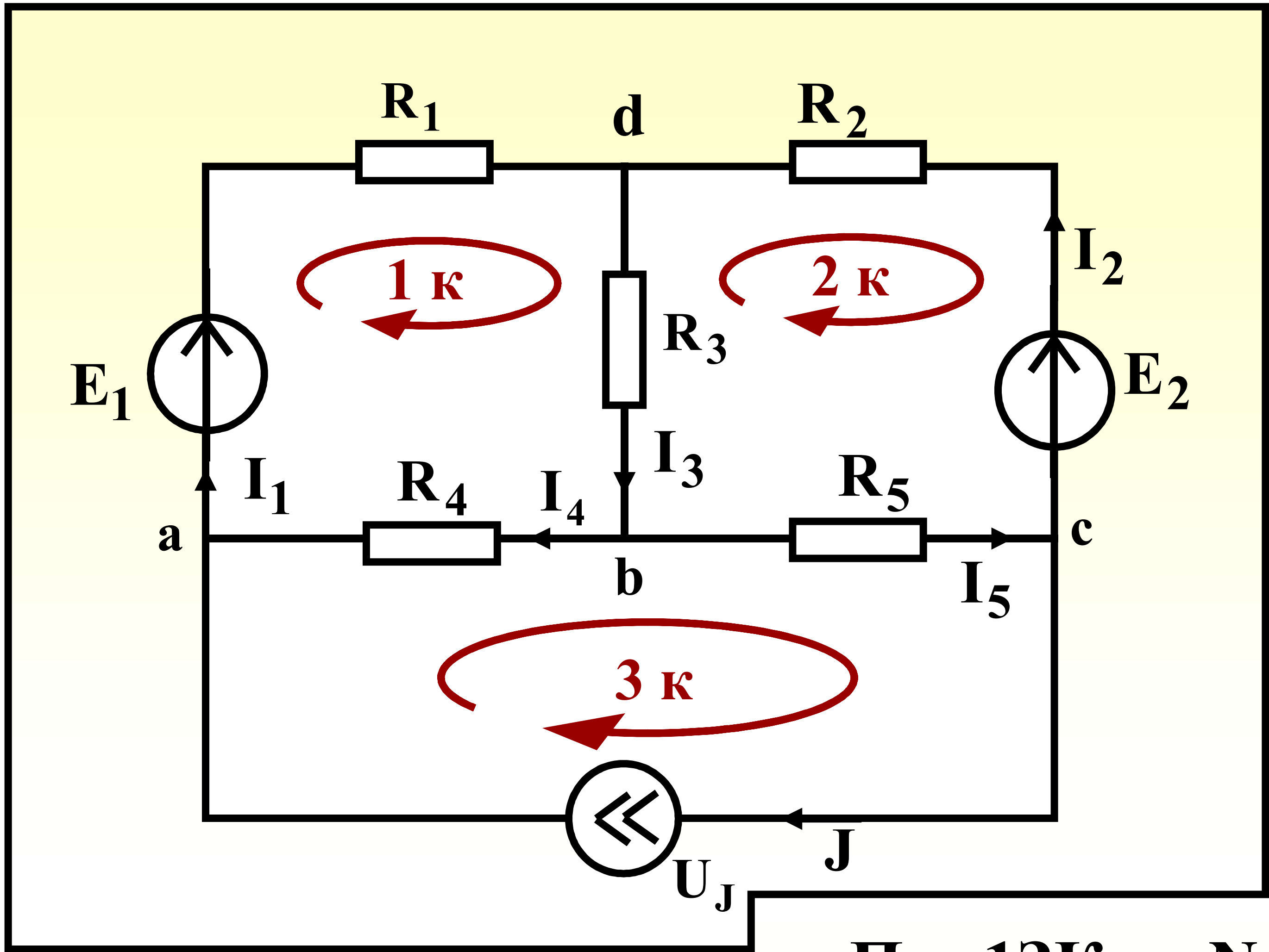
1. Метод законов Кирхгофа

Решение системы уравнений, составленных по законам Кирхгофа, позволяет определить все токи и напряжения в рассматриваемой цепи

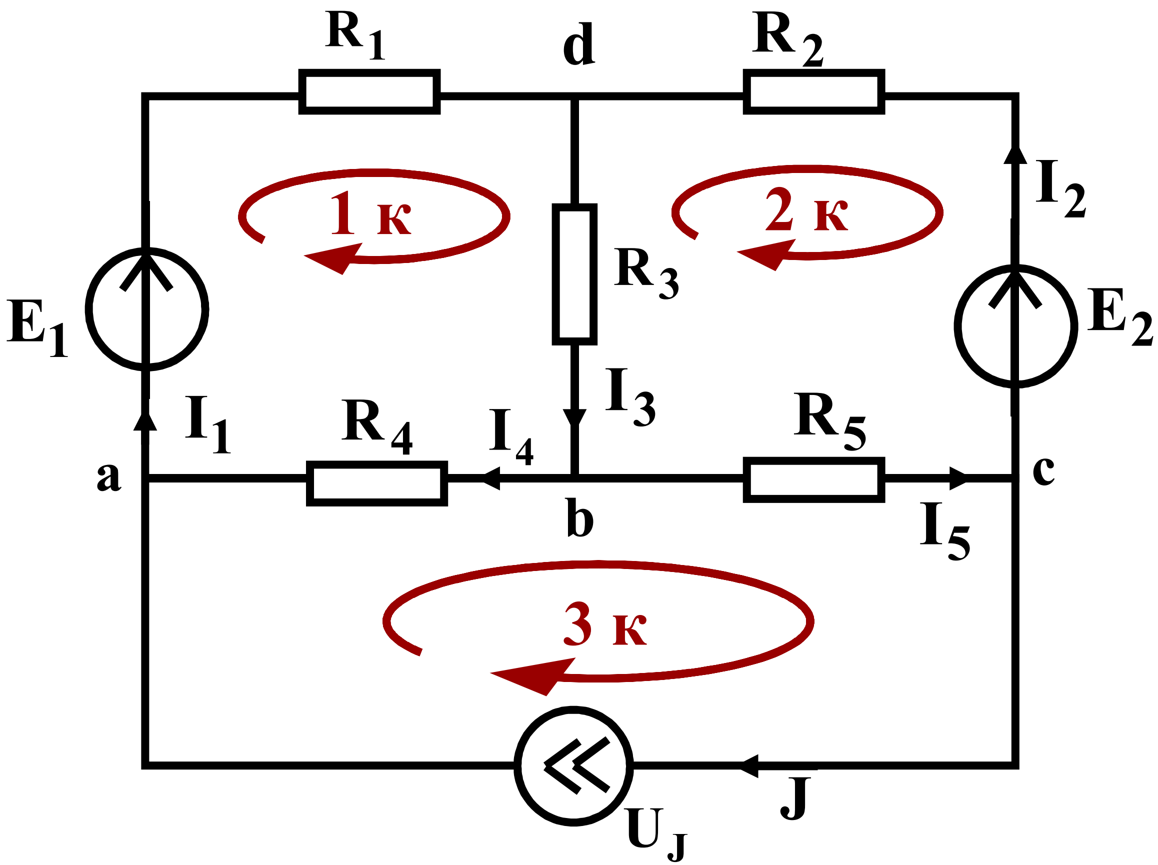


$N = 4$

$M = 6$

По 1ЗК : $N - 1 = 3$

По 2ЗК : $M - N + 1 = 3$

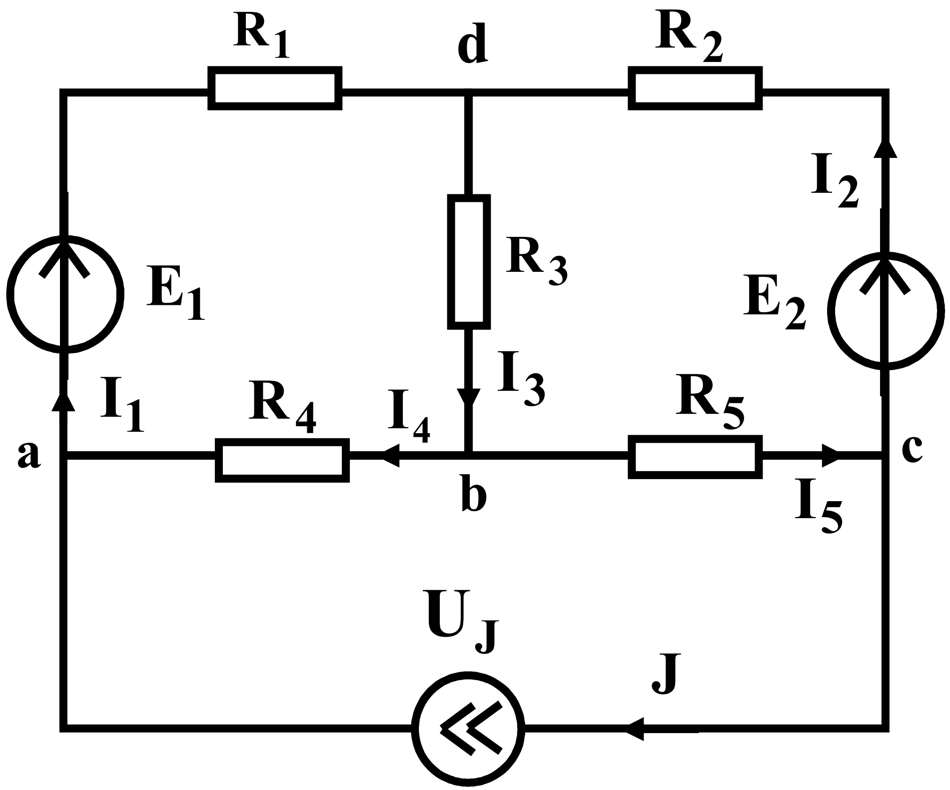


$$\begin{aligned}
&a: \quad I_1 - I_4 - J = 0 &\qquad& 1к: \quad R_1 I_1 + R_3 I_3 + R_4 I_4 = E_1\\
&b: \quad -I_3 + I_4 + I_5 = 0 &\qquad& 2к: \quad -R_2 I_2 - R_3 I_3 - R_5 I_5 = -E_2\\
&c: \quad I_2 - I_5 + J = 0 &\qquad& 3к: \quad -R_4 I_4 + R_5 I_5 = U_J
\end{aligned}$$

Теорема Телледжена:

Для любого момента времени сумма вырабатываемых мощностей источников равна сумме потребляемых мощностей во всех пассивных элементах рассматриваемой цепи

$$\boxed{P_В = P_П}$$



$$P_{в} = E_1I_1 + E_2I_2 + U_J J = \ldots\ \text{Вт}$$

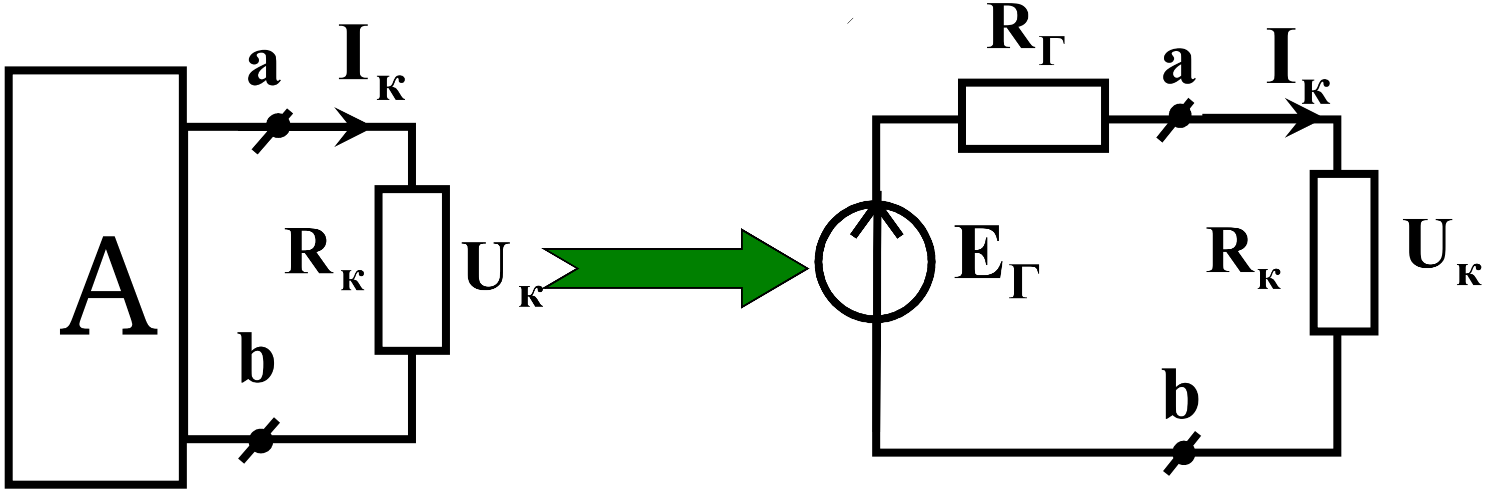
$$P_{п} = I_1^2R_1 + I_2^2R_2 + I_3^2R_3 + I_4^2R_4 + I_5^2R_5 = \ldots\ \text{Вт}$$

$$\delta_{p}\,\% = \frac{\left| P_{в} - P_{п} \right|}{P_{в}} \cdot 100 \le 3\%$$

2. Метод эквивалентного генератора

Используется, когда нужно определить ток только в одной ветви

Теорема: любой активный двухполюсник, рассматриваемый относительно двух зажимов, можно представить в виде эквивалентного источника ЭДС, с ЭДС, равной напряжению холостого хода относительно этих зажимов. При этом внутреннее сопротивление источника ЭДС равно эквивалентному сопротивлению активного двухполюсника относительно рассматриваемых зажимов.



$$I_к = \frac{E_Г}{R_Г + R_к} \qquad R_Г = R_{ab}$$

$E_Г = U_к^{(xx)}$ когда $I_к = 0$ при $R_к = \infty$

\- опыт **холостого хода**

$I_к^{(кз)} = \dfrac{E_Г}{R_Г}$ когда $U_к = 0$ при $R_к = 0$

\- опыт **короткого замыкания**

Алгоритм расчета

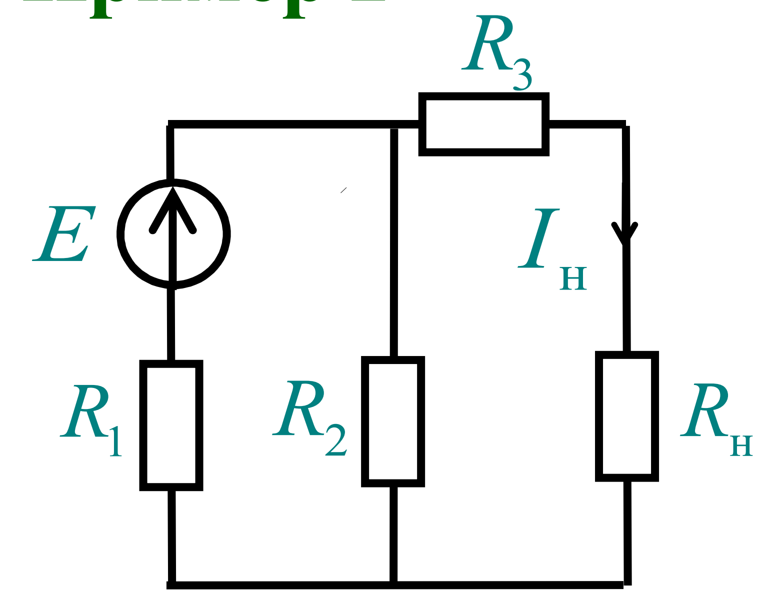
1. Разрывается цепь относительно выделенной ветви и любым методом определяется напряжение холостого хода $\mathbf{E_Г = U_{xx}}$

2. Определяется сопротивление цепи $\mathbf{R_Г}$ относительно выделенной ветви. При этом ветви с источниками тока удаляются, а источники ЭДС заменяются проводниками.

3. Определяется ток ветви

$$\boxed{\mathbf{I_к = \frac{E_Г}{R_Г + R_к}}}$$

Пример 2

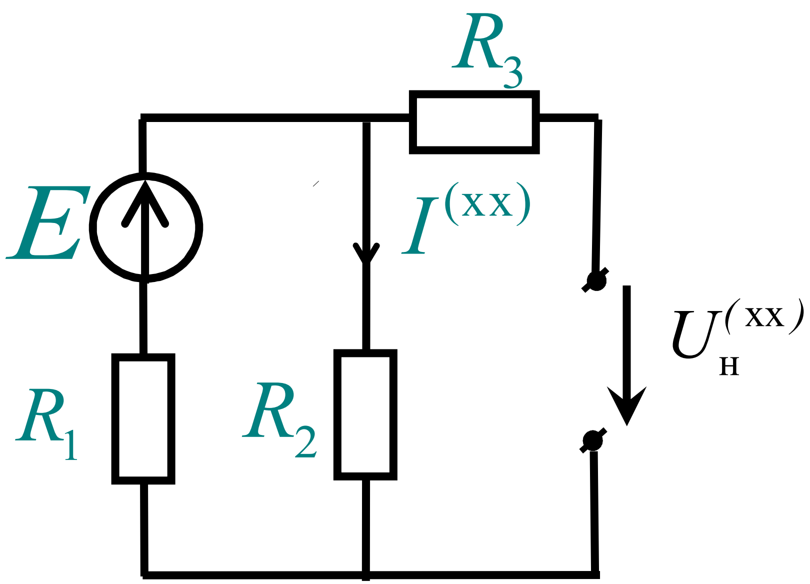


Определить: $I_н$

$$I_н = \frac{E_г}{R_г + R_н}$$

1) находим напряжение холостого хода $U_н^{(xxx}$

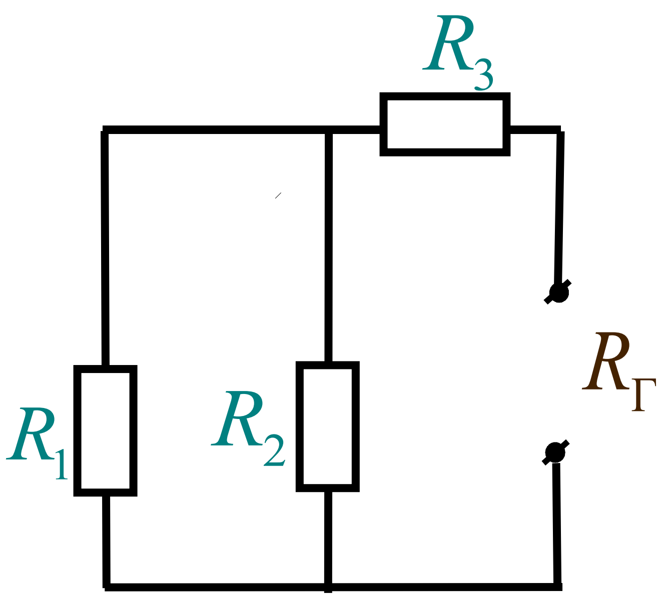
$$U_н^{(xx)} - R_2 I^{(xx)} = 0$$



$$I^{(xx)} = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$E_Г = U_н^{(xx)} = R_2 I^{(xx)}$$

б) находим $R_Г$

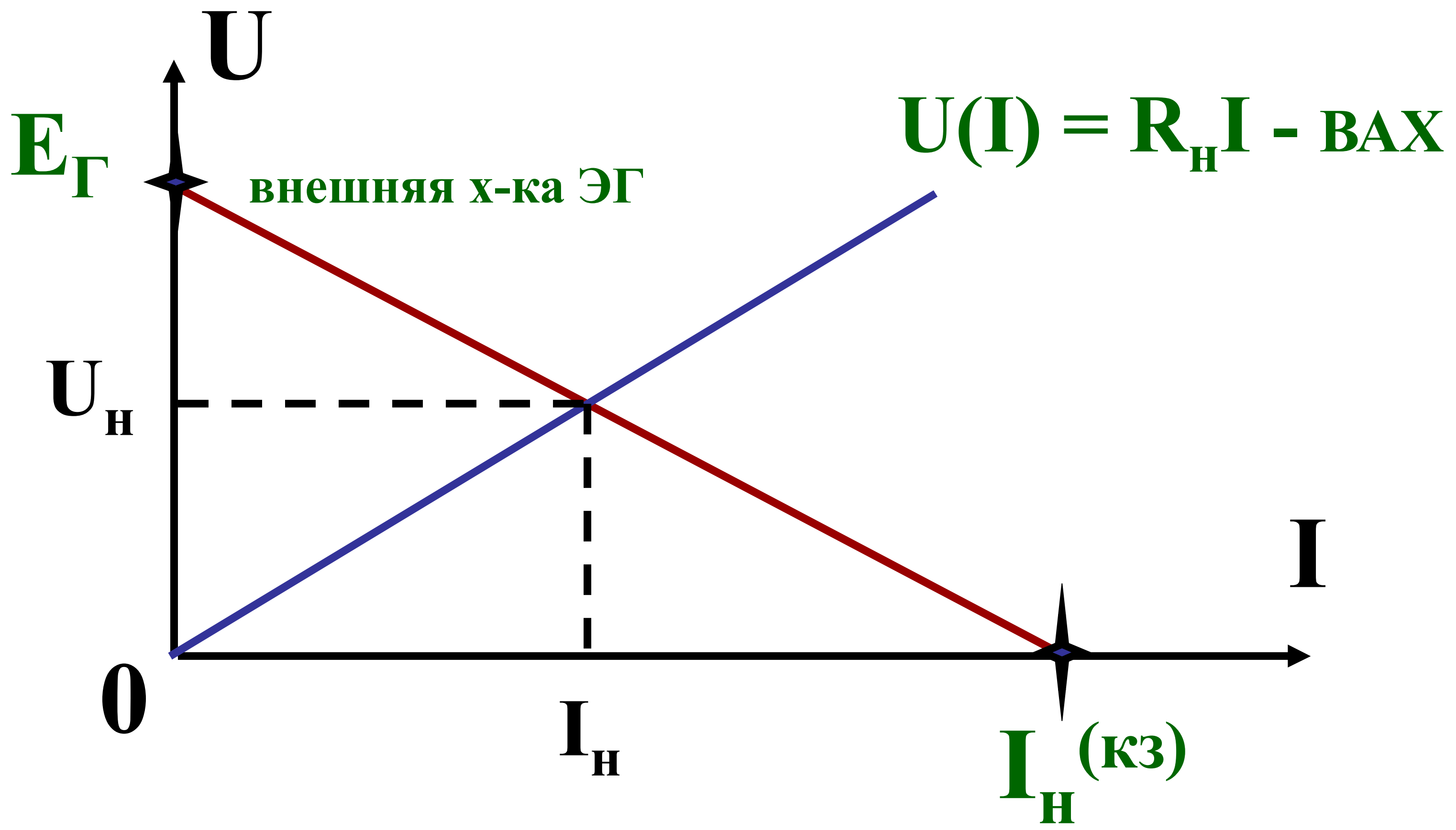


$$R_Г = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3$$

тогда

$$I_н = \frac{E_Г}{R_Г + R_н}$$

Графическое определение $I_н$ и $U_н$



3. Метод контурных токов

Основан на решении уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа и позволяет уменьшить порядок системы уравнений

Контурный ток – это ток, текущий в независимом контуре.

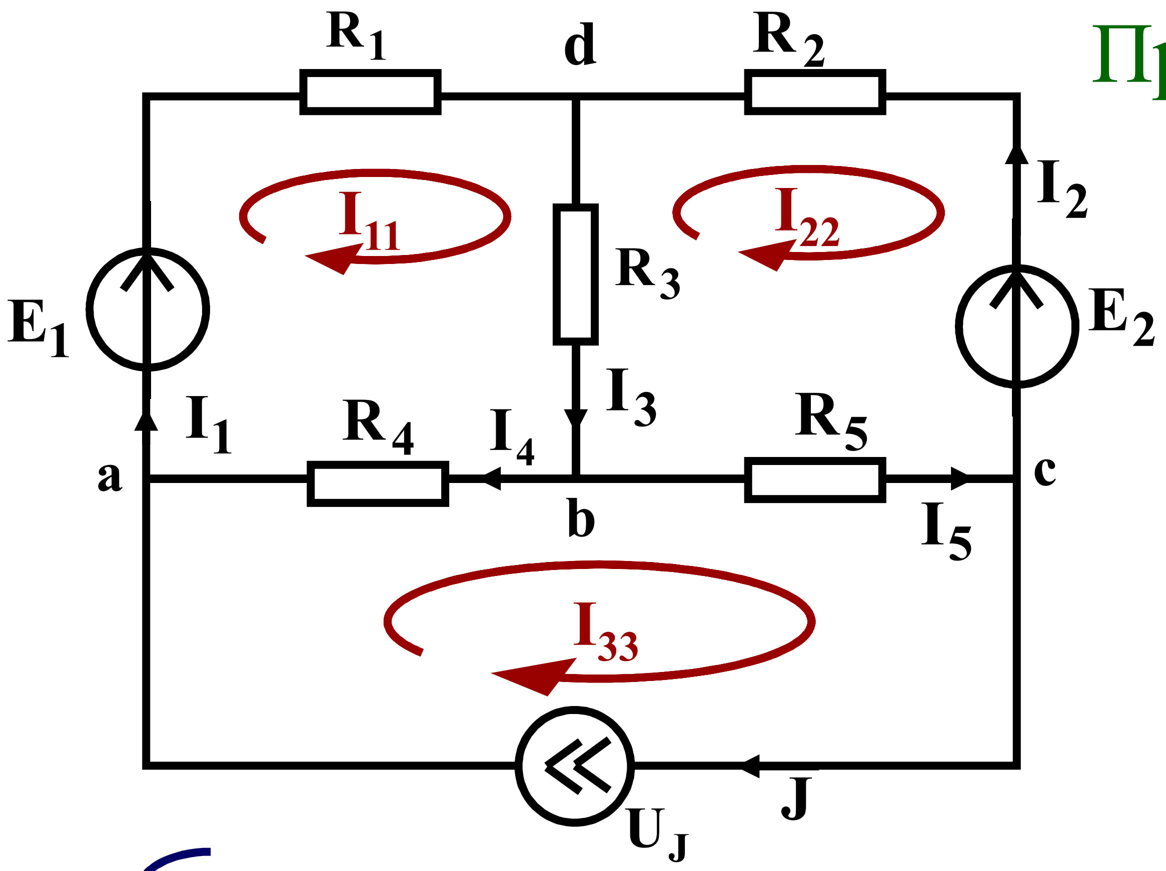
Число контурных токов равно числу независимых контуров: M-N+1

Алгоритм составления уравнений

1. Контурный ток рассматриваемого контура умножается на сумму сопротивлений этого контура.
2. К этому произведению дописываются произведения всех соседних контурных токов на общие сопротивления (с “+”, если контурные токи текут через общее сопротивление в одном направлении).
3. В правой части уравнения записывается алгебраическая сумма ЭДС контура (с “+”, если направление ЭДС совпадает с направлением контурного тока).

Важно!!!

Для контура с источником тока уравнение не составляется, так как контурный ток будет равен току источника тока, через источник тока должен проходить только один контурный ток.



Пример 1: **$N = 4$**

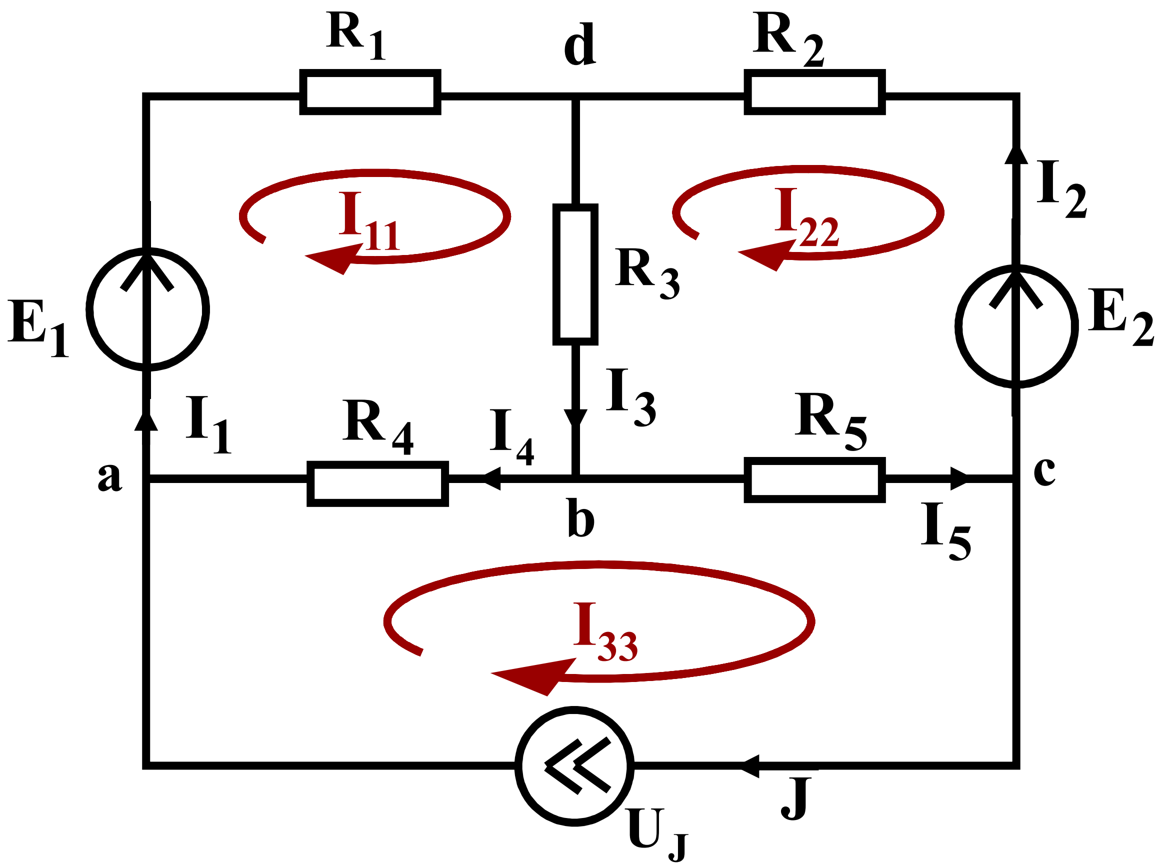
$M = 6$

Нужно выбрать

$6 - 4 + 1 = 3$

контурных тока

$$
\begin{cases}
I_{33} = J \\
I_{11}(R_1 + R_3 + R_4) - I_{22}R_3 - I_{33}R_4 = E_1 \\
I_{22}(R_2 + R_3 + R_5) - I_{11}R_3 - I_{33}R_5 = -E_2
\end{cases}
$$



Решаем систему, находим контурные токи, затем находим реальные токи ветвей:

$$I_1 = I_{11}$$

$$I_2 = -I_{22}$$

$$I_3 = -I_{22} + I_{11}$$

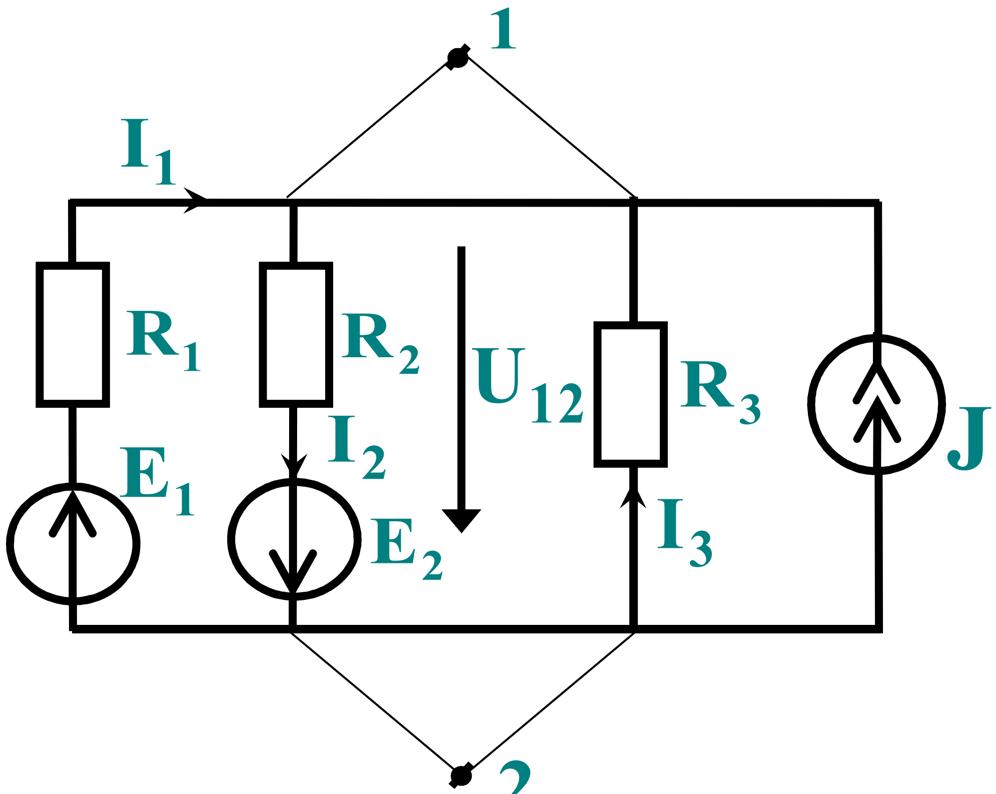
$$I_4 = I_{11} - I_{33}$$

$$I_5 = -I_{22} + I_{33}$$

$$U_J = -R_4 I_4 + R_5 I_5$$

4. Метод двух узлов (межузлового напряжения)

применяется для цепей, имеющих только два узла (например, узел 1 и узел 2).



Порядок расчета

1. Вычисляется межузловое напряжение, направленное от узла 1 к узлу 2:

$$\mathbf{U}_{12} = \frac{\left(\sum\limits_{\mathbf{n}} \pm \frac{\mathbf{E_n}}{\mathbf{R_n}} + \sum\limits_{\mathbf{k}} \pm \mathbf{J_k}\right)}{\sum\limits_{\mathbf{m}} \frac{1}{\mathbf{R_m}}}$$

$\sum\limits_{\mathbf{n}} \pm \frac{\mathbf{E_n}}{\mathbf{R_n}}$ – алгебраическая сумма отношений ЭДС ветвей к сопротивлениям этих ветвей (с «+», если стрелка ЭДС не совпадает с $\mathbf{U_{12}}$);

$\sum\limits_{\mathbf{k}} \pm \mathbf{J_k}$ – алгебраическая сумма токов источников тока (с «+», если его направление не совпадает с $\mathbf{U_{12}}$);

$\sum_{m} \frac{1}{R_m}$ – сумма проводимостей всех ветвей, соединяющих узлы 1 и 2.

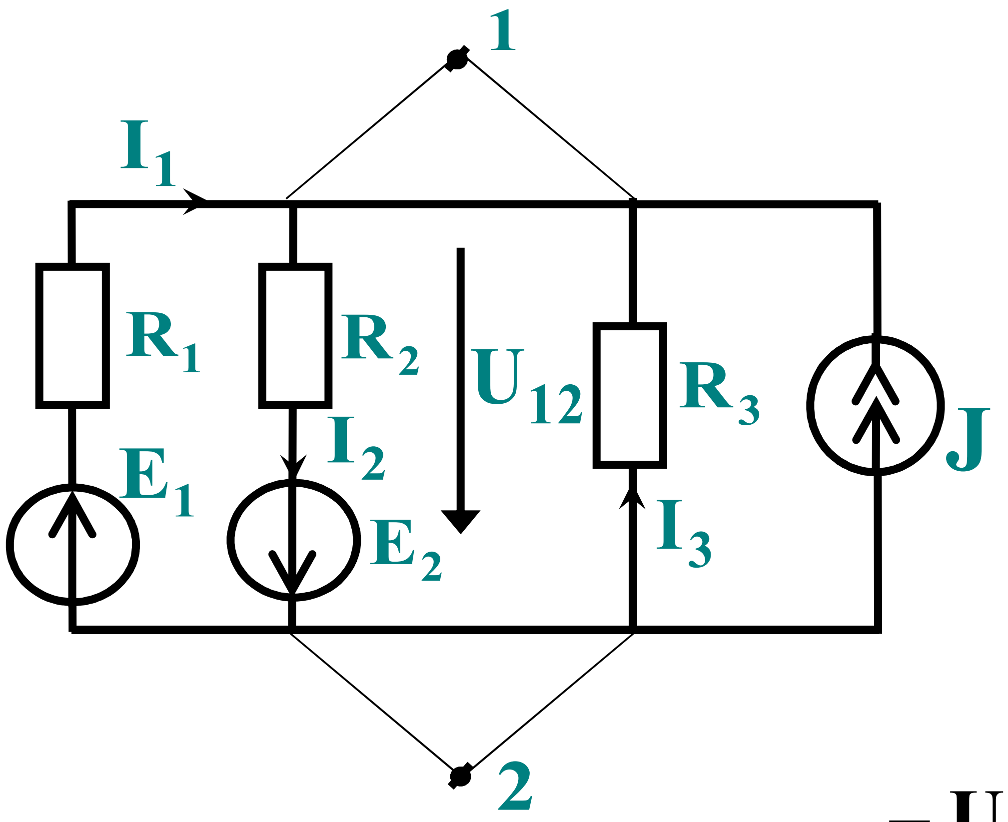
2. Вычисляются токи ветвей по закону Ома:

$$I_k = \frac{\pm U_{12} \pm E_k}{R_k}$$

«+», если направление тока I_k в *k*-ой ветви совпадает с направлением U_{12} и E_k;

R_k – сопротивление *k*-ой ветви.

Например:



$$U_{12} = \frac{\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} + J}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{\infty}}$$

$$I_1 = \frac{-U_{12} + E_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U_{12} + E_2}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{-U_{12}}{R_3}$$