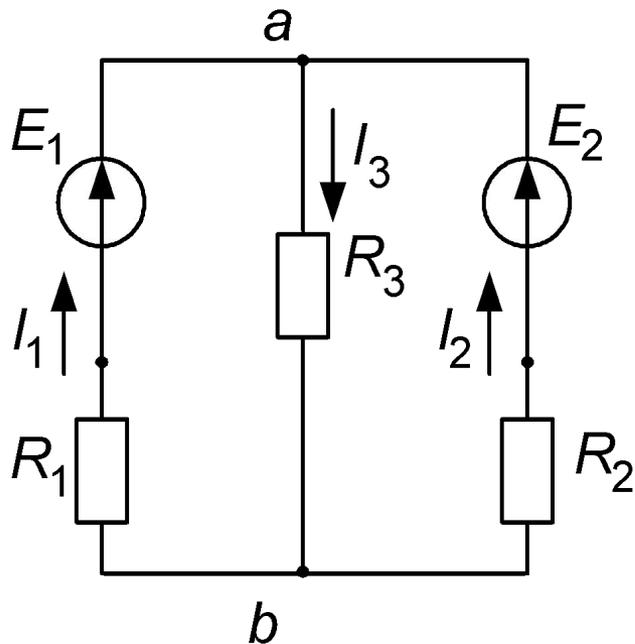
$E_{11}$  - контурная ЭДС 1-го контура (алгебраическая сумма ЭДС контура),  
 $E_{22}$  - контурная ЭДС 2-го контура.

# Метод контурных токов (МКТ)

Если в электрической схеме протекает три контурных тока система уравнений в общем виде:

$$\begin{cases} I_{11} R_{11} + I_{22} R_{12} + I_{33} R_{13} = E_{11}, \\ I_{11} R_{21} + I_{22} R_{22} + I_{33} R_{23} = E_{22}, \\ I_{11} R_{31} + I_{22} R_{32} + I_{33} R_{33} = E_{33}. \end{cases}$$

Задача. Определить токи электрической схемы.



*Дано:*

$$E_1 = 70 \text{ В}, E_2 = 80 \text{ В}, R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом.}$$

*Найти:*  $I_1 = ?$ ,  $I_2 = ?$ ,  $I_3 = ?$  методом контурных токов.

*Решение:*

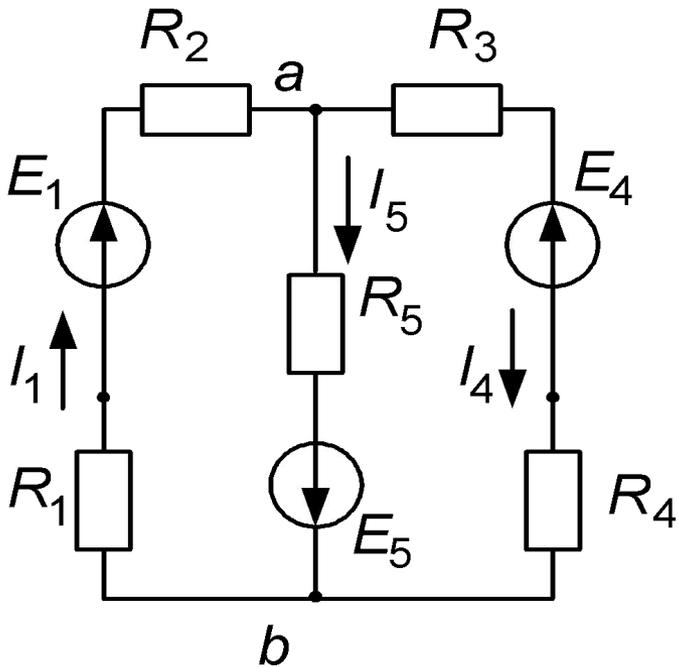
# Метод узловых потенциалов (МУП)

МУП позволяет понизить порядок системы уравнений и упростить расчет.

Метод расчета электрических цепей, в котором за неизвестные величины принимают значения потенциалов в узлах электрической схемы, называют **методом узловых потенциалов**.

## Метод двух узлов

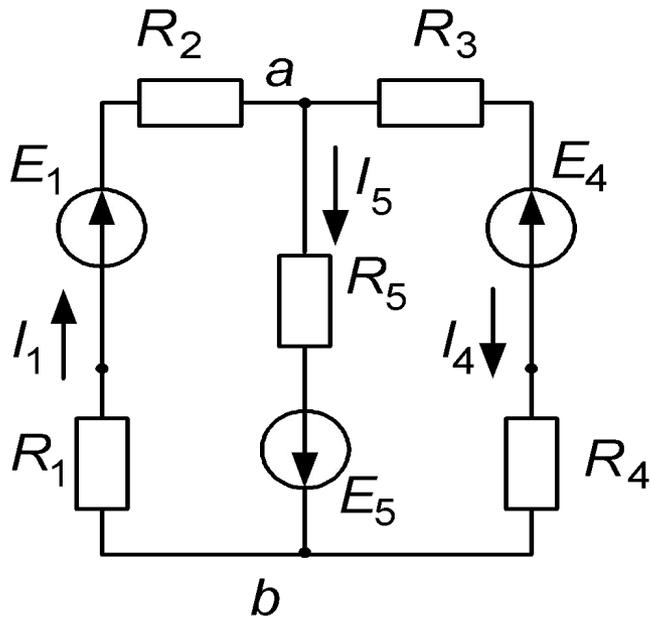
1. В этом методе за неизвестную величину принимают значение напряжения между узлами ( $U_{ab}$ ).



$$U_{ab} = \frac{\sum \pm E_k g_k + \sum \pm J_k}{\sum g_k};$$

$$U_{ab} = \frac{E_1 \frac{1}{R_1 + R_2} - E_5 \frac{1}{R_5} + E_4 \frac{1}{R_3 + R_4}}{\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_3 + R_4}}.$$

# Метод двух узлов



2. Токи в ветвях схемы определяют по закону Ома для участка цепи с ЭДС.

$$\varphi_b = \varphi_a + I_1 R_2 - E_1 + I_1 R_1;$$

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = -I_1 (R_1 + R_2) + E_1;$$

$$I_1 = \frac{-U_{ab} + E_1}{R_1 + R_2}.$$

Аналогично, определяют токи в других ветвях схемы:

$$I_5 = \frac{U_{ab} + E_5}{R_5}; \quad I_4 = \frac{U_{ab} - E_4}{R_3 + R_4}.$$

Токи в ветвях схемы можно также определить по второму закону Кирхгофа:

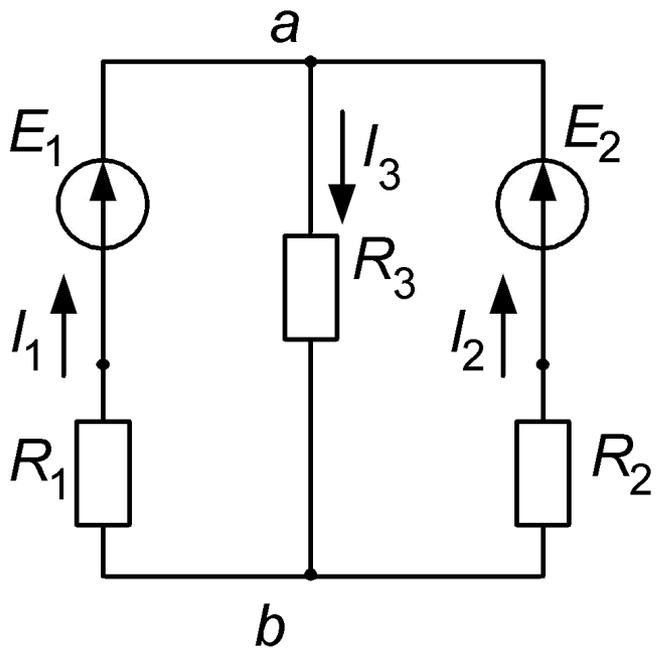
$$I_1 R_1 + I_1 R_2 + U_{ab} = E_1; \quad I_1 = \frac{-U_{ab} + E_1}{R_1 + R_2}.$$

3. Проверка: по первому закону Кирхгофа:

$$\text{Для } I_4 \text{ узла } \neq 0, \quad ( \quad \quad ).$$

# Метод двух узлов

Задача 1. Определить токи электрической схемы.



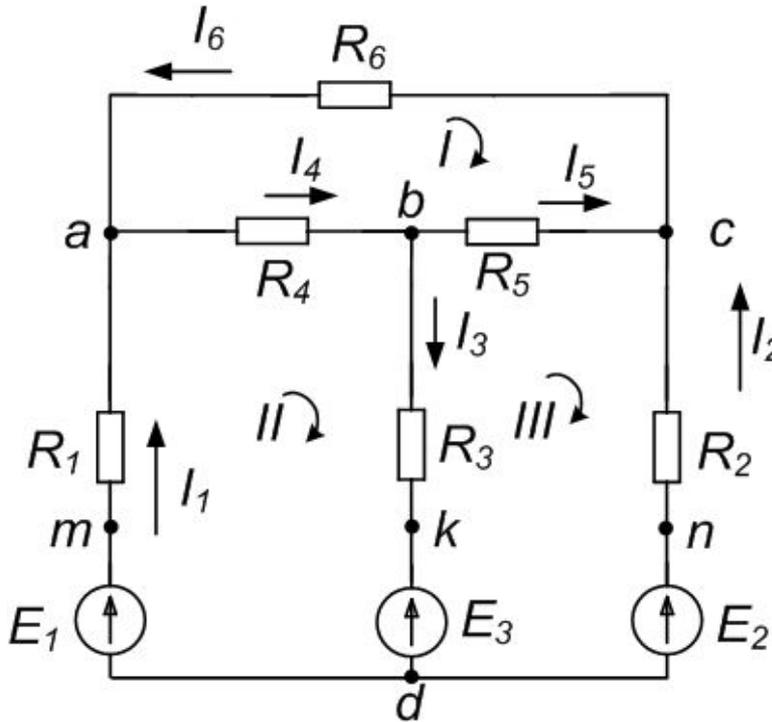
Дано:

$$E_1=70 \text{ В}, E_2=80 \text{ В}, R_1=R_2=R_3=10 \text{ Ом.}$$

Найти:  $I_1=?$ ,  $I_2=?$ ,  $I_3=?$  методом двух узлов.

Решение:

# Метод узловых потенциалов (МУП)



Пусть  $\varphi_a = 0$

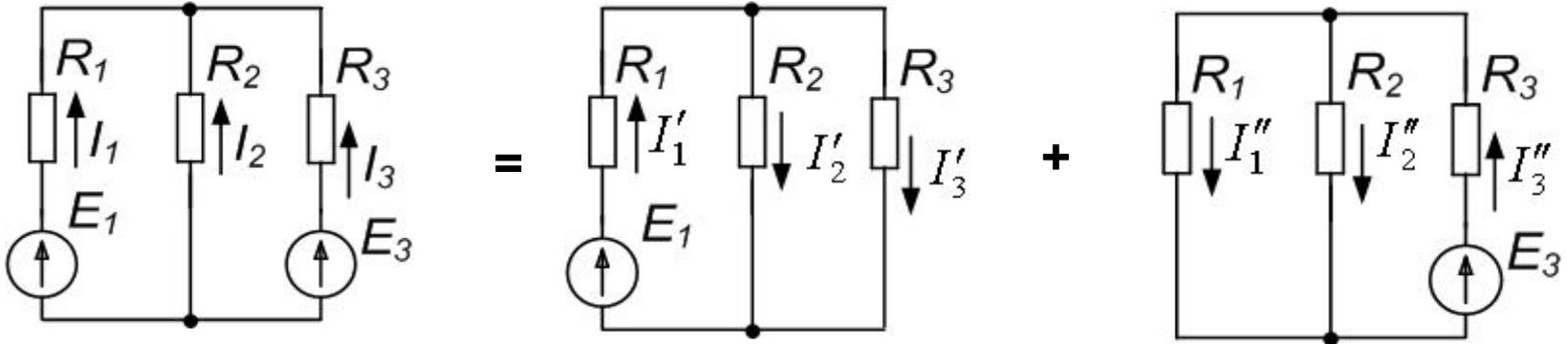
$$\begin{cases} \varphi_b (g_{bb}) + \varphi_c (-g_{bc}) + \varphi_d (-g_{bd}) = I_b, \\ \varphi_b (-g_{cb}) + \varphi_c (g_{cc}) + \varphi_d (-g_{cd}) = I_c, \\ \varphi_b (-g_{db}) + \varphi_c (-g_{dc}) + \varphi_d (g_{dd}) = I_d. \end{cases}$$

# Метод наложения

**Принцип наложения:** ток в любой отдельно взятой ветви равен алгебраической сумме токов, вызываемых каждой из ЭДС схемы отдельно.

Этот принцип справедлив для всех линейных электрических цепей. Он позволяет рассчитать токи без составления и решения системы уравнений. Применяется к схемам с малым количеством источников электрической энергии. Принцип наложения положен в основу метода расчета, получивший название **метод наложения**.

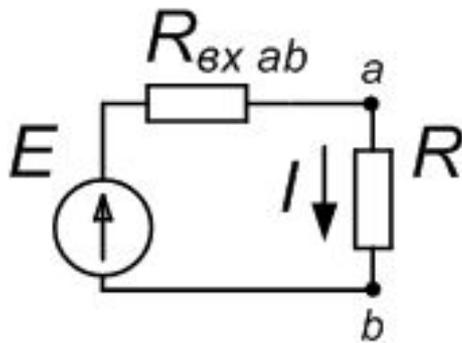
При расчете данным методом поступают следующим образом: поочередно рассчитывают токи, возникающие от воздействия каждой из ЭДС, при этом удаляют все другие источники из схемы оставляя при этом их внутренние сопротивления, и затем находят токи в ветвях путем сложения алгебраической суммы частичных токов.



Токи в исходной схеме через частичные токи:

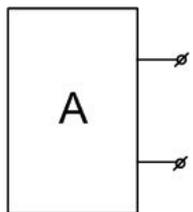
$$I_1 = I_1' - I_1''; \quad I_2 = -I_2' - I_2''; \quad I_3 = -I_3' + I_3''.$$

# Двухполюсники

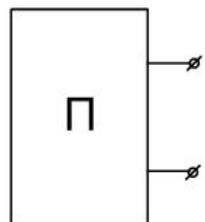


В любой электрической схеме всегда можно мысленно выделить какую-то одну ветку, а всю остальную часть схемы независимо от ее структуры и сложности условно изобразить некоторым прямоугольником. По отношению к выделенной ветки вся схема, которая обозначается прямоугольником и является так называемым двухполюсником.

**Двухполюсник** - это обобщенное название схемы, двумя выходными зажимами (полюсами) присоединена к выделенной ветки.



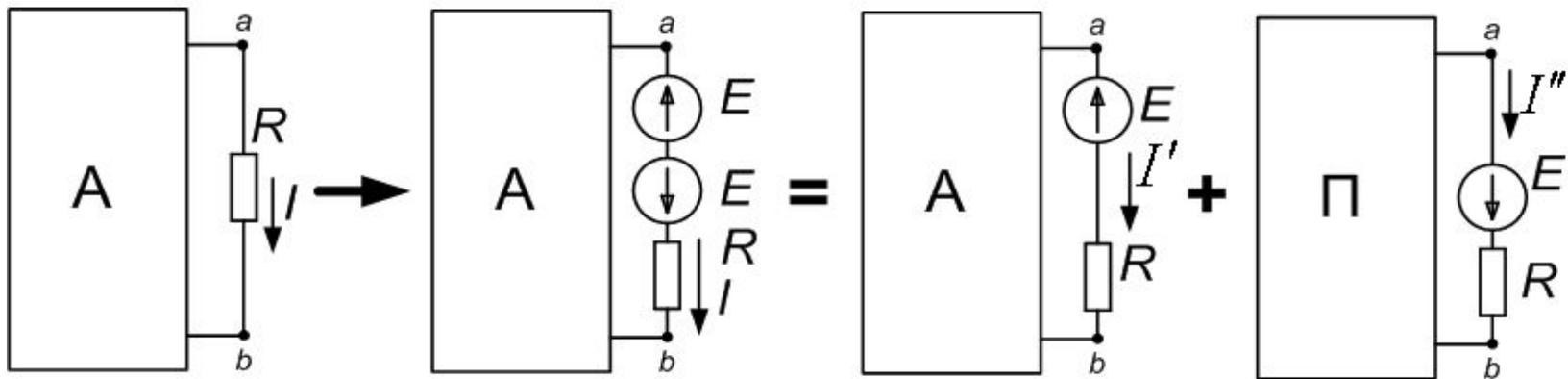
- **активный двухполюсник**, двухполюсник у которого есть источник ЭДС или (и) тока. В этом случае в прямоугольнике ставят букву  $A$ .



- **пассивный двухполюсник**, двухполюсник у которого нет источника ЭДС и (или) тока. В этом случае в прямоугольнике или не ставят ни одной буквы, или ставят букву  $\Pi$ .

# Метод эквивалентного генератора (активного двухполюсника)

Метод эквивалентного генератора применяется тогда, когда необходимо определить ток в одной отдельно взятой ветви электрической цепи.



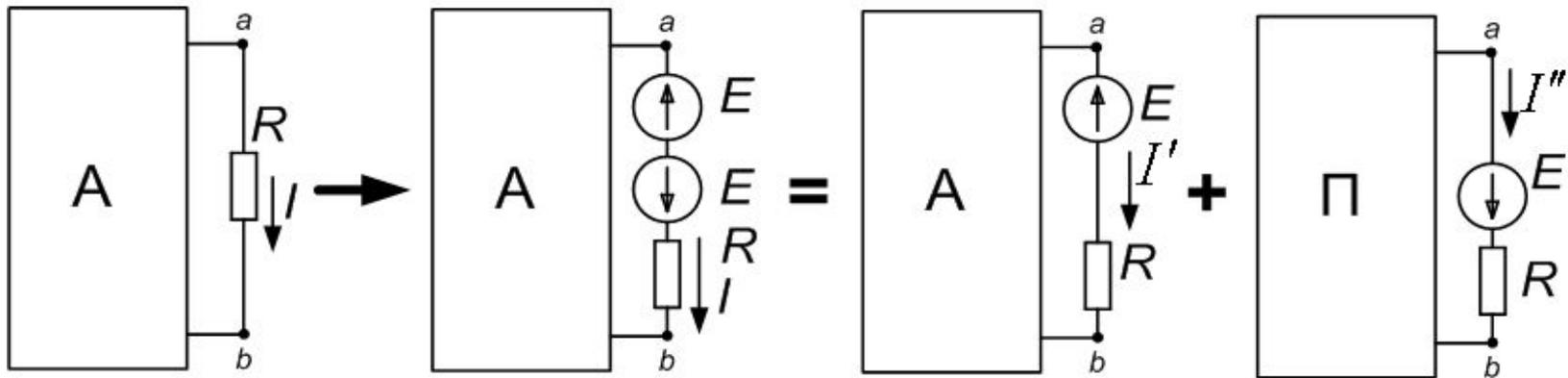
Выделим из схемы ветвь **ab**, в которой необходимо найти ток  $I$ , а всю остальную часть схемы заключим в прямоугольник. Ток  $I$  не изменится, если в ветвь **ab** включить две равные и противоположно направленные ЭДС  $E$ .  $E = U_{ab}$ .

На основании метода наложения ток  $I$  можно записать как сумму частных токов:

$$I = I' + I''.$$

Под током  $I'$  будем понимать ток, вызванный источником ЭДС  $E$  и всеми источниками ЭДС и тока активного двухполюсника. Ток  $I''$  создается только источником ЭДС  $E$  пассивного двухполюсника. В пассивном двухполюснике отсутствуют источники, но оставлены их внутренние сопротивления.

# Метод эквивалентного генератора (активного двухполюсника)



По закону Ома для участка цепи, содержащего ЭДС, ток  $I' = \frac{U_{ab} - E}{R}$ .

А ток  $I'' = \frac{E}{R + R_{\text{вх } ab}}$ .

Выберем ЭДС  $E$  таким образом, чтобы ток  $I' = 0$ , то есть ветка находилась в режиме холостого хода. Это возможно только в случае, когда  $E = U_{\text{вх } ab}$ .

Таким образом, ток

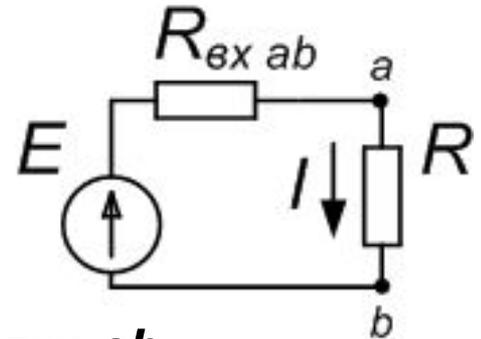
$$I = I' + I'' = I'' = \frac{E}{R + R_{\text{вх } ab}} = \frac{U_{\text{вх } ab}}{R + R_{\text{вх } ab}}.$$

# Метод эквивалентного генератора (активного двухполюсника)

Таким образом, току  $I = \frac{U_{ab}}{R + R_{ex\ ab}}$  соответствует схема, где двухполюсник

заменён эквивалентным генератором с параметрами  $E = U_{ab}$  ;  $R_{ex\ ab}$  .

*Рекомендуется следующая  
последовательность расчета тока методом  
эквивалентного генератора:*



- 1) определить напряжение на выводах разомкнутой ветки **ab**;
- 2) определить входное сопротивление  $R_{ex\ ab}$  всей схемы по отношению к выводам **ab** при замкнутых источниках ЭДС и разомкнутых веток с источниками тока;

3) определить ток по формуле:

$$I = \frac{U_{ab}}{R + R_{ex\ ab}} .$$

## Задача.

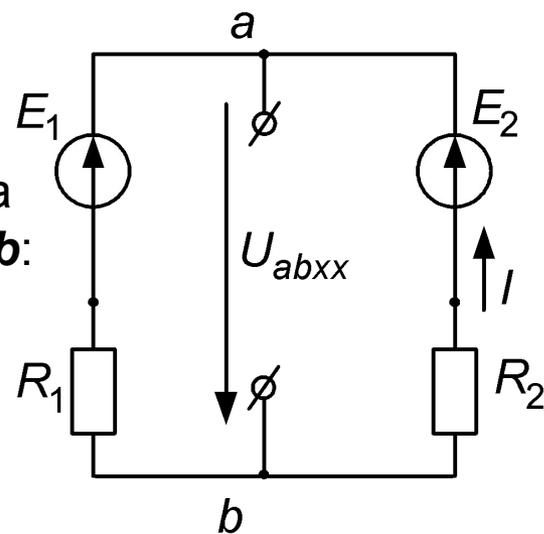
Дано:

$$E_1 = 70 \text{ В}, E_2 = 80 \text{ В}, R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом.}$$

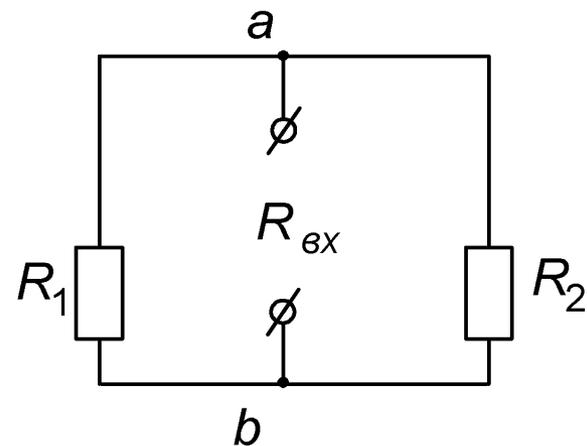
Найти:  $I_3 = ?$  методом эквивалентного генератора.

Решение:

1) определяем напряжение на выводах разомкнутой ветки **ab**:



2) определяем входное сопротивление  $R_{вх\ ab}$  всей схемы по отношению к выводам **ab**:



3) определяем ток по формуле:

$$I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3 + R_{вх\ ab}}.$$



**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ !**

