

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.  
Устинова  
Кафедра электротехники, О8

Лекция 2

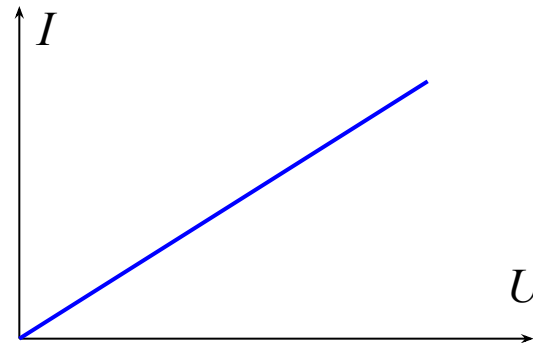
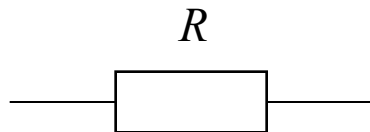
**Расчет электрических цепей  
постоянного тока**

# Расчёт электрических цепей

Электрическая цепь, когда электрические сопротивления участков не зависят от направления и значения токов называется **линейной электрической** цепью.

Такая цепь состоит из линейных элементов, токи напряжения которых могут быть найдены **системой линейных уравнений**.

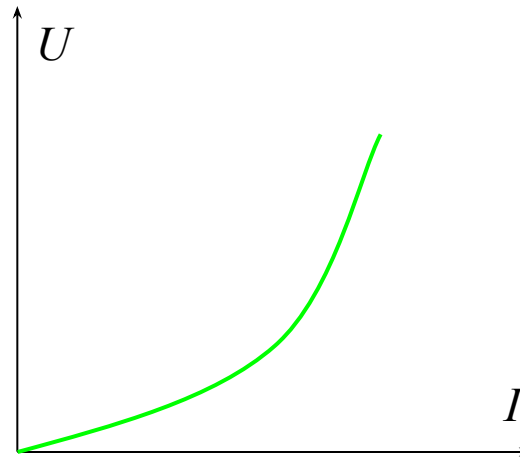
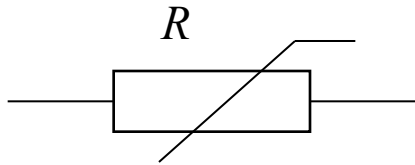
## Обозначение и ВАХ линейного элемента



# Расчёт электрических цепей

Если сопротивление элемента электрической цепи существенно зависит от величины тока или напряжения, то такой элемент называется **нелинейной**.

## Обозначение и ВАХ нелинейного элемента



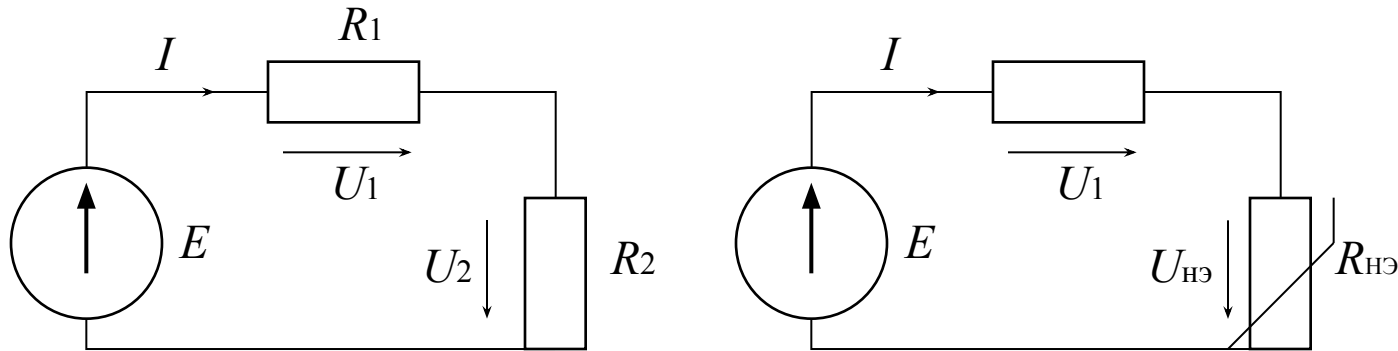
Электрическая цепь, электрические сопротивления хотя бы одного участка зависит от направления и значения тока называется **нелинейной электрической цепью**.

Примеры нелинейных элементов:

терморезисторы; фоторезисторы; варисторы; варикапы, диоды...

# Расчёт электрических цепей

Примеры линейной и нелинейной электрических цепей



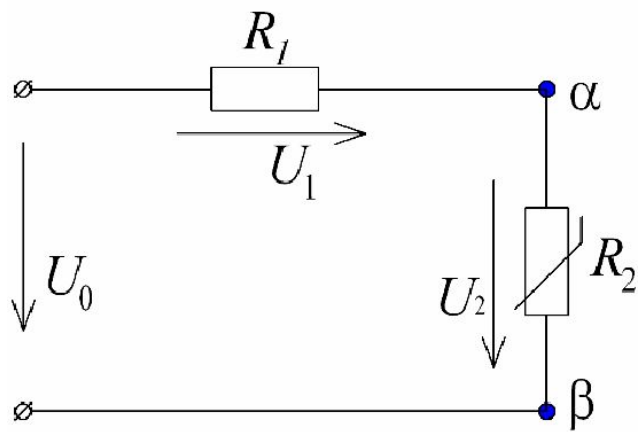
Расчет нелинейных цепей в основном ведут графическим методом.

Расчет основывается графическим способом построения ВАХ элементов и последовательности построения и вычисления.

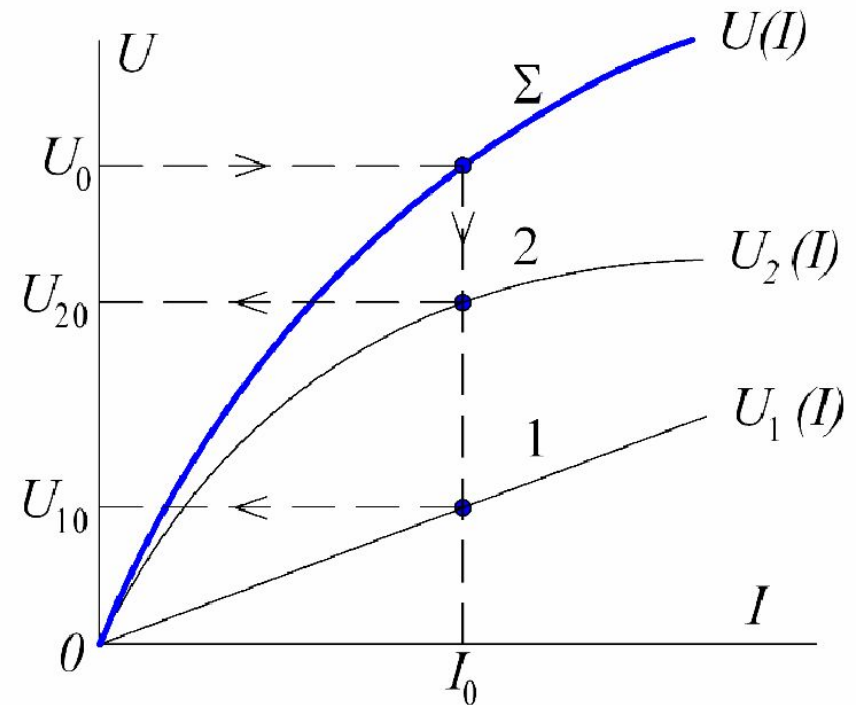
**Данную тему изучаем самостоятельно!**

Параграф 5.1 учебника «Электротехника и электрические машины»

# Расчёт нелинейных электрических цепей



a)



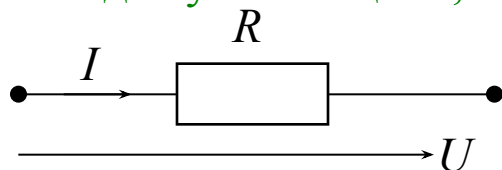
б)

Графический расчёт простейшей последовательной нелинейной резистивной схемы

# Расчёт линейных электрических цепей

## Закон Ома

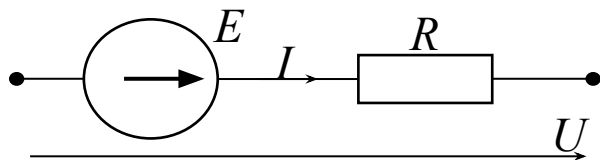
Закон Ома для участка цепи, без источника ЭДС



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

Сила тока в участке цепи прямо пропорционально напряжению на концах этого участка и обратно пропорционально сопротивлению.

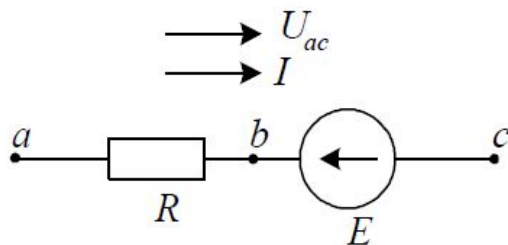
Закон Ома для участка цепи, с источником ЭДС



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

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

Если направление тока, ЭДС и напряжения совпадают то напряжение и ЭДС со знаком +, если нет то со знаком -.



$$I = \frac{(\varphi_a - \varphi_c) - E}{R} = \frac{U_{ac} - E}{R}$$

# Расчёт линейных электрических цепей

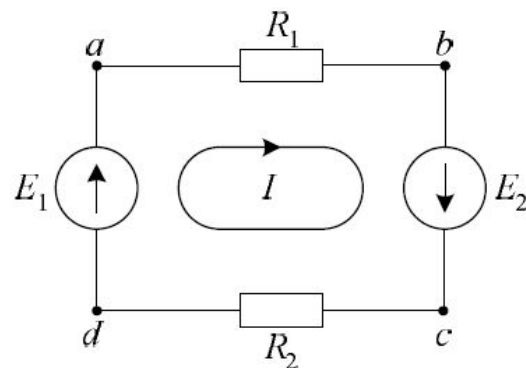
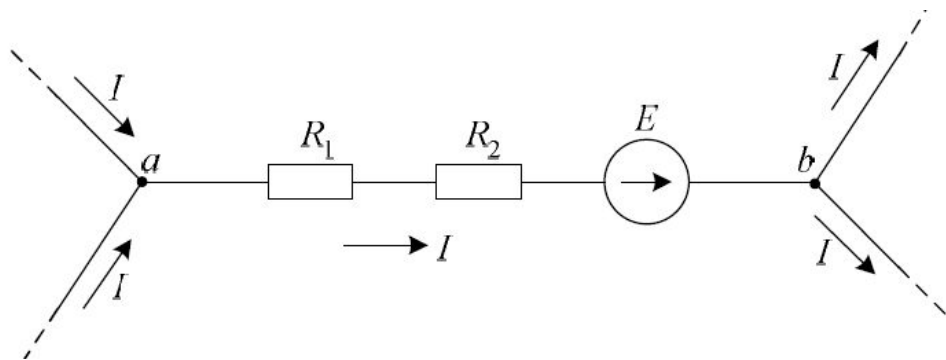
## Составные части электрических цепей

Электрическая цепь состоит из узлов и ветвей.

**Ветвь**- участок электрической цепи состоящий из последовательно соединенных элементов.

Минимальное количество элементов в ветви -1.

В состав ветви входят активные и пассивные элементы, а также измерительные приборы – **амперметр** и **ваттметр**.



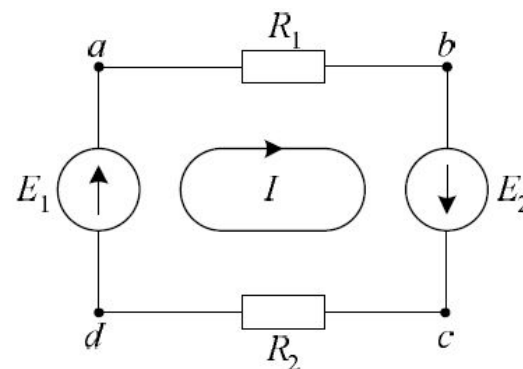
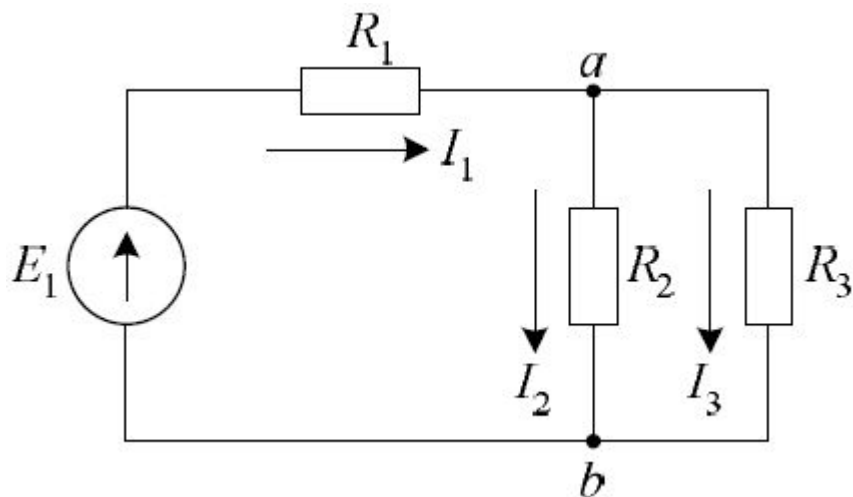
Ветвь является **неразветвленным** участком цепи. Ток в неразветвленном участке один и тот же.

# Расчёт линейных электрических цепей

## Составные части электрических цепей

**Узел** – это точка электрической цепи, где соединяются более трех ветвей.

**Разветвленная электрическая цепь** – цепь содержащая три и более ветвей.



**Контур** – любой замкнутый путь электрической цепи.

В неразветвленной цепи всегда один контур. А в разветвленной цепи более двух.

**Ветвь** – участок цепи соединяющий узлы.

**Ветвь** – путь от одного узла до другого.



# Расчёт линейных электрических цепей

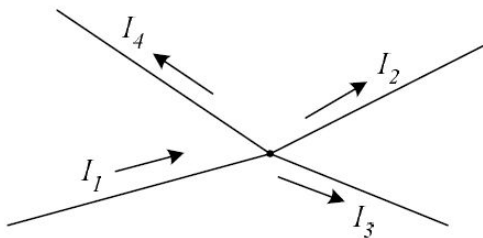
## Законы Кирхгофа

### Первый закон Кирхгофа

Алгебраическая сумма мгновенных значений токов в узле равно нулю.

$$\sum_{k=1}^n i_k = 0 \quad n - \text{КОЛИЧЕСТВО ТОКОВ В ВЕТВЯХ}$$

Пример:



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

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$

Сумма токов направленных к узлу электрической цепи равно сумме токов направленных от узла.

# Расчёт линейных электрических цепей

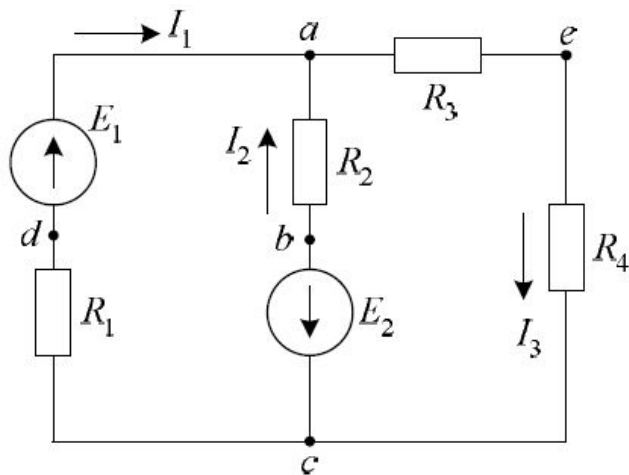
## Законы Кирхгофа

### Второй закон Кирхгофа

В любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжения на элементах данного контура

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{m=1}^h U_m \quad \sum_{k=1}^n E_k = \sum_{m=1}^h I_m R_m$$

$n$  – количество источников ЭДС  
в замкнутом контуре;  
 $h$  – количество элементов в  
замкнутом контуре;



# Расчёт линейных электрических цепей

## Законы Кирхгофа

**Последовательность** составления системы уравнений по законам Кирхгофа:

1. Обозначаем (выбираем) произвольные направления токов в ветвях цепи.  
количество токов цепи равняется количеству ветвей  $-n$  ;
2. Обозначим (отметим) узлы электрической цепи.  
например,  $h$ ;
3. Для  $h-1$  узлов составляем уравнения на основании **первого закона Кирхгофа**;
4. Выбираем (произвольно) независимые замкнутые контура.  
Их количество равняется  $n-(h-1)$ ;
5. Для выбранных контуров составляем  $n-(h-1)$  уравнения на основании **второго закона Кирхгофа**;

# Расчёт электрических цепей

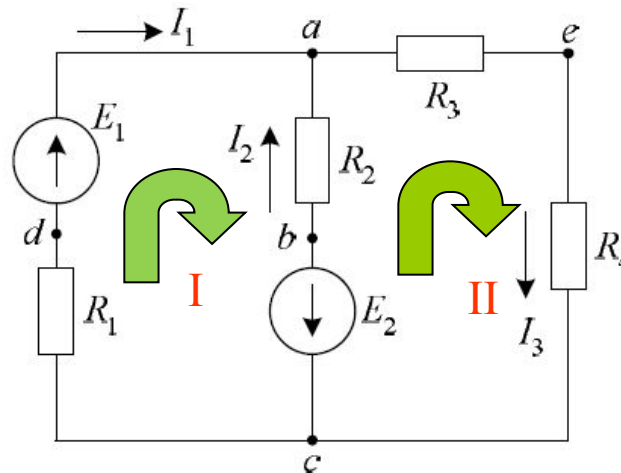
## Законы Кирхгофа

### Пример 1

Цепь содержит:

- 3 ветви;

- 2 узла.



$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

узел *a*

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 + E_2$$

замкнутый контур **I**

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_3 R_4 = -E_2$$

замкнутый контур **II**

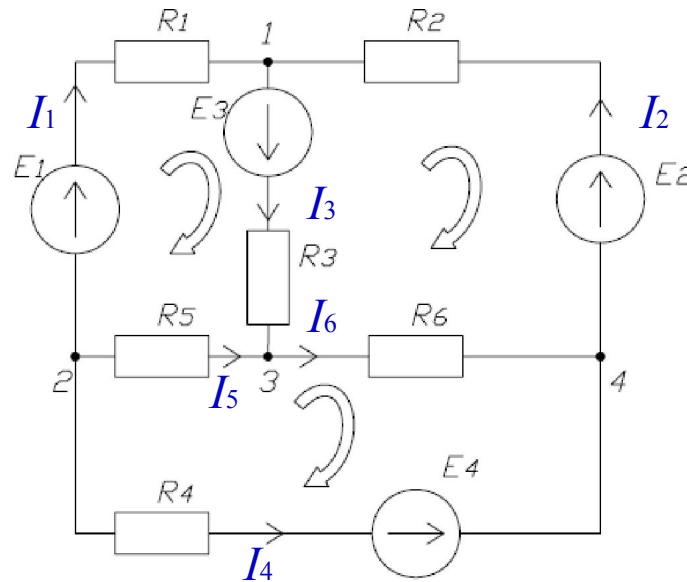
# Расчёт линейных электрических цепей

## Законы Кирхгофа

Пример 2

число ветвей  $n=6$

число узлов  $h=4$



$$\left. \begin{aligned} I_1 + I_2 - I_3 &= 0, \\ -I_1 - I_5 - I_4 &= 0, \\ I_3 + I_5 - I_6 &= 0. \end{aligned} \right\} h-1=3$$

$$\left. \begin{aligned} I_1 R_1 + I_3 R_3 - I_5 R_5 &= E_1 + E_3 \\ -I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_6 R_6 &= -E_2 - E_3 \\ -I_4 R_4 + I_5 R_5 + I_6 R_6 &= -E_4 \end{aligned} \right\} n-(h-1)=6-3=3$$

# Расчёт линейных электрических цепей

## Баланс мощностей

Для проверки результатов расчета оставляем баланс мощностей. На основании закона сохранения энергии в электрической цепи:

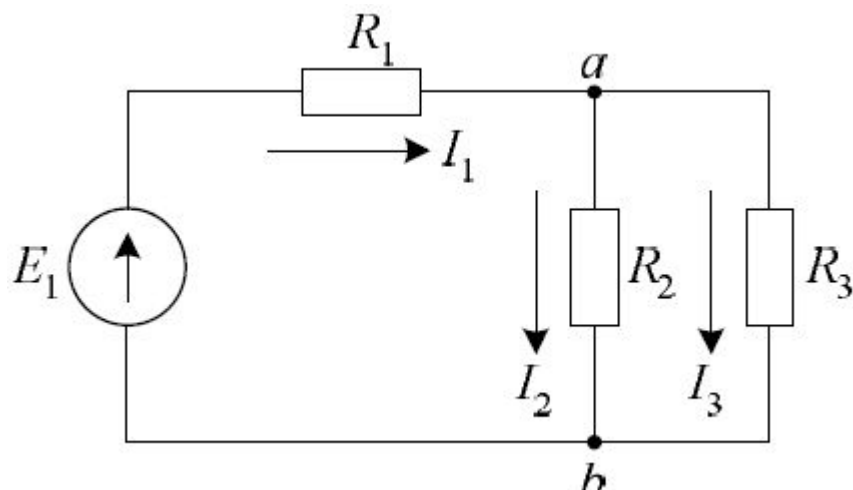
**Сумма мощностей**, развиваемая источниками энергии, должна быть равна **сумме мощностей приемников**:

$$\sum EI = \sum RI^2$$

Мощности источников и потребителей рассчитываем на основании закона Джоуля – Ленца.

$\sum EI$  - сумма мощностей источников;

$\sum RI^2$  - сумма мощностей всех приемников и потерь внутри источников.



*Пример*

$$E_1 I_1 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3$$

### Пример:

Задана электрическая схема, со следующими параметрами:

$$E_1 = 52 \text{ В};$$

$$E_2 = 69 \text{ В};$$

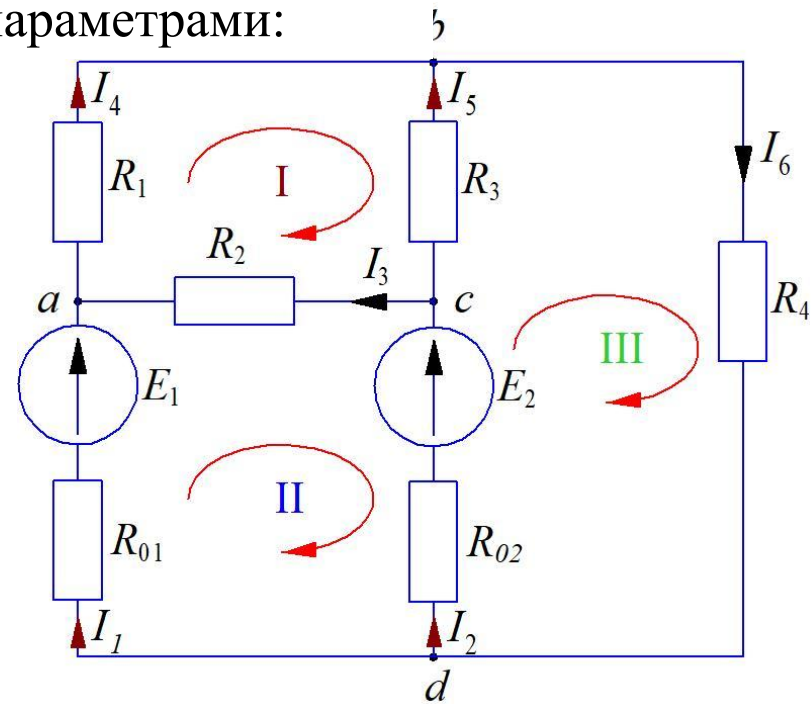
$$R_{01} = 1 \text{ Ом};$$

$$R_{02} = 2 \text{ Ом};$$

$$R_2 = 5 \text{ Ом};$$

$$R_3 = 6 \text{ Ом};$$

$$R_4 = 3 \text{ Ом}.$$



Найти токи во всех ветвях и составить уравнение баланса мощностей

1. Зададим условно положительные направления токов в ветвях и обозначим их  $I_1 - I_6$
2. Обозначим узлы, имеющиеся в схеме ( $a, b, c, d$ ).
3. Составим уравнения на основе первого закона Кирхгофа для любых трех узлов из четырех:

$$\text{для узла } a \rightarrow I_1 + I_3 - I_4 = 0,$$

$$\text{для узла } b \rightarrow I_4 + I_5 - I_6 = 0,$$

$$\text{для узла } c \rightarrow I_2 - I_3 - I_5 = 0.$$

Для расчета всех токов не хватает ещё трёх уравнений.

4. Выберем три независимых замкнутых контура и обозначим их римскими цифрами *I*, *II*, *III*;

5. Выберем условно положительные направления обхода (например, по часовой стрелке, как показано на рисунке)

6. Для выбранных контуров, составим уравнения на основании второго закона Кирхгофа:

Контур *I* →  $R_2 \cdot I_3 + R_4 \cdot I_4 - R_3 \cdot I_5 = 0$

Контур *II* →  $R_{01} \cdot I_1 - R_{02} \cdot I_2 - R_2 \cdot I_3 = E_1 - E_2$

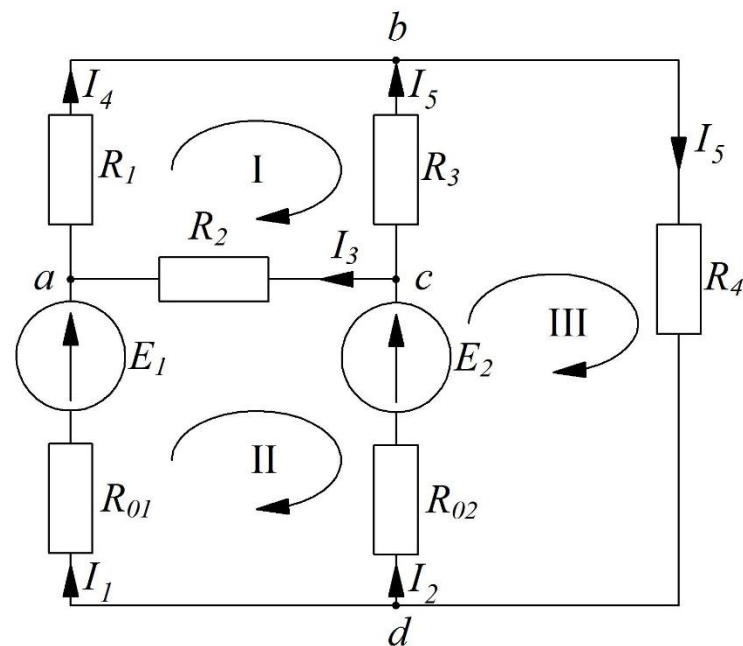
Контур *III* →  $R_{02} \cdot I_2 + R_3 \cdot I_5 + R_4 \cdot I_6 = E_2$

Результаты вычислений:

$$I_1 = 5 \text{ A}, I_2 = 6 \text{ A},$$

$$I_3 = 2 \text{ A}, I_4 = 7 \text{ A},$$

$$I_5 = 4 \text{ A}, I_6 = 11 \text{ A}.$$





7. Для проверки результатов вычислений, составим уравнения баланса мощностей:

$$\sum P_{\text{ист}} = \sum P_{\text{пр.}}$$

$$E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 = R_{01} \cdot I_1^2 + R_{02} \cdot I_2^2 + R_2 \cdot I_3^2 + R_1 \cdot I_4^2 + R_3 \cdot I_5^2 + R_4 \cdot I_6^2$$

$$52 \cdot 5 + 69 \cdot 6 = 1 \cdot 5^2 + 2 \cdot 6^2 + 5 \cdot 2^2 + 2 \cdot 7^2 + 6 \cdot 4^2 + 3 \cdot 11^2$$

$$674 \text{ Вт} = 674 \text{ Вт.}$$

Результаты проверки баланса мощностей подтверждают правильность проведенных расчетов!