

# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский университет «Московский институт  
электронной техники»

Институт микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина

Курсовая работа

По дисциплине

«Электротехника»

Вариант 21

Выполнил: Русинов И.В.

ЭН-22

Москва 2025

## Курсовая работа (Часть 1)

Заданную электрическую цепь необходимо рассчитать, используя следующие методы:

1. МЭП (Метод эквивалентных преобразований) – найти ток в любой ветви схемы, используя МЭП;
2. Законы Кирхгофа (найти все токи в ветвях);
3. МКТ (Метод контурных токов) – найти токи во всех ветвях;
4. МУП (Метод узловых потенциалов) – найти токи во всех ветвях;
5. МЭГ (Метод эквивалентного генератора) – найти ток в любой ветви;
6. Построить схему своего варианта в Multisim и снимать результаты моделирования (токи в ветвях);
7. Результаты расчета токов, вышеуказанными методами и результаты моделирования, свести в таблицу и сравнить между собой.;
8. Построить потенциальную диаграмму для любого контура (на выбор).;
9. Выполнить расчет баланса мощности для схемы.

<i>Var.</i>	$E_1,$ <i>B</i>	$E_2,$ <i>B</i>	$E_3,$ <i>B</i>	$E_4,$ <i>B</i>	$E_5,$ <i>B</i>	$E_6,$ <i>B</i>	$J,$ <i>A</i>	$R_1,$ <i>Ом</i>	$R_2,$ <i>Ом</i>	$R_3,$ <i>Ом</i>	$R_4,$ <i>Ом</i>	$R_5,$ <i>Ом</i>	$R_6,$ <i>Ом</i>
25	10	12	14	8	15	20	6	6	3	4	1	10	3

Рисунок 1. Параметры схемы

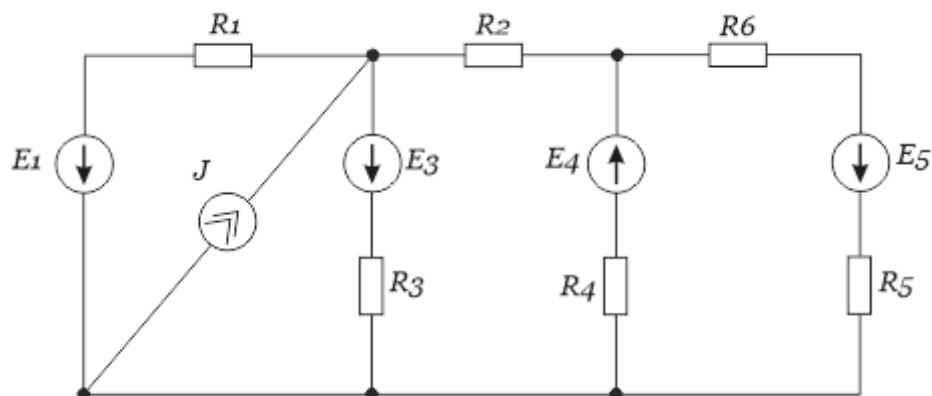


Рисунок 2. Схема цепи

# 1. МЭП (Метод эквивалентных преобразований) – найти ток в любой ветви

Сложим два последовательно соединенных резистора  $R_5, R_6$ , а также преобразуем источники ЭДС  $E_3, E_4, E_5$  в источники тока:

$$R'_5 = R_5 + R_6 = 130 \text{ Ом}$$

$$J_3 = \frac{E_3}{R_3} = 3.5 \text{ А}; J_4 = \frac{E_4}{R_4} = 8 \text{ А}; J_5 = \frac{E_5}{R_5} = 1.154 \text{ А}$$

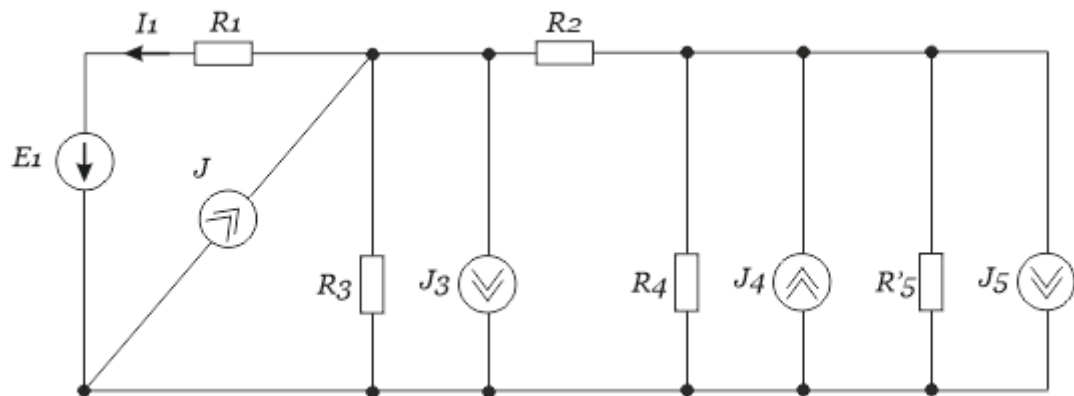


Рисунок 1.1

Объединим два параллельных источника тока и резистора:

$$J_2 = J_4 - J_5 = 6.846 \text{ А}$$

$$R_{45} = \frac{R_4 \cdot R'_5}{R_4 + R'_5} = 0.929 \text{ Ом}$$

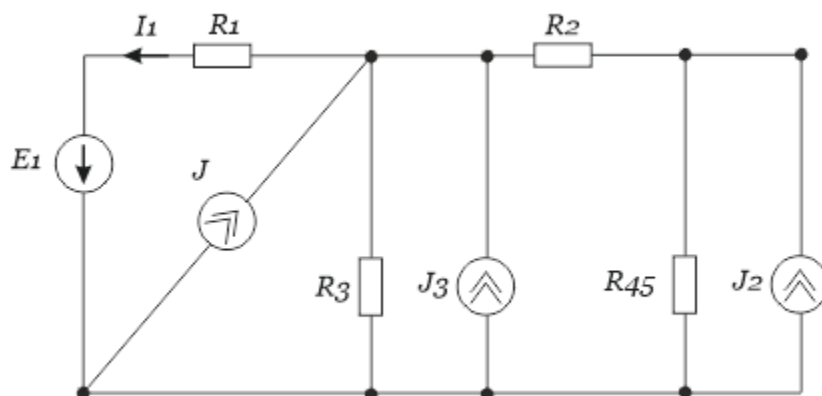


Рисунок 1.2

Преобразуем источник тока  $J_2$  в источник ЭДС и сложим два последовательно соединенных резистора  $R_2, R_{45}$ :

$$E_2 = J_2 \cdot R_{45} = 6.357 \text{ В}$$

$$R'_2 = R_2 + R_{45} = 3.929 \text{ Ом}$$

Теперь преобразуем источник ЭДС  $E_2$  в источник тока  $J'_2$  с сопротивлением  $R'_2$ :

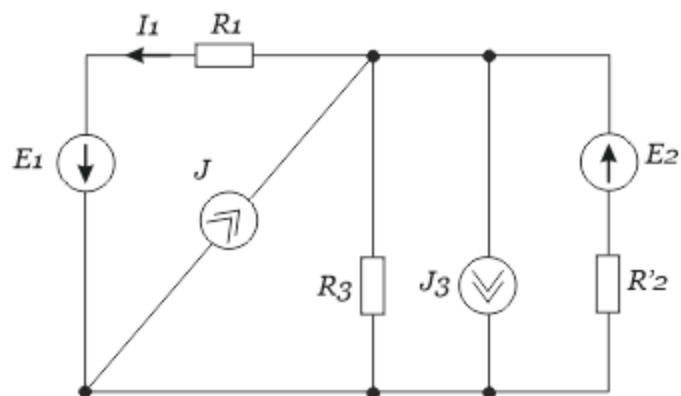


Рисунок 1.3

$$J'_2 = \frac{E_2}{R'_2} = 1.618 \text{ А}$$

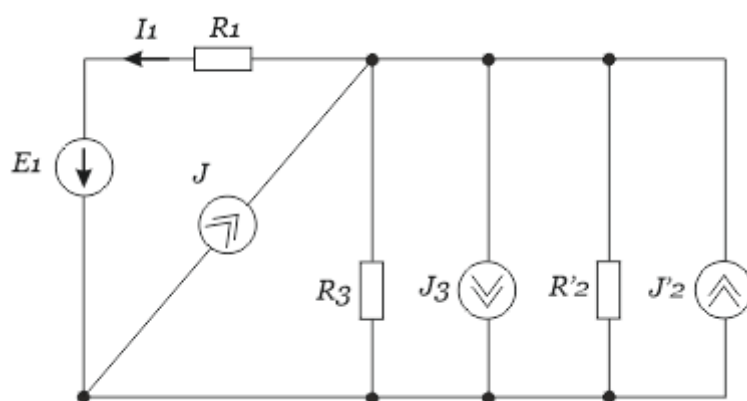


Рисунок 1.4

Объединим три параллельно соединенных источника тока и объединим два последовательно соединенных резистора:

$$J_1 = J + J_2' - J_3 = 4.118A$$

$$R_{23} = \frac{R_2' \cdot R_3}{R_2' + R_3} = 1.982 \text{ Ом}$$

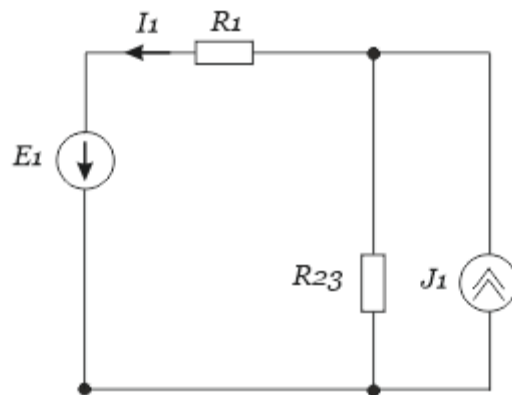


Рисунок 1.5

Преобразуем полученный источник тока  $J_1$  в источник ЭДС  $E_1'$ :

$$E_1' = J_1 \cdot R_{23} = 8.162V$$

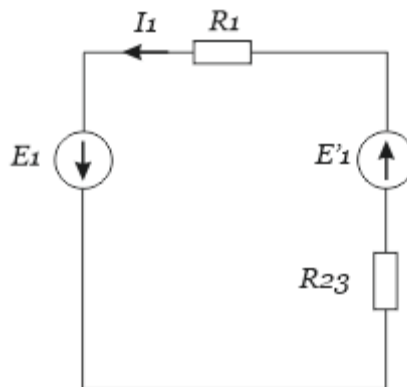


Рисунок 1.6

По закону Ома находим ток  $I_1$ :

$$I_1 = \frac{E_1 + E_1'}{R_1 + R_{23}} = \frac{10 + 8.162}{6 + 1.982} = 2.275A$$

## 2.Законами Кирхгофа найти токи в ветвях

Отметим на схеме узлы и направление токов в ветвях цепи.

Отметим независимые контуры и обходы в этих контурах.

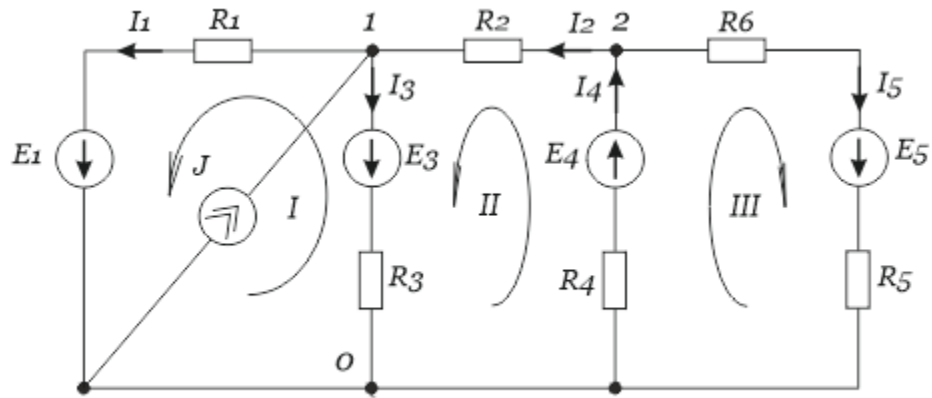


Рисунок 2.1

По первому закону Кирхгофа количество независимых уравнений:

$$N = 3 - 1 = 2$$

$$-I_1 + I_2 - I_3 + J = 0 \quad \text{Узел 1}$$

$$-I_2 + I_4 - I_5 = 0 \quad \text{Узел 2}$$

Составляем уравнения по второму закону Кирхгофа:

$$I_1 \cdot R_1 - I_3 \cdot R_3 = E_1 - E_3 \quad \text{Контур 1}$$

$$I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 + I_4 \cdot R_4 = E_3 + E_4 \quad \text{Контур 2}$$

$$I_4 \cdot R_4 + I_5 \cdot (R_5 + R_6) = E_4 + E_5 \quad \text{Контур 3}$$

$$I_1 \cdot 6 - I_3 \cdot 4 = -4$$

$$I_2 \cdot 3 + I_3 \cdot 4 = 22$$

$$I_4 + I_5 \cdot 19 = 23$$

Решив систему уравнений получим следующие значения токов:

$$I_1 = 2.275 \text{ A}; I_2 = 0.688 \text{ A}; I_3 = 4.413 \text{ A}$$

$$I_4 = 2.282 \text{ A}; I_5 = 1.594 \text{ A}$$

Учитывая, что все токи со знаком +, можно сказать, что направления токов правильные.

### 3.Метод контурных токов (найти все токи)

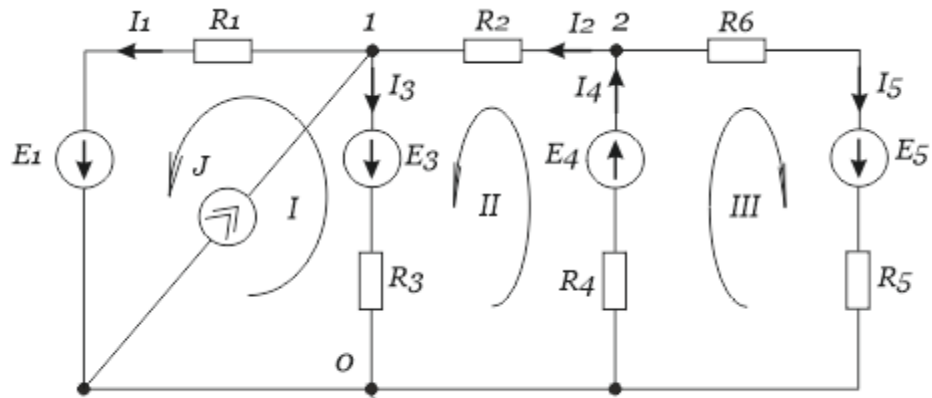


Рисунок 3.1

Контур 1 считаем, как контур с известным током из-за источника тока.

Составим уравнения для каждого из контуров:

$$I_{11} \cdot (R_1 + R_3) - I_{22} \cdot R_3 - R_3 \cdot J = E_1 - E_3$$

$$-I_{11} \cdot R_3 + I_{22} \cdot (R_2 + R_3 + R_4) + I_{33} \cdot R_4 + R_3 \cdot J = E_3 + E_4$$

$$I_{22} \cdot R_4 + I_{33} \cdot (R_4 + R_5 + R_6) = E_4 + E_5$$

$$I_{11} \cdot 9 - I_{22} \cdot 4 - 4 \cdot 6 = -4$$

$$-I_{11} \cdot 4 + I_{22} \cdot 8 + I_{33} + 4 \cdot 6 = 22$$

$$I_{22} + I_{33} \cdot 14 = 23$$

Решив систему уравнений получим следующие значения токов:

$$I_{11} = 2.275A$$

$$I_{22} = 0.688A$$

$$I_{33} = 1.59A$$

Теперь находим нужные нам токи:

$$I_1 = I_{11} = 2.275 A$$

$$I_2 = I_{22} = 0.688 A$$

$$I_5 = I_{33} = 1.59 A$$

$$I_3 = -I_{11} + I_{22} + J = 4.413 A$$

$$I_4 = I_{22} + I_{33} = 2.282 A$$

#### **4. МУП (Метод узловых потенциалов) – найти токи во всех ветвях**

Заземляем узел 0

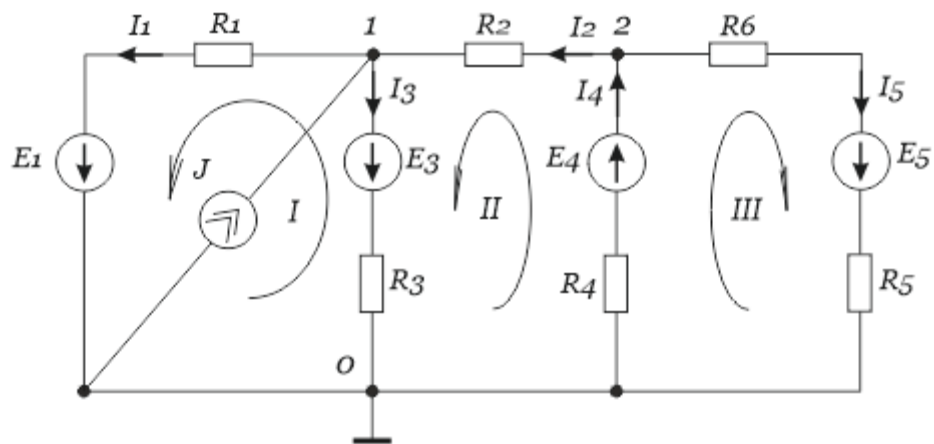


Рисунок 4.1

Составляем уравнения для двух других узлов:

$$\varphi_1 \cdot (g_1 + g_2 + g_3) - \varphi_2 \cdot g_2 = -E_1 \cdot g_1 - E_3 \cdot g_3 + J$$

$$-\varphi_1 \cdot g_2 + \varphi_2 \cdot (g_2 + g_4 + g_{56}) = E_4 \cdot g_4 - E_5 \cdot g_{56}$$

$$\varphi_1 \cdot 0,75 - \varphi_2 \cdot 0,33 = (-10 \cdot 0,17) - (14 \cdot 0,25) + 6$$

$$-\varphi_1 \cdot 0,33 + \varphi_2 \cdot 1,76 = 8 - 15 \cdot 0,43$$

$$\text{Где } g = \frac{1}{R}$$

Решив систему уравнений получим следующие значения:



$$\varphi_1 = 3.652B$$

$$\varphi_2 = 5.718B$$

Теперь найдем значения токов в ветвях по закону Ома:

$$I_1 = (\varphi_1 + E_1) \cdot g_1 = \frac{3.652 + 10}{6} = 2.275A$$

$$I_2 = (\varphi_2 - \varphi_1) \cdot g_2 = \frac{3.652 + 5.718}{3} = 0.689A$$

$$I_3 = (\varphi_1 + E_3) \cdot g_3 = \frac{3.652 + 14}{4} = 4.413A$$

$$I_4 = (-\varphi_2 + E_4) \cdot g_4 = \frac{-5.718 + 8}{1} = 2.282A$$

$$I_5 = (\varphi_2 + E_5) \cdot g_{56} = \frac{5.718 + 15}{13} = 1.594A$$

### **5. МЭГ (Метод эквивалентного генератора) – найти ток в любой ветви**

Напряжение холостого хода эквивалентного генератора для первой ветви:

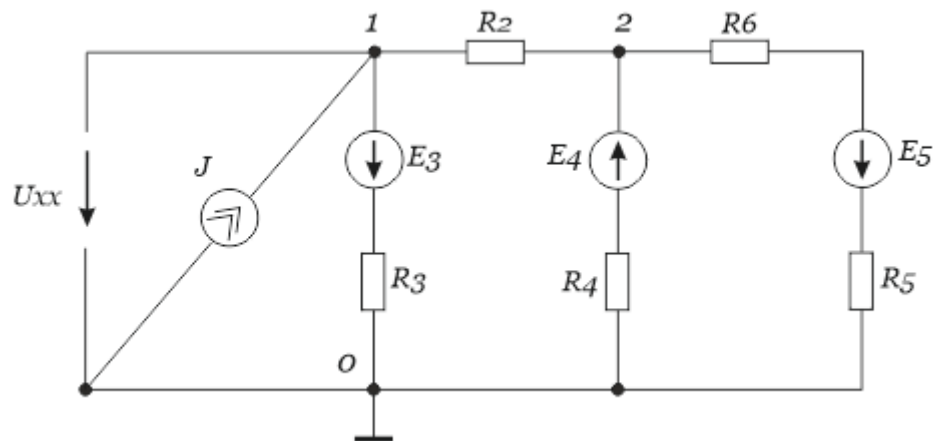


Рисунок 5.1

Находим его по методу узловых потенциалов(напряжений):

$$U_{1xx} \cdot (g_2 + g_3) - U_{2xx} \cdot g_2 = -E_3 \cdot g_3 + J$$

$$-U_{1xx} \cdot g_2 + U_{2xx} \cdot (g_2 + g_4 + g_{56}) = E_4 \cdot g_4 - E_5 \cdot g_{56}$$

$$U_{1xx} \cdot 0,58 - U_{2xx} \cdot 0,33 = -14 \cdot 0,25 + 6$$

$$-U_{1xx} \cdot 0,33 + U_{2xx} \cdot 1,76 = 8 - 15 \cdot 0,43$$

Где  $g = \frac{1}{R}$

Решая эту систему, мы получим, что  $U_{1xx} = 8.162B$ ;  $U_{2xx} = 6.784B$ ,

Значит  $U_{xx} = 8.162B$

Источники заменяем внутренними сопротивлениями и получаем следующее:

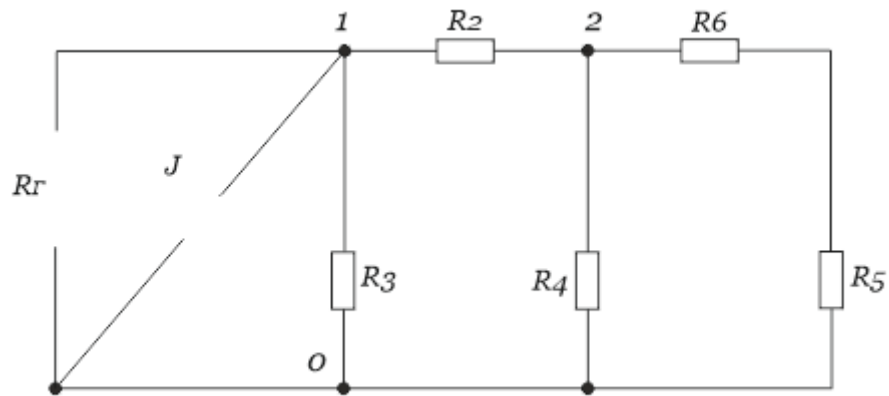


Рисунок 5.2

$$R_{456} = \frac{R_4 \cdot (R_5 + R_6)}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{1 \cdot 13}{14} = 0.929 \text{ Ом}$$

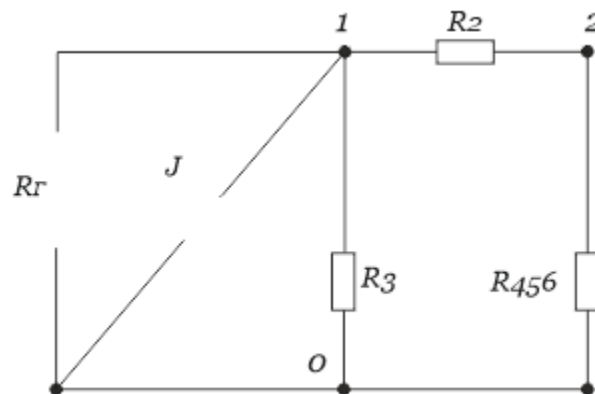


Рисунок 5.3

По правилам последовательного и параллельного соединения находим сопротивление  $R_r$ :

$$R_r = \frac{R_3 \cdot (R_2 + R_{456})}{R_3 + R_2 + R_{456}} = \frac{4 \cdot 3.929}{7.929} = 1.982 \text{ Ом}$$

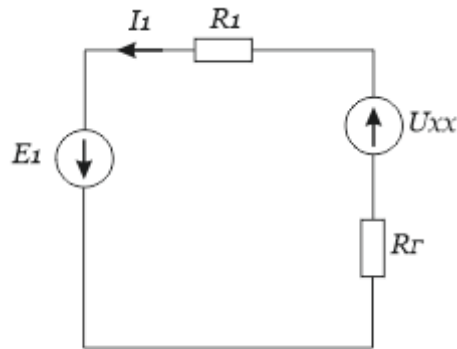


Рисунок 5.4

По закону Ома найдем ток  $I_1$ :

$$I_1 = \frac{U_{xx} + E_1}{R_1 + R_r} = \frac{8.162 + 10}{6 + 1.982} = 2.275 \text{ A}$$

## **6. Построить схему в Multisim и снимать результаты моделирования(токи)**

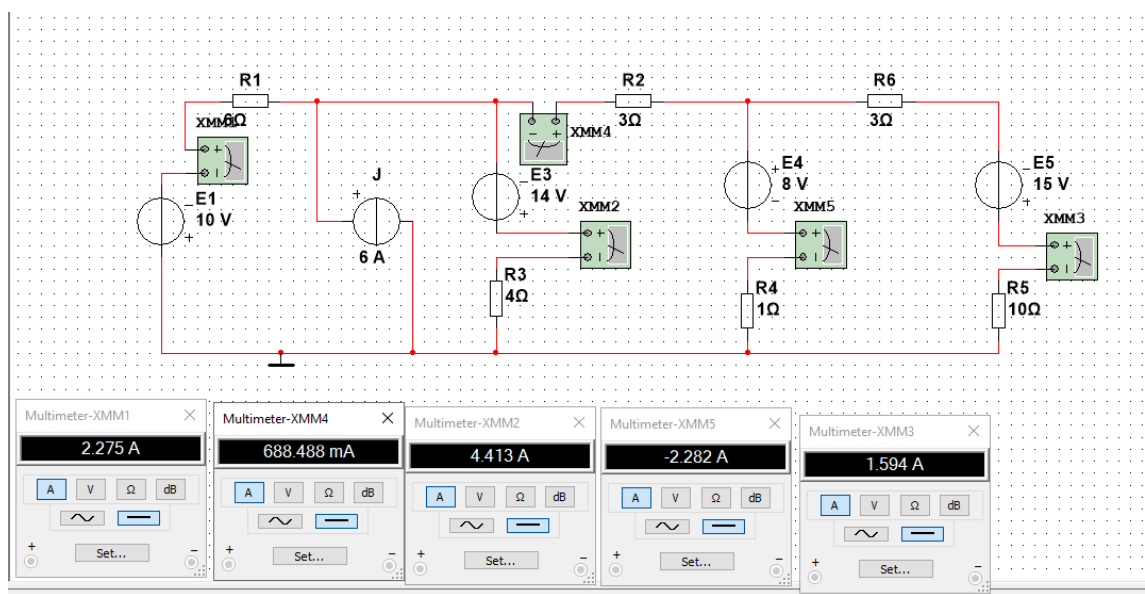


Рисунок 6.1 Показания Multisim

## **7. Итоговая таблица значений**

Таблица 2

Результаты расчета токов, вышеуказанными методами и результаты  
моделирования

Методы расчета	$I_1,$ А	$I_2,$ А	$I_3,$ А	$I_4,$ А	$I_5,$ А
Экв. Преобр.	2.275				
Ур. Кирхгофа	2.275	0.688	4.413	2.282	1.594
Контурные токи	2.275	0.688	4.413	2.282	1.594
Узловые потенциалы	2.275	0.689	4.413	2.282	1.594
Экв. генератора	2.275				
Результаты моделирования	2.275	0.688	4.413	2.282	1.594

## 8. Построить потенциальную диаграмму для контура 2

Обход контура по часовой стрелке, обозначим точки для замкнутого контура

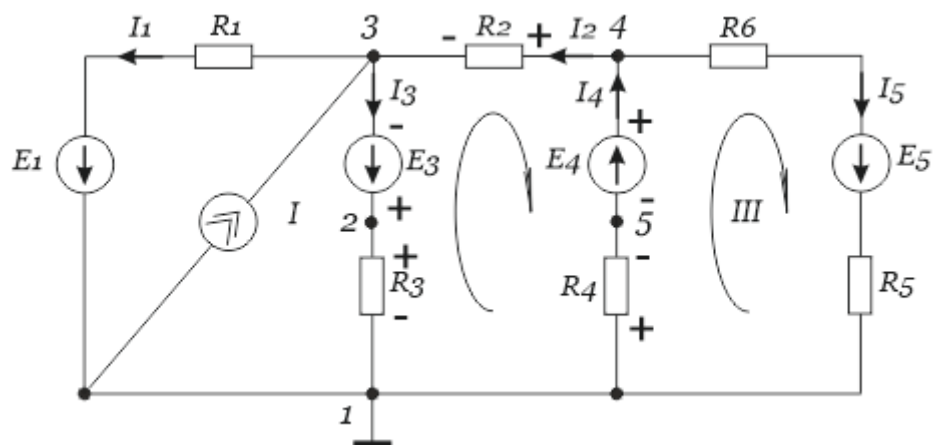


Рисунок 8.1

Потенциал в т.1 принимаем за ноль

$$\varphi_1 = 0V$$

Считаем потенциалы для других точек

$$\varphi_2 = \varphi_1 + I_3 \cdot R_3 = 4.413 \cdot 4 = 17.652V$$

$$\varphi_3 = \varphi_2 - E_3 = 17.652 - 14 = 3.652V$$

$$\varphi_4 = \varphi_3 + I_2 \cdot R_2 = 3.652 + 0.689 \cdot 3 = 5.719V$$

$$\varphi_5 = \varphi_4 - E_4 = -2.281V$$

$$\varphi_1 = \varphi_5 + I_4 \cdot R_4 = -2.281 + 2.282 = 0.001 = 0V$$

По полученным данным строим потенциальную диаграмму

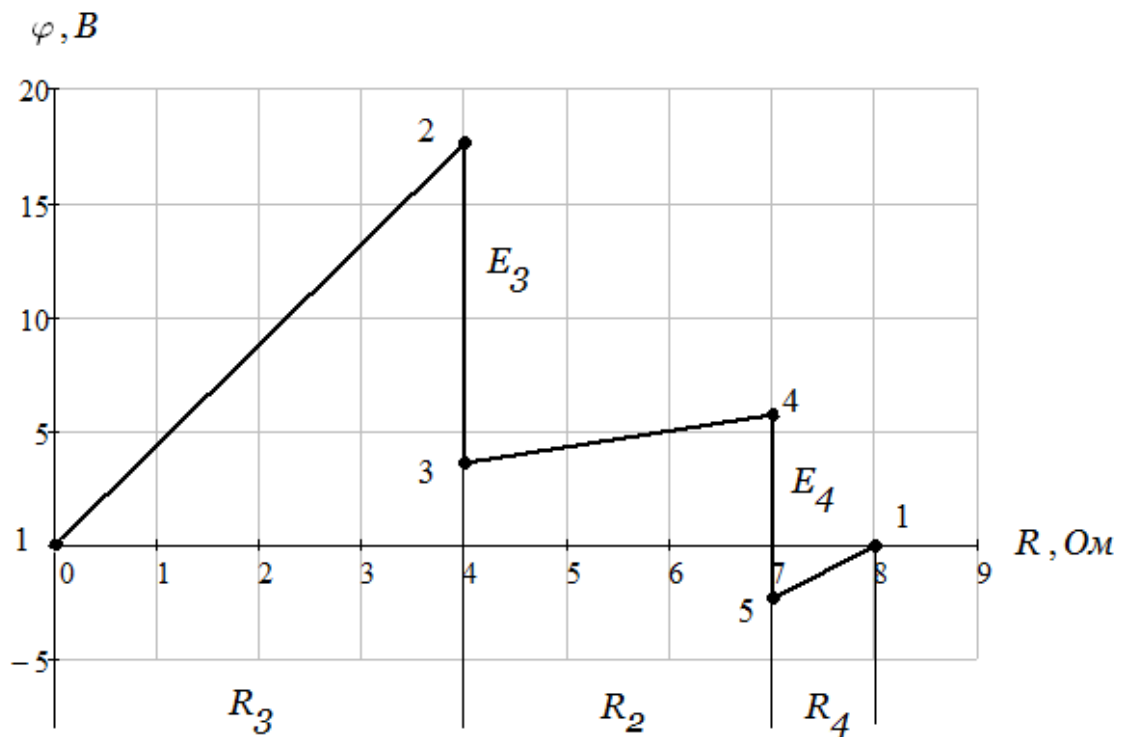


Рисунок 8.2 Потенциальная диаграмма

Масштаб:  $M_\varphi = 5 \frac{B}{\text{дел}}, M_R = 1 \frac{\Omega}{\text{дел}}$

## **9. Выполнить расчет баланса мощности для схемы**

Напряжение на источнике тока находим по второму закону Кирхгофа для замкнутого контура:

$$U_J = -E_1 + I_1 \cdot R_1 = -10 + 2.275 \cdot 6 = 3.65B$$

Мощность источников:

$$P_{\text{ист}} = \sum_{i=1}^n E_i I_i$$

$$\begin{aligned} P_{\text{ист}} &= E_1 \cdot I_1 + E_3 \cdot I_3 + E_4 \cdot I_4 + E_5 \cdot I_5 + U_J \cdot J = \\ &= 10 \cdot 2.275 + 14 \cdot 4.413 + 8 \cdot 2.282 + 15 \cdot 1.594 + 3.65 \cdot 6 = 148.598Bm \end{aligned}$$

Мощность нагрузки:

$$P_{наг} = \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot R_i$$

$$P_{наг} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 + I_5^2 \cdot (R_5 + R_6) = 148.61 \text{ Вт}$$

Из-за того, что мощности не равны между собой, найдем погрешность:

$$\delta = \left| \frac{P_{ист} - P_{наг}}{P_{ист}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{148.598 - 148.61}{148.598} \right| \cdot 100\% = 0.008\% < 1\%$$

Учитывая, что погрешность меньше 1% можно сказать, что мощность источников равна мощности нагрузки, а значит баланс мощностей выполняется.

## **Вывод**

В 1 части курсовой работы мы научились применять разные методы для решения схем, построили данную схему в программе Multisim и измеряли токи. Все полученные данные из решение и моделирований мы свели в одну таблицу, все значения успешно сошлись. Провели расчет баланса мощностей, где  $P_{ист} = P_{наг}$  с погрешностью  $\delta = 0,008\%$ .