

**Министерство образования и науки Украины  
Национальный технический университет Украины  
“Киевский Политехнический Институт”  
Кафедра ТОЭ**

***Расчетно-графическая работа***

*“Расчёт цепей постоянного тока”*

*Вариант № 422*

Выполнил: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

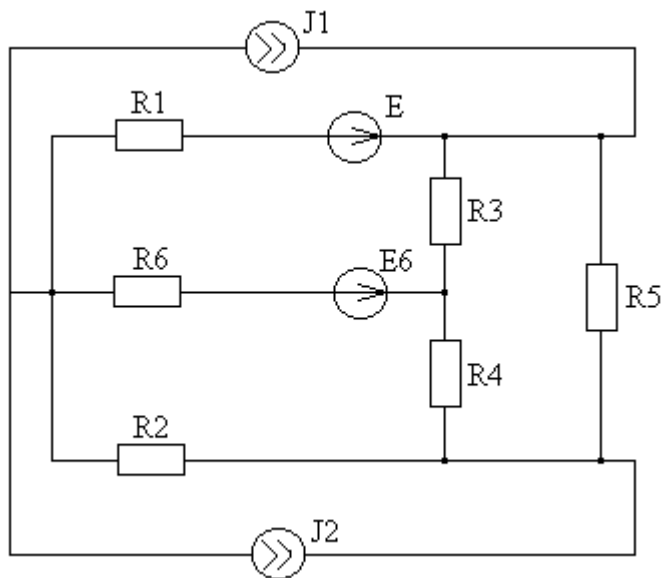
Проверил: \_\_\_\_\_

Киев 2006

### Задание:

1. Найти токи в ветках данной электрической цепи методом узловых потенциалов и контурных токов. Проверить расчёт цепи при помощи законов Кирхгофа для каждого узла и независимого контура. Сложить и проверить уравнение баланса мощностей.
2. Построить потенциальную диаграмму для контура данной цепи.
3. Найти токи в ветвях данной цепи методом эквивалентного генератора.
4. Найти токи в ветках методом наложения. Проверить расчеты цепи за законами Кирхгофа.

$$\begin{array}{llllll} R_1 := 40 & R_2 := 50 & R_3 := 5 & R_4 := 10 & R_5 := 20 & R_6 := 0 \\ E := 150 & E_6 := 300 & J_1 := 15 & J_2 := 5 & & \end{array}$$



## **Метод контурных токов**

За вторым законом Кирхгофа составляем систему уравнений. Решая полученную систему уравнений, находим контурные токи.

$$I_{K1} := 1 \quad I_{K2} := 1 \quad I_{K3} := 1$$

Given

$$I_{K1} \cdot (R_1 + R_3 + R_6) - I_{K2} \cdot R_6 - I_{K3} \cdot R_3 - J_1 \cdot R_1 = E - E_6$$

$$-I_{K1} \cdot R_6 + I_{K2} \cdot (R_2 + R_4 + R_6) - I_{K3} \cdot R_4 + J_2 \cdot R_2 = E_6$$

$$-I_{K1} \cdot R_3 - I_{K2} \cdot R_4 + I_{K3} \cdot (R_3 + R_4 + R_5) = 0$$

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \\ I_{K3} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}, I_{K3})$$

$$I_{K1} = 10.198$$

$$I_{K2} = 1.13$$

$$I_{K3} = 1.78$$

Токи ветвей схемы равны:

$$I_1 := J_1 - I_{K1} \quad I_1 = 4.802$$

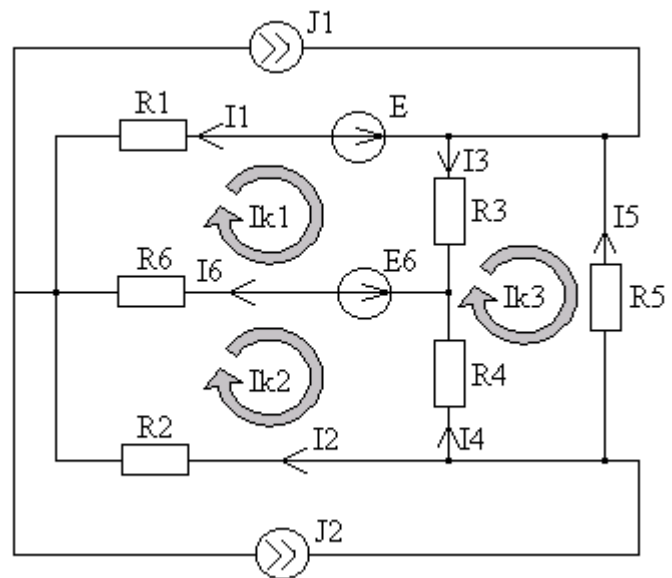
$$I_2 := J_2 + I_{K2} \quad I_2 = 6.13$$

$$I_3 := I_{K1} - I_{K3} \quad I_3 = 8.418$$

$$I_4 := I_{K3} - I_{K2} \quad I_4 = 0.65$$

$$I_5 := -I_{K3} \quad I_5 = -1.78$$

$$I_6 := I_{K1} - I_{K2} \quad I_6 = 9.068$$



## **Метод узловых потенциалов**

Примем потенциал точки 1 равным 0:  $\phi_1 := 0$  тогда потенциал точки 3 будет равен:  $\phi_3 := \phi_1 + E_6 \quad \phi_3 = 300$

Найдем узловые и межузловые проводимости и узловые токи:

$$G_{22} := \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_3} \quad G_{22} = 0.275$$

$$G_{44} := \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \quad G_{44} = 0.17$$

$$G_{21} := \frac{1}{R_1} \quad G_{21} = 0.025$$

$$G_{13} := 0 \quad G_{13} = 0$$

$$G_{32} := \frac{1}{R_3} \quad G_{32} = 0.2$$

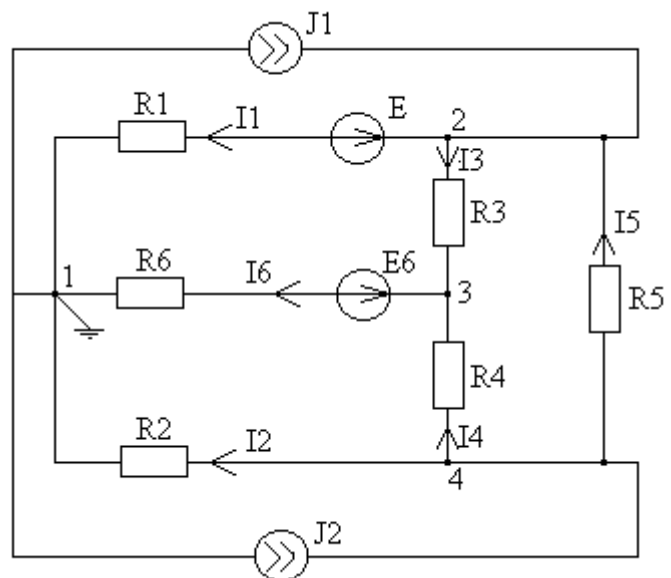
$$G_{41} := \frac{1}{R_2} \quad G_{41} = 0.02$$

$$G_{43} := \frac{1}{R_4} \quad G_{43} = 0.1$$

$$G_{42} := \frac{1}{R_5} \quad G_{42} = 0.05$$

$$J_{B2} := J_1 + \frac{E}{R_1} \quad J_{B2} = 18.75$$

$$J_{B4} := J_2 \quad J_{B4} = 5$$



Подставив найденные значения проводимостей и узловых токов в расчетную систему уравнений и найдем искомые потенциалы узлов 2 и 4:

$$\phi_2 := 1 \quad \phi_4 := 1$$

Given

$$-G_{21} \cdot \phi_1 + G_{22} \cdot \phi_2 - G_{32} \cdot \phi_3 - G_{42} \cdot \phi_4 = J_{B2}$$

$$-G_{41} \cdot \phi_1 - G_{42} \cdot \phi_2 - G_{43} \cdot \phi_3 + G_{44} \cdot \phi_4 = J_{B4}$$

$$\begin{pmatrix} \phi_2 \\ \phi_4 \end{pmatrix} := \text{Find}(\phi_2, \phi_4)$$

$$\phi_2 = 342.09$$

$$\phi_4 = 306.497$$

Токи ветвей схемы находим за законом Ома:

$$I_1 := \frac{\phi_2 - \phi_1 - E}{R_1} \quad I_1 = 4.802$$

$$I_2 := \frac{\phi_4 - \phi_1}{R_2} \quad I_2 = 6.13$$

$$I_3 := \frac{\phi_2 - \phi_3}{R_3} \quad I_3 = 8.418$$

$$I_4 := \frac{\phi_4 - \phi_3}{R_4} \quad I_4 = 0.65$$

$$I_5 := \frac{\phi_4 - \phi_2}{R_5} \quad I_5 = -1.78$$

$$I_6 := I_3 + I_4 \quad I_6 = 9.068$$

### Проверка:

За 1-м законом Кирхгофа:

$$I_6 - I_4 - I_3 = 0$$

$$-I_2 - I_4 - I_5 + J_2 = 1.487 \times 10^{-12}$$

$$-I_1 + I_5 - I_3 + J_1 = 2.817 \times 10^{-12}$$

$$I_1 + I_2 + I_6 - J_1 - J_2 = -4.306 \times 10^{-12}$$

За 2-м законом Кирхгофа:

$$E_6 - E = 150$$

$$-I_3 \cdot R_3 + I_1 \cdot R_1 = 150$$

$$-I_1 \cdot R_1 - I_5 \cdot R_5 + I_2 \cdot R_2 = 150$$

$$E = 150$$

$$I_4 \cdot R_4 - I_5 \cdot R_5 - I_3 \cdot R_3 = 0$$

$$I_2 \cdot R_2 - I_4 \cdot R_4 = 300$$

$$E_6 = 300$$

Баланс мощностей:

$$-E \cdot I_1 - E_6 \cdot I_6 + J_2 \cdot (I_2 \cdot R_2) + J_1 \cdot (I_1 \cdot R_1 + E) = 3.223 \times 10^3$$

$$I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 + I_6^2 \cdot R_6 = 3.223 \times 10^3$$

## Потенциальная диаграмма

$$\phi_1 = 0$$

$$\phi_3 := \phi_1 + E_6$$

$$\phi_5 := \phi_3 + I_3 \cdot R_3$$

$$\phi_2 := \phi_5 - E$$

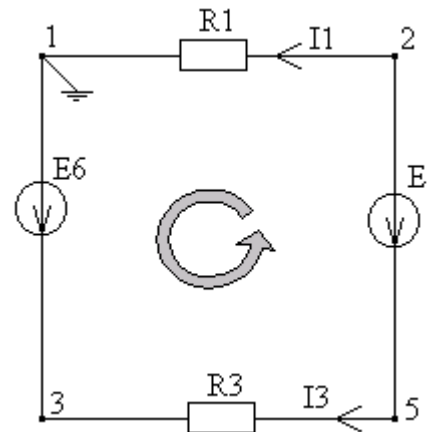
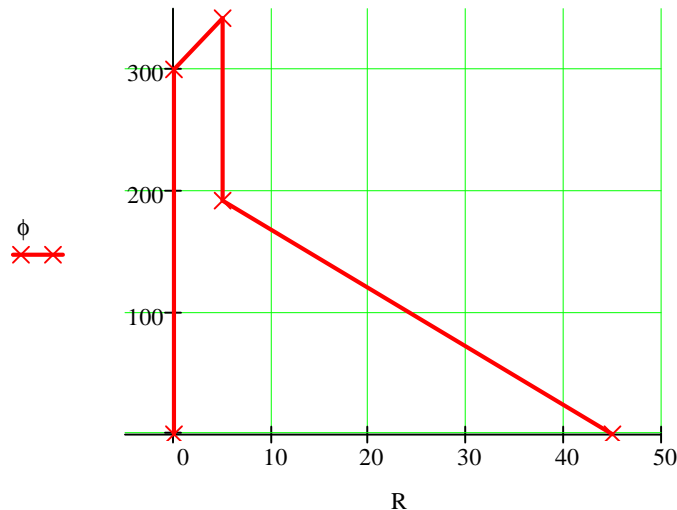
$$\phi_1 := \phi_2 - I_1 \cdot R_1$$

$$\phi_3 = 300$$

$$\phi_5 = 342.09$$

$$\phi_2 = 192.09$$

$$\phi_1 = 0$$



## Метод эквивалентного генератора

Вырезавши из выходной схемы ветку с сопротивлением  $R_1$  и источником питания  $E$ , получаем схему. В выходной схеме ток  $I_1$  направленный от узла 2 к узлу 1, такое же направление выберем и для напряжения холостого хода  $U_{1x}$ .

Для нахождения напряжения  $U_{1x}$  сначала надо найти токи в ветвях с сопротивлениями  $R_6$  и  $R_3$ . Для этого воспользуемся методом контурных токов:

$$I_{K1} := 1 \quad I_{K2} := 1$$

Given

$$I_{K1} \cdot (R_6 + R_4 + R_2) - I_{K2} \cdot R_4 + J_1 \cdot R_2 + J_2 \cdot R_2 = E_6$$

$$-I_{K1} \cdot R_4 + I_{K2} \cdot (R_4 + R_3 + R_5) + J_1 \cdot R_5 = 0$$

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2})$$

$$I_{K1} = -13.75 \quad I_{K2} = -12.5$$

Искомое напряжение холостого хода равно:

$$U_{1X} := -I_{K2} \cdot R_3 + E_6 \quad U_{1X} = 362.5$$

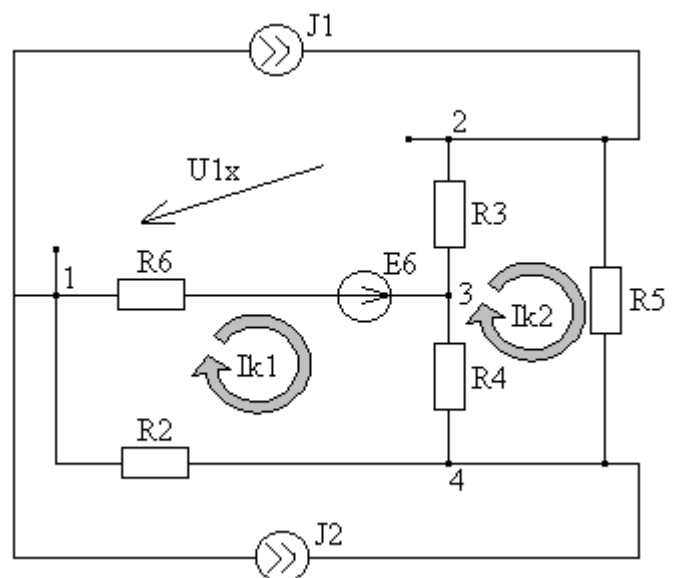
Эквивалентное сопротивление цепи равно:

$$R_{245} := \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4} + R_5 \quad R_E := \frac{R_{245} \cdot R_3}{R_{245} + R_3}$$

$$R_E = 4.25$$

Искомый ток, вырезанной ветки, равен:

$$I_1 := \frac{-E + U_{1X}}{R_E + R_1} \quad I_1 = 4.802$$



## Метод наложения

В цепи действует только E:

$$I_{K1} := 1 \quad I_{K2} := 1 \quad I_{K3} := 1$$

Given

$$\begin{aligned} I_{K1} \cdot (R_1 + R_3 + R_6) - I_{K2} \cdot R_6 - I_{K3} \cdot R_3 &= E \\ -I_{K1} \cdot R_6 + I_{K2} \cdot (R_2 + R_4 + R_6) - I_{K3} \cdot R_4 &= 0 \\ -I_{K1} \cdot R_3 - I_{K2} \cdot R_4 + I_{K3} \cdot (R_3 + R_4 + R_5) &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \\ I_{K3} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}, I_{K3})$$

$$I_{K1} = 3.39 \quad I_{K2} = 0.085 \quad I_{K3} = 0.508$$

$$I_{1E} := I_{K1} \quad I_{1E} = 3.39$$

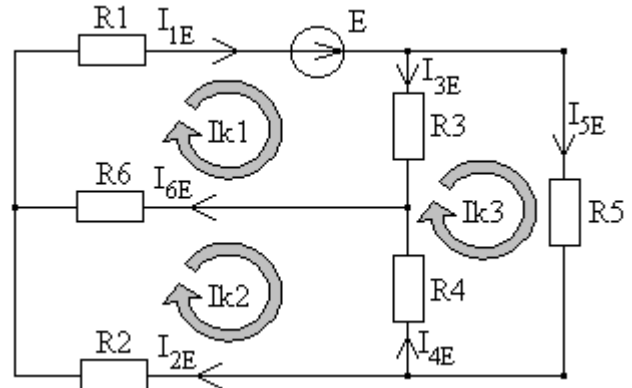
$$I_{2E} := I_{K2} \quad I_{2E} = 0.085$$

$$I_{3E} := I_{K1} - I_{K3} \quad I_{3E} = 2.881$$

$$I_{4E} := I_{K3} - I_{K2} \quad I_{4E} = 0.424$$

$$I_{5E} := I_{K3} \quad I_{5E} = 0.508$$

$$I_{6E} := I_{K1} - I_{K2} \quad I_{6E} = 3.305$$



В цепи действует только E6:

$$I_{K1} := 1 \quad I_{K2} := 1 \quad I_{K3} := 1$$

Given

$$\begin{aligned} I_{K1} \cdot (R_1 + R_3 + R_6) - I_{K2} \cdot R_6 - I_{K3} \cdot R_3 &= -E_6 \\ -I_{K1} \cdot R_6 + I_{K2} \cdot (R_2 + R_4 + R_6) - I_{K3} \cdot R_4 &= E_6 \\ -I_{K1} \cdot R_3 - I_{K2} \cdot R_4 + I_{K3} \cdot (R_3 + R_4 + R_5) &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \\ I_{K3} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}, I_{K3})$$

$$I_{K1} = -6.61 \quad I_{K2} = 5.085 \quad I_{K3} = 0.508$$

$$I_{1E6} := -I_{K1} \quad I_{1E6} = 6.61$$

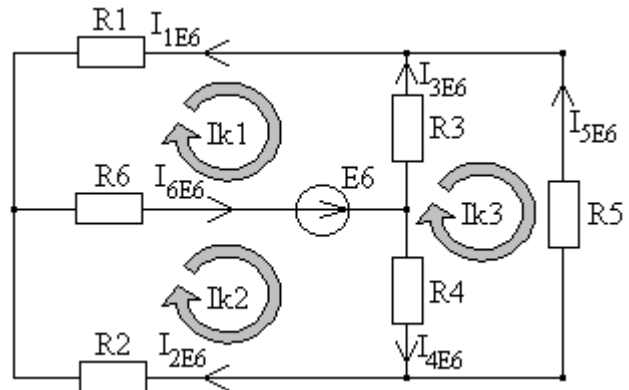
$$I_{2E6} := I_{K2} \quad I_{2E6} = 5.085$$

$$I_{3E6} := I_{K3} - I_{K1} \quad I_{3E6} = 7.119$$

$$I_{4E6} := I_{K2} - I_{K3} \quad I_{4E6} = 4.576$$

$$I_{5E6} := -I_{K3} \quad I_{5E6} = -0.508$$

$$I_{6E6} := I_{K2} - I_{K1} \quad I_{6E6} = 11.695$$



В цепи действует только J1:

$$I_{K1} := 1 \quad I_{K2} := 1 \quad I_{K3} := 1$$

Given

$$I_{K1} \cdot (R_1 + R_3 + R_6) - I_{K2} \cdot R_6 - I_{K3} \cdot R_3 - J_1 \cdot R_1 = 0$$

$$-I_{K1} \cdot R_6 + I_{K2} \cdot (R_2 + R_4 + R_6) - I_{K3} \cdot R_4 = 0$$

$$-I_{K1} \cdot R_3 - I_{K2} \cdot R_4 + I_{K3} \cdot (R_3 + R_4 + R_5) = 0$$

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \\ I_{K3} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}, I_{K3})$$

$$I_{K1} = 13.559 \quad I_{K2} = 0.339 \quad I_{K3} = 2.034$$

$$I_{1J1} := J_1 - I_{K1} \quad I_{1J1} = 1.441$$

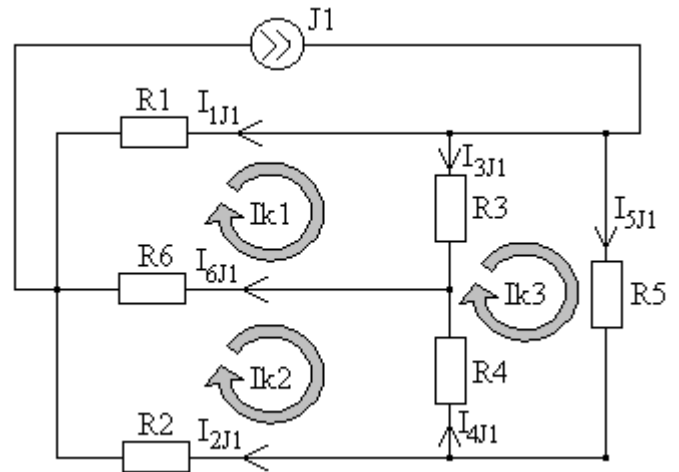
$$I_{2J1} := I_{K2} \quad I_{2J1} = 0.339$$

$$I_{3J1} := I_{K1} - I_{K3} \quad I_{3J1} = 11.525$$

$$I_{4J1} := I_{K3} - I_{K2} \quad I_{4J1} = 1.695$$

$$I_{5J1} := I_{K3} \quad I_{5J1} = 2.034$$

$$I_{6J1} := I_{K1} - I_{K2} \quad I_{6J1} = 13.22$$



В цепи действует только J2:

$$I_{K1} := 1 \quad I_{K2} := 1 \quad I_{K3} := 1$$

Given

$$I_{K1} \cdot (R_1 + R_3 + R_6) - I_{K2} \cdot R_6 - I_{K3} \cdot R_3 = 0$$

$$-I_{K1} \cdot R_6 + I_{K2} \cdot (R_2 + R_4 + R_6) - I_{K3} \cdot R_4 + J_2 \cdot R_2 = 0$$

$$-I_{K1} \cdot R_3 - I_{K2} \cdot R_4 + I_{K3} \cdot (R_3 + R_4 + R_5) = 0$$

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \\ I_{K3} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}, I_{K3})$$

$$I_{K1} = -0.141 \quad I_{K2} = -4.379 \quad I_{K3} = -1.271$$

$$I_{1J2} := -I_{K1} \quad I_{1J2} = 0.141$$

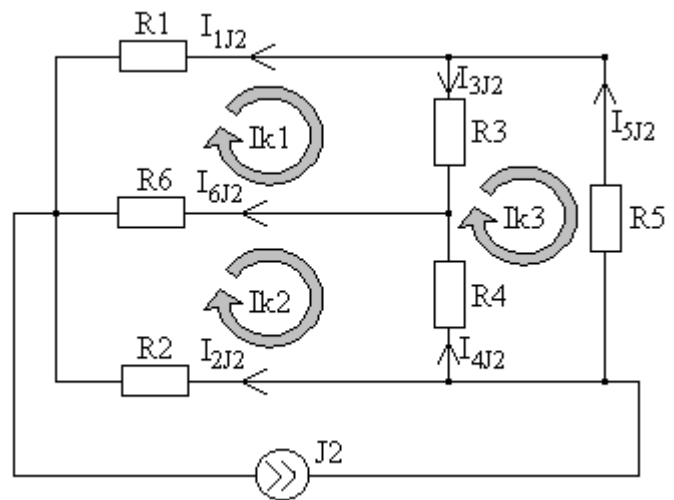
$$I_{2J2} := J_2 + I_{K2} \quad I_{2J2} = 0.621$$

$$I_{3J2} := I_{K1} - I_{K3} \quad I_{3J2} = 1.13$$

$$I_{4J2} := I_{K3} - I_{K2} \quad I_{4J2} = 3.107$$

$$I_{5J2} := -I_{K3} \quad I_{5J2} = 1.271$$

$$I_{6J2} := I_{K1} - I_{K2} \quad I_{6J2} = 4.237$$



В основной цепи действуют токи:

$$I_1 := -I_{1E} + I_{1E6} + I_{1J1} + I_{1J2}$$

$$I_1 = 4.802$$

$$I_2 := I_{2E} + I_{2E6} + I_{2J1} + I_{2J2}$$

$$I_2 = 6.13$$

$$I_3 := I_{3E} - I_{3E6} + I_{3J1} + I_{3J2}$$

$$I_3 = 8.418$$

$$I_4 := I_{4E} - I_{4E6} + I_{4J1} + I_{4J2}$$

$$I_4 = 0.65$$

$$I_5 := -I_{5E} + I_{5E6} - I_{5J1} + I_{5J2}$$

$$I_5 = -1.78$$

$$I_6 := I_{6E} - I_{6E6} + I_{6J1} + I_{6J2}$$

$$I_6 = 9.068$$