

**Міністерство освіти України**  
**Національний технічний університет України**  
**“Київський політехнічний інститут”**  
*Кафедра ТОЕ*

***Розрахунково-графічна робота***  
*“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”*  
*Варіант № 120*

Виконав: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Перевірив: \_\_\_\_\_

### Умова завдання

В електричному колі діє джерело синусоїдної ЄРС:

#### Необхідно:

#### 1. ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА БЕЗ ВЗАЄМНОЇ ІНДУКЦІЇ:

- 1.1. Розрахувати струми віток символічним методом скласти баланс активних і реактивних потужностей кола;
- 1.2. Побудувати діаграму струмів і топографічну діаграму напруг, показати кут зсуву фаз;
- 1.3. Приймаючи активний опір  $R_2$  за нульовий і вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомий, розрахувати його за умови резонансу струмів;
- 1.4. Розрахувати струму для резонансного стану кола;
- 1.5. Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей;
- 1.6. Розрахувати (знайти нулі і полюси) і побудувати частотну характеристику вхідного опору частини кола, розміщеної справа від перерізу А-А. Для одержання реактивного двополюсника активні опори замикнути.

#### 2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ $L_1$ ТА $L_2$ (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

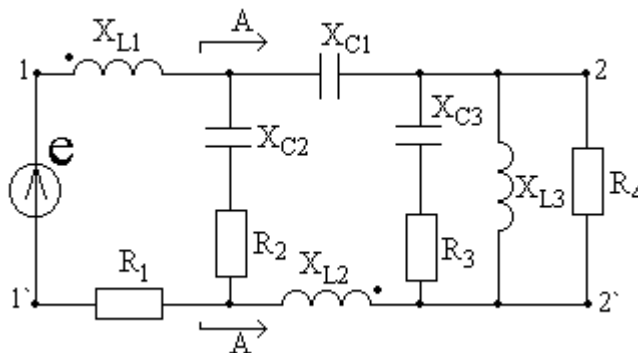
- 2.1. Перетворивши схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках схеми методом контурних струмів;
- 2.2. Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;
- 2.3. Побудувати сумісну векторну діаграму струмів і топографічну діаграму напруг (на діаграмі показати напруги взаємної індукції).

#### 3. ВІДКИНУВШИ ВІТКУ МІЖ ЗАТИСКАЧАМИ 2-2", ВИКОНАТИ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ ВЗАЄМОІНДУКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВІТОК. ОДЕРЖАНУ СХЕМУ РОЗГЛЯДАТИ ЯК ЧОТИРИПОЛЮСНИК З ЗАТИСКАЧАМИ 1-1" ТА 2-2" :

- 3.1. Розрахувати коефіцієнти А, В, С, D чотириполусника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$\begin{aligned} E &:= 100 & \psi &:= -20 & R_1 &:= 5 & R_2 &:= 7 & R_3 &:= 9 & R_4 &:= 12 \\ X_{L1} &:= 35 & X_{L2} &:= 40 & X_{L3} &:= 45 & X_{C1} &:= 15 & X_{C2} &:= 20 & X_{C3} &:= 25 \\ X_M &:= 23 & f &:= 60 & \omega &:= 2 \cdot \pi \cdot f & \omega &= 376.991 \end{aligned}$$

$$U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U = 93.969 - 34.202i \quad F(U) = (100 \quad -20)$$



### Символічний метод

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - X_{C2} \cdot i$$

$$Z_3 := X_{L2} \cdot i - X_{C1} \cdot i$$

$$Z_4 := R_3 - X_{C3} \cdot i$$

$$Z_5 := X_{L3} \cdot i$$

$$Z_6 := R_4$$

$$Z_1 = 5 + 35i$$

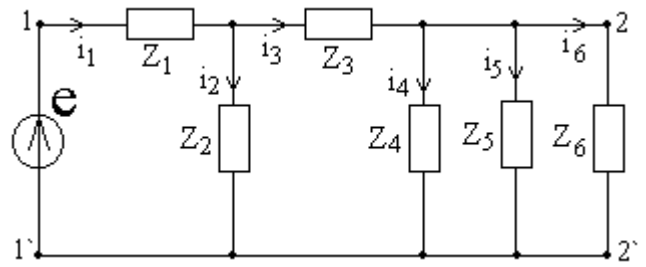
$$Z_2 = 7 - 20i$$

$$Z_3 = 25i$$

$$Z_4 = 9 - 25i$$

$$Z_5 = 45i$$

$$Z_6 = 12$$



$$Z_{3456} := \frac{\left( \frac{Z_6 \cdot Z_5}{Z_6 + Z_5} \right) \cdot Z_4}{\left( \frac{Z_6 \cdot Z_5}{Z_6 + Z_5} \right) + Z_4} + Z_3 \quad Z_{3456} = 10.215 + 23.598i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_{3456}}{Z_2 + Z_{3456}} + Z_1 \quad Z_E = 34.792 + 26.501i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 1.235 - 1.924i \quad F(I_1) = (2.286 \quad -57.296)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{3456}}{Z_{3456} + Z_2} \quad I_2 = 3.34 - 0.146i \quad F(I_2) = (3.343 \quad -2.508)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -2.104 - 1.778i \quad F(I_3) = (2.755 \quad -139.811)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{\left( \frac{Z_5 \cdot Z_6}{Z_5 + Z_6} \right)}{Z_4 + \left( \frac{Z_5 \cdot Z_6}{Z_5 + Z_6} \right)} \quad I_4 = 0.233 - 1.043i \quad F(I_4) = (1.069 \quad -77.425)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{\left( \frac{Z_4 \cdot Z_6}{Z_4 + Z_6} \right)}{Z_5 + \left( \frac{Z_4 \cdot Z_6}{Z_4 + Z_6} \right)} \quad I_5 = -0.338 + 0.533i \quad F(I_5) = (0.631 \quad 122.374)$$

$$I_6 := I_3 - I_4 - I_5 \quad I_6 = -1.999 - 1.267i \quad F(I_6) = (2.367 \quad -147.626)$$

*Перевірка за першим законом Кіргофа:*

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_3 - I_4 - I_5 - I_6 = 0$$

$$I_2 + I_4 + I_5 + I_6 - I_1 = 0$$

### Баланс потужностей електричного кола :

$$S_r := U \cdot I_1 \quad S_r = 181.89 + 138.545i$$

$$P := \left( |I_1| \right)^2 \cdot R_1 + \left( |I_2| \right)^2 \cdot R_2 + \left( |I_4| \right)^2 \cdot R_3 + \left( |I_6| \right)^2 \cdot R_4 \quad P = 181.89$$

$$Q := \left( |I_1| \right)^2 \cdot (X_{L1} \cdot i) + \left( |I_2| \right)^2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) + \left( |I_3| \right)^2 \cdot (X_{L2} \cdot i - X_{C1} \cdot i) + \left( |I_4| \right)^2 \cdot (-X_{C3} \cdot i) + \left( |I_5| \right)^2 \cdot X_{L3} \cdot i$$

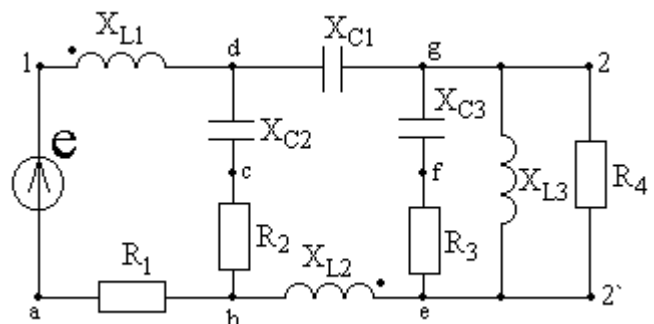
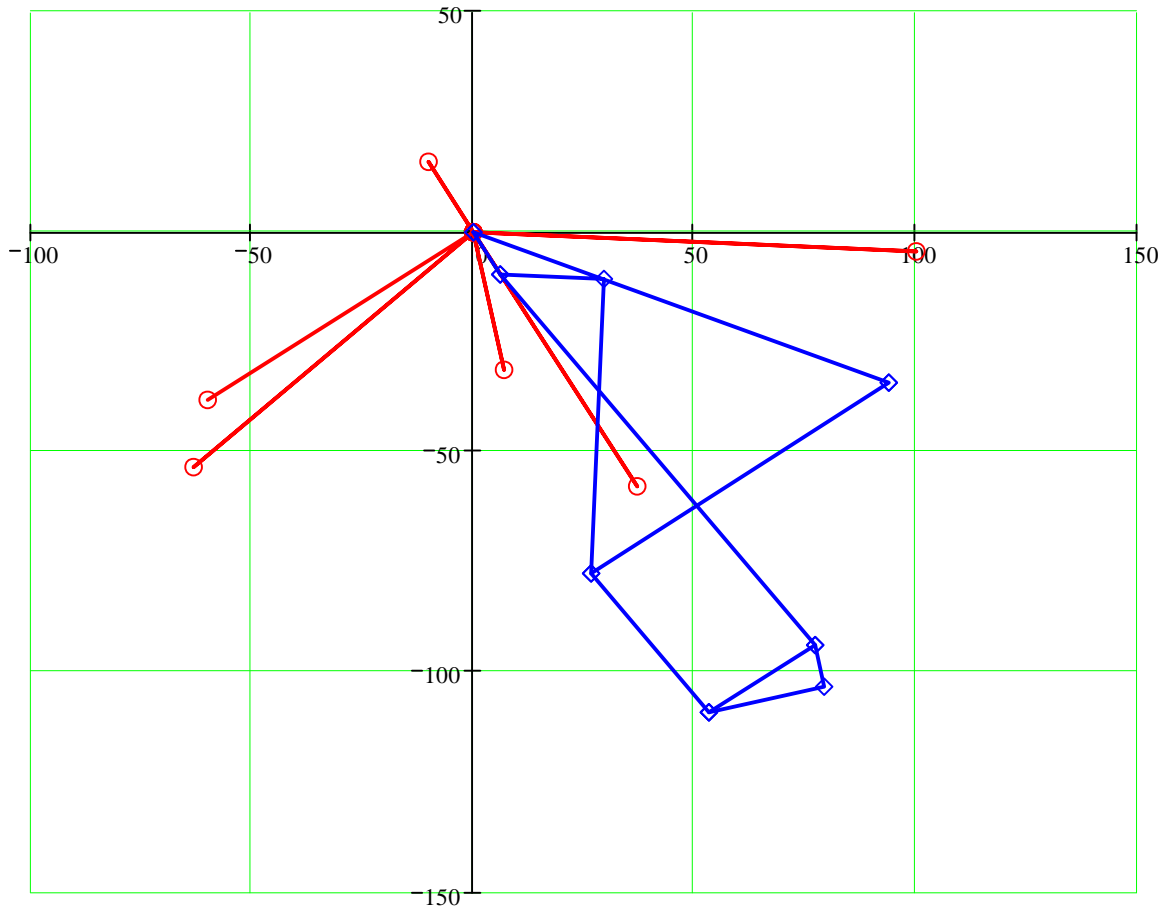
$$Q = 138.545i$$

## Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$\phi_a := 0$		
$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot R_1$	$\phi_b = 6.177 - 9.62i$	$F(\phi_b) = (11.432 \quad -57.296)$
$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2$	$\phi_c = 29.555 - 10.644i$	$F(\phi_c) = (31.413 \quad -19.806)$
$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i)$	$\phi_d = 26.629 - 77.439i$	$F(\phi_d) = (81.89 \quad -71.023)$
$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i$	$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$	$F(\phi_1) = (100 \quad -20)$
$\phi_{1'} := \phi_1 - U$	$\phi_{1'} = -7.105i \times 10^{-15}$	
$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i$	$\phi_e = 77.285 - 93.797i$	$F(\phi_e) = (121.535 \quad -50.513)$
$\phi_f := \phi_e + I_4 \cdot R_3$	$\phi_f = 79.38 - 103.187i$	$F(\phi_f) = (130.187 \quad -52.43)$
$\phi_g := \phi_f + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i)$	$\phi_g = 53.295 - 109.006i$	$F(\phi_g) = (121.337 \quad -63.945)$
$\phi_d := \phi_g + I_3 \cdot (-X_{C1} \cdot i)$	$\phi_d = 26.629 - 77.439i$	$F(\phi_d) = (81.89 \quad -71.023)$
$\phi_g := \phi_e + I_5 \cdot X_{L3} \cdot i$	$\phi_g = 53.295 - 109.006i$	$F(\phi_g) = (121.337 \quad -63.945)$
$\phi_g := \phi_e + I_6 \cdot R_4$	$\phi_g = 53.295 - 109.006i$	$F(\phi_g) = (121.337 \quad -63.945)$

## Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



**Прийнявши активний опір R2 за нульовий і вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомий, розрахувати його за умови резонансу струмів.**

$$Z_E := \frac{\frac{R_4 \cdot i \cdot X_{L3}}{R_4 + i \cdot X_{L3}} \cdot (R_3 - i \cdot X_{C3})}{R_3 - i \cdot X_{C3} + \frac{R_4 \cdot i \cdot X_{L3}}{R_4 + i \cdot X_{L3}}} + i \cdot (X_{L2} - X_{C1}) \quad Z_E = 10.215 + 23.598i$$

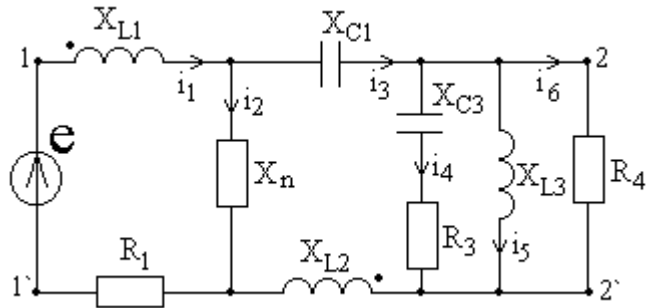
$$Z_E = R_E - j \cdot X_E \quad R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 10.215 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = 23.598$$

За умовою резонансу:  $B_{ab} = B_n + B_E \quad B_n = -B_E = \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2}$

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -0.036 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -28.02$$

**Розрахувати струми для резонансного стану кола**

$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i & Z_1 &= 5 + 35i \\ Z_3 &:= X_{L2} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_3 &= 25i \\ Z_4 &:= R_3 - X_{C3} \cdot i & Z_4 &= 9 - 25i \\ Z_5 &:= X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 45i \\ Z_6 &:= R_4 & Z_6 &= 12 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} Z_{56} &:= \frac{Z_5 \cdot Z_6}{Z_5 + Z_6} & Z_{56} &= 11.203 + 2.988i & Z_{3456} &:= \frac{Z_{56} \cdot Z_4}{Z_{56} + Z_4} + Z_3 & Z_{3456} &= 10.215 + 23.598i \\ Z_{46} &:= \frac{Z_4 \cdot Z_6}{Z_4 + Z_6} & Z_{46} &= 9.163 - 3.377i & Z_{45} &:= \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} & Z_{45} &= 37.89 - 39.2i \end{aligned}$$

Вхідний опір кола:

$$Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{3456} \cdot i \cdot X_N}{Z_{3456} + i \cdot X_N} + Z_1 \rightarrow \left( \frac{-2538485}{107573} + \frac{1098900}{107573} \cdot i \right) \cdot \frac{X_N}{\left( \frac{1098900}{107573} + \frac{2538485}{107573} \cdot i + i \cdot X_N \right)} + 5 + 35 \cdot i$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \rightarrow 5 \cdot \frac{(5 \cdot 10^6 \cdot X_N + 3 \cdot 10^5 \cdot X_N^2 + 7 \cdot 10^7 + 5 \cdot 10^7 \cdot i \cdot X_N + 1 \cdot 10^6 \cdot i \cdot X_N^2 + 5 \cdot 10^8 \cdot i)}{(7 \cdot 10^7 + 5 \cdot 10^6 \cdot X_N + 1 \cdot 10^5 \cdot X_N^2)} \right|$$

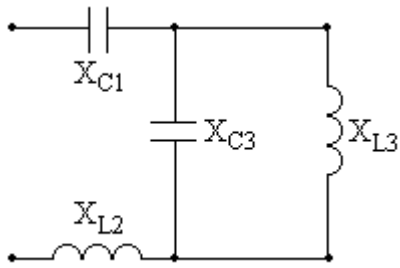
Уявна частина вхідного опору, яка за умовою резонансу дорівнює нулю:

$$X_{VX}(X_N) := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \rightarrow 5 \cdot \frac{(49764455 \cdot X_N + 1260708 \cdot X_N^2 + 497898275)}{(71128325 + 5076970 \cdot X_N + 107573 \cdot X_N^2)} \end{array} \right|$$

$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -19.7 + 2.32 \cdot i \\ -19.7 - 2.32 \cdot i \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола не можливий

**Розрахувати (знайти нулі і полюси) і побудувати частотну характеристику вхідного опору частини кола, розміщеної справа від перерізу А-А. Активні опори закортити**



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{3 \cdot \pi}$$

$$L_2 = 0.106$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{3}{8 \cdot \pi}$$

$$L_3 = 0.119$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \rightarrow \frac{1}{1800 \cdot \pi}$$

$$C_1 = 1.768 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{3000 \cdot \pi}$$

$$C_3 = 1.061 \times 10^{-4}$$

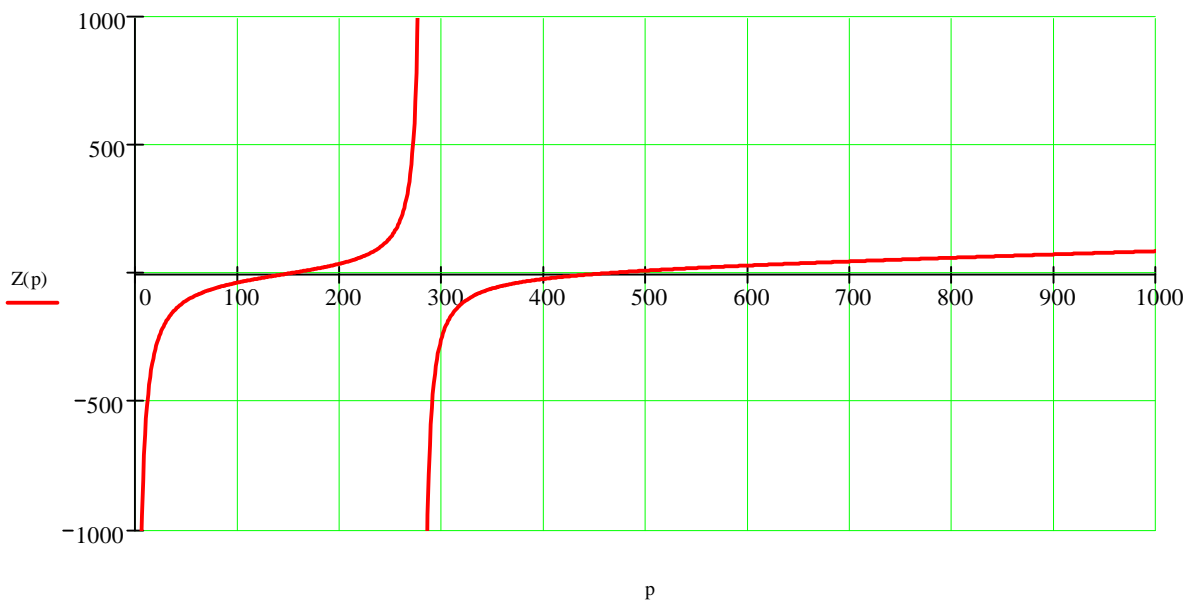
$$Z(p) := \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 - \frac{1}{p \cdot C_1}$$

Знаходимо нулі:  $Z(p) = 0$

$$w_1 := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 3 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 448. \\ -448. \\ 144. \\ -144. \end{pmatrix}$$

Знаходимо полюси:  $\frac{1}{Z(p)} = 0$

$$w := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, } p \\ \text{float, } 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 280.9925893 \\ -280.9925893 \\ 0 \end{pmatrix}$$



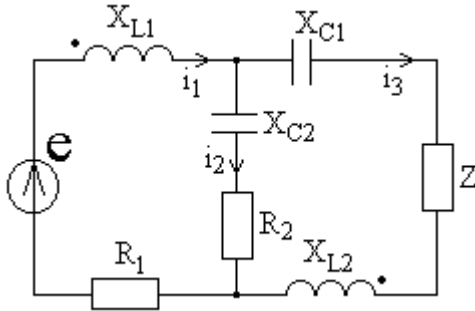
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 T/ L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

2.1. Перетворивши схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках схеми методом контурних струмів, визначити покази вольметра;

2.2. Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;

2.3. Побудувати сумісну векторну діаграму струмів і топографічну діаграму напруг (на діаграмі показати напруги взаємної індукції).

Спростимо схему до двох незалежних контурів



$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + X_{L1} \cdot i & Z_1 &= 5 + 35i \\ Z_2 &:= R_2 - X_{C2} \cdot i & Z_2 &= 7 - 20i \\ Z_3 &:= X_{L2} \cdot i - X_{C1} \cdot i & Z_3 &= 25i \\ Z_4 &:= R_3 - X_{C3} \cdot i & Z_4 &= 9 - 25i \\ Z_5 &:= X_{L3} \cdot i & Z_5 &= 45i \\ Z_6 &:= R_4 & Z_6 &= 12 \end{aligned}$$

$$Z := \frac{\frac{Z_5 \cdot Z_6}{Z_5 + Z_6} \cdot Z_4}{\frac{Z_5 \cdot Z_6}{Z_5 + Z_6} + Z_4} \quad Z = 10.215 - 1.402i$$

$$\begin{aligned} Z_{11} &:= R_1 + j \cdot X_{L1} + R_2 - j \cdot X_{C2} & Z_{11} &= 12 + 15i \\ Z_{22} &:= Z + R_2 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1} - X_{C2}) & Z_{22} &= 17.215 + 3.598i \\ Z_{12} &:= R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M) & Z_{12} &= 7 - 43i \end{aligned}$$

Given

$$I_{K1} \cdot Z_{11} - I_{K2} \cdot Z_{12} = U \quad -I_{K1} \cdot Z_{12} + I_{K2} \cdot Z_{22} = 0$$

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \quad \left| \begin{array}{l} \text{expand} \\ \text{float}, 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} .6853865970 - .4455047695 \cdot i \\ -1.178248087 - 1.646844529 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 0.685 - 0.446i \quad I_{K2} = -1.178 - 1.647i$$

$$\begin{aligned} I_1 &:= I_{K1} & I_1 &= 0.685 - 0.446i & F(I_1) &= (0.817 \quad -33.024) \\ I_2 &:= I_{K1} - I_{K2} & I_2 &= 1.864 + 1.201i & F(I_2) &= (2.217 \quad 32.807) \\ I_3 &:= I_{K2} & I_3 &= -1.178 - 1.647i & F(I_3) &= (2.025 \quad -125.582) \\ I_4 &:= \frac{I_3 \cdot Z}{Z_4} & I_4 &= 0.354 - 0.701i & F(I_4) &= (0.786 \quad -63.197) \\ I_5 &:= \frac{I_3 \cdot Z}{Z_5} & I_5 &= -0.337 + 0.319i & F(I_5) &= (0.464 \quad 136.602) \\ I_6 &:= \frac{I_3 \cdot Z}{Z_6} & I_6 &= -1.195 - 1.264i & F(I_6) &= (1.74 \quad -133.398) \end{aligned}$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$\begin{aligned} I_1 - I_2 - I_3 &= 0 & I_3 - I_4 - I_5 - I_6 &= 0 & I_2 + I_4 + I_5 + I_6 - I_1 &= 0 \\ S_{M1} &:= \overline{I_1} \cdot I_3 \cdot X_M & S_{M1} &= -1.699 - 38.034i & F(S_{M1}) &= (38.072 \quad -92.558) \\ S_{M2} &:= \overline{I_1} \cdot I_3 \cdot X_M & S_{M2} &= -1.699 + 38.034i & F(S_{M2}) &= (38.072 \quad 92.558) \end{aligned}$$

**Баланс потужностей електричного кола :**

$$S := U \cdot \overline{I_1}$$

$$S = 79.642 + 18.422i$$

$$P := \left( |I_1| \right)^2 \cdot R_1 + \left( |I_2| \right)^2 \cdot R_2 + \left( |I_4| \right)^2 \cdot R_3 + \left( |I_6| \right)^2 \cdot R_4$$

$$P = 79.642$$

$$Q := \left( |I_1| \right)^2 \cdot X_{L1} + \left( |I_2| \right)^2 \cdot (-X_{C2}) + \left( |I_3| \right)^2 \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + \left( |I_4| \right)^2 \cdot (-X_{C3}) + \left( |I_5| \right)^2 \cdot X_{L3} + S_{M1} + S_{M2}$$

$$Q = 18.422$$

**Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:**

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot R_1$$

$$F(\phi_b) = (4.087 \quad -33.024)$$

$$\phi_b = 3.427 - 2.228i$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2$$

$$F(\phi_c) = (17.594 \quad 20.57)$$

$$\phi_c = 16.472 + 6.182i$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i)$$

$$F(\phi_d) = (51.057 \quad -37.513)$$

$$\phi_d = 40.499 - 31.091i$$

$$\phi_{1'} := \phi_d + I_3 \cdot X_M \cdot i$$

$$F(\phi_{1'}) = (51.057 \quad -37.513)$$

$$\phi_{1'} = 40.499 - 31.091i$$

$$\phi_1 := \phi_{1'} + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i$$

$$F(\phi_1) = (100 \quad -20)$$

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

$$\phi_A := \phi_1 - U$$

$$F(\phi_A) = (2.239 \times 10^{-8} \quad 135.948)$$

$$\phi_A = -1.609 \times 10^{-8} + 1.557i \times 10^{-8}$$

$$\phi_{e'} := \phi_b + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i$$

$$F(\phi_{e'}) = (85.081 \quad -35.459)$$

$$\phi_{e'} = 69.301 - 49.357i$$

$$\phi_e := \phi_{e'} + I_1 \cdot X_M \cdot i$$

$$F(\phi_e) = (86.35 \quad -22.895)$$

$$\phi_e = 79.547 - 33.594i$$

$$\phi_f := \phi_e + I_4 \cdot R_3$$

$$F(\phi_f) = (91.858 \quad -25.749)$$

$$\phi_f = 82.736 - 39.906i$$

$$\phi_g := \phi_f + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i)$$

$$F(\phi_g) = (81.42 \quad -36.793)$$

$$\phi_g = 65.202 - 48.765i$$

$$\phi_d := \phi_g + I_3 \cdot (-X_{C1} \cdot i)$$

$$F(\phi_d) = (51.057 \quad -37.513)$$

$$\phi_d = 40.499 - 31.091i$$

$$\phi_g := \phi_e + I_5 \cdot X_{L3} \cdot i$$

$$F(\phi_g) = (81.42 \quad -36.793)$$

$$\phi_g = 65.202 - 48.765i$$

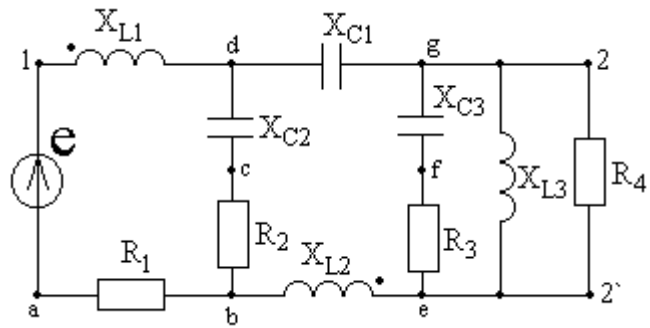
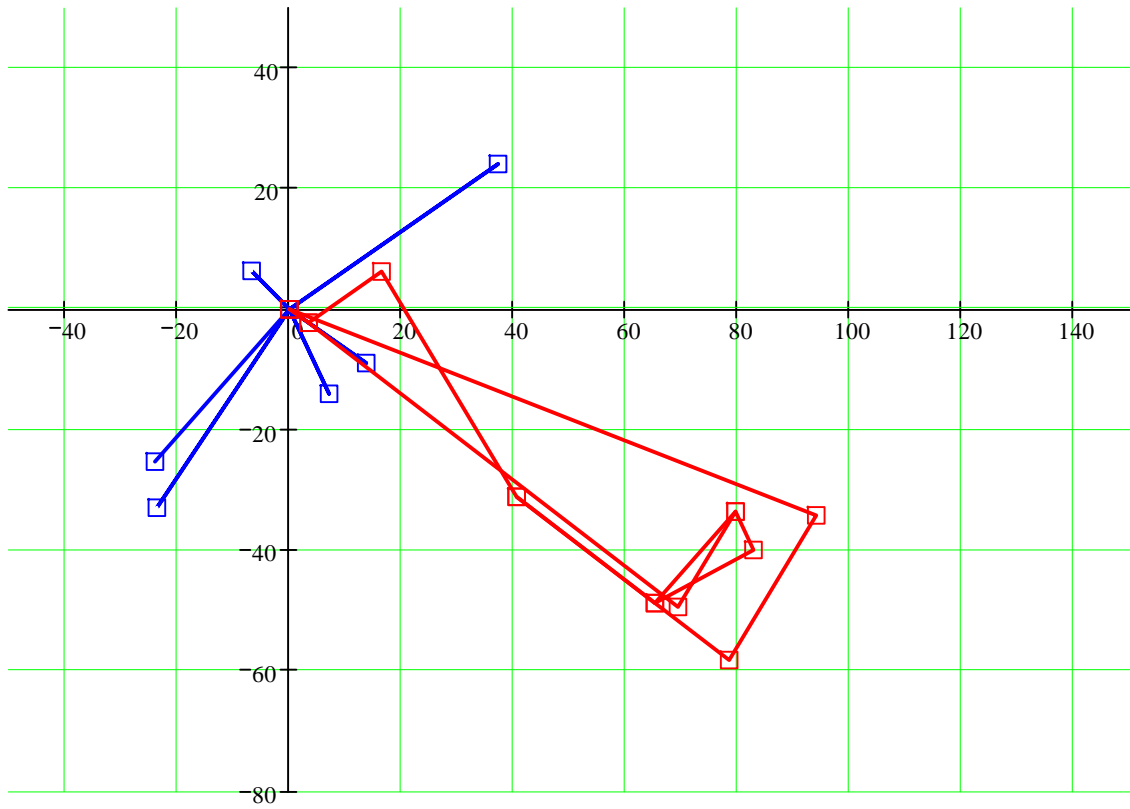
$$\phi_g := \phi_e + I_6 \cdot R_4$$

$$F(\phi_g) = (81.42 \quad -36.793)$$

$$\phi_g = 65.202 - 48.765i$$

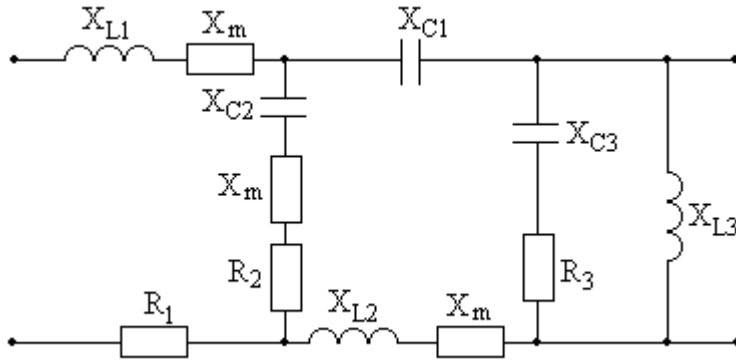


Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



ВІДКИНУВШИ ВІТКУ МІЖ ЗАТИСКАЧАМИ 2-2", ВИКОНАТИ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ ВЗАЄМОІНДУКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВІТОК. ОДЕРЖАНУ СХЕМУ РОЗГЛЯДАТИ ЯК ЧОТИРИПОЛЮСНИК З ЗАТИСКАЧАМИ 1-1" ТА 2-2" :

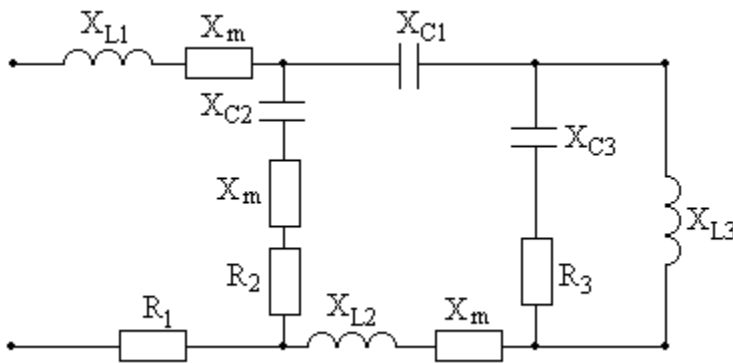
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполосника **A, B, C, D**



$$U_1 = A \cdot U_2 + B \cdot I_2$$

$$I_1 = C \cdot U_2 + D \cdot I_2$$

Неробочий хід:  $I_2 = 0$   $U_{10} := U$   $U_1 = A \cdot U_2$   $I_1 = C \cdot U_2$



$$Z_1 := R_1 + i \cdot X_{L1} + i \cdot X_M \rightarrow 5 + 58 \cdot i \quad Z_3 := \frac{i \cdot X_{L3} \cdot (R_3 - i \cdot X_{C3})}{R_3 - i \cdot X_{C3} + i \cdot X_{L3}} \quad Z_3 = 37.89 - 39.2i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 7 - 43 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{[Z_3 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C1})] \cdot Z_2}{Z_2 + Z_3 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C1})} + R_1 + i \cdot (X_{L1} + X_M) \quad Z_{10} = 30.907 + 42.815i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_2 + Z_1} + Z_3 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C1}) \quad Z_{20} = 127.898 - 87.793i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 0.516 - 1.822i \quad F(I_{10}) = (1.894 \quad -74.175)$$

$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{[Z_2 + Z_3 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C1})]} \quad F(I_{30}) = (1.462 \quad -117.627)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot Z_3 \quad U_{20} = -76.461 - 22.503i \quad F(U_{20}) = (79.704 \quad -163.601)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = -1.01 + 0.745i \quad F(A) = (1.255 \quad 143.601)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 2.384 \times 10^{-4} + 0.024i \quad F(C) = (0.024 \quad 89.425)$$

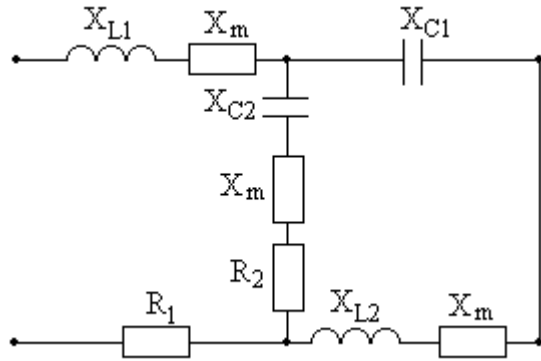
Коротке замикання:

$$U_2 = 0$$

$$U_K := U$$

$$U_1 = B \cdot I_2$$

$$I_1 = D \cdot I_2$$



$$Z_1 := R_1 + i \cdot X_{L1} + i \cdot X_M \rightarrow 5 + 58 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 7 - 43 \cdot i$$

$$Z_3 := i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 48 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 222.946 - 49.676i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K}$$

$$I_{1K} = 0.434 - 0.057i$$

$$F(I_{1K}) = (0.438 \quad -7.439)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3}$$

$$I_{3K} = -1.231 - 1.844i$$

$$F(I_{3K}) = (2.217 \quad -123.73)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}}$$

$$B = -10.705 + 43.812i$$

$$F(B) = (45.101 \quad 103.73)$$

$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}}$$

$$D = -0.087 + 0.177i$$

$$F(D) = (0.197 \quad 116.292)$$

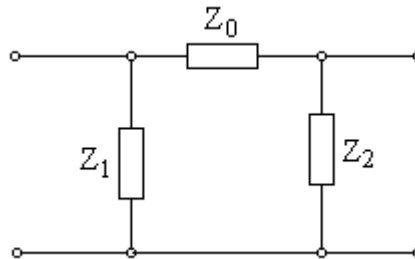
**Перевірка**

$$A \cdot D - B \cdot C = 1$$

$$F(A) = (1.255 \quad 143.601) \quad F(B) = (45.101 \quad 103.73)$$

$$F(C) = (0.024 \quad 89.425) \quad F(D) = (0.197 \quad 116.292)$$

**Розрахувати параметри віток схеми II заміщення:**



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = -10.705 + 43.812i$$

$$F(Z_0) = (45.101 \quad 103.73)$$

$$Y_1 := \frac{D - 1}{B}$$

$$Y_1 = 9.536 \times 10^{-3} + 0.022i$$

$$F(Y_1) = (0.024 \quad 67.023)$$

$$Y_2 := \frac{A - 1}{B}$$

$$Y_2 = 0.027 + 0.039i$$

$$F(Y_2) = (0.048 \quad 55.943)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0)$$

$$R_0 = -10.705$$

$$X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0)$$

$$X_{L0} = 43.812$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1}$$

$$Z_1 = 15.979 - 37.688i$$

$$R_1 := \operatorname{Re}(Z_1)$$

$$R_1 = 15.979$$

$$X_{C1} := -\operatorname{Im}(Z_1)$$

$$X_{C1} = 37.688$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2}$$

$$Z_2 = 11.784 - 17.433i$$

$$R_2 := \operatorname{Re}(Z_2)$$

$$R_2 = 11.784$$

$$X_{C2} := -\operatorname{Im}(Z_2)$$

$$X_{C2} = 17.433$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}}$$

$$C_1 = 7.038 \times 10^{-5}$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}}$$

$$C_2 = 1.522 \times 10^{-4}$$

$$L_0 := \frac{X_{L0}}{\omega}$$

$$L_0 = 0.116$$