

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

***Расчетно-графическая работа***

*“Расчёт цепей постоянного тока”*

*Вариант № 221*

Выполнил:\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

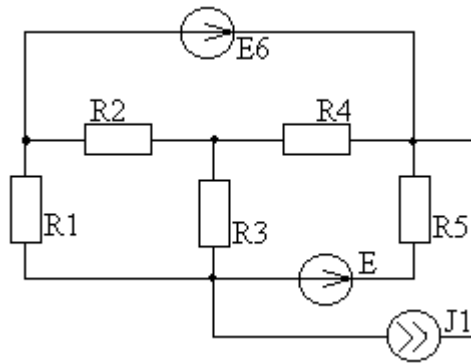
Проверил:\_\_\_\_\_

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 ветках методом наложения. Проверить расчеты цепи за законами Кирхгофа.
4. Найти токи в ветвях данной цепи методом эквивалентного генератора.

$$\begin{array}{lllll} R_1 := 20 & R_2 := 25 & R_3 := 40 & R_4 := 50 & R_5 := 5 \\ E := 150 & E_6 := 300 & J_1 := 15 & & \end{array}$$



## **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

$$I_{K1} \cdot (R_1 + R_2 + R_3) - I_{K2} \cdot R_2 - I_{K3} \cdot R_3 = 0$$

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

$$-I_{K1} \cdot R_3 - I_{K2} \cdot R_4 + I_{K3} \cdot (R_3 + R_4 + R_5) + J_1 \cdot R_5 = -E$$

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

$$I_{K1} = 3.132$$

$$I_{K2} = 6.692$$

$$I_{K3} = 2.473$$

Токи ветвей схемы равны:

$$I_1 := I_{K1} \quad I_1 = 3.132$$

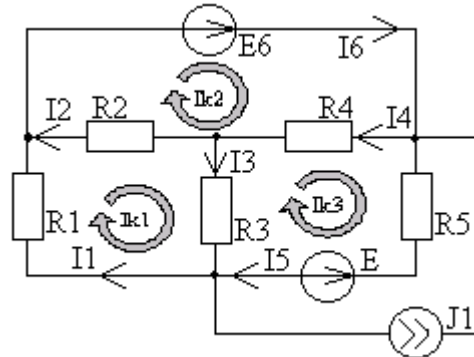
$$I_2 := I_{K2} - I_{K1} \quad I_2 = 3.56$$

$$I_3 := I_{K1} - I_{K3} \quad I_3 = 0.659$$

$$I_4 := I_{K2} - I_{K3} \quad I_4 = 4.22$$

$$I_5 := I_{K3} + J_1 \quad I_5 = 17.473$$

$$I_6 := I_{K2} \quad I_6 = 6.692$$



## **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:

$$G_{22} := \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \quad G_{22} = 0.085 \quad G_{44} := \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} \quad G_{44} = 0.275$$

$$G_{21} := \frac{1}{R_2} \quad G_{21} = 0.04$$

$$G_{23} := \frac{1}{R_4} \quad G_{23} = 0.02$$

$$G_{24} := \frac{1}{R_3} \quad G_{24} = 0.025$$

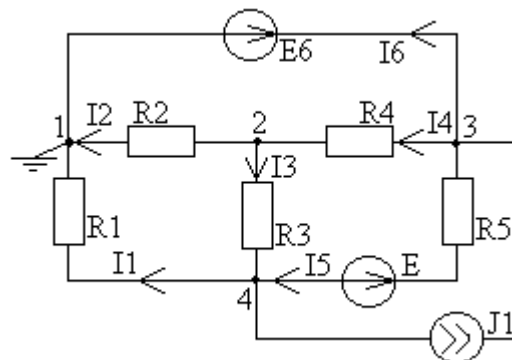
$$G_{41} := \frac{1}{R_1} \quad G_{41} = 0.05$$

$$G_{42} := \frac{1}{R_3} \quad G_{42} = 0.025$$

$$G_{43} := \frac{1}{R_5} \quad G_{43} = 0.2$$

$$J_{B2} := 0 \quad J_{B2} = 0$$

$$J_{B4} := -J_1 - \frac{E}{R_5} \quad J_{B4} = -45$$



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

$$-G_{21} \cdot \phi_1 + G_{22} \cdot \phi_2 - G_{23} \cdot \phi_3 - G_{24} \cdot \phi_4 = J_{B2}$$

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

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

$$\phi_2 = 89.011$$

$$\phi_4 = 62.637$$

Токи ветвей схемы находим за законом Ома:

$$I_1 := \frac{\phi_4 - \phi_1}{R_1} \quad I_1 = 3.132$$

$$I_2 := \frac{\phi_2 - \phi_1}{R_2} \quad I_2 = 3.56$$

$$I_3 := \frac{\phi_2 - \phi_4}{R_3} \quad I_3 = 0.659$$

$$I_4 := \frac{\phi_3 - \phi_2}{R_4} \quad I_4 = 4.22$$

$$I_5 := \frac{\phi_3 - \phi_4 - E}{R_5} \quad I_5 = 17.473$$

$$I_6 := I_2 + I_1 \quad I_6 = 6.692$$

### Проверка:

За 1-м законом Кирхгофа:

$$-I_6 + I_1 + I_2 = 0$$

$$I_6 - I_4 - I_5 + J_1 = -1.421 \times 10^{-14}$$

$$I_3 + I_2 - I_4 = 2.487 \times 10^{-14}$$

$$-I_1 + I_3 + I_5 - J_1 = 3.908 \times 10^{-14}$$

За 2-м законом Кирхгофа:

$$E_6 - E = 150$$

$$I_5 \cdot R_5 + I_1 \cdot R_1 = 150$$

$$-I_5 \cdot R_5 + I_4 \cdot R_4 + I_3 \cdot R_3 = 150$$

$$E = 150$$

$$-I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_3 = 0$$

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

$$E_6 = 300$$

Баланс мощностей:

$$-E \cdot I_5 + E_6 \cdot I_6 + J_1 \cdot (I_5 \cdot R_5 + E) = 2.947 \times 10^3$$

$$I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 = 2.947 \times 10^3$$

## Потенциальная диаграмма

$$\phi_1 = 0$$

$$\phi_2 := \phi_1 + E$$

$$\phi_2 = 150$$

$$\phi_3 := \phi_2 + I_5 \cdot R_5$$

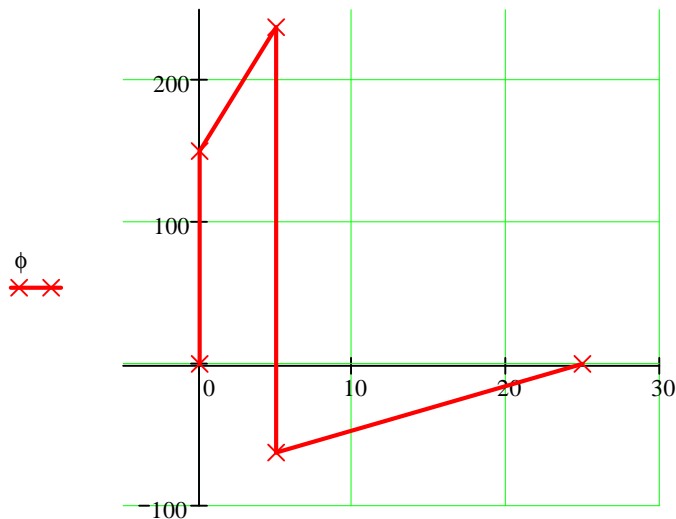
$$\phi_3 = 237.363$$

$$\phi_4 := \phi_3 - E_6$$

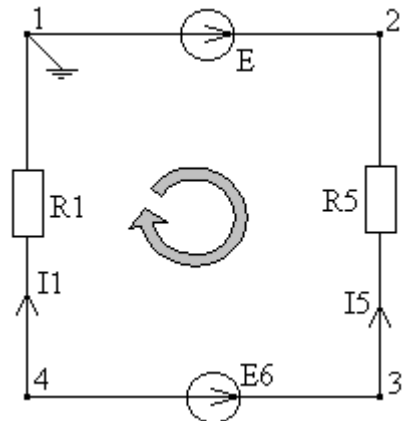
$$\phi_4 = -62.637$$

$$\phi_1 := \phi_4 + I_1 \cdot R_1$$

$$\phi_1 = 1.421 \times 10^{-14}$$



R



## Метод наложения

В цепи действует только E:

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

Given

$$I_{K1} \cdot (R_1 + R_2 + R_3) - I_{K2} \cdot R_2 - I_{K3} \cdot R_3 = 0$$

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

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

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

$$I_{K1} = -5.604 \quad I_{K2} = -6.923 \quad I_{K3} = -7.582$$

$$I_{1E} := -I_{K1} \quad I_{1E} = 5.604$$

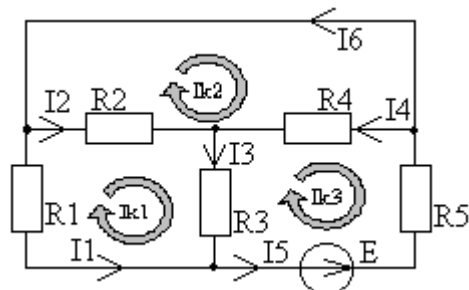
$$I_{2E} := I_{K1} - I_{K2} \quad I_{2E} = 1.319$$

$$I_{3E} := I_{K1} - I_{K3} \quad I_{3E} = 1.978$$

$$I_{4E} := I_{K2} - I_{K3} \quad I_{4E} = 0.659$$

$$I_{5E} := -I_{K3} \quad I_{5E} = 7.582$$

$$I_{6E} := -I_{K2} \quad I_{6E} = 6.923$$



В цепи действует только Е6:

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

Given

$$I_{K1} \cdot (R_1 + R_2 + R_3) - I_{K2} \cdot R_2 - I_{K3} \cdot R_3 = 0$$

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

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

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

$$I_{K1} = 11.538 \quad I_{K2} = 17.077 \quad I_{K3} = 13.846$$

$$I_{1E6} := I_{K1} \quad I_{1E6} = 11.538$$

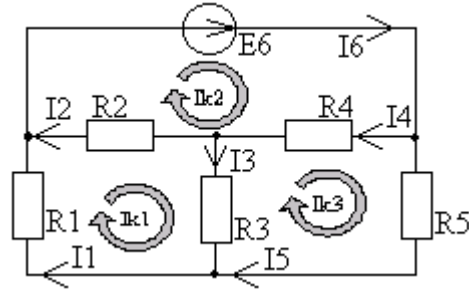
$$I_{2E6} := I_{K2} - I_{K1} \quad I_{2E6} = 5.538$$

$$I_{3E6} := I_{K3} - I_{K1} \quad I_{3E6} = 2.308$$

$$I_{4E6} := I_{K2} - I_{K3} \quad I_{4E6} = 3.231$$

$$I_{5E6} := I_{K3} \quad I_{5E6} = 13.846$$

$$I_{6E6} := I_{K2} \quad I_{6E6} = 17.077$$



В цепи действует только J1:

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

Given

$$I_{K1} \cdot (R_1 + R_2 + R_3) - I_{K2} \cdot R_2 - I_{K3} \cdot R_3 = 0$$

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

$$-I_{K1} \cdot R_3 - I_{K2} \cdot R_4 + I_{K3} \cdot (R_3 + R_4 + R_5) + J_1 \cdot R_5 = 0$$

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

$$I_{K1} = -2.802 \quad I_{K2} = -3.462 \quad I_{K3} = -3.791$$

$$I_{1J1} := -I_{K1} \quad I_{1J1} = 2.802$$

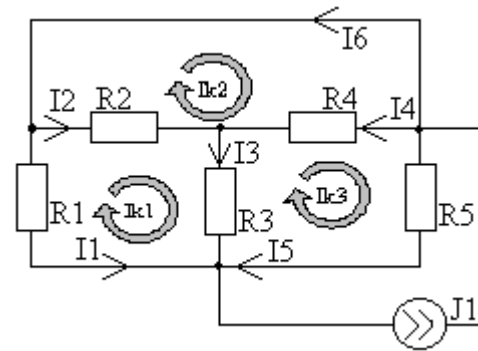
$$I_{2J1} := I_{K1} - I_{K2} \quad I_{2J1} = 0.659$$

$$I_{3J1} := I_{K1} - I_{K3} \quad I_{3J1} = 0.989$$

$$I_{4J1} := I_{K2} - I_{K3} \quad I_{4J1} = 0.33$$

$$I_{5J1} := J_1 + I_{K3} \quad I_{5J1} = 11.209$$

$$I_{6J1} := -I_{K2} \quad I_{6J1} = 3.462$$



В основной цепи действуют токи:

$$I_1 := -I_{1E} + I_{1E6} - I_{1J1} \quad I_1 = 3.132$$

$$I_2 := -I_{2E} + I_{2E6} - I_{2J1} \quad I_2 = 3.56$$

$$I_3 := I_{3E} - I_{3E6} + I_{3J1} \quad I_3 = 0.659$$

$$I_4 := I_{4E} + I_{4E6} + I_{4J1} \quad I_4 = 4.22$$

$$I_5 := -I_{5E} + I_{5E6} + I_{5J1} \quad I_5 = 17.473$$

$$I_6 := -I_{6E} + I_{6E6} - I_{6J1} \quad I_6 = 6.692$$

## **Метод эквивалентного генератора**

Вырезавши из выходной схемы ветку с сопротивлением  $R_5$  и источником питания  $E$ , получаем схему. В выходной схеме ток  $I_5$  направленный от узла 3 к узлу 4, такое же направление выберем и для напряжения холостого хода  $U_{1x}$ .

Для нахождения напряжения  $U_{1x}$  сначала надо найти ток в ветви с сопротивлениями  $R_3$  и  $R_4$ . Для этого воспользуемся методом контурных токов:

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

Given

$$I_{K1} \cdot (R_1 + R_2 + R_3) - I_{K2} \cdot R_2 + J_1 \cdot R_3 = 0$$

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

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

$$I_{K1} = -9.783 \quad I_{K2} = -9.261$$

Искомое напряжение холостого хода равно:

$$U_{1X} := (I_{K1} + J_1) \cdot R_3 + (I_{K2} + J_1) \cdot R_4 \quad U_{1X} = 495.652$$

Эквивалентное сопротивление цепи равно:

$$R_{342} := \frac{R_4 \cdot R_2}{R_4 + R_2} + R_3 \quad R_E := \frac{R_{342} \cdot R_1}{R_{342} + R_1} \quad R_E = 14.783$$

Искомый ток, вырезанной ветки, равен:

$$I_5 := \frac{-E + U_{1X}}{R_E + R_5} \quad I_5 = 17.473$$

