



Основы электротехники

Домашнее задание №1

Расчёт цепей постоянного тока

Группа *P3333*

Вариант *102*

Выполнил: *Рахматов Нейматджон*

Дата сдачи: *19.12.2024*

Контрольный срок сдачи: *04.12.2024*

Количество баллов:

СПб – 2024

## Анализ цепей постоянного тока

На рисунке 1 показаны три варианта структур схем электрической цепи. Для выполнения задания необходимо заменить условные элементы (1...6) схем резистивными элементами и источниками энергии согласно таблице 1 в соответствии с заданным преподавателем вариантом. Индексы значений токов и ЭДС источников в таблицах соответствуют номерам элементов структурных схем, а направление их действия – направлению стрелок.

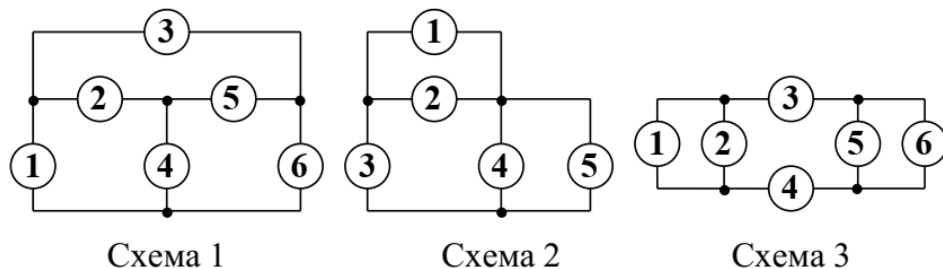


Рисунок 1

## Выполнение задания вариант 102

Исходные данные приведены в табл.1.

Таблица 1 – Исходные данные для схемы 1 на рис.1

| Вариант | Схема | Параметры источников энергии: $J$ [A], $E$ [B] |            |              | Параметры резисторов [Ом] |   |   |   |   |   |
|---------|-------|--|------------|--------------|---------------------------|---|---|---|---|---|
|         |       |  |            |              | 1                         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 102     | 1     | $J_1 = 0,8$                                    | $E_5 = 17$ | $E_6 = 19,5$ | -                         | 2 | 8 | 3 | 2 | 3 |

В соответствии с рис. 1 и табл.1 заданная схема цепи приведена на рис. 1.1.

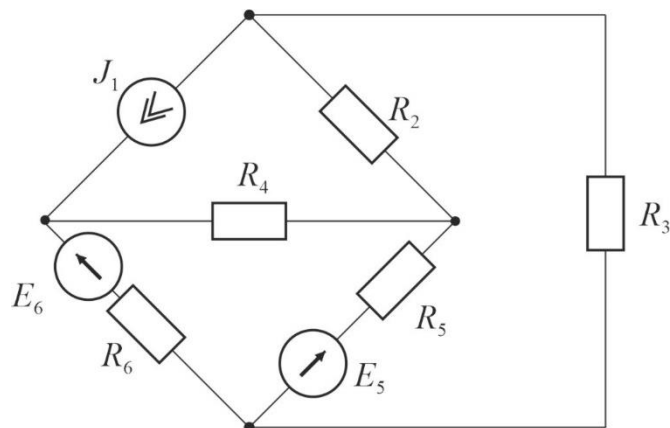


Рисунок 1.1 – Схема цепи

**Дано:**  $R_2 = 2[\text{Ом}]$ ,  $R_3 = 8[\text{Ом}]$ ,  $R_4 = 3[\text{Ом}]$ ,  $R_5 = 2[\text{Ом}]$ ,  $R_6 = 3[\text{Ом}]$ ,

$J_1 = 0,8 [\text{A}]$ ,  $E_5 = 17 [\text{B}]$ ,  $E_6 = 19,5 [\text{B}]$ ,

**Найти:** значения всех неизвестных токов, используя:

а) законы Кирхгофа,

б) метод контурных токов *или* метод узловых напряжений.

в) Рассчитать ток любой ветви, **содержащей источник ЭДС**, методом эквивалентных преобразований *или* методом эквивалентного генератора.

г) Определить напряжение, приложенное к источнику тока. Определить мощность всех источников энергии, всех резистивных элементов, суммарную мощность источников цепи и суммарную мощность потребителей цепи.

### **Решение**

#### **а) Расчет по законам Кирхгофа**

Определим топологию цепи:

$p^* = 6$  (общее количество ветвей),

$p_{\text{ит}} = 1$  (количество ветвей с источниками тока),

$p = p^* - p_{\text{ит}} = 6 - 1 = 5$  (количество неизвестных токов),

$q = 4$  (количество независимых узлов),

$n = p - (q - 1) = 5 - (4 - 1) = 2$  (количество независимых контуров),

$m_I = q - 1 = 4 - 1 = 3$  (количество уравнений по ЗКИ),

$m_{II} = n = 2$  (количество уравнений по ЗКИИ).

Произвольно обозначим  $p$  неизвестных токов,  $q$  узлов и  $n$  независимых контуров (см. рис. 1.2).

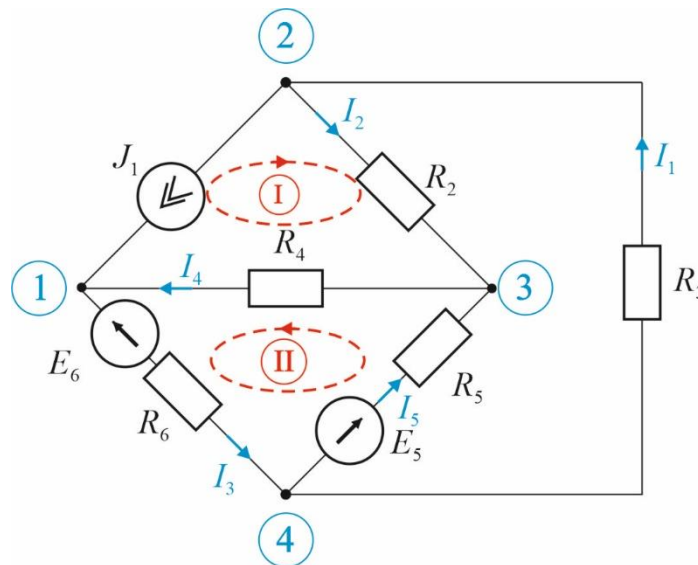


Рисунок 1.2 – Схема цепи для расчета по законам Кирхгофа

Составим уравнения Кирхгофа:

$$\text{ЗКИ.1: } -I_3 + I_4 = -J_1;$$

$$\text{ЗКИ.2: } I_1 - I_2 = J_1;$$

$$\text{ЗКИ.3: } I_2 - I_4 + I_5 = 0;$$

$$\text{ЗКИ.3: } I_1 R_3 + I_2 R_2 - I_5 R_5 = -E_5;$$

$$\text{ЗКИ.2: } I_3 R_6 + I_4 R_4 + I_5 R_5 = E_5 - E_6;$$

Запишем эти уравнения в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ R_3 & R_2 & 0 & 0 & -R_5 \\ 0 & 0 & R_6 & R_4 & R_5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -J_1 \\ J_1 \\ 0 \\ -E_5 \\ E_5 - E_6 \end{pmatrix}$$

Подставив значения величин из исходных данных, решение этого уравнения ищем в виде:

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 8 & 2 & 0 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 3 & 3 & 2 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} -0,8 \\ 0,8 \\ 0 \\ -17 \\ -2,5 \end{pmatrix},$$

Искомый вектор токов:

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1,341 \\ -2,141 \\ -0,348 \\ -1,148 \\ 0,993 \end{pmatrix} [\text{A}],$$

**Ответ:**  $I_1 = -1,341 [\text{A}]$ ,  $I_2 = -2,141 [\text{A}]$ ,  $I_3 = -0,348 [\text{A}]$ ,  $I_4 = -1,148 [\text{A}]$ ,

$I_5 = 0,993 [\text{A}]$ .

### **б) Расчет методом контурных токов**

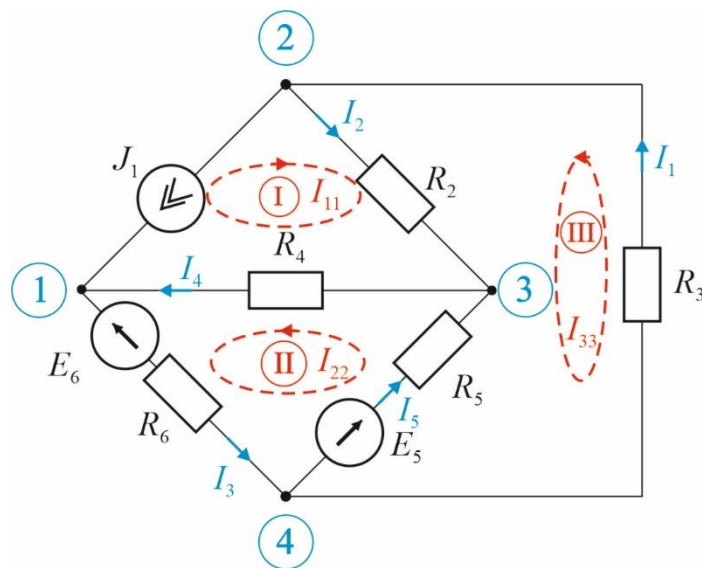


Рисунок 1.3 – Схема цепи для расчета методом контурных токов

В схеме на рис. 1.3 имеется три независимых контура с токами  $I_{11}$ ,  $I_{22}$ ,  $I_{33}$ .

Составим уравнения для контуров II и III, учитывая, что  $I_{11} = -J_1 = -0,8 \text{ A}$ :

$$I_{11}R_4 + I_{22}(R_4 + R_6 + R_5) - I_{33}R_5 = E_5 - E_6$$

$$I_{11}R_2 - I_{22}R_5 + I_{33}(R_2 + R_3 + R_5) = -E_5$$

или

$$I_{22}(R_4 + R_6 + R_5) - I_{33}R_5 = E_5 - E_6 + J_1R_4$$

$$I_{22}R_5 - I_{33}(R_2 + R_3 + R_5) = E_5 - J_1R_2$$

Подставим численные значения величин из исходных данных:

$$I_{22}(R_4 + R_6 + R_5) - I_{33}R_5 = E_5 - E_6 + J_1R_4$$

$$I_{22}R_5 - I_{33}(R_2 + R_3 + R_5) = E_5 - J_1R_2$$

Решим систему уравнений:

$$8I_{22} - 2I_{33} = -0,1$$

$$2I_{22} - 12I_{33} = 15,4$$

$$\begin{bmatrix} I_{22} \\ I_{33} \end{bmatrix} = -\frac{1}{92} \begin{bmatrix} -12 & 2 \\ -2 & 8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -0,1 \\ 15,4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,348 \\ -1,341 \end{bmatrix}.$$

Найдем искомые токи через контурные токи.

$$I_1 = I_{33} = -1,341 \text{ [A]},$$

$$I_2 = I_1 - J_1 = -1,341 - 0,8 = -2,141 \text{ [A]}$$

$$I_3 = I_{22} = -0,348 \text{ [A]},$$

$$I_4 = I_3 - J_1 = -0,348 - 0,8 = -1,148 \text{ [A]},$$

$$I_5 = I_3 - I_1 = -0,348 - (-1,341) \text{ [A]} = 0,993.$$

**Ответ:**  $I_1 = -1,341 \text{ [A]}, I_2 = -2,141 \text{ [A]}, I_3 = -0,348 \text{ [A]}, I_4 = -1,148 \text{ [A]},$

$I_5 = 0,993 \text{ [A]}.$

### ***в) Расчет тока методом эквивалентных преобразований***

**Дано:**  $R_1 = 7 \text{ [Ом]}, R_2 = 4 \text{ [Ом]}, R_4 = 4 \text{ [Ом]}, R_5 = 5 \text{ [Ом]}, R_6 = 1 \text{ [Ом]},$

$J_3 = 0,35 \text{ [A]}, E_1 = 15 \text{ [В]}, E_5 = 35 \text{ [В]},$

**Найти:** найти ток в цепи с ЭДС.

В схеме рис. 1.1 расщепляем источник тока  $J_1$  на два эквивалентных источника  $J_{31}$  и  $J_{32}$  (см. рис. 1.4):

$$J_{31} = J_{32} = 0,8 \text{ [A]}.$$

Заменим эквивалентные источники  $J_{31}$  и  $J_{32}$  соответствующими источниками ЭДС (см. рис. 1.5):

$$E_{31} = J_{31}R_4 = 0,8 \cdot 3 = 2,4 \text{ [В]},$$

$$E_{32} = J_{32}R_2 = 0,8 \cdot 2 = 1,6 \text{ [В]}.$$

Заменим параллельно-последовательно соединенные резисторы  $R_2, R_3, R_5$ , на эквивалентный  $R_3$ , включенный в ветвь с  $E_{32}$  и  $E_5$  (см. рис. 1.6):

$$R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_2 + R_3} + \frac{1}{R_5}} = \frac{1}{\frac{1}{2 + 8} + \frac{1}{2}} = 1,667 \text{ [Ом]}.$$

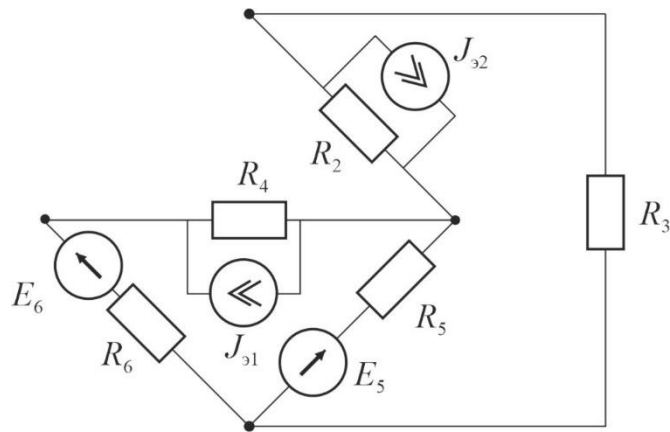


Рисунок 1.4 – Расщепление источника тока  $J_1$

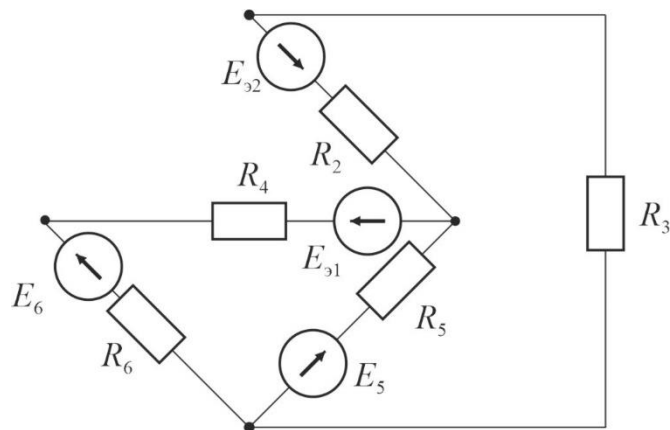


Рисунок 1.5 – Замена источников тока  $J_{31}$  и  $J_{32}$  на ЭДС  $E_{31}$  и  $E_{32}$

$$E_3 = R_3 \left( \frac{E_5}{R_5} + \frac{E_{32}}{R_2 + R_3} \right) = 1,667 \left( \frac{17}{2} + \frac{1,6}{2 + 8} \right) = 14,567 \text{ [В]}.$$

С помощью 2-го закона Кирхгофа рассчитаем ток в образовавшейся одноконтурной цепи, выбрав направление обхода контура по часовой стрелке.

$$I = \frac{E_6 - E_{31} - E_3}{R_4 + R_6 + R_3} = \frac{19,5 - 2,4 - 14,567}{3 + 3 + 1,667} = -0,348 \text{ [А]},$$

что совпадает с величиной тока  $I_3$  через ЭДС  $E_6$ , рассчитанного двумя предыдущими методами.

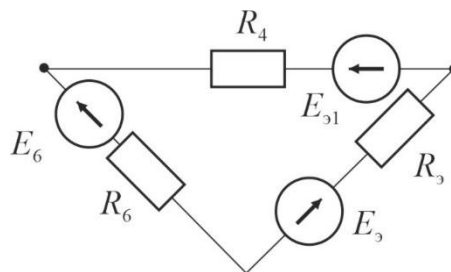


Рисунок 1.6 – Замена резисторов  $R_2, R_3, R_5$  на эквивалентный  $R_3$ , ЭДС  $E_5, E_{32}$  на эквивалентную  $E_3$

**Ответ:**  $I_3 = -0,348 \text{ [А]}$  – ток в ветви, содержащий ЭДС  $E_6$ .

**г) Определение напряжения, приложенного к источнику тока, мощности всех источников энергии, всех резистивных элементов,**

**суммарной мощности источников цепи и суммарной мощности потребителей цепи**

Направление (знак) напряжения  $U_J$ , приложенного к источнику тока, выберем по направлению тока  $J_1$  и определим его из уравнения, составленного по ЗКII для контура I (см. рис. 1.3).:

$$-U_J = +I_2 R_2 + I_4 R_4 = -2,141 \cdot 2 - 1,148 \cdot 3 = 10,705 \text{ [В]}.$$

Определение мощностей элементов.

$$P_J = U_J J_1 = 10,705 \cdot 0,8 = 6,181 \text{ [Вт]},$$

$$P_{E5} = E_5 I_5 = 17 \cdot 0,993 = 16,881 \text{ [Вт]},$$

$$P_{E6} = -E_6 I_3 = -19,5 \cdot (-0,348) = 6,786 \text{ [Вт]},$$

$$P_{R2} = R_2 I_2^2 = 2 \cdot (2,141)^2 = 9,168 \text{ [Вт]},$$

$$P_{R3} = R_3 I_1^2 = 8 \cdot (1,341)^2 = 14,386 \text{ [Вт]},$$

$$P_{R4} = R_4 I_4^2 = 3 \cdot (1,148)^2 = 3,954 \text{ [Вт]},$$

$$P_{R5} = R_5 I_5^2 = 2 \cdot (0,993)^2 = 1,972 \text{ [Вт]},$$

$$P_{R6} = R_6 I_3^2 = 3 \cdot (0,348)^2 = 0,363 \text{ [Вт]}.$$

Суммарная мощность всех источников:

$$P_{\text{и}} = P_J + P_{E5} + P_{E6} = 6,181 + 16,881 + 6,786 = 29,848 \text{ [Вт]}.$$

Суммарная мощность потребителей

$$\begin{aligned} P_{\text{п}} &= P_{R1} + P_{R2} + P_{R4} + P_{R5} + P_{R6} = \\ &= 9,168 + 14,386 + 3,954 + 1,972 + 0,363 = 29,848 \text{ [Вт]}. \end{aligned}$$

$$P_{\text{и}} = P_{\text{п}} = 29,848 \text{ [Вт]} - \text{баланс мощностей сошелся}$$

**Ответ:**  $I_1 = -1,341 \text{ [А]}, I_2 = -2,141 \text{ [А]}, I_3 = -0,348 \text{ [А]}, I_4 = -1,148 \text{ [А]},$

$$\begin{aligned} I_5 &= 0,993 \text{ [А]}, U_J = 10,705 \text{ [В]}, P_J = 6,181 \text{ [Вт]}, P_{E5} = 16,881 \text{ [Вт]}, P_{E6} = 6,786 \text{ [Вт]}, \\ &P_{R2} = 9,168 \text{ [Вт]}, P_{R3} = 14,386 \text{ [Вт]}, P_{R4} = 3,954 \text{ [Вт]}, P_{R5} = 1,972 \text{ [Вт]}, P_{R6} \\ &= 0,363 \text{ [Вт]}, P_{\text{и}} = 29,848 \text{ [Вт]}, P_{\text{п}} = 29,848 \text{ [Вт]}. \end{aligned}$$