

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

***Розрахунково-графічна робота***  
*“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”*  
*Варіант № 017*

Виконав: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Перевірив: \_\_\_\_\_

Київ 2006

### Умова завдання

В електричному колі діє джерело синусоїдної ЄРС:

#### Необхідно:

#### 1. ДЛІЯ 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 закортити.

#### 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 чотириполосника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

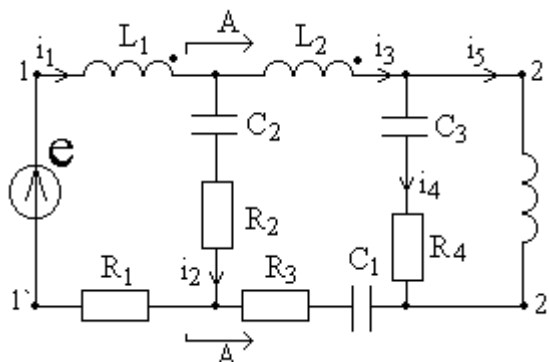
$$E := 280 \quad \psi := 90 \quad R_1 := 22 \quad R_2 := 21 \quad R_3 := 6 \quad R_4 := 19 \quad X_{L1} := 30 \quad X_{L2} := 35 \quad X_{L3} := 40$$

$$X_{C1} := 10 \quad X_{C2} := 15 \quad X_{C3} := 20 \quad X_M := 20 \quad f := 50$$

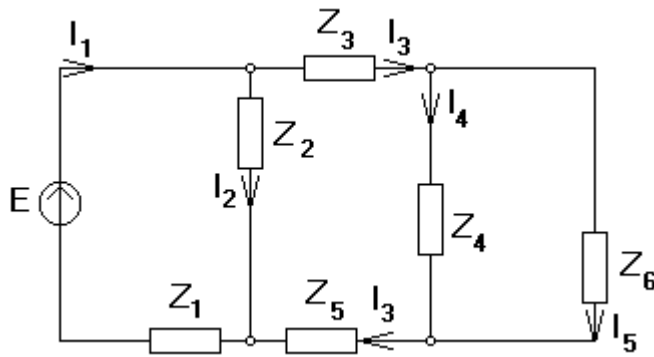
$$U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$U = 280i$$

$$F(U) = (280 \ 90)$$



Розрахувати всі струми символічним методом



$$Z_1 := R_1 + j \cdot X_{L1} \quad Z_1 = 22 + 30i$$

$$Z_2 := R_2 - j \cdot X_{C2} \quad Z_2 = 21 - 15i$$

$$Z_5 := R_3 - j \cdot X_{C1} \quad Z_5 = 6 - 10i$$

$$Z_3 := j \cdot X_{L2} \quad Z_3 = 35i$$

$$Z_4 := R_4 - j \cdot X_{C3} \quad Z_4 = 19 - 20i$$

$$Z_6 := j \cdot X_{L3} \quad Z_6 = 40i$$

$$Z_E := \frac{\left( \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5} + Z_1 \quad Z_E = 40.92 + 24.657i \quad F(Z_E) = (47.775 \quad 31.072)$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 3.025 + 5.02i \quad F(I_1) = (5.861 \quad 58.928)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{\left( \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)}{\left( Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)} \quad I_2 = 0.875 + 4.378i \quad F(I_2) = (4.465 \quad 78.697)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 2.15 + 0.642i \quad F(I_3) = (2.243 \quad 16.618)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_6}{Z_6 + Z_4} \quad I_4 = 1.619 + 2.821i \quad F(I_4) = (3.253 \quad 60.149)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 0.531 - 2.18i \quad F(I_5) = (2.243 \quad -76.319)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:  $I_1 - I_2 - I_3 = 0$      $I_3 - I_4 - I_5 = 0$      $I_2 + I_4 + I_5 - I_1 = 0$

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot (R_1 + j \cdot X_{L1}) + U - I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) = 2.842i \times 10^{-14}$$

$$-I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1})] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = -1.421 \times 10^{-14} - 4.974i \times 10^{-14}$$

$$I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) - I_5 \cdot j \cdot X_{L3} = -1.421i \times 10^{-14}$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S := U \cdot \overline{I_1} \quad S = 1.406 \times 10^3 + 846.951i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.406 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot X_{L1} + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 846.951$$

**Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:**

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot R_1 \quad F(\phi_b) = (128.937 \quad 58.928)$$

$$\phi_b = 66.546 + 110.438i$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 \quad F(\phi_c) = (219.477 \quad 67.236)$$

$$\phi_c = 84.923 + 202.381i$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) \quad F(\phi_d) = (241.861 \quad 51.49)$$

$$\phi_d = 150.597 + 189.255i$$

$$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i \quad F(\phi_1) = (280 \quad 90)$$

$$\phi_1 = 280i$$

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

$$\phi_A = 1.128 \times 10^{-14}$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot R_3 \quad F(\phi_e) = (139.187 \quad 55.196)$$

$$\phi_e = 79.445 + 114.287i$$

$$\phi_k := \phi_e + I_3 \cdot (-X_{C1} \cdot i) \quad F(\phi_k) = (126.42 \quad 47.221)$$

$$\phi_k = 85.861 + 92.79i$$

$$\phi_m := \phi_k + I_4 \cdot R_4 \quad F(\phi_m) = (187.172 \quad 51.458)$$

$$\phi_m = 116.625 + 146.397i$$

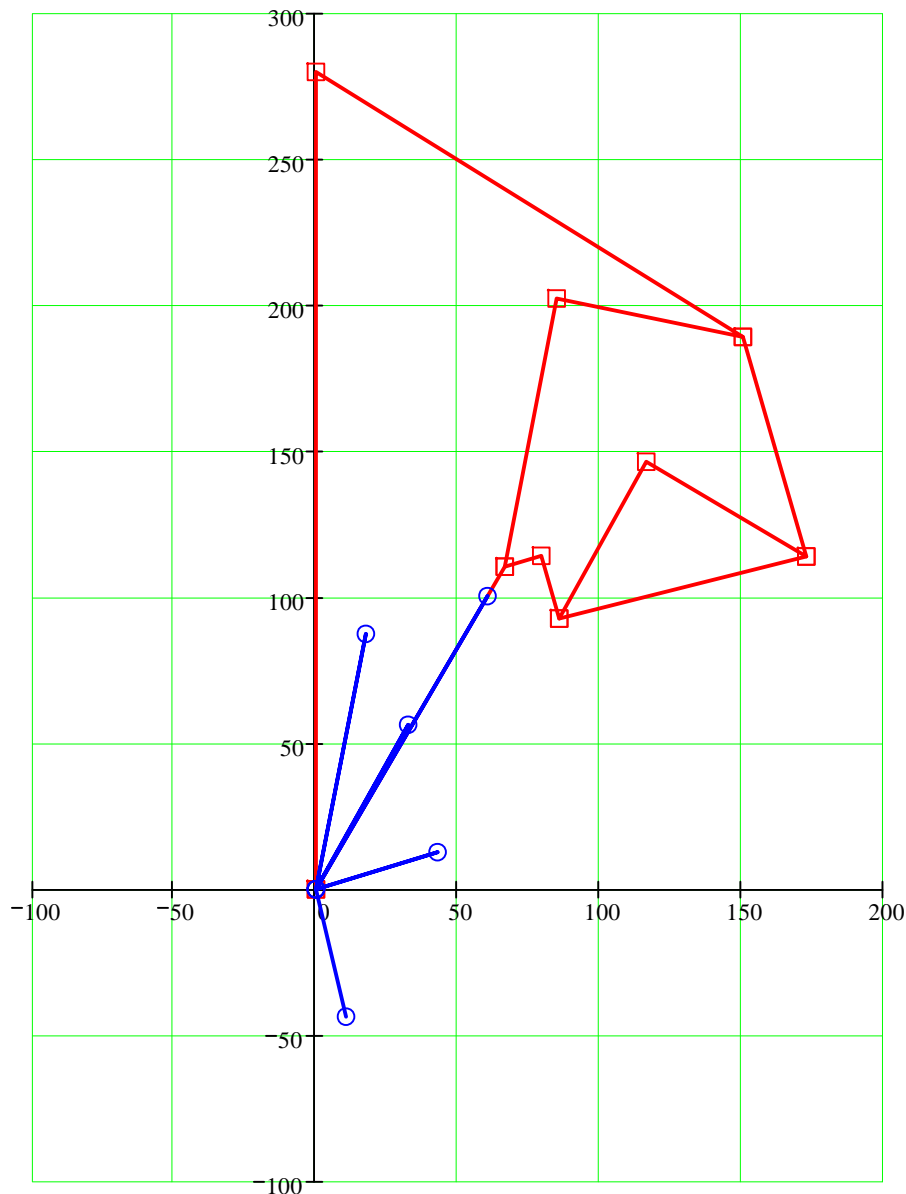
$$\phi_z := \phi_m + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i) \quad F(\phi_z) = (207.236 \quad 33.378)$$

$$\phi_z = 173.053 + 114.014i$$

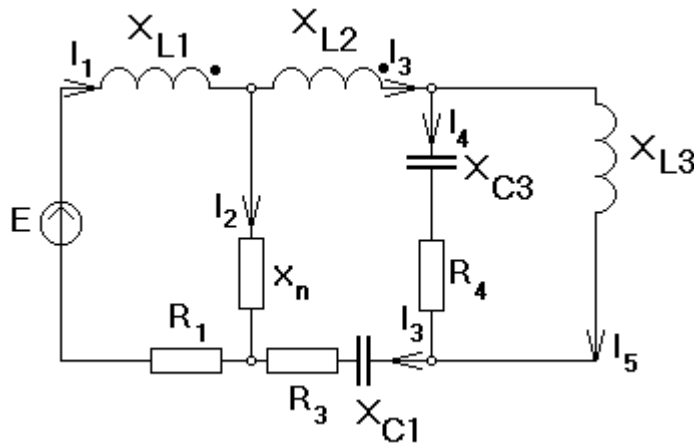
$$\phi_d := \phi_z + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i \quad F(\phi_d) = (241.861 \quad 51.49)$$

$$\phi_d = 150.597 + 189.255i$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



Прийняти опір  $R_2 = 0$  і, вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомим, визначити його за умовою резонансу струмів.



$$Z_{45} := \frac{(R_4 - i \cdot X_{C3}) \cdot i \cdot X_{L3}}{R_4 - i \cdot X_{C3} + i \cdot X_{L3}}$$

$$Z_{45} = 39.947 - 2.05i$$

$$Z_E := R_3 + i \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + Z_{45}$$

$$Z_E = 45.947 + 22.95i$$

$$Z_E = R_E - j \cdot X_E$$

$$R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 45.947$$

$$X_E := \operatorname{Im}(Z_E)$$

$$X_E = 22.95$$

За умовою резонансу:

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

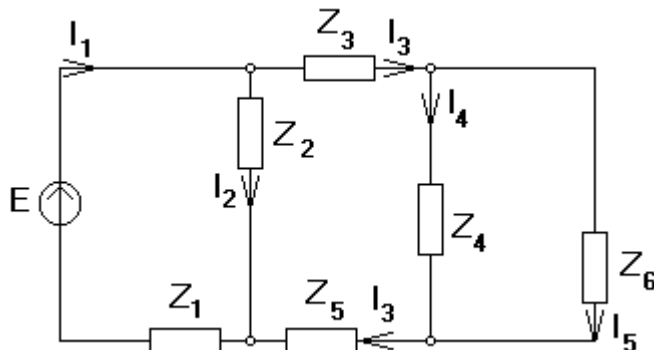
$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2}$$

$$B_n = -8.7 \times 10^{-3}$$

$$\text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n}$$

$$X_n = -114.94$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола



$$Z := \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5$$

$$Z = 45.947 + 22.95i$$

Вхідний опір кола:

$$Z_{VX}(X_N) := \frac{Z \cdot i \cdot X_N}{Z + i \cdot X_N} + R_1 + i \cdot (X_{L1}) \rightarrow \left( \frac{-17465}{761} + \frac{34966}{761} \cdot i \right) \cdot \frac{X_N}{\left( \frac{34966}{761} + \frac{17465}{761} \cdot i + i \cdot X_N \right)} + 22 + 30 \cdot i$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \rightarrow \\ \text{float, 1} \end{array} \right. \frac{(8 \cdot 10^5 \cdot X_N + 5 \cdot 10^4 \cdot X_N^2 + 4 \cdot 10^7 + 3 \cdot 10^6 \cdot i \cdot X_N + 4 \cdot 10^4 \cdot i \cdot X_N^2 + 6 \cdot 10^7 \cdot i)}{(2 \cdot 10^6 + 3 \cdot 10^4 \cdot X_N + 8 \cdot 10^2 \cdot X_N^2)^1}$$

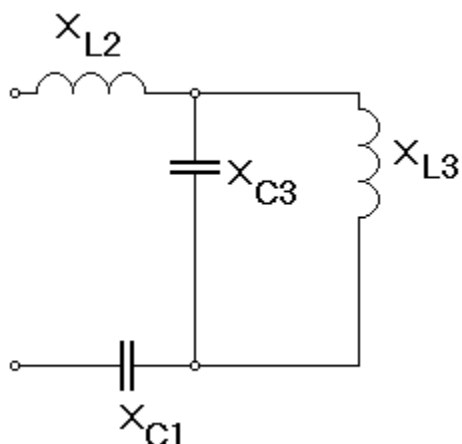
Уявна частина вхідного опору, яка за умовою резонансу дорівнює нулю:

$$X_{VX}(X_N) := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \rightarrow \end{array} \right. \frac{(3055321 \cdot X_N + 40295 \cdot X_N^2 + 60222630)}{(2007421 + 34930 \cdot X_N + 761 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \\ \text{float, 10} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -37.91191215 + 7.565078261 \cdot i \\ -37.91191215 - 7.565078261 \cdot i \end{pmatrix} \quad X_N = \begin{pmatrix} -37.912 + 7.565i \\ -37.912 - 7.565i \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола неможливий ні при яких значеннях реактивного опору у другій вітці

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{7}{20 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.111$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{2}{5 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.127$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \rightarrow \frac{1}{1000 \cdot \pi} \quad C_1 = 3.183 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{2000 \cdot \pi} \quad C_3 = 1.592 \times 10^{-4}$$

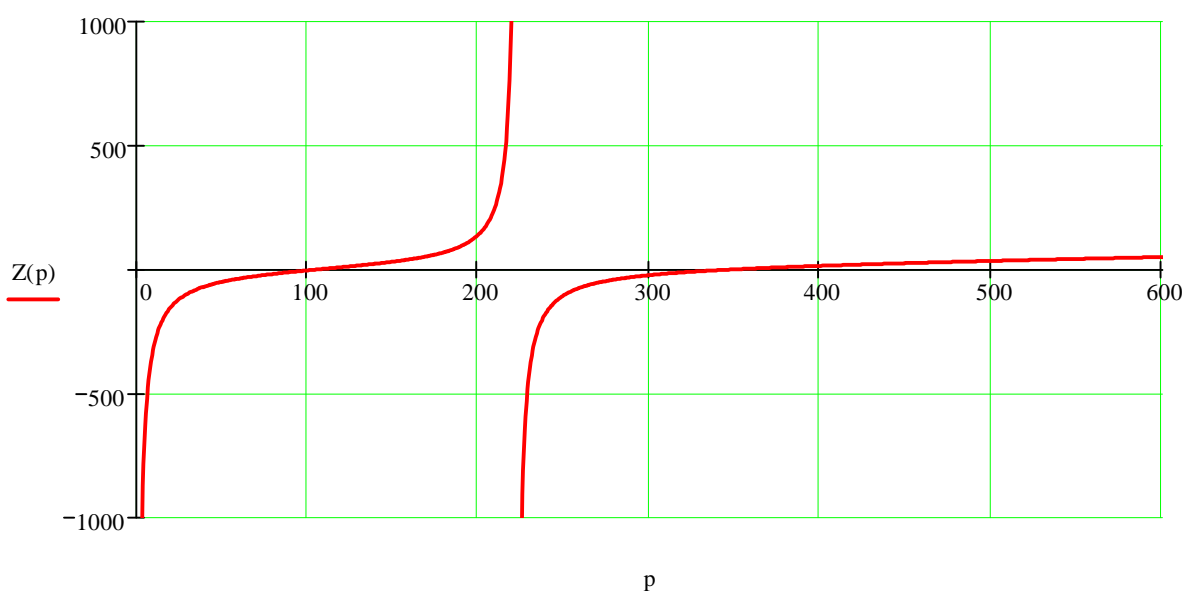
$$Z(p) := \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 + \frac{-1}{p \cdot C_1} \rightarrow \frac{-800}{\left(\frac{2}{5} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{2000}{p} \cdot \pi\right)} + \frac{7}{20} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{1000}{p} \cdot \pi$$

Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 16} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 350.1337571745304 \\ -350.1337571745304 \\ 106.5409932584084 \\ -106.5409932584084 \end{pmatrix} \omega = \begin{pmatrix} 350.134 \\ -350.134 \\ 106.541 \\ -106.541 \end{pmatrix} \quad \omega := \begin{pmatrix} \omega_0 \\ \omega_2 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 350.134 \\ 106.541 \end{pmatrix}$$

Знаходимо полюси:

$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \text{ solve, p} \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{1}{50 \cdot 2^2 \cdot \pi} \\ \frac{1}{-50 \cdot 2^2 \cdot \pi} \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 222.144 \\ -222.144 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{10} \\ \omega_{12} \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 222.144 \\ 0 \end{pmatrix}$$



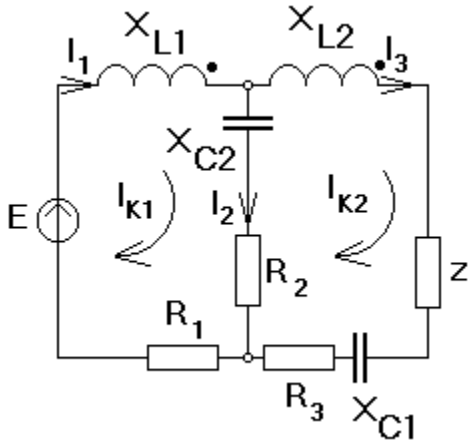
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 T/ L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

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



$$Z := \frac{(R_4 - j \cdot X_{C3}) \cdot j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})} \quad Z = 39.947 - 2.05i$$

$$Z_{11} := R_1 + j \cdot X_{L1} + R_2 - j \cdot X_{C2}$$

$$Z_{22} := Z + R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1} - X_{C2}) + R_2$$

$$Z_{12} := R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)$$

$$Z_{11} = 43 + 15i \quad Z_{22} = 66.947 + 7.95i \quad Z_{12} = 21 - 35i$$

Given

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \quad \left| \begin{array}{l} \text{expand} \\ \text{float}, 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 2.191686315 + 3.548297551 \cdot i \\ 2.503334865 - .3300566819 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 2.192 + 3.548i \quad I_{K2} = 2.503 - 0.33i$$

$$I_1 := I_{K1} \quad I_1 = 2.192 + 3.548i \quad F(I_1) = (4.171 \quad 58.298)$$

$$I_2 := I_{K1} - I_{K2} \quad I_2 = -0.312 + 3.878i \quad F(I_2) = (3.891 \quad 94.594)$$

$$I_3 := I_{K2} \quad I_3 = 2.503 - 0.33i \quad F(I_3) = (2.525 \quad -7.511)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})} \quad I_4 = 2.961 + 2.153i \quad F(I_4) = (3.661 \quad 36.02)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.458 - 2.483i \quad F(I_5) = (2.525 \quad -100.449)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:  $I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad I_3 - I_4 - I_5 = 0 \quad I_2 + I_4 + I_5 - I_1 = 0$

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot [R_1 + j \cdot (X_{L1} + X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] = 1.85 \times 10^{-8} - 1.29i \times 10^{-8}$$

$$-I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M)] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = 2.858 \times 10^{-8} - 2.648i \times 10^{-8}$$

$$I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) - I_5 \cdot j \cdot X_{L3} = -7.105i \times 10^{-15}$$

$$S_{M1} := \bar{I}_1 \cdot I_3 \cdot X_M \quad S_{M1} = 86.308 - 192.119i \quad F(S_{M1}) = (210.615 \quad -65.808)$$

$$S_{M2} := I_1 \cdot \bar{I}_3 \cdot X_M \quad S_{M2} = 86.308 + 192.119i \quad F(S_{M2}) = (210.615 \quad 65.808)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S = 993.523 + 613.672i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4$$

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

$$S = 993.523 + 613.672i$$

$$P = 993.523$$

$$Q = 613.672$$

**Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:**

$$\phi_a := 0$$

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

$$F(\phi_b) = (91.753 \quad 58.298)$$

$$\phi_b = 48.217 + 78.063i$$

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

$$F(\phi_c) = (164.862 \quad 75.358)$$

$$\phi_c = 41.672 + 159.508i$$

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

$$F(\phi_d) = (192.16 \quad 58.694)$$

$$\phi_d = 99.848 + 164.183i$$

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

$$F(\phi_{1''}) = (239.237 \quad 63.58)$$

$$\phi_{1''} = 106.449 + 214.249i$$

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

$$F(\phi_1) = (280 \quad 90)$$

$$\phi_1 = 280i$$

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

$$F(\phi_A) = (2.255 \times 10^{-8} \quad 145.112)$$

$$\phi_A = -1.85 \times 10^{-8} + 1.29i \times 10^{-8}$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot R_3$$

$$F(\phi_e) = (98.931 \quad 50.268)$$

$$\phi_e = 63.237 + 76.082i$$

$$\phi_m := \phi_e + I_3 \cdot i \cdot (-X_{C1})$$

$$F(\phi_m) = (78.73 \quad 40.422)$$

$$\phi_m = 59.937 + 51.049i$$

$$\phi_z := \phi_m + I_3 \cdot \text{Re}(Z)$$

$$F(\phi_z) = (164.359 \quad 13.319)$$

$$\phi_z = 159.938 + 37.864i$$

$$\phi_k := \phi_z + I_3 \cdot i \cdot \text{Im}(Z)$$

$$F(\phi_k) = (162.591 \quad 11.614)$$

$$\phi_k = 159.262 + 32.732i$$

$$\phi_{d'} := \phi_k + I_1 \cdot i \cdot X_M$$

$$F(\phi_{d'}) = (116.87 \quad 40.93)$$

$$\phi_{d'} = 88.296 + 76.566i$$

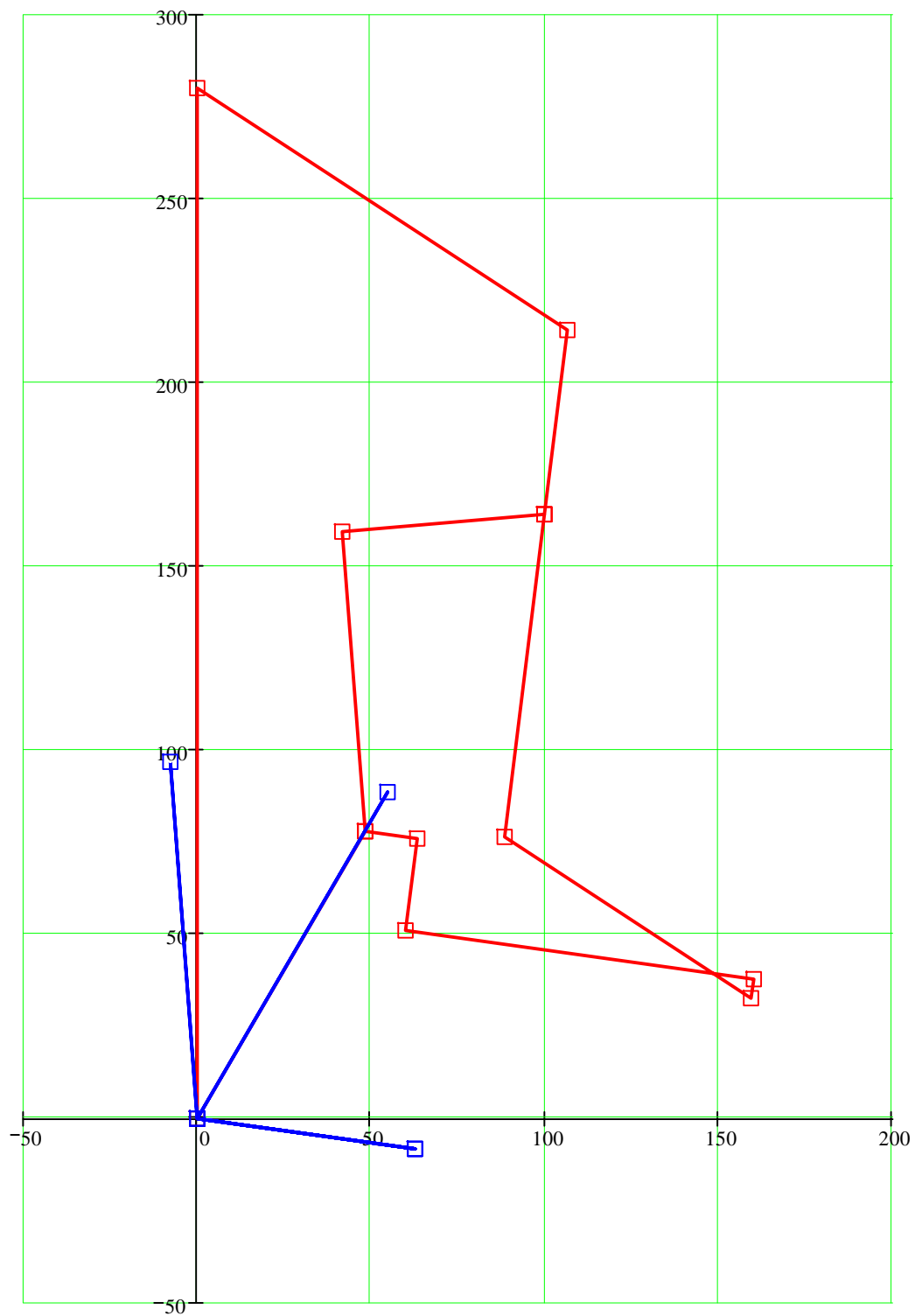
$$\phi_d := \phi_{d'} + I_3 \cdot i \cdot X_{L2}$$

$$F(\phi_d) = (192.16 \quad 58.694)$$

$$\phi_d = 99.848 + 164.183i$$

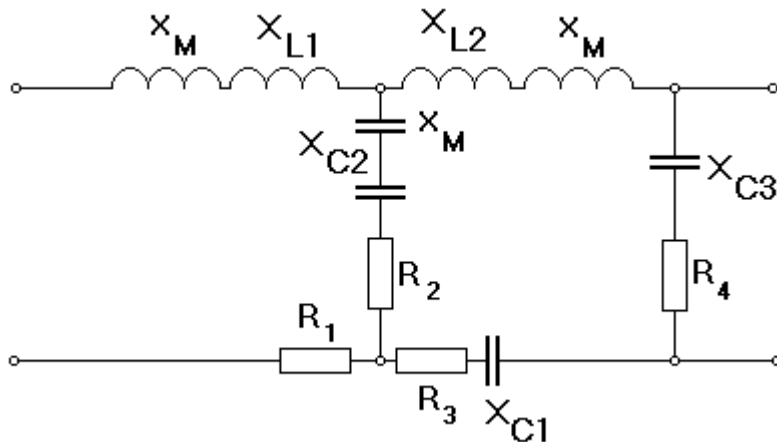


Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



Відкинувши крайню вітку між полюсами 2,2", зробити розв'язку магнітного зв'язку. Одержану схему розглядати як чотириполюсник з полюсами 1,1" та 2,2":

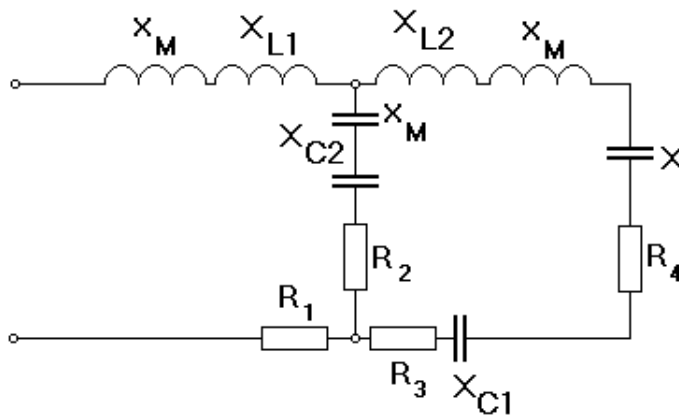
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_M + X_{L1}) \rightarrow 22 + 50 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 21 - 35 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C3} - X_{C1}) \rightarrow 25 + 25 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 52.641 + 49.052i \quad Z_{20} := \frac{Z_2 \cdot Z_1}{Z_2 + Z_1} + Z_3 \quad Z_{20} = 72.886 + 14.807i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 2.653 + 2.847i \quad F(I_{10}) = (3.891 \quad 47.021)$$

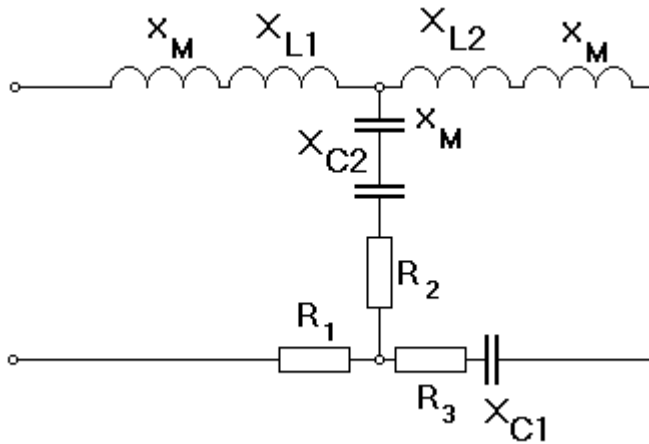
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = 3.374 + 0.015i \quad F(I_{30}) = (3.374 \quad 0.249)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) \quad U_{20} = 64.402 - 67.203i \quad F(U_{20}) = (93.08 \quad -46.219)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = -2.172 + 2.081i \quad F(A) = (3.008 \quad 136.219)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = -2.363 \times 10^{-3} + 0.042i \quad F(C) = (0.042 \quad 93.24)$$

Коротке замыкання:  $U_2 = 0$   $U_K := U$   $U_1 = B \cdot I_2$   $I_1 = D \cdot I_2$



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} + X_M) \rightarrow 22 + 50 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 21 - 35 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 6 + 45 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 86.267 + 53.42i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.453 + 2.346i \quad F(I_{1K}) = (2.76 \quad 58.233)$$

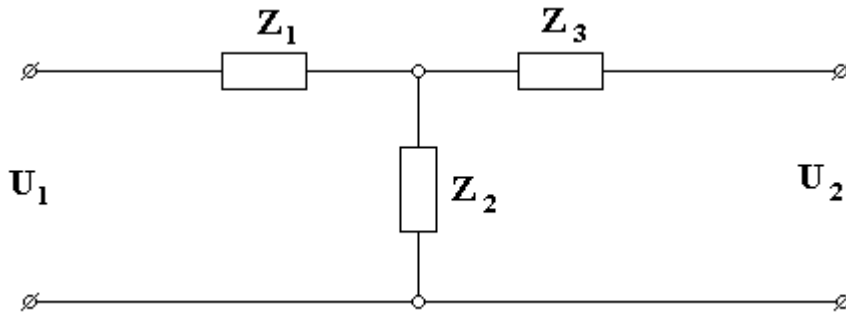
$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = 3.649 - 1.41i \quad F(I_{3K}) = (3.912 \quad -21.127)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -25.798 + 66.765i \quad F(B) = (71.576 \quad 111.127)$$

$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = 0.13 + 0.693i \quad F(D) = (0.705 \quad 79.359)$$

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

**Расчитать параметры R,L,C Т - схемы замещения.**



$$Z_1 := \frac{A - 1}{C} \quad Z_1 = 53.993 + 72.933i \quad F(Z_1) = (90.744 \quad 53.487)$$

$$Z_2 := \frac{1}{C} \quad Z_2 = 21 - 35i \quad F(Z_2) = (40.817 \quad -59.036)$$

$$Z_3 := \frac{D - 1}{C} \quad Z_3 = 17.732 + 19.833i \quad F(Z_3) = (26.604 \quad 48.201)$$

$$R_1 := \text{Re}(Z_1) \quad R_1 = 53.993 \quad X_1 := \text{Im}(Z_1) \quad X_1 = 72.933$$

$$R_2 := \text{Re}(Z_2) \quad R_2 = -1.352 \quad X_2 := \text{Im}(Z_2) \quad X_2 = -23.881$$

$$R_3 := \text{Re}(Z_3) \quad R_3 = 17.732 \quad X_3 := \text{Im}(Z_3) \quad X_3 = 19.833$$

$$L_1 := \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad C := -\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_2} \quad L_2 := \frac{X_3}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$L_1 = 0.232 \quad C = 1.333 \times 10^{-4} \quad L_2 = 0.063$$