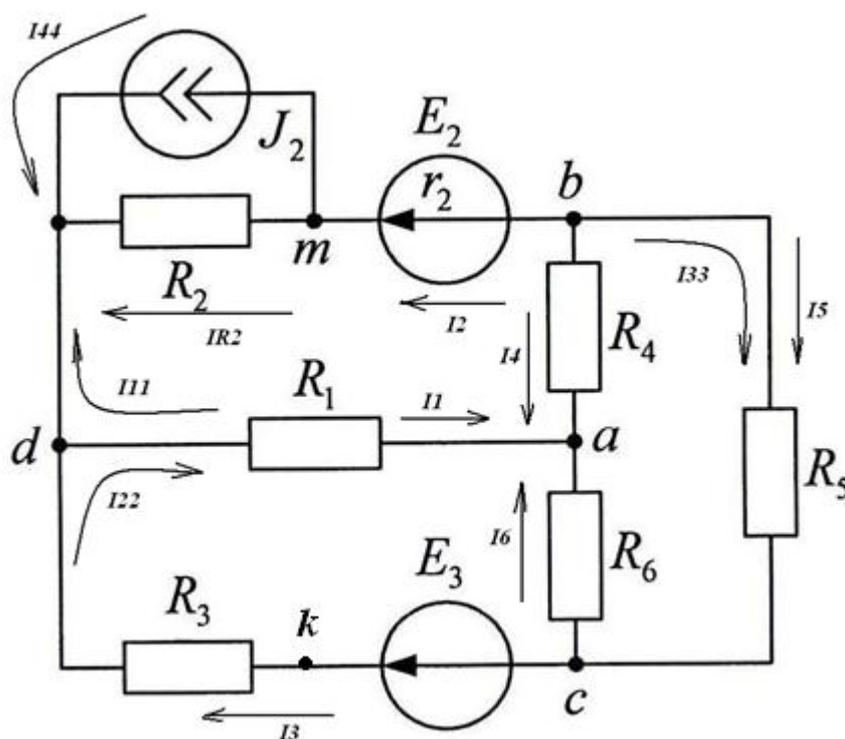


## Расчетно-графическая работа №1

1. Составить по законам Кирхгофа систему уравнений для нахождения токов во всех ветвях схемы.
2. Определить токи во всех ветвях методом контурных токов.
3. Определить токи во всех ветвях методом узловых потенциалов.
4. Определить ток в  $R_1$  методом эквивалентного генератора
5. Составить баланс мощности для исходной схемы с источником тока.
6. Построить потенциальную диаграмму для любого контура.



$$R_1 = 6.5 \text{ Ом} \quad R_2 = 2.5 \text{ Ом} \quad R_3 = 1 \text{ Ом} \quad r_2 = 1 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 4 \text{ Ом} \quad R_5 = 5.5 \text{ Ом} \quad R_6 = 7.5 \text{ Ом}$$

$$J_2 = 0.4 \text{ А} \quad E_2 = 5 \text{ В} \quad E_3 = 10 \text{ В}$$

Расчеты производим в программе Mathcad.

1. Произвольно выбираем направления токов. Данная схема имеет 8 ветвей. Ток в ветви с источником тока известен и равен 0.4А. В схеме 5 узлов. По первому закону Кирхгофа записываем количество уравнений равное числу

узлов минус 1, т.е. 4. По второму закону Кирхгофа записываем 3 уравнения.

Система уравнений для расчета токов по законам Кирхгофа имеет вид:

$$I_1 - I_4 + I_6 = 0$$

$$I_4 - I_5 - I_2 = 0$$

$$I_5 - I_6 - I_3 = 0$$

$$I_3 + J_2 + IR_2 - I_1 = 0$$

$$I_4 \cdot R_4 + I_6 \cdot R_6 + I_5 \cdot R_5 = 0$$

$$I_1 \cdot R_1 + I_4 \cdot R_4 + IR_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot r_2 = E_2$$

$$I_1 \cdot R_1 - I_6 \cdot R_6 + I_3 \cdot R_3 = E_3$$

2. В данной схеме 4 независимых контура. Направим в каждом из них контурный ток. Контурный ток  $I_{44}$  известен и равен 0.4 А.

Запишем систему уравнений, где  $R_{11}$ ,  $R_{22}$ ,  $R_{33}$  - собственные сопротивления контуров,  $R_{12}$ ,  $R_{13}$ ,  $R_{14}$ ,  $R_{23}$ ,  $R_{24}$ ,  $R_{34}$  - взаимные сопротивления контуров,  $E_{11}$ ,  $E_{22}$ ,  $E_{33}$  - контурные ЭДС

$$R_{11} = R_2 + R_4 + R_1 + r_2 \quad R_{12} = -R_1 \quad R_{21} = R_{12} \quad R_{14} = R_2 \quad E_{11} = -E_2$$

$$R_{22} = R_1 + R_6 + R_3 \quad R_{13} = -R_4 \quad R_{31} = R_{13} \quad R_{24} = 0 \quad E_{22} = E_3$$

$$R_{33} = R_4 + R_5 + R_6 \quad R_{23} = -R_6 \quad R_{32} = R_{23} \quad R_{34} = 0 \quad E_{33} = 0$$

$$I_{11} \cdot R_{11} + I_{22} \cdot R_{12} + I_{33} \cdot R_{13} + I_{44} \cdot R_{14} = E_{11}$$

$$I_{11} \cdot R_{12} + I_{22} \cdot R_{22} + I_{33} \cdot R_{23} + I_{44} \cdot R_{24} = E_{22}$$

$$I_{11} \cdot R_{13} + I_{22} \cdot R_{23} + I_{33} \cdot R_{33} + I_{44} \cdot R_{34} = E_{33}$$

Определим токи в ветвях

$$I_1 = I_1 - I_0 \quad I_1 = 0.812 \quad \text{А} \quad I_2 = -I_0 \quad I_2 = -0.148 \quad \text{А}$$

$$I_3 = I_1 \quad I_3 = 0.96 \quad \text{А} \quad I_4 = I_2 - I_0 \quad I_4 = 0.31 \quad \text{А}$$

$$I_5 = I_2 \quad I_5 = 0.458 \quad \text{А} \quad I_6 = I_2 - I_1 \quad I_6 = -0.502 \quad \text{А}$$

$$IR_2 = -I_0 - J_2 \quad IR_2 = -0.548 \quad \text{А}$$

### 3. Метод узловых потенциалов.

Условно заземлим узел m. Таким образом нам неизвестны потенциалы 4-х узлов. Составим систему уравнений, где  $G_{aa}$ ,  $G_{bb}$ ,  $G_{cc}$ ,  $G_{dd}$  - собственные проводимости узлов,  $G_{ab}$ ,  $G_{ad}$ ,  $G_{ac}$ ,  $G_{bc}$ ,  $G_{dc}$ ,  $G_{bd}$  - взаимные проводимости узлов.

$$\begin{aligned}G_{aa} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_6} & G_{ab} &= -\frac{1}{R_4} & G_{bc} &= -\frac{1}{R_5} \\G_{bb} &= \frac{1}{r_2} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} & G_{ac} &= -\frac{1}{R_6} & G_{dc} &= -\frac{1}{R_3} \\G_{cc} &= \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} & G_{ad} &= -\frac{1}{R_1} & G_{bd} &= 0 \\G_{dd} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\end{aligned}$$

Система уравнений имеет вид:

$$f_a \cdot G_{aa} + f_b \cdot G_{ab} + f_c \cdot G_{ac} + f_d \cdot G_{ad} = 0$$

$$f_a \cdot G_{ab} + f_b \cdot G_{bb} + f_c \cdot G_{bc} + f_d \cdot G_{bd} = -\frac{E_2}{r_2}$$

$$f_a \cdot G_{ac} + f_b \cdot G_{bc} + f_c \cdot G_{cc} + f_d \cdot G_{dc} = -\frac{E_3}{R_3}$$

$$f_a \cdot G_{ad} + f_b \cdot G_{bd} + f_c \cdot G_{dc} + f_d \cdot G_{dd} = J_2 + \frac{E_3}{R_3}$$

Определим токи в ветвях

$$F = \begin{pmatrix} -3.907 \\ -5.148 \\ -7.67 \\ 1.37 \end{pmatrix} \text{ ■}$$

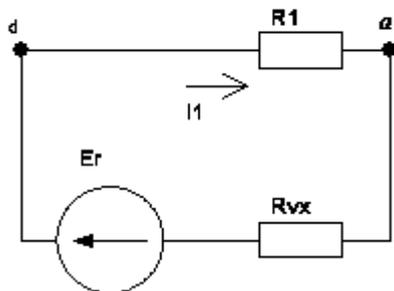
$$\begin{aligned}
 I_1 &= \frac{F_3 - F_0}{R_1} & I_1 &= 0.812 \text{ A} & I_2 &= \frac{F_1 + E_2}{r_2} & I_2 &= -0.148 \text{ A} \\
 I_3 &= \frac{F_2 - F_3 + E_3}{R_3} & I_3 &= 0.96 \text{ A} & I_4 &= \frac{F_0 - F_1}{R_4} & I_4 &= 0.31 \text{ A} \\
 I_5 &= \frac{F_1 - F_2}{R_5} & I_5 &= 0.458 \text{ A} & I_6 &= \frac{F_2 - F_0}{R_6} & I_6 &= -0.502 \text{ A} \\
 I_{R2} &= \frac{-F_3}{R_2} & I_{R2} &= -0.548 \text{ A}
 \end{aligned}$$

#### 4. Метод эквивалентного генератора.

Определим ток  $I_1$ . Вся схему относительно ветви с током  $I_1$  представим в виде эквивалентного генератора с параметрами  $E_g = U_{xx}$ ,  $R_{vx}$

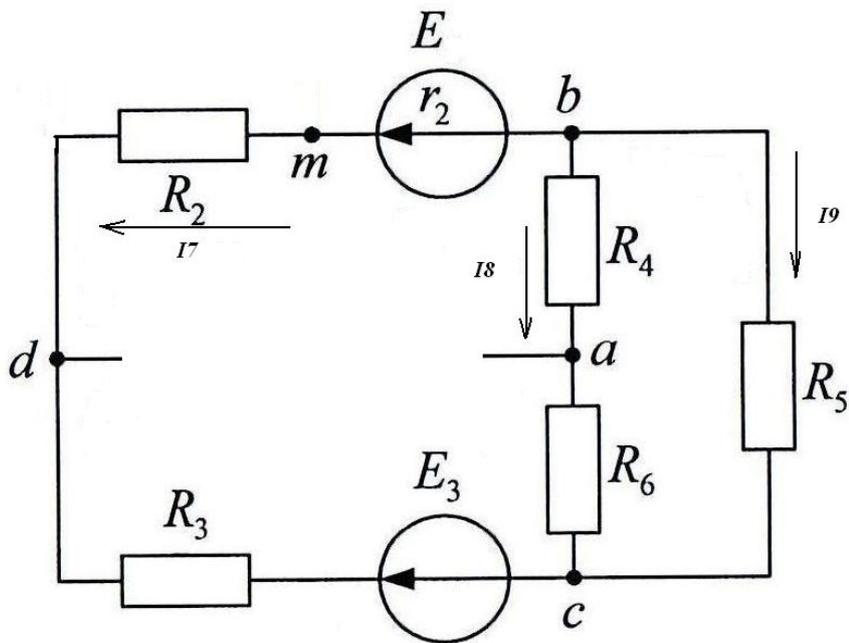
Преобразуем источник тока в источник ЭДС.

$$E = E_2 + R_2 \cdot J_2 \quad E = 6 \text{ В}$$



$$I_1 = \frac{E_r}{R_{vx} + R_1}$$

Для нахождения разности потенциалов  $U_{da} = E_r$  воспользуемся методом двух узлов.



$$U_{cb} = \frac{\frac{E-E_3}{R_2+R_3+r_2}}{\frac{1}{R_2 + R_3 + r_2} + \frac{1}{R_6 + R_4} + \frac{1}{R_5}}$$

$$U_{cb} = -1.81 \text{ В}$$

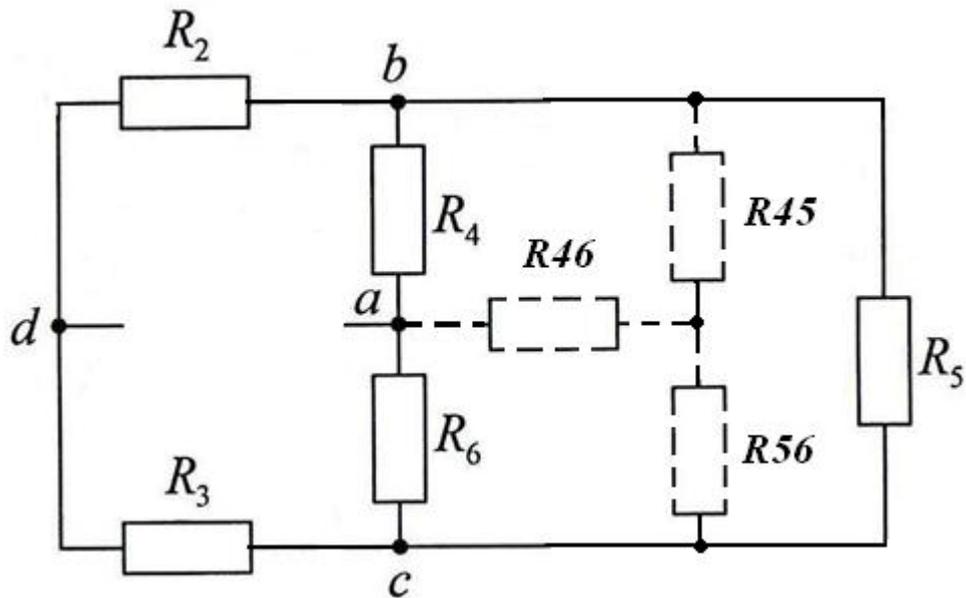
$$I_7 = \frac{-U_{cb} + E - E_3}{R_2 + R_3 + r_2} \quad I_7 = -0.487 \text{ А}$$

$$I_8 = \frac{-U_{cb}}{R_6 + R_4} \quad I_8 = 0.157 \text{ А}$$

Найдем разность потенциалов  $U_{da}=U_{xx}$

$$U_{xx} = I_7 \cdot R_3 - I_8 \cdot R_6 + E_3 \quad U_{xx} = 8.333 \text{ В}$$

Для того, чтобы найти  $R_{вх}$ , замкнем источники ЭДС и разомкнем источники тока. В схеме можно преобразовать треугольник сопротивлений  $R_4$ - $R_5$ - $R_6$  в эквивалентную звезду  $R_{45}$ - $R_{46}$ - $R_{56}$



$$R_{45} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5 + R_6} \quad R_{45} = 1.294 \quad \text{Ом}$$

$$R_{46} = \frac{R_4 \cdot R_6}{R_4 + R_5 + R_6} \quad R_{46} = 1.765 \quad \text{Ом}$$

$$R_{56} = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_4 + R_5 + R_6} \quad R_{56} = 2.426 \quad \text{Ом}$$

В схеме сопротивления R56 и R3 соединены последовательно, R45 и R2 тоже соединены последовательно, а между собой их ветви соединены параллельно

$$R_{vx} = R_{46} + \frac{(R_{56} + R_3) \cdot (R_{45} + R_2 + r_2)}{R_{56} + R_3 + R_{45} + R_2 + r_2} \quad R_{vx} = 3.763 \quad \text{Ом}$$

Найдем ток I1

$$I_1 = \frac{U_{xx}}{R_1 + R_{vx}} \quad I_1 = 0.812 \quad \text{А}$$

5. Составим баланс мощностей.

$$\Sigma P_{ист} = \Sigma P_{потр}$$

$$P_{потр} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot r_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + R_5 \cdot I_5^2 + I_6^2 \cdot R_6 + I_{R2}^2 \cdot R_2 \quad P_{потр} = 9.408 \quad \text{Вт}$$

$$P_{ист} = E_3 \cdot I_3 + I_2 \cdot E_2 - J_2 \cdot I_{R2} \cdot R_2 \quad P_{ист} = 9.408 \quad \text{Вт}$$

Построим потенциальную диаграмму для контура c-k-d-a-c

$$\phi_c = 0$$

$$\phi_k = \phi_c + E_3 \quad \phi_k = 10 \quad \text{В}$$

$$\phi_d = \phi_k - I_3 \cdot R_3 \quad \phi_d = 9.04 \quad \text{В}$$

$$\phi_a = \phi_d - I_1 \cdot R_1 \quad \phi_a = 3.762 \quad \text{В}$$

$$\phi_{cc} = \phi_a + I_6 \cdot R_6 \quad \phi_{cc} = 0 \quad \text{В}$$

$$P = \begin{pmatrix} \phi_c \\ \phi_k \\ \phi_d \\ \phi_a \\ \phi_{cc} \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ R_3 \\ R_3 + R_1 \\ R_3 + R_1 + R_6 \end{pmatrix}$$

