

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

***Розрахунково-графічна робота***  
*“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”*  
*Варіант № 807*

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 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  $A, B, C, D$  чотириполусника;
- 3.2. Розрахувати параметри  $R, L, C$  віток схеми заміщення.

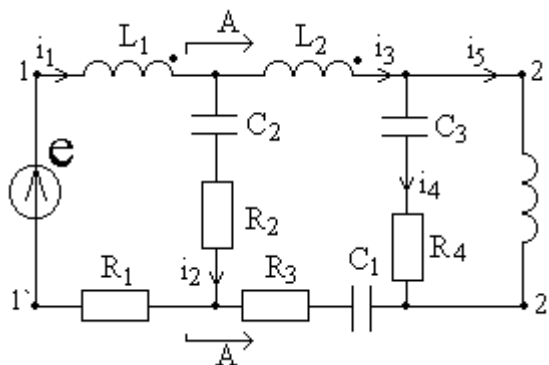
$$E := 240 \quad \psi := 70 \quad R_1 := 18 \quad R_2 := 16 \quad R_3 := 14 \quad R_4 := 12 \quad X_{L1} := 37 \quad X_{L2} := 27 \quad X_{L3} := 20$$

$$X_{C1} := 13 \quad X_{C2} := 10 \quad X_{C3} := 6 \quad X_M := 15 \quad f := 50$$

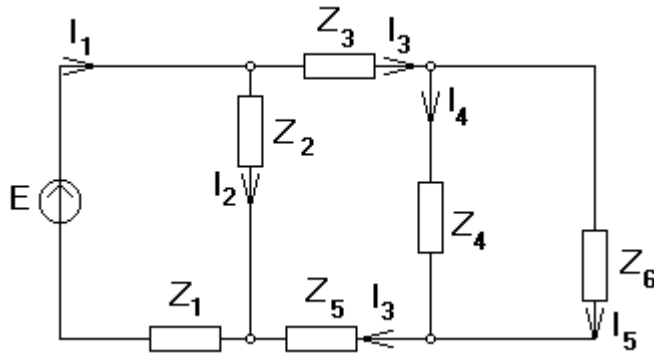
$$U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$U = 82.085 + 225.526i$$

$$F(U) = (240 \quad 70)$$



Розрахувати всі струми символічним методом



$$Z_1 := R_1 + j \cdot X_{L1} \quad Z_1 = 18 + 37i$$

$$Z_2 := R_2 - j \cdot X_{C2} \quad Z_2 = 16 - 10i$$

$$Z_5 := R_3 - j \cdot X_{C1} \quad Z_5 = 14 - 13i$$

$$Z_3 := j \cdot X_{L2} \quad Z_3 = 27i$$

$$Z_4 := R_4 - j \cdot X_{C3} \quad Z_4 = 12 - 6i$$

$$Z_6 := j \cdot X_{L3} \quad Z_6 = 20i$$

$$Z_E := \frac{\left( \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5} + Z_1 \quad Z_E = 31.767 + 34.634i \quad F(Z_E) = (46.997 \quad 47.473)$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 4.717 + 1.957i \quad F(I_1) = (5.107 \quad 22.527)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{\left( \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)}{\left( Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)} \quad I_2 = 2.683 + 2.663i \quad F(I_2) = (3.781 \quad 44.783)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 2.034 - 0.707i \quad F(I_3) = (2.153 \quad -19.163)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_6}{Z_6 + Z_4} \quad I_4 = 2.174 + 0.853i \quad F(I_4) = (2.335 \quad 21.438)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.14 - 1.56i \quad F(I_5) = (1.566 \quad -95.127)$$

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:

$$-I_1 \cdot (R_1 + j \cdot X_{L1}) + U - I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) = 1.421 \times 10^{-14} + 8.882i \times 10^{-15}$$

$$-I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1})] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = 1.066 \times 10^{-14} + 6.661i \times 10^{-15}$$

$$I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) - I_5 \cdot j \cdot X_{L3} = 3.553 \times 10^{-15} + 3.109i \times 10^{-15}$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S := U \cdot \overline{I_1} \quad S = 828.447 + 903.228i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 828.447$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot X_{L1} + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 903.228$$

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

$$\phi_a := 0$$

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

$$F(\phi_b) = (91.921 \quad 22.527)$$

$$\phi_b = 84.908 + 35.217i$$

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

$$F(\phi_c) = (149.671 \quad 31.332)$$

$$\phi_c = 127.844 + 77.829i$$

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

$$F(\phi_d) = (162.675 \quad 18.269)$$

$$\phi_d = 154.476 + 50.994i$$

$$\phi_l := \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i$$

$$F(\phi_l) = (240 \quad 70)$$

$$\phi_l = 82.085 + 225.526i$$

$$\phi_A := \phi_l - U$$

$$\phi_A = -2.842 \times 10^{-14}$$

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

$$F(\phi_e) = (116.172 \quad 12.591)$$

$$\phi_e = 113.378 + 25.323i$$

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

$$F(\phi_k) = (104.197 \quad -0.612)$$

$$\phi_k = 104.191 - 1.113i$$

$$\phi_m := \phi_k + I_4 \cdot R_4$$

$$F(\phi_m) = (130.593 \quad 4.008)$$

$$\phi_m = 130.274 + 9.128i$$

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

$$F(\phi_z) = (135.451 \quad -1.656)$$

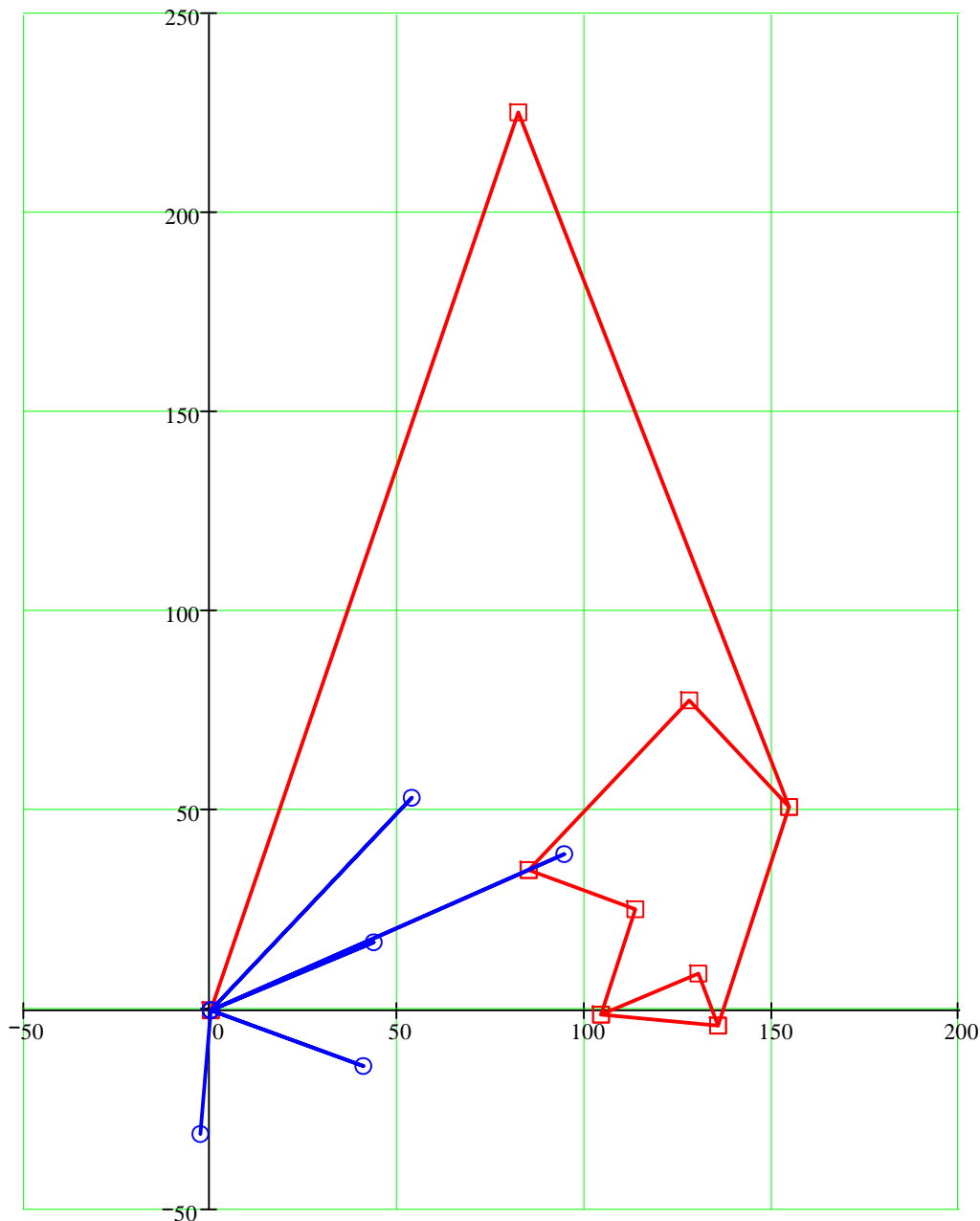
$$\phi_z = 135.395 - 3.913i$$

$$\phi_d := \phi_z + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i$$

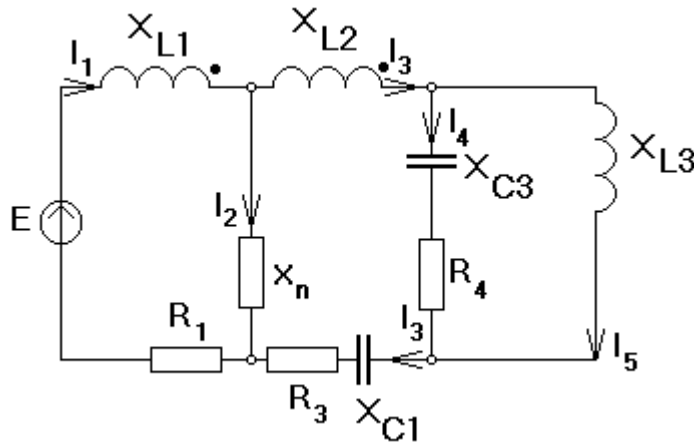
$$F(\phi_d) = (162.675 \quad 18.269)$$

$$\phi_d = 154.476 + 50.994i$$

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.



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

$$Z_{45} = 14.118 + 3.529i$$

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

$$Z_E = 28.118 + 17.529i$$

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

$$R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 28.118$$

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

$$X_E = 17.529$$

За умовою резонансу:

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

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

$$B_n = -0.016$$

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

$$X_n = -62.631$$

**Розрахувати струми для резонансного стану кола**

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

$$Z_1 = 18 + 37i$$

$$Z_3 := R_3 + X_{L2} \cdot i - X_{C1} \cdot i$$

$$Z_3 = 14 + 14i$$

$$Z_4 := R_4 - X_{C3} \cdot i$$

$$Z_4 = 12 - 6i$$

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

$$Z_5 = 20i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 28.118 + 17.529i$$

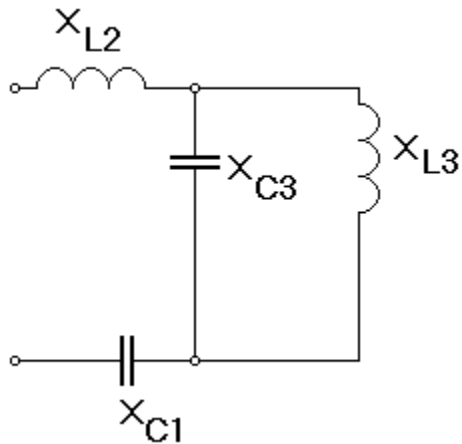
$$\text{Вхідний опір кола: } Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(10728 \cdot X_N + 784 \cdot X_N^2 + 335952 + 40716 \cdot i \cdot X_N + 927 \cdot i \cdot X_N^2 + 690568 \cdot i)}{(18664 + 596 \cdot X_N + 17 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \left( \begin{array}{l} -22.0 + 16.2 \cdot i \\ -22.0 - 16.2 \cdot i \end{array} \right)$$

Отже резонанс кола неможливий.

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{27}{100 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.086$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{5 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.064$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \rightarrow \frac{1}{1300 \cdot \pi} \quad C_1 = 2.449 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{600 \cdot \pi} \quad C_3 = 5.305 \times 10^{-4}$$

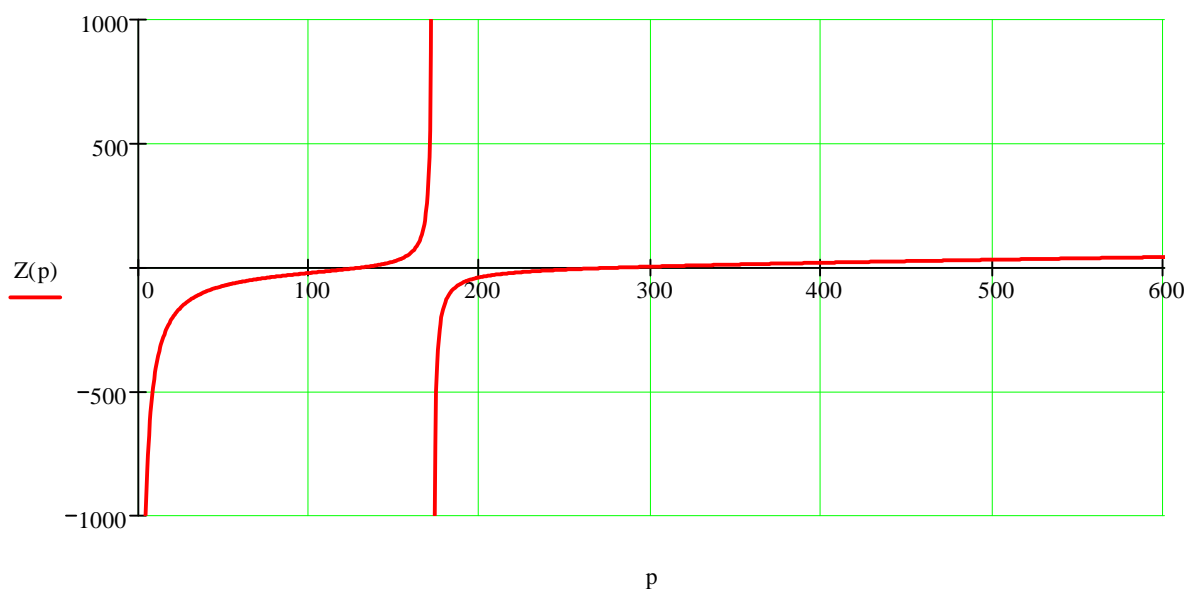
$$Z(p) := \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 + \frac{-1}{p \cdot C_1} \rightarrow \frac{-120}{\left(\frac{1}{5} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{600}{p} \cdot \pi\right)} + \frac{27}{100} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{1300}{p} \cdot \pi$$

Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 16} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 286.1416288645575 \\ -286.1416288645575 \\ 131.0898666769305 \\ -131.0898666769305 \end{pmatrix} \omega = \begin{pmatrix} 286.142 \\ -286.142 \\ 131.09 \\ -131.09 \end{pmatrix} \quad \omega := \begin{pmatrix} \omega_0 \\ \omega_2 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 286.142 \\ 131.09 \end{pmatrix}$$

Знаходимо полюси:

$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \text{ solve, p} \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{1}{10 \cdot 30^2 \cdot \pi} \\ \frac{1}{-10 \cdot 30^2 \cdot \pi} \\ 0 \end{pmatrix} \omega_1 = \begin{pmatrix} 172.072 \\ -172.072 \\ 0 \end{pmatrix} \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{10} \\ \omega_{12} \end{pmatrix} \omega_1 = \begin{pmatrix} 172.072 \\ 0 \end{pmatrix}$$



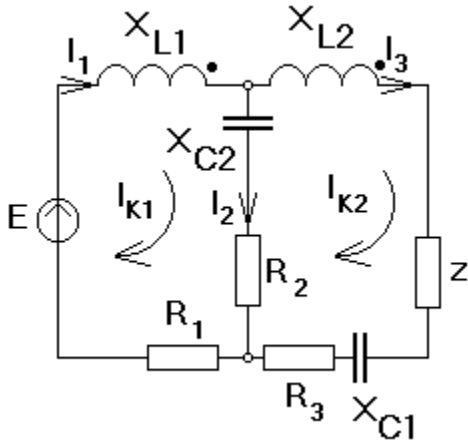
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 Т/ L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

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



$$Z := \frac{(R_4 - j \cdot X_{C3}) \cdot j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})} \quad Z = 14.118 + 3.529i$$

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

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

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

$$Z_{11} = 34 + 27i \quad Z_{22} = 44.118 + 7.529i \quad Z_{12} = 16 - 25i$$

Given

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \quad \left| \begin{array}{l} \text{expand} \\ \text{float}, 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 3.444521490 + 1.697352142 \cdot i \\ 1.926856542 - 1.665172650 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 3.445 + 1.697i$$

$$I_{K2} = 1.927 - 1.665i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 3.445 + 1.697i$$

$$F(I_1) = (3.84 \quad 26.233)$$

$$I_2 := I_{K1} - I_{K2}$$

$$I_2 = 1.518 + 3.363i$$

$$F(I_2) = (3.689 \quad 65.708)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = 1.927 - 1.665i$$

$$F(I_3) = (2.547 \quad -40.833)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})}$$

$$I_4 = 2.762 - 0.011i$$

$$F(I_4) = (2.762 \quad -0.232)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -0.835 - 1.654i$$

$$F(I_5) = (1.853 \quad -116.797)$$

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:

$$-I_1 \cdot [R_1 + j \cdot (X_{L1} + X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] = -5.839 \times 10^{-9} - 1.938i \times 10^{-8}$$

$$-I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M)] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = 4.118 \times 10^{-9} + 2.953i \times 1$$

$$I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) - I_5 \cdot j \cdot X_{L3} = 0$$

$$S_{M1} := \bar{I}_1 \cdot I_3 \cdot X_M$$

$$S_{M1} = 57.161 - 135.094i$$

$$F(S_{M1}) = (146.689 \quad -67.066)$$

$$S_{M2} := I_1 \cdot \bar{I}_3 \cdot X_M$$

$$S_{M2} = 57.161 + 135.094i$$

$$F(S_{M2}) = (146.689 \quad 67.066)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S = 665.54 + 637.503i$$

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

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

$$S = 665.54 + 637.503i$$

$$P = 665.54$$

$$Q = 637.503$$

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

$$\phi_a := 0$$

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

$$F(\phi_b) = (69.12 \quad 26.233)$$

$$\phi_b = 62.001 + 30.552i$$

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

$$F(\phi_c) = (120.666 \quad 44.352)$$

$$\phi_c = 86.284 + 84.353i$$

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

$$F(\phi_d) = (138.433 \quad 29.981)$$

$$\phi_d = 119.909 + 69.176i$$

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

$$F(\phi_{1''}) = (174.962 \quad 34.095)$$

$$\phi_{1''} = 144.887 + 98.079i$$

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

$$F(\phi_1) = (240 \quad 70)$$

$$\phi_1 = 82.085 + 225.526i$$

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

$$F(\phi_A) = (2.024 \times 10^{-8} \quad 73.233)$$

$$\phi_A = 5.839 \times 10^{-9} + 1.938i \times 10^{-8}$$

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

$$F(\phi_e) = (89.271 \quad 4.652)$$

$$\phi_e = 88.977 + 7.24i$$

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

$$F(\phi_m) = (69.646 \quad -14.816)$$

$$\phi_m = 67.33 - 17.809i$$

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

$$F(\phi_z) = (103.168 \quad -23.609)$$

$$\phi_z = 94.533 - 41.318i$$

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

$$F(\phi_k) = (106.177 \quad -18.971)$$

$$\phi_k = 100.41 - 34.517i$$

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

$$F(\phi_{d'}) = (76.887 \quad 12.889)$$

$$\phi_{d'} = 74.95 + 17.151i$$

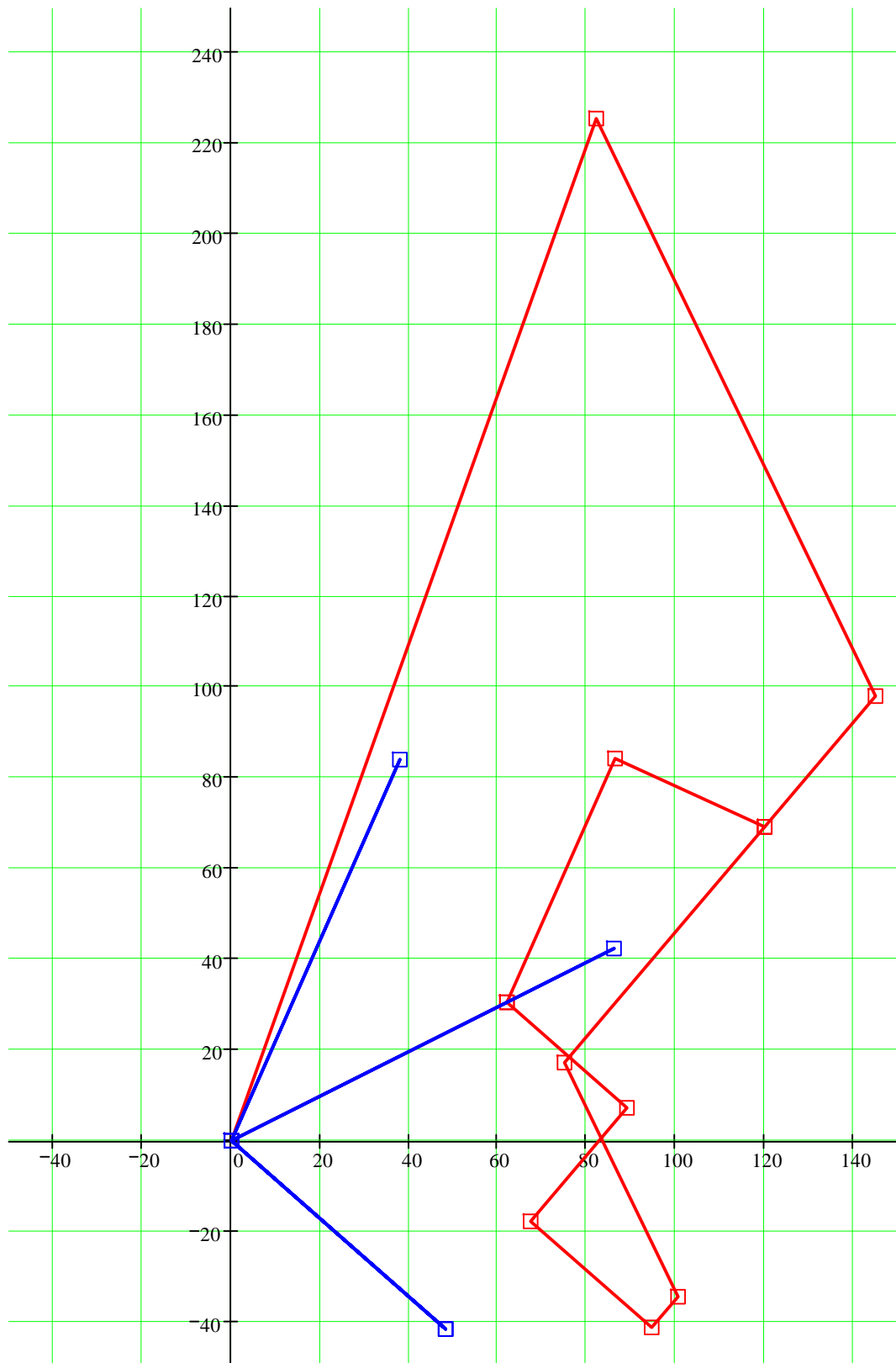
$$\phi_d := \phi_{d'} + I_3 \cdot i \cdot X_{L2}$$

$$F(\phi_d) = (138.433 \quad 29.981)$$

$$\phi_d = 119.909 + 69.176i$$

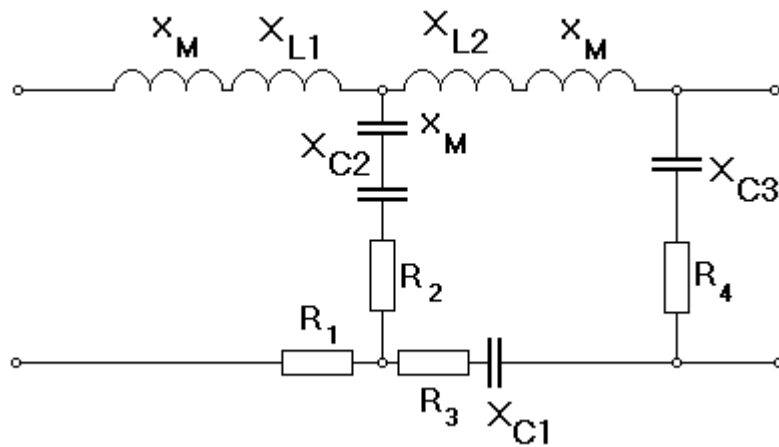


Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



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":

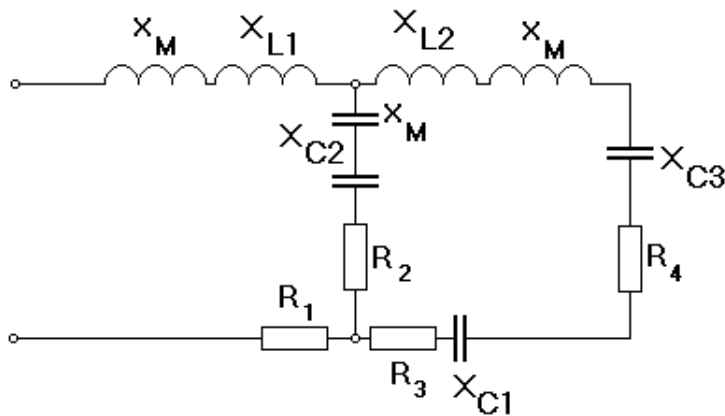
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника **A,B,C,D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_M + X_{L1}) \rightarrow 18 + 52 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 16 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C3} - X_{C1}) \rightarrow 26 + 23 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 41.861 + 46.422i \quad Z_{20} := \frac{Z_2 \cdot Z_1}{Z_2 + Z_1} + Z_3 \quad Z_{20} = 60.115 + 7.144i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 3.559 + 1.441i \quad F(I_{10}) = (3.839 \quad 22.042)$$

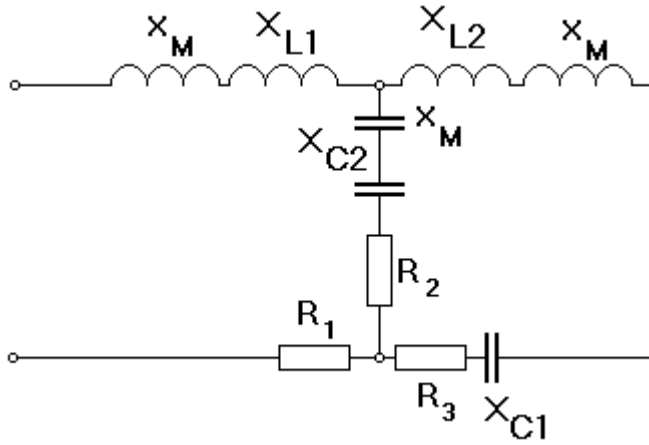
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = 2.283 - 1.461i \quad F(I_{30}) = (2.71 \quad -32.612)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) \quad U_{20} = 18.632 - 31.227i \quad F(U_{20}) = (36.363 \quad -59.177)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = -4.169 + 5.116i \quad F(A) = (6.6 \quad 129.177)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.016 + 0.104i \quad F(C) = (0.106 \quad 81.219)$$

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} + X_M) \rightarrow 18 + 52 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 16 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 14 + 29 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 49.579 + 51.59i$$

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

$$I_{1K} = 3.068 + 1.357i$$

$$F(I_{1K}) = (3.354 \quad 23.861)$$

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

$$I_{3K} = 2.478 - 2.163i$$

$$F(I_{3K}) = (3.29 \quad -41.114)$$

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

$$B = -26.281 + 68.06i$$

$$F(B) = (72.958 \quad 111.114)$$

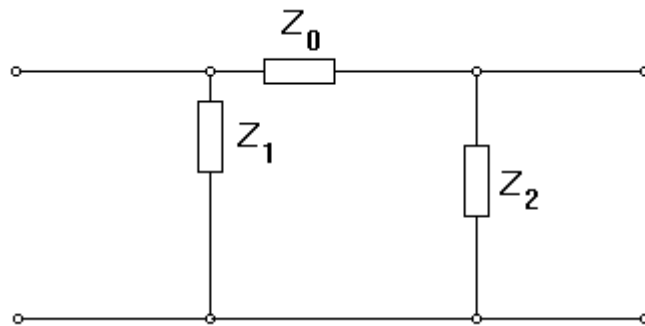
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}}$$

$$D = 0.431 + 0.924i$$

$$F(D) = (1.02 \quad 64.975)$$

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

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = -26.281 + 68.06i$$

$$F(Z_0) = (72.958 \quad 111.114)$$

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

$$Y_1 = 0.015 + 2.709i \times 10^{-3}$$

$$F(Y_1) = (0.015 \quad 10.497)$$

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

$$Y_2 = 0.091 + 0.041i$$

$$F(Y_2) = (0.1 \quad 24.181)$$

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

$$R_0 = -26.281$$

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

$$X_{L0} = 68.06$$

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

$$Z_1 = 66.122 - 12.252i \quad R_1 := \text{Re}(Z_1) \quad R_1 = 66.122 \quad X_{C1} := -\text{Im}(Z_1) \quad X_{C1} = 12.252$$

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

$$Z_2 = 9.151 - 4.109i \quad R_2 := \text{Re}(Z_2) \quad R_2 = 9.151 \quad X_{C2} := -\text{Im}(Z_2) \quad X_{C2} = 4.109$$

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

$$C_1 = 2.598 \times 10^{-4}$$

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

$$C_2 = 7.747 \times 10^{-4}$$

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

$$L_0 = 0.217$$