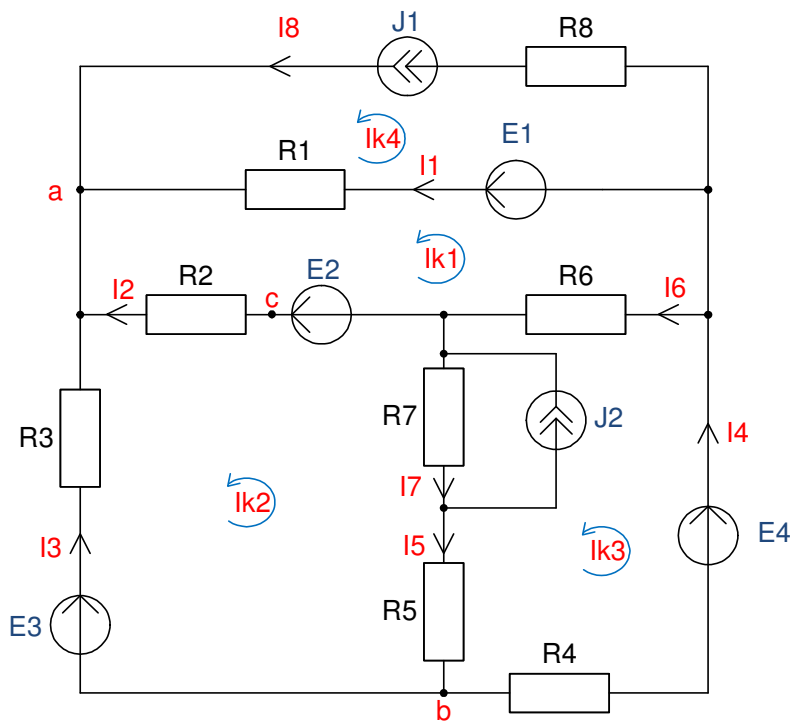


$R_1 = 2$	OM	$E_1 = 29$	B
$R_2 = 7$	OM	$E_3 = 50$	B
$R_3 = 1$	OM	$E_4 = 25$	OM
$R_4 = 4$	OM	$J_1 = 5$	A
$R_5 = 0.8$	OM	$J_2 = 5$	A
$R_6 = 8$	OM	$I_2 = 4$	A
$R_7 = 0.1$	OM		
$R_8 = 5$	OM		

1. В заданому колі розрахувати струми всіх віток:
 1.1. Методом контурних струмів.



Складемо рівняння за другим законом Кірхгофа:

$$I_{k1} \cdot (R_1 + R_2 + R_6) - I_{k2} \cdot R_2 - I_{k3} \cdot R_6 - J_1 \cdot R_1 = E_1 - E_2$$

$$-I_{k1} \cdot R_2 + I_{k2} \cdot (R_2 + R_3 + R_5 + R_7) - I_{k3} \cdot (R_5 + R_7) - J_2 \cdot R_7 = E_2 - E_3$$

$$-I_{k1} \cdot R_6 - I_{k2} \cdot (R_5 + R_7) + I_{k3} \cdot (R_7 + R_5 + R_4 + R_6) + J_2 \cdot R_7 = E_4$$

З рівняння 4 невідомих, тому струм I_{k2} знайдемо через I_2 :

$$I_{k2} = I_2 + I_{k1}$$

Тоді система р-н :

$$I_{k1} \cdot (R_1 + R_6) - I_{k3} \cdot R_6 + E_2 - I_{k4} \cdot R_1 = E_1 + J_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2$$

$$-I_{k1} \cdot (-R_3 - R_5 - R_7) - I_{k3} \cdot (R_5 + R_7) - E_2 = J_2 \cdot R_7 - E_3 - I_2 \cdot (R_2 + R_3 + R_5 + R_7)$$

$$-I_{k1} \cdot (R_6 + R_5 + R_7) + I_{k3} \cdot (R_7 + R_5 + R_4 + R_6) = E_4 - J_2 \cdot R_7 + I_2 \cdot (R_5 + R_7)$$

Вирішуємо систему рівнянь щодо контурних струмів методом Крамера.

$$\Delta = \begin{bmatrix} R_1 + R_6 & -R_6 & 1 \\ -(-R_3 - R_5 - R_7) & -(R_5 + R_7) & -1 \\ -(R_6 + R_5 + R_7) & R_7 + R_5 + R_4 + R_6 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 + 8 & -8 & 1 \\ -(-1 - 0.8 - 0.1) & -(0.8 + 0.1) & -1 \\ -(8 + 0.8 + 0.1) & 0.1 + 0.8 + 4 + 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_1 = \begin{bmatrix} E_1 + J_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 & -R_6 & 1 \\ J_2 \cdot R_7 - E_3 - I_2 \cdot (R_2 + R_3 + R_5 + R_7) & -(R_5 + R_7) & -1 \\ E_4 - J_2 \cdot R_7 + I_2 \cdot (R_5 + R_7) & R_7 + R_5 + R_4 + R_6 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 29 + 5 \cdot 2 + 4 \cdot 7 & -8 & 1 \\ 5 \cdot 0.1 - 50 - 4 \cdot (7 + 1 + 0.8 + 0.1) & -(0.8 + 0.1) & -1 \\ 25 - 5 \cdot 0.1 + 4 \cdot (0.8 + 0.1) & 0.1 + 0.8 + 4 + 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{bmatrix} R_1 + R_6 & E_1 + J_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 & 1 \\ -(-R_3 - R_5 - R_7) & J_2 \cdot R_7 - E_3 - I_2 \cdot (R_2 + R_3 + R_5 + R_7) & -1 \\ -(R_6 + R_5 + R_7) & E_4 - J_2 \cdot R_7 + I_2 \cdot (R_5 + R_7) & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 + 8 & 29 + 5 \cdot 2 + 4 \cdot 7 & 1 \\ -(-1 - 0.8 - 0.1) & 5 \cdot 0.1 - 50 - 4 \cdot (7 + 1 + 0.8 + 0.1) & -1 \\ -(8 + 0.8 + 0.1) & 25 - 5 \cdot 0.1 + 4 \cdot (0.8 + 0.1) & 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_3 = \begin{bmatrix} R_1 + R_6 & -R_6 & E_1 + J_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 \\ -(-R_3 - R_5 - R_7) & -(R_5 + R_7) & J_2 \cdot R_7 - E_3 - I_2 \cdot (R_2 + R_3 + R_5 + R_7) \\ -(R_6 + R_5 + R_7) & R_7 + R_5 + R_4 + R_6 & E_4 - J_2 \cdot R_7 + I_2 \cdot (R_5 + R_7) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 2 + 8 & -8 & 29 + 5 \cdot 2 + 4 \cdot 7 \\ -(-1 - 0.8 - 0.1) & -(0.8 + 0.1) & 5 \cdot 0.1 - 50 - 4 \cdot (7 + 1 + 0.8 + 0.1) \\ -(8 + 0.8 + 0.1) & 0.1 + 0.8 + 4 + 8 & 25 - 5 \cdot 0.1 + 4 \cdot (0.8 + 0.1) \end{bmatrix}$$

Використовуючи метод Крамера, знайшли невідомі контурні струми

$$I_{k1} = \frac{|\Delta_1|}{|\Delta|} = 0.22342 \quad \text{A}$$

$$I_{k3} = \frac{|\Delta_2|}{|\Delta|} = 2.3324 \quad \text{A}$$

$$E_2 = \frac{|\Delta_3|}{|\Delta|} = 83.425 \quad \text{A}$$

$$I_{k2} = I_2 + I_{k1} = 4 + 0.22342 = 4.223$$

Струми у вітках дорівнюють:

$$I_1 = I_{k1} - J_1 = 0.22342 - 5 = -4.777 \quad \text{A}$$

$$I_2 = I_{k2} - I_{k1} = 4.223 - 0.22342 = 4.0 \quad \text{A}$$

$$I_3 = -I_{k2} = -4.223 = -4.223 \quad \text{A}$$

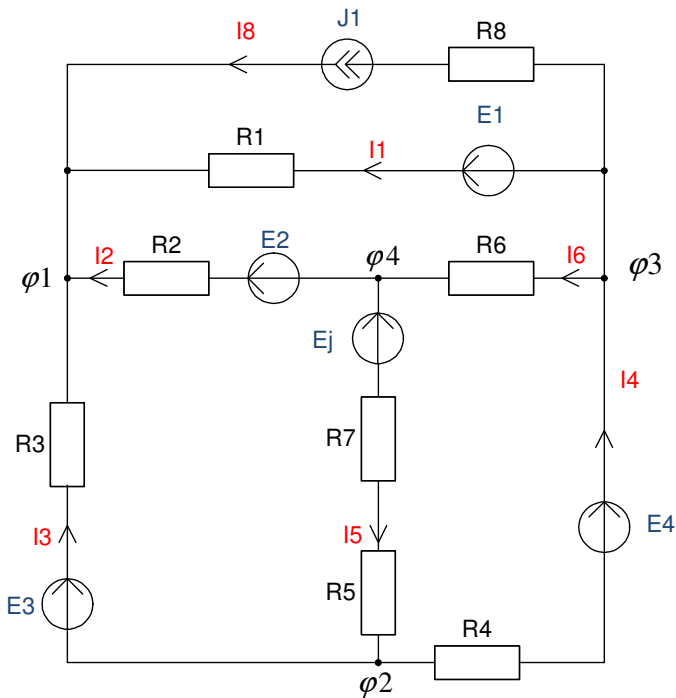
$$I_4 = I_{k3} = 2.3324 = 2.332 \quad \text{A}$$

$$I_5 = I_{k3} - I_{k2} = 2.3324 - 4.223 = -1.891 \quad \text{A}$$

$$I_6 = I_{k3} - I_{k1} = 2.3324 - 0.22342 = 2.109 \quad \text{A}$$

$$I_7 = I_{k3} - I_{k2} + J_2 = 2.3324 - 4.223 + 5 = 3.1094 \quad \text{A}$$

1.2. Методом вузлових потенціалів.



Перетворюємо джерело струму J_2 на E_J джерело напруги:
 $E_J = J_2 \cdot R_7 = 5 \cdot 0.1 = 0.5 \text{ В}$

Складаємо рівняння щодо всіх вузлів схеми, заземляємо вузол $\varphi_3 = 0$:

$$\varphi_1 \cdot G_{11} - \varphi_2 \cdot G_{12} - \varphi_4 \cdot G_{14} = J_{11}$$

$$-\varphi_1 \cdot G_{21} + \varphi_2 \cdot G_{22} - \varphi_4 \cdot G_{24} = J_{22}$$

$$-\varphi_1 \cdot G_{41} - \varphi_2 \cdot G_{42} + \varphi_4 \cdot G_{44} = J_{44}$$

Знаходимо вузлові і міжвузлові провідності:

$$G_{11} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{1} + \frac{1}{7} + \frac{1}{2} = 1.643 \quad \text{S}$$

$$G_{12} = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{1} = 1.0 \quad \text{S}$$

$$G_{22} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5 + R_7} = \frac{1}{1} + \frac{1}{4} + \frac{1}{0.8 + 0.1} = 2.361 \quad \text{S}$$

$$G_{14} = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{7} = 0.1429 \quad \text{S}$$

$$G_{44} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5 + R_7} + \frac{1}{R_6} = \frac{1}{7} + \frac{1}{0.8 + 0.1} + \frac{1}{8} = 1.379 \quad \text{S}$$

$$G_{24} = \frac{1}{R_5 + R_7} = \frac{1}{0.8 + 0.1} = 1.111 \quad \text{S}$$

$$G_{21} = G_{12} \quad \text{S} \quad G_{41} = G_{14} \quad \text{S} \quad G_{42} = G_{24} \quad \text{S}$$

Сума струмів які входять у вузли:

$$J_{11} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_3}{R_3} + J_1 = \frac{29}{2} + \frac{50}{1} + 5 = 69.5 \quad \text{A}$$

$$J_{22} = -\frac{E_3}{R_3} - \frac{E_J}{R_5 + R_7} - \frac{E_4}{R_4} = -\frac{50}{1} - \frac{0.5}{0.8 + 0.1} - \frac{25}{4} = -56.806 \quad \text{A}$$

$$J_{44} = \frac{E_J}{R_5 + R_7} - \frac{E_2}{R_2} = \frac{0.5}{0.8 + 0.1} - \frac{83.425}{7} = -11.362 \quad \text{A}$$

З рівняння 4 невідомих, тому потенціал φ_1 знайдемо через струм I_2 :

$$\varphi_1 = \varphi_4 + E_2 - I_2 \cdot R_2$$

Тоді система р-н :

$$E_2 \cdot (G_{11} - G_{14}) - \varphi_2 \cdot G_{12} - \varphi_4 \cdot (G_{14} - G_{11}) = J_{11} + I_2 \cdot R_2 \cdot G_{11}$$

$$-E_2 \cdot G_{21} + \varphi_2 \cdot G_{22} - \varphi_4 \cdot (G_{24} + G_{21}) = J_{22} - I_2 \cdot R_2 \cdot G_{21}$$

$$-E_2 \cdot G_{41} - \varphi_2 \cdot G_{42} + \varphi_4 \cdot (G_{44} - G_{41}) = J_{44} - I_2 \cdot R_2 \cdot G_{41}$$

$$\Delta = \begin{bmatrix} G_{11} - G_{14} & -G_{12} & -(G_{14} - G_{11}) \\ -G_{21} & G_{22} & -(G_{24} + G_{21}) \\ -G_{41} & -G_{42} & G_{44} - G_{41} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.643 - 0.1429 & -1.0 & -(0.1429 - 1.643) \\ -1.0 & 2.361 & -(1.111 + 1.0) \\ -0.1429 & -1.111 & 1.379 - 0.1429 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1.5 & -1.0 & 1.5 \\ -1.0 & 2.361 & -2.111 \\ -0.1429 & -1.111 & 1.236 \end{pmatrix}$$

$$\Delta_1 = \begin{bmatrix} J_{11} + I_2 \cdot R_2 \cdot G_{11} & -G_{12} & -(G_{14} - G_{11}) \\ J_{22} - I_2 \cdot R_2 \cdot G_{21} & G_{22} & -(G_{24} + G_{21}) \\ J_{44} - I_2 \cdot R_2 \cdot G_{41} & -G_{42} & G_{44} - G_{41} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 69.5 + 4.0 \cdot 7 \cdot 1.643 & -1.0 & -(0.1429 - 1.643) \\ -56.806 - 4.0 \cdot 7 \cdot 1.0 & 2.361 & -(1.111 + 1.0) \\ -11.362 - 4.0 \cdot 7 \cdot 0.1429 & -1.111 & 1.379 - 0.1429 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_2 = \begin{bmatrix} G_{11} - G_{14} & J_{11} + I_2 \cdot R_2 \cdot G_{11} & -(G_{14} - G_{11}) \\ -G_{21} & J_{22} - I_2 \cdot R_2 \cdot G_{21} & -(G_{24} + G_{21}) \\ -G_{41} & J_{44} - I_2 \cdot R_2 \cdot G_{41} & G_{44} - G_{41} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.643 - 0.1429 & 69.5 + 4.0 \cdot 7 \cdot 1.643 & -(0.1429 - 1.643) \\ -1.0 & -56.806 - 4.0 \cdot 7 \cdot 1.0 & -(1.111 + 1.0) \\ -0.1429 & -11.362 - 4.0 \cdot 7 \cdot 0.1429 & 1.379 - 0.1429 \end{bmatrix}$$

$$\Delta_3 = \begin{pmatrix} G_{11} - G_{14} & -G_{12} & J_{11} + I_2 \cdot R_2 \cdot G_{11} \\ -G_{21} & G_{22} & J_{22} - I_2 \cdot R_2 \cdot G_{21} \\ -G_{41} & -G_{42} & J_{44} - I_2 \cdot R_2 \cdot G_{41} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.643 - 0.1429 & -1.0 & 69.5 + 4.0 \cdot 7 \cdot 1.643 \\ -1.0 & 2.361 & -56.806 - 4.0 \cdot 7 \cdot 1.0 \\ -0.1429 & -1.111 & -11.362 - 4.0 \cdot 7 \cdot 0.1429 \end{pmatrix}$$

$$E_2 = \frac{|\Delta_1|}{|\Delta|} = 83.446 \quad \text{В}$$

$$\varphi_2 = \frac{|\Delta_2|}{|\Delta|} = -15.673 \quad \text{В}$$

$$\varphi_4 = \frac{|\Delta_3|}{|\Delta|} = -16.873 \quad \text{В}$$

$$\varphi_1 = \varphi_4 + E_2 - I_2 \cdot R_2 = -16.873 + 83.446 - 4.0 \cdot 7 = 38.57$$

За законом Ома знаходимо струми:

$$I_1 = \frac{\varphi_3 - \varphi_1 + E_1}{R_1} = \frac{0 - 38.57 + 29}{2} = -4.785 \quad \text{A}$$

$$I_2 = \frac{\varphi_4 - \varphi_1 + E_2}{R_2} = \frac{-16.873 - 38.57 + 83.446}{7} = 4.0 \quad \text{A}$$

$$I_3 = \frac{\varphi_2 - \varphi_1 + E_3}{R_3} = \frac{-15.673 - 38.57 + 50}{1} = -4.243 \quad \text{A}$$

$$I_4 = \frac{\varphi_2 - \varphi_3 + E_4}{R_4} = \frac{-15.673 - 0 + 25}{4} = 2.332 \quad \text{A}$$

$$I_5 = \frac{\varphi_4 - \varphi_2 - E_J}{R_5 + R_7} = \frac{-16.873 - (-15.673) - 0.5}{0.8 + 0.1} = -1.889 \quad \text{A}$$

$$I_6 = \frac{\varphi_3 - \varphi_4}{R_6} = \frac{0 - (-16.873)}{8} = 2.109 \quad \text{A}$$

2. Скласти систему незалежних рівнянь за законами Кірхгофа необхідну для знаходження невідомих струмів та ЕРС
Умовний обхід всіх контурів за годинниковою стрілкою.

По 1 закону Кірхгофа:

$$I_1 + I_2 + I_3 + J_1 = -4.777 + 4 + -4.223 + 5 = 0$$

$$I_6 + J_2 - I_2 - I_7 = 2.109 + 5 - 4 - 3.1094 = -0.0004$$

$$I_7 - I_5 - J_2 = 3.1094 - -1.891 - 5 = 0.0004$$

$$I_4 - I_6 - I_1 - J_1 = 2.332 - 2.109 - -4.777 - 5 = -0$$

По 2 закону Кірхгофа:

$$I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 - I_6 \cdot R_6 - E_1 + E_2 = -4.777 \cdot 2 - 4.0 \cdot 7 - 2.109 \cdot 8 - 29 + 83.425 = -0.001$$

$$I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_3 - I_5 \cdot R_5 - I_7 \cdot R_7 - E_2 + E_3 = 4.0 \cdot 7 - (-4.223) - -1.891 \cdot 0.8 - 3.1094 \cdot 0.1 - 83.425 + 50 = -0.00014$$

$$I_6 \cdot R_6 + I_7 \cdot R_7 + I_5 \cdot R_5 + I_4 \cdot R_4 - E_4 = 2.109 \cdot 8 + 3.1094 \cdot 0.1 + -1.891 \cdot 0.8 + 2.332 \cdot 4 - 25 = -0.00186$$

$$I_1 \cdot R_1 - I_3 \cdot R_3 + I_4 \cdot R_4 - E_1 + E_3 - E_4 = -4.777 \cdot 2 - (-4.223) + 2.332 \cdot 4 - 29 + 50 - 25 = -0.003$$

3. Скласти баланс потужностей.

Потужність, що генерується:

$$P = E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 + E_3 \cdot I_3 + E_4 \cdot I_4 + J_2 \cdot I_7 \cdot R_7 + J_1 \cdot (J_1 \cdot R_8 - I_1 \cdot R_1 + E_1) =$$
$$= 29 \cdot (-4.777) + 83.425 \cdot 4.0 + 50 \cdot (-4.223) + 25 \cdot 2.332 + 5 \cdot 3.1094 \cdot 0.1 + 5 \cdot (5 \cdot 5 - (-4.777) \cdot 2 + 29) = 361.6 \text{ Вт}$$

Потужність споживачів:

$$P = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5 + I_6^2 \cdot R_6 + I_7^2 \cdot R_7 + J_1^2 \cdot R_8 =$$
$$= (-4.777)^2 \cdot 2 + 4.0^2 \cdot 7 + (-4.223)^2 + 2.332^2 \cdot 4 + (-1.891)^2 \cdot 0.8 + 2.109^2 \cdot 8 + 3.1094^2 \cdot 0.1 + 5^2 \cdot 5 = 361.64 \text{ Вт}$$

4. Знайти напругу між точками а і в та в і с:

$$U_{ab} = E_3 - I_3 \cdot R_3 = 50 - (-4.223) = 54.22 \text{ В}$$

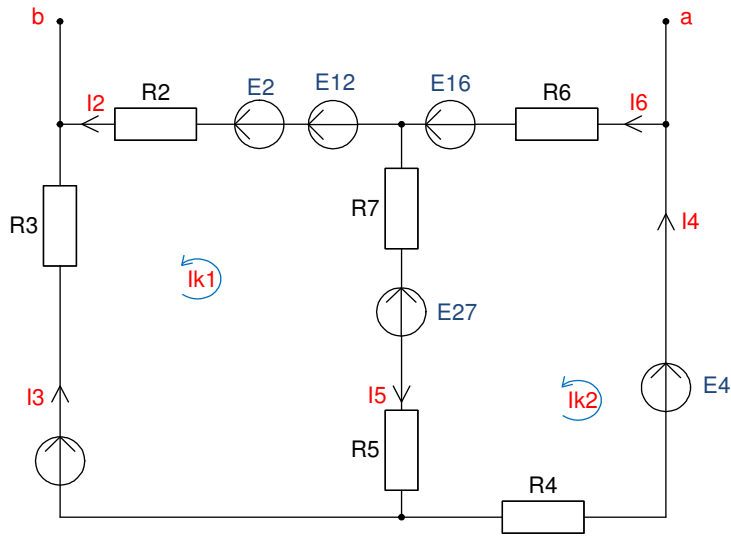
$$U_{ab} = E_1 - I_1 \cdot R_1 - I_4 \cdot R_4 + E_4 = 29 - (-4.777) \cdot 2 - 2.332 \cdot 4 + 25 = 54.23 \text{ В}$$

$$U_{bc} = I_3 \cdot R_3 - E_3 - I_2 \cdot R_2 = (-4.223) - 50 - 4.0 \cdot 7 = -82.22 \text{ В}$$

$$U_{bc} = -I_5 \cdot R_5 - I_7 \cdot R_7 - E_2 = (-1.891) \cdot 0.8 - 3.1094 \cdot 0.1 - 83.425 = -82.22 \text{ В}$$

5. Методом еквівалентного генератора знайти струм I_1

Визначити, яку ЕРС потрібно ввімкнути у першу вітку щоб струм I_1 змінив напрям



Відкидаємо 1 гілку з схеми та знаходимо напруга холостого ходу U_{ab} :

Перетвор.ємо джерела струму на еквівалентні джерела напруги

$$E_{12} = J_1 \cdot R_2 = 5 \cdot 7 = 35.0 \quad \text{В}$$

$$E_{16} = J_1 \cdot R_6 = 5 \cdot 8 = 40.0 \quad \text{В}$$

$$E_{27} = J_2 \cdot R_7 = 5 \cdot 0.1 = 0.5 \quad \text{В}$$

Складемо рівняння за другим законом Кірхгофа:

$$I_{k1} \cdot (R_2 + R_3 + R_5 + R_7) - I_{k2} \cdot (R_5 + R_7) = E_2 + E_{12} + E_{27} - E_3$$

$$-I_{k1} \cdot (R_5 + R_7) + I_{k2} \cdot (R_7 + R_5 + R_4 + R_6) = E_4 + E_{16} - E_{27}$$

Вирішимо систему рівнянь щодо контурних струмів методом Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_2 + R_3 + R_5 + R_7 & -(R_5 + R_7) \\ -(R_5 + R_7) & R_7 + R_5 + R_4 + R_6 \end{vmatrix} = \text{op_det} \begin{bmatrix} 7 + 1 + 0.8 + 0.1 & -(0.8 + 0.1) \\ -(0.8 + 0.1) & 0.1 + 0.8 + 4 + 8 \end{bmatrix} = 114.0$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} E_2 + E_{12} + E_{27} - E_3 & -(R_5 + R_7) \\ E_4 + E_{16} - E_{27} & R_7 + R_5 + R_4 + R_6 \end{vmatrix} = \text{op_det} \begin{bmatrix} 83.425 + 35.0 + 0.5 - 50 & -(0.8 + 0.1) \\ 25 + 40.0 - 0.5 & 0.1 + 0.8 + 4 + 8 \end{bmatrix} = 947.2$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} R_2 + R_3 + R_5 + R_7 & E_2 + E_{12} + E_{27} - E_3 \\ -(R_5 + R_7) & E_4 + E_{16} - E_{27} \end{vmatrix} = \text{op_det} \begin{bmatrix} 7 + 1 + 0.8 + 0.1 & 83.425 + 35.0 + 0.5 - 50 \\ -(0.8 + 0.1) & 25 + 40.0 - 0.5 \end{bmatrix} = 636.1$$

Використовуючи метод Крамера, знайшли невідомі контурні струми

$$I_{k1} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = 8.309 \quad \text{А}$$

$$I_{k2} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = 5.58 \quad \text{А}$$

Струми в 6 і 2 гілці рівні:

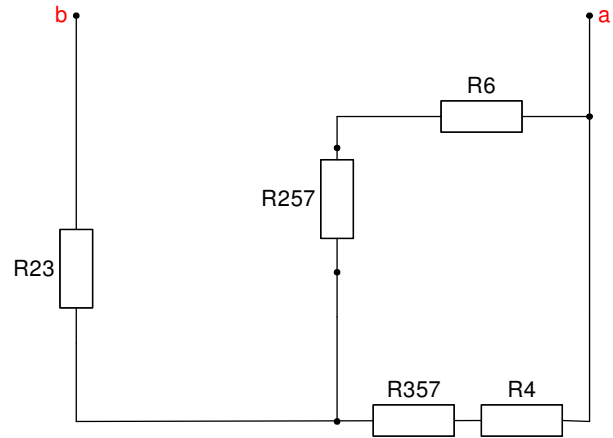
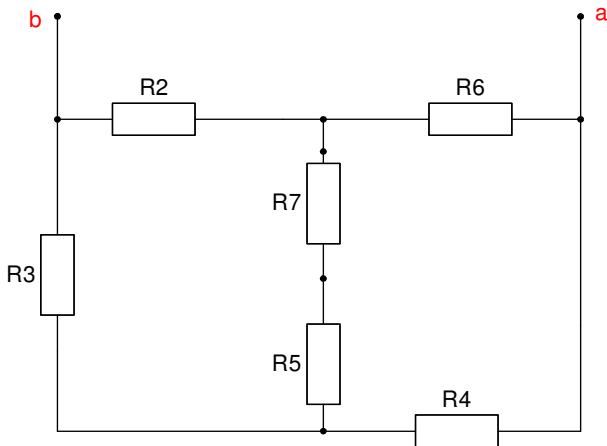
$$I_2 = I_{k1} = 8.309 = 8.309 \quad \text{A}$$

$$I_6 = I_{k2} = 5.58 = 5.58 \quad \text{A}$$

Знаходимо напругу U_{ab} :

$$U_{ab} = I_2 \cdot R_2 + I_6 \cdot R_6 - E_2 - E_{12} - E_{16} = 8.309 \cdot 7 + 5.58 \cdot 8 - 83.425 - 35.0 - 40.0 = -55.622 \quad \text{В}$$

Знаходимо внутрішній опір :



$$R_{57} = R_5 + R_7 = 0.8 + 0.1 = 0.9 \quad \text{Ом}$$

$$R_{257} = \frac{R_{57} \cdot R_2}{R_{57} + R_2 + R_3} = \frac{0.9 \cdot 7}{0.9 + 7 + 1} = 0.707865 \quad \text{Ом}$$

$$R_{357} = \frac{R_{57} \cdot R_3}{R_{57} + R_2 + R_3} = \frac{0.9}{0.9 + 7 + 1} = 0.101124 \quad \text{Ом}$$

$$R_{23} = \frac{R_3 \cdot R_2}{R_{57} + R_2 + R_3} = \frac{7}{0.9 + 7 + 1} = 0.786517 \quad \text{Ом}$$

$$R_e = \frac{(R_{257} + R_6) \cdot (R_4 + R_{357})}{R_{257} + R_6 + R_4 + R_{357}} = \frac{(0.707865 + 8) \cdot (4 + 0.101124)}{0.707865 + 8 + 4 + 0.101124} = 2.788 \quad \text{Ом}$$

$$R_{\text{вх}} = R_{23} + R_e = 0.786517 + 2.788 = 3.575 \quad \text{Ом}$$

Знаходимо струм в 1 гілці:

$$I_1 = \frac{U_{ab} + E_1}{R_{\text{вх}} + R_1} = \frac{-55.622 + 29}{3.575 + 2} = -4.775 \quad \text{A}$$

5.1 Визначити, яку ЕРС потрібно ввімкнути у першу вітку щоб струм I_1 змінив напрям

$$I_1' = -I_1 = 4.775 \quad \text{А}$$

Із рівняння знаходимо потрібну ЕРС:

$$I_1' \cdot (R_{\text{ВХ}} + R_1) = U_{\text{ab}} + E_1' \quad E_1' = I_1' \cdot (R_{\text{ВХ}} + R_1) - U_{\text{ab}} = 4.775 \cdot (3.575 + 2) - (-55.622) = 82.24 \quad \text{В}$$

Перевірка :

$$I_1 = \frac{U_{\text{ab}} + E_1'}{R_{\text{ВХ}} + R_1} = \frac{-55.622 + 82.24}{3.575 + 2} = 4.775 \quad \text{А}$$

$$E = E_1' - E_1 = 82.24 - 29 = 53.24 \quad \text{В}$$

Тобто для того щоб струм змінив напрям у вітку з опором R_1 необхідно додатково включити

ЕРС

$$E = E_1' - E_1 = 82.24 - 29 = 53.24 \text{ В.}$$

6. Знайти опір першої гілки при якому потужність в ній буде максимальна

Умова максимуму потужності у гілці з опором R_1 , $R_1 = R_{\text{ВХ}}$ тобто опір гілки потрібно збільшити

$$\text{на: } R = R_{\text{ВХ}} - R_1 = 3.575 - 2 = 1.575 \text{ Ом.}$$

Потужність яка виділиться при цьому:

$$I_{1\text{MAX}} = \frac{U_{\text{ab}} + E_1}{R_{\text{ВХ}} + R_1 + R} = \frac{-55.622 + 29}{3.575 + 2 + 1.575} = -3.723 \quad \text{А}$$

$$P_{1\text{MAX}} = (I_{1\text{MAX}})^2 \cdot (R_1 + R) = (-3.723)^2 \cdot (2 + 1.575) = 49.55 \quad \text{Вт}$$

7. Знайти лінійну залежність струму I_3 від напруги U_1

Для того щоб знайти лінійну залежність струму I_3 від напруги U_1 необхідно знайти коефіцієнти α та δ з р-н:

$$I_3 = \alpha + \delta \cdot U_1$$

Для їх знаходження необхідно знайти величину I_3 та U_1 для двох різних режимів роботи електричного кола (два значення R_1)

Скористаємося попередніми розрахунками:

при $R_1 = 2$ Ом:

$$\text{Струм } I_3 = -4.223 \quad \text{А, напруга } U_1 = I_1 \cdot R_1 - E_1 = 4.775 \cdot 2 - 29 = -19.45 \text{ В.}$$

Отримуємо :

$$-4.223 = \alpha - 19.45 \cdot \delta$$

при $R_1 = \infty$

Струм $I_3 = -8.309$ А, п.5, напруга $U_1 = U_{ab} = -55.622 = -55.62$ В.

Отримуємо :

$$-8.309 = \alpha - 55.62 \cdot \delta$$

Знаходимо α та δ :

$$-4.223 = \alpha - 19.45 \cdot \delta \quad \alpha = 19.45 \cdot \delta - 4.223 \quad \alpha = -2.026$$

$$-8.309 = \alpha - 55.62 \cdot \delta \quad 0 = 19.45 \cdot \delta - 4.223 + 8.309 \quad \delta = 0.113$$

Отримали залежність

$$I_3 = \alpha + \delta \cdot U_1 \quad I_3(U_1) = \alpha + \delta \cdot U_1 = 0.113 \cdot U_1 - 2.026$$

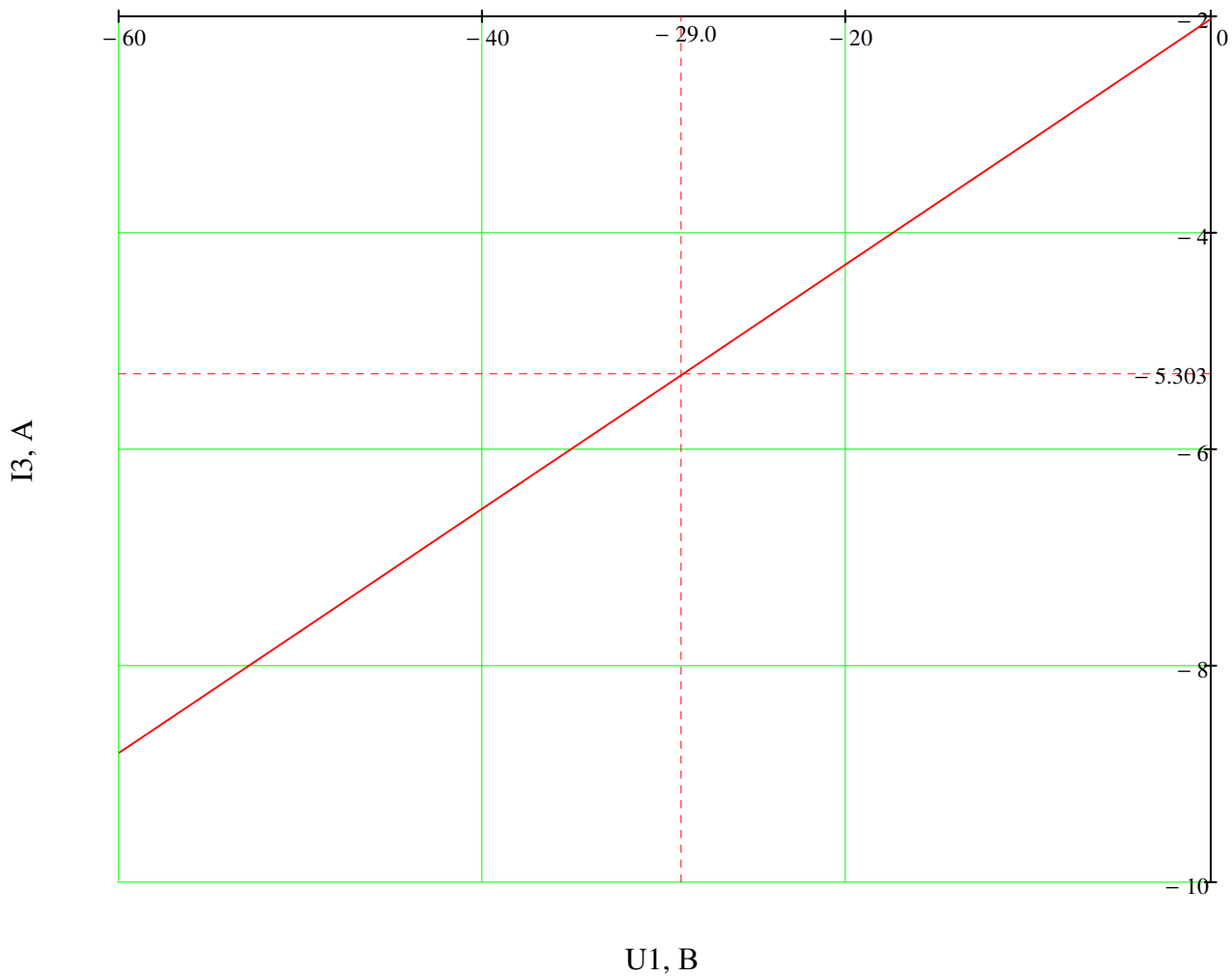
Знаходимо 3 значення напруги U_1 і будуємо залежність $I_3(U_1)$

$$R_1 = 2 \quad U_1 = I_1 \cdot R_1 - E_1 = 4.775 \cdot 2 - 29 = -19.45 \quad \text{В}$$

$$R_1 = 0 \quad I_1 = \frac{U_{ab} + E_1}{R_{вх} + R_1} = \frac{-55.622 + 29}{3.575 + 0} = -7.447 \quad U_1 = I_1 \cdot R_1 - E_1 = -7.447 \cdot 0 - 29 = -29.0 \quad \text{В}$$

$$R_1 = \infty \quad U_1 = U_{ab} = -55.622 = -55.62 \quad \text{В}$$

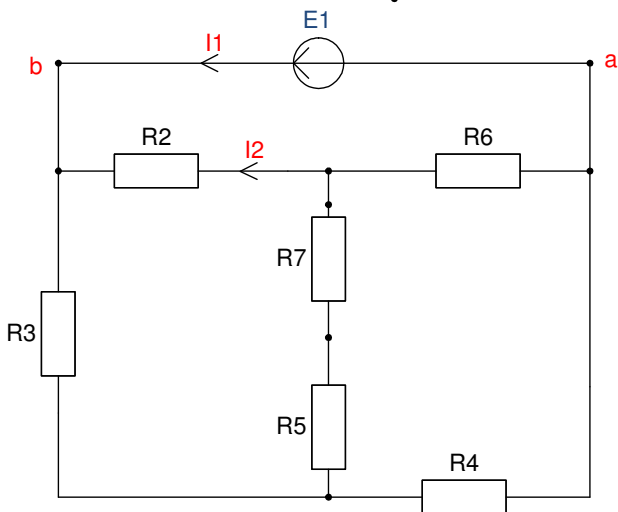
Лінійна залежність $I_3(U_1)$



8. Знаходження власної та взаємної провідності

Для знаходження власної та взаємної провідності вітки 1 та 2 необхідно всі джерела напруги прирівняти до нуля та знайти струми в схемі що виникають лише від дії джерела E_1 .

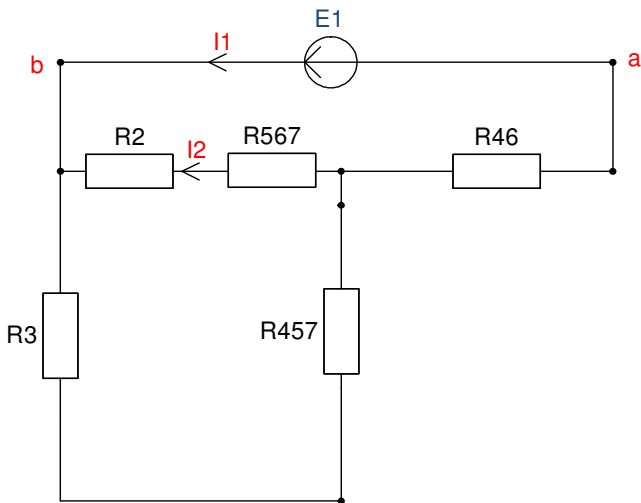
Скористаємося розрахунками п.5



При умові, що $U_{ab} = 0$, та $E_1 = 1$ знайдемо власну провідність g_{11}

$$I_1' = \frac{U_{ab} + E_1}{R_{вх} + R_1} \text{ explicit, ALL} = \frac{0 + 1}{3.575 + 2}$$

$$g_{11} = I_1' = 0.179 \quad \text{См}$$



$$R_{57} = R_5 + R_7 = 0.8 + 0.1 = 0.9 \quad \text{Ом}$$

$$R_{567} = \frac{R_{57} \cdot R_6}{R_{57} + R_4 + R_6} = \frac{0.9 \cdot 8}{0.9 + 4 + 8} = 0.55814 \quad \text{Ом}$$

$$R_{457} = \frac{R_{57} \cdot R_4}{R_{57} + R_4 + R_6} = \frac{0.9 \cdot 4}{0.9 + 4 + 8} = 0.27907 \quad \text{Ом}$$

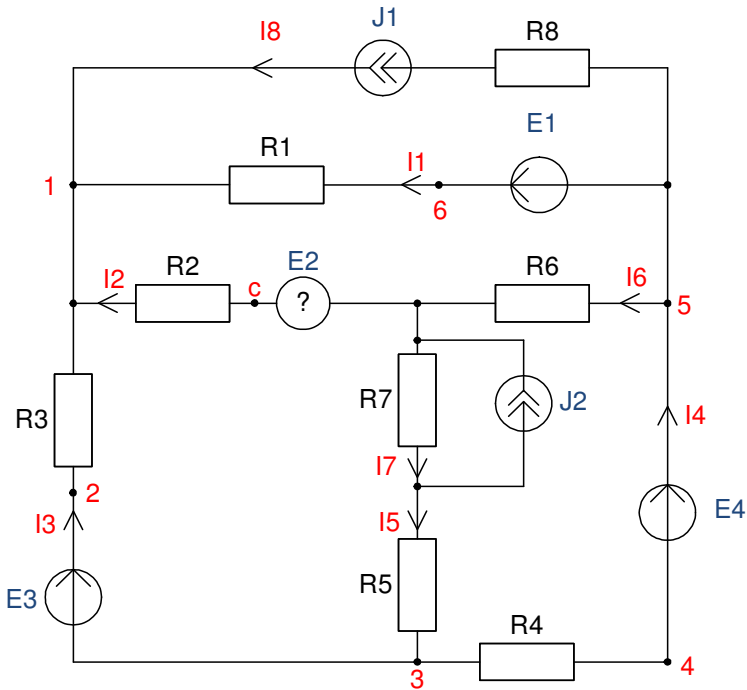
$$R_{46} = \frac{R_4 \cdot R_6}{R_{57} + R_4 + R_6} = \frac{4 \cdot 8}{0.9 + 4 + 8} = 2.48062 \quad \text{Ом}$$

За формулою чужого опору знаходимо струм I_2 .

$$I_2' = \frac{I_1' \cdot (R_3 + R_{457})}{R_2 + R_{567} + R_3 + R_{457}} = \frac{\frac{0 + 1}{3.575 + 2} \cdot (1 + 0.27907)}{7 + 0.55814 + 1 + 0.27907} = 0.02596$$

$$\text{отже } g_{12} = I_2' = 0.026 \quad \text{См}$$

9. Побудувати потенціальну діаграму для одного з контурів заданого кола, який містить два-три джерела ЕРС.



Значення потенціалів φ і відповідним їм опорам R на відрізках ланцюга, що використовувалися для побудови діаграми. $\varphi_1 = 0$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + I_3 \cdot R_3 = 0 + (-4.223) = -4.223 \quad \text{В}$$

$$\varphi_3 = \varphi_2 - E_3 = -4.223 - 50 = -54.22 \quad \text{В}$$

$$\varphi_4 = \varphi_3 - I_4 \cdot R_4 = -54.22 - 2.332 \cdot 4 = -63.55 \quad \text{В}$$

$$\varphi_5 = \varphi_4 + E_4 = -63.55 + 25 = -38.55 \quad \text{В}$$

$$\varphi_6 = \varphi_5 + E_1 = -38.55 + 1 = -37.55 \quad \text{В}$$

$$\varphi_1 = \varphi_6 - I_1 \cdot R_1 = -37.55 - 4.777 \cdot 2 = -28.0 \quad \text{В}$$

$$R = \begin{pmatrix} 0 \\ R_3 \\ R_3 \\ R_3 + R_4 \\ R_3 + R_4 \\ R_3 + R_4 \\ R_3 + R_4 + R_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 + 4 \\ 1 + 4 \\ 1 + 4 \\ 1 + 4 + 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \\ 7 \end{pmatrix}$$

$$\text{Ом} \quad \varphi = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \\ \varphi_5 \\ \varphi_6 \\ \varphi_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -28 \\ -4.223 \\ -54.22 \\ -63.55 \\ -38.55 \\ -37.55 \\ -28 \end{pmatrix} \quad \text{В}$$

Потенциальная диаграмма

