

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 757

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

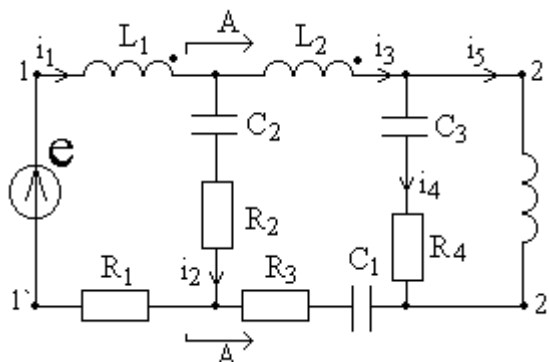
$$E := 220 \quad \psi := 50 \quad R_1 := 16 \quad R_2 := 14 \quad R_3 := 12 \quad R_4 := 10 \quad X_{L1} := 50 \quad X_{L2} := 40 \quad X_{L3} := 35$$

$$X_{C1} := 20 \quad X_{C2} := 15 \quad X_{C3} := 12 \quad X_M := 30 \quad f := 100$$

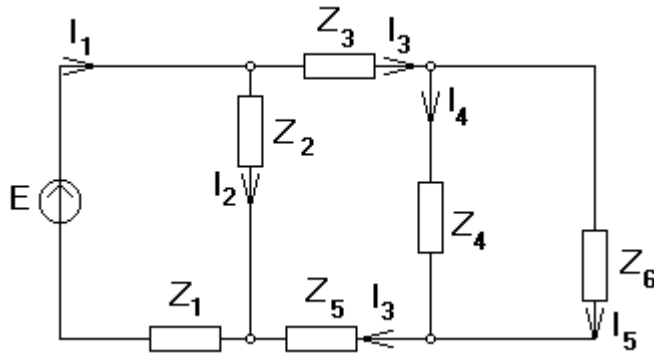
$$U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$U = 141.413 + 168.53i$$

$$F(U) = (220 \ 50)$$



Розрахувати всі струми символічним методом



$$Z_1 := R_1 + j \cdot X_{L1} \quad Z_1 = 16 + 50i$$

$$Z_2 := R_2 - j \cdot X_{C2} \quad Z_2 = 14 - 15i$$

$$Z_5 := R_3 - j \cdot X_{C1} \quad Z_5 = 12 - 20i$$

$$Z_3 := j \cdot X_{L2} \quad Z_3 = 40i$$

$$Z_4 := R_4 - j \cdot X_{C3} \quad Z_4 = 10 - 12i$$

$$Z_6 := j \cdot X_{L3} \quad Z_6 = 35i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5} + Z_1 \quad Z_E = 29.668 + 44.201i \quad F(Z_E) = (53.234 \quad 56.13)$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 4.109 - 0.441i \quad F(I_1) = (4.133 \quad -6.13)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{\left(\frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)}{\left(Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)} \quad I_2 = 2.846 + 0.917i \quad F(I_2) = (2.99 \quad 17.853)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 1.263 - 1.358i \quad F(I_3) = (1.854 \quad -47.088)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_6}{Z_6 + Z_4} \quad I_4 = 2.372 - 1.036i \quad F(I_4) = (2.588 \quad -23.59)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -1.109 - 0.323i \quad F(I_5) = (1.155 \quad -163.784)$$

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:

$$-I_1 \cdot (R_1 + j \cdot X_{L1}) + U - I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) = 1.421 \times 10^{-14} - 1.066i \times 10^{-14}$$

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

$$I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) - I_5 \cdot j \cdot X_{L3} = -1.776 \times 10^{-15}$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S := U \cdot \overline{I_1} \quad S = 506.698 + 754.904i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 506.698$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot X_{L1} + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 754.904$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot R_1 \quad F(\phi_b) = (66.123 \quad -6.13)$$

$$\phi_b = 65.745 - 7.061i$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 \quad F(\phi_c) = (105.753 \quad 3.13)$$

$$\phi_c = 105.595 + 5.774i$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) \quad F(\phi_d) = (124.928 \quad -17.19)$$

$$\phi_d = 119.347 - 36.922i$$

$$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i \quad F(\phi_1) = (220 \quad 50)$$

$$\phi_1 = 141.413 + 168.53i$$

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

$$\phi_A = 0$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot R_3 \quad F(\phi_e) = (84.201 \quad -16.106)$$

$$\phi_e = 80.896 - 23.359i$$

$$\phi_k := \phi_e + I_3 \cdot (-X_{C1} \cdot i) \quad F(\phi_k) = (72.458 \quad -42.135)$$

$$\phi_k = 53.733 - 48.611i$$

$$\phi_m := \phi_k + I_4 \cdot R_4 \quad F(\phi_m) = (97.342 \quad -37.284)$$

$$\phi_m = 77.449 - 58.967i$$

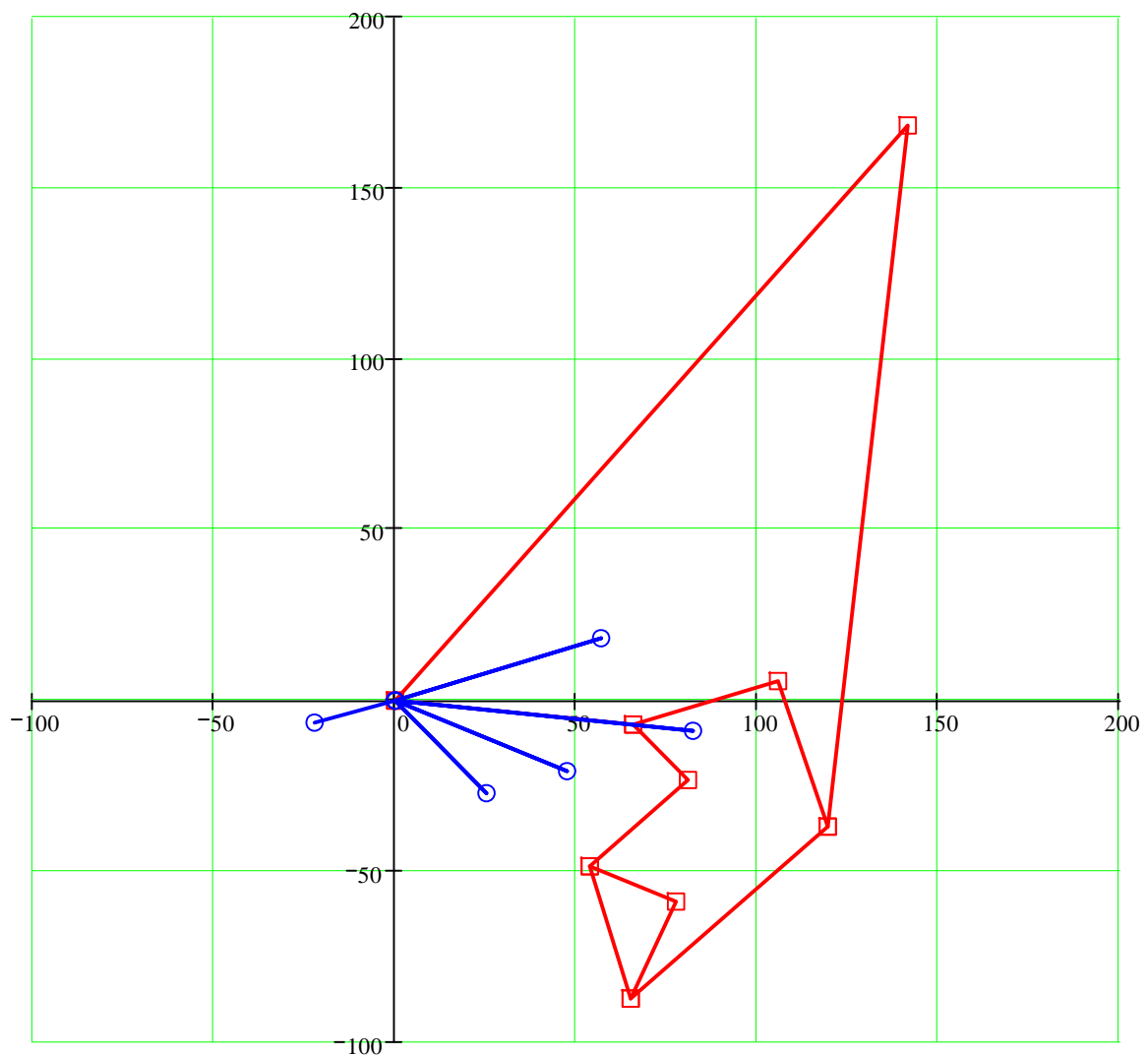
$$\phi_z := \phi_m + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i) \quad F(\phi_z) = (108.955 \quad -53.361)$$

$$\phi_z = 65.022 - 87.426i$$

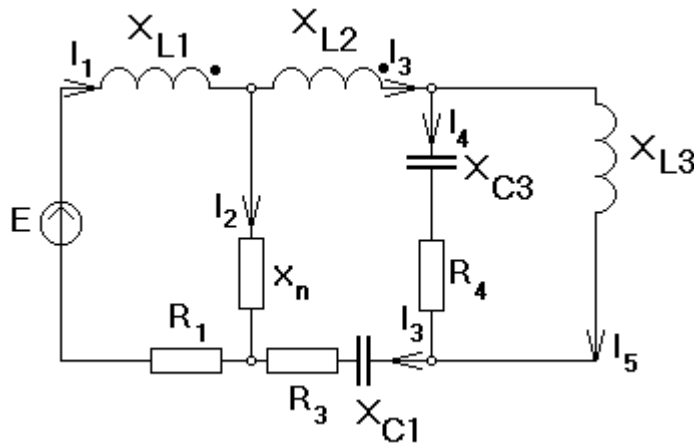
$$\phi_d := \phi_z + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i \quad F(\phi_d) = (124.928 \quad -17.19)$$

$$\phi_d = 119.347 - 36.922i$$

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.



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

$$Z_{45} = 19.475 - 9.793i$$

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

$$Z_E = 31.475 + 10.207i$$

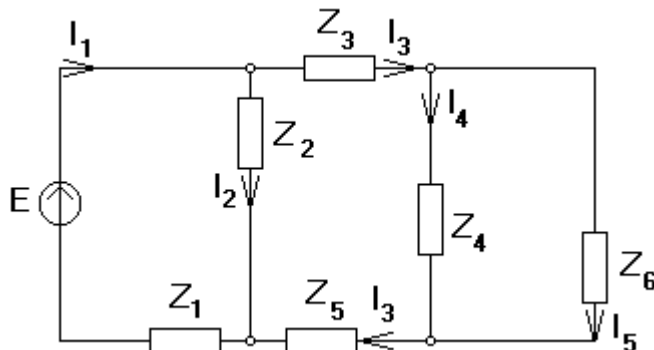
$$Z_E = R_E - j \cdot X_E \quad R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 31.475 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = 10.207$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -9.322 \times 10^{-3} \quad \text{еактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -107.27$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола



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

$$Z = 31.475 + 10.207i$$

Вхідний опір кола:

$$Z_{VX}(X_N) := \frac{Z \cdot i \cdot X_N}{Z + i \cdot X_N} + R_1 + i \cdot (X_{L1}) \rightarrow \left(\frac{-6420}{629} + \frac{19798}{629} \cdot i \right) \cdot \frac{X_N}{\left(\frac{19798}{629} + \frac{6420}{629} \cdot i + i \cdot X_N \right)} + 16 + 50 \cdot i$$

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

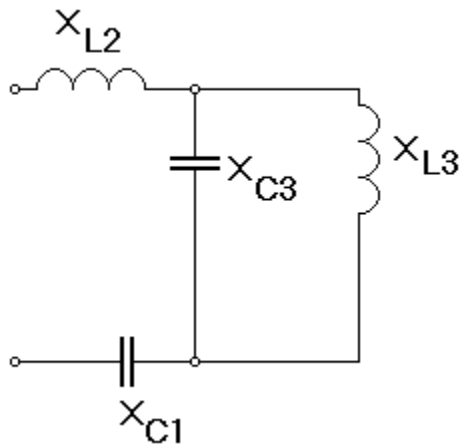
Уявна частина вхідного опору, яка за умовою резонансу дорівнює нулю:

$$X_{VX}(X_N) := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \rightarrow 2 \cdot \frac{(665338 \cdot X_N + 18935 \cdot X_N^2 + 17216900)}{(688676 + 12840 \cdot X_N + 629 \cdot X_N^2)} \end{array} \right|$$

$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \\ \text{float, 10} \end{array} \right| \rightarrow \begin{pmatrix} -17.56899921 + 24.50700993 \cdot i \\ -17.56899921 - 24.50700993 \cdot i \end{pmatrix} \quad X_N = \begin{pmatrix} -17.569 + 24.507i \\ -17.569 - 24.507i \end{pmatrix}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{5 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.064$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{7}{40 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.056$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \rightarrow \frac{1}{4000 \cdot \pi} \quad C_1 = 7.958 \times 10^{-5}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{2400 \cdot \pi} \quad C_3 = 1.326 \times 10^{-4}$$

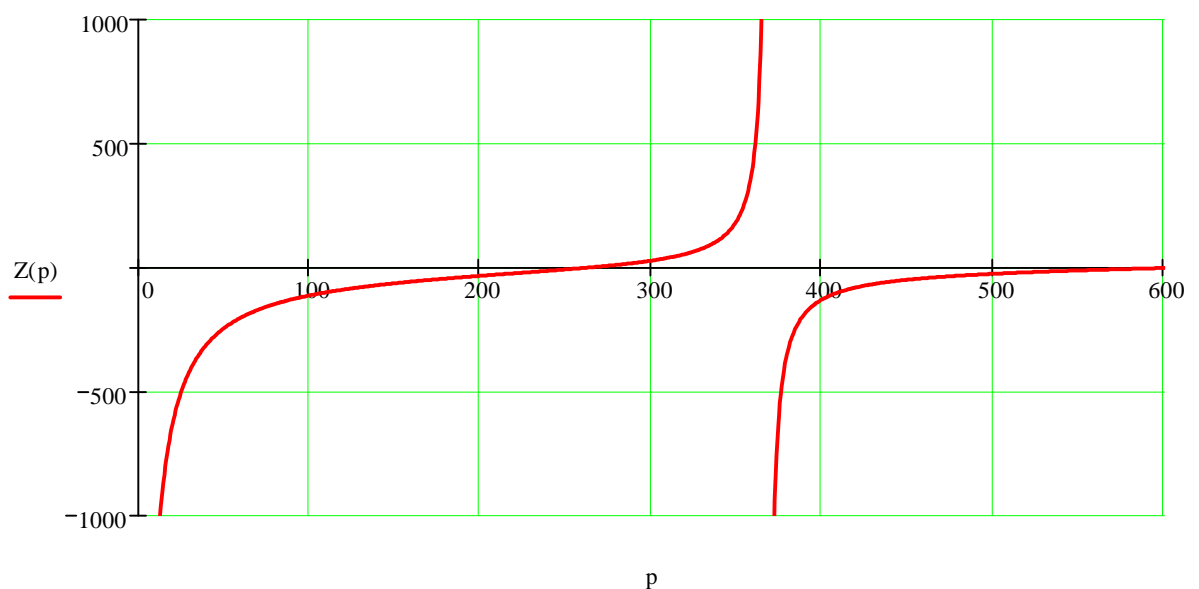
$$Z(p) := \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 + \frac{-1}{p \cdot C_1} \rightarrow \frac{-420}{\left(\frac{7}{40} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{2400}{p} \cdot \pi\right)} + \frac{1}{5} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{4000}{p} \cdot \pi$$

Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 16} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 617.3076993805994 \\ -617.3076993805994 \\ 264.7888210703061 \\ -264.7888210703061 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 617.308 \\ -617.308 \\ 264.789 \\ -264.789 \end{pmatrix} \quad \omega := \begin{pmatrix} \omega_0 \\ \omega_2 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 617.308 \\ 264.789 \end{pmatrix}$$

Знаходимо полюси:

$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \text{ solve, p} \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{80}{7} \cdot 105^2 \cdot \pi \\ \frac{1}{\frac{80}{7} \cdot 105^2 \cdot \pi} \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 367.906 \\ -367.906 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{10} \\ \omega_{12} \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 367.906 \\ 0 \end{pmatrix}$$



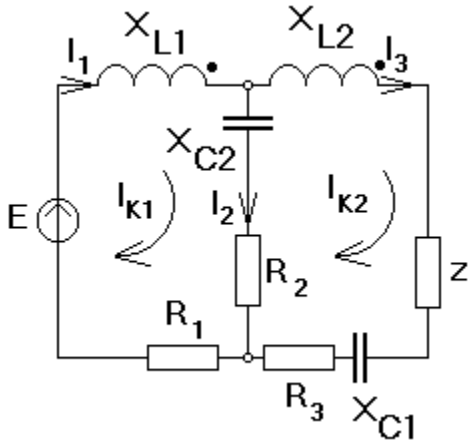
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 T/ L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

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



$$Z := \frac{(R_4 - j \cdot X_{C3}) \cdot j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})} \quad Z = 19.475 - 9.793i$$

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

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

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

$$Z_{11} = 30 + 35i \quad Z_{22} = 45.475 - 4.793i \quad Z_{12} = 14 - 45i$$

Given

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \quad \left| \begin{array}{l} \text{expand} \\ \text{float}, 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 2.321475802 + .208249572 \cdot i \\ 1.143435564 - 2.112574067 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 2.321 + 0.208i \quad I_{K2} = 1.143 - 2.113i$$

$$I_1 := I_{K1} \quad I_1 = 2.321 + 0.208i \quad F(I_1) = (2.331 \quad 5.126)$$

$$I_2 := I_{K1} - I_{K2} \quad I_2 = 1.178 + 2.321i \quad F(I_2) = (2.603 \quad 63.088)$$

$$I_3 := I_{K2} \quad I_3 = 1.143 - 2.113i \quad F(I_3) = (2.402 \quad -61.575)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})} \quad I_4 = 2.639 - 2.067i \quad F(I_4) = (3.352 \quad -38.077)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -1.495 - 0.045i \quad F(I_5) = (1.496 \quad -178.271)$$

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:

$$-I_1 \cdot [R_1 + j \cdot (X_{L1} + X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] = -2.796 \times 10^{-8} - 6.182i \times 10^{-8}$$

$$-I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M)] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = 2.032 \times 10^{-8} + 1.057i \times 1$$

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

$$S_{M1} := \bar{I}_1 \cdot I_3 \cdot X_M \quad S_{M1} = 66.435 - 154.272i \quad F(S_{M1}) = (167.969 \quad -66.701)$$

$$S_{M2} := I_1 \cdot \bar{I}_3 \cdot X_M \quad S_{M2} = 66.435 + 154.272i \quad F(S_{M2}) = (167.969 \quad 66.701)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S = 363.384 + 361.789i$$

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

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

$$S = 363.384 + 361.789i$$

$$P = 363.384$$

$$Q = 361.789$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

$$F(\phi_b) = (37.293 \quad 5.126)$$

$$\phi_b = 37.144 + 3.332i$$

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

$$F(\phi_c) = (64.499 \quad 33.739)$$

$$\phi_c = 53.636 + 35.824i$$

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

$$F(\phi_d) = (90.292 \quad 11.598)$$

$$\phi_d = 88.449 + 18.153i$$

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

$$F(\phi_{1''}) = (160.632 \quad 19.06)$$

$$\phi_{1''} = 151.826 + 52.456i$$

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

$$F(\phi_1) = (220 \quad 50)$$

$$\phi_1 = 141.413 + 168.53i$$

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

$$F(\phi_A) = (6.785 \times 10^{-8} \quad 65.664)$$

$$\phi_A = 2.796 \times 10^{-8} + 6.182i \times 10^{-8}$$

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

$$F(\phi_e) = (55.426 \quad -23.407)$$

$$\phi_e = 50.865 - 22.019i$$

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

$$F(\phi_m) = (45.707 \quad -79.138)$$

$$\phi_m = 8.613 - 44.888i$$

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

$$F(\phi_z) = (91.406 \quad -70.254)$$

$$\phi_z = 30.882 - 86.031i$$

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

$$F(\phi_k) = (97.762 \quad -84.015)$$

$$\phi_k = 10.193 - 97.229i$$

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

$$F(\phi_{d'}) = (27.865 \quad -81.86)$$

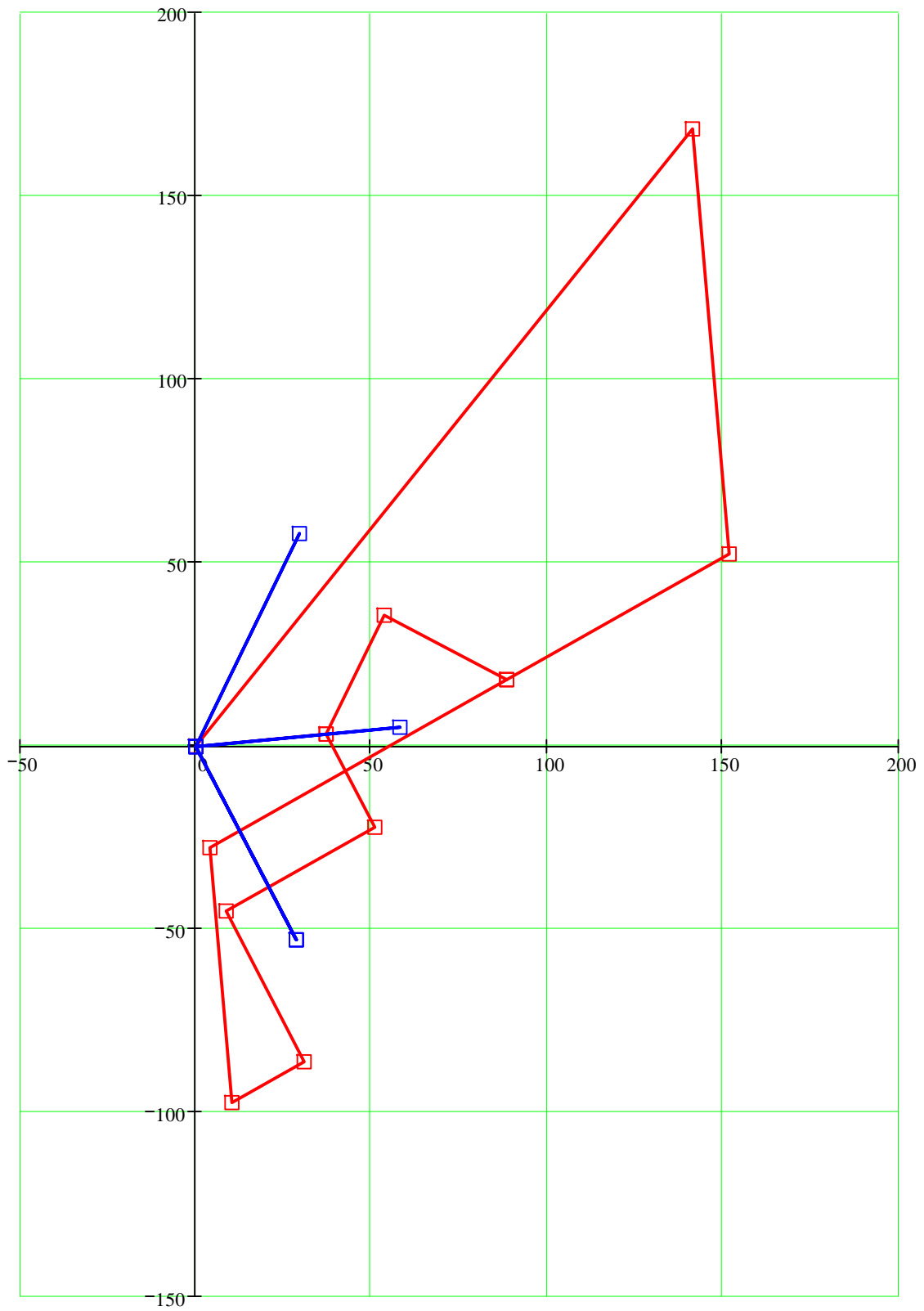
$$\phi_{d'} = 3.946 - 27.585i$$

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

$$F(\phi_d) = (90.292 \quad 11.598)$$

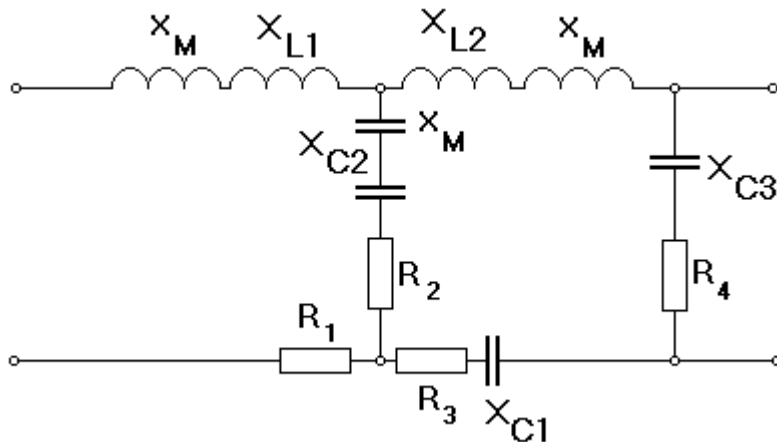
$$\phi_d = 88.449 + 18.153i$$

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":

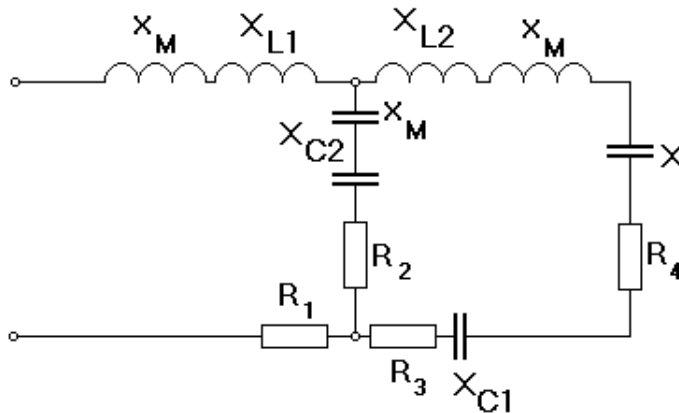
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника **A,B,C,D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_M + X_{L1}) \rightarrow 16 + 80 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 14 - 45 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C3} - X_{C1}) \rightarrow 22 + 38 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 72.397 + 78.244i \quad Z_{20} := \frac{Z_2 \cdot Z_1}{Z_2 + Z_1} + Z_3 \quad Z_{20} = 82.574 - 19.336i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 2.061 + 0.1i \quad F(I_{10}) = (2.064 \quad 2.777)$$

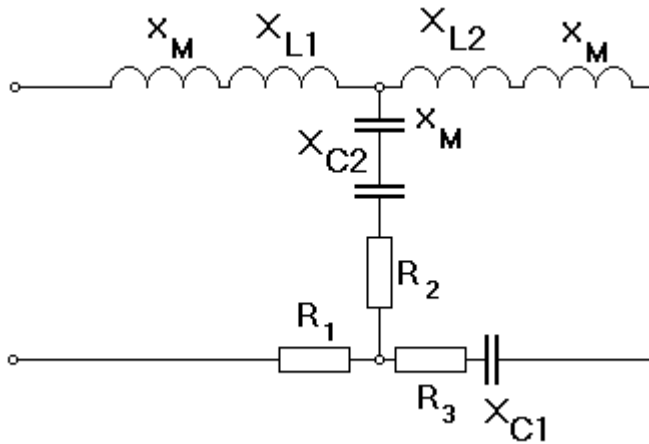
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = 1.368 - 2.272i \quad F(I_{30}) = (2.652 \quad -58.938)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) \quad U_{20} = -13.577 - 39.138i \quad F(U_{20}) = (41.426 \quad -109.132)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = -4.962 + 1.892i \quad F(A) = (5.311 \quad 159.132)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = -0.019 + 0.046i \quad F(C) = (0.05 \quad 111.909)$$

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} + X_M) \rightarrow 16 + 80 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 14 - 45 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 12 + 50 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 106.825 + 68.6 \cdot i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.654 + 0.514i \quad F(I_{1K}) = (1.732 \quad 17.259)$$

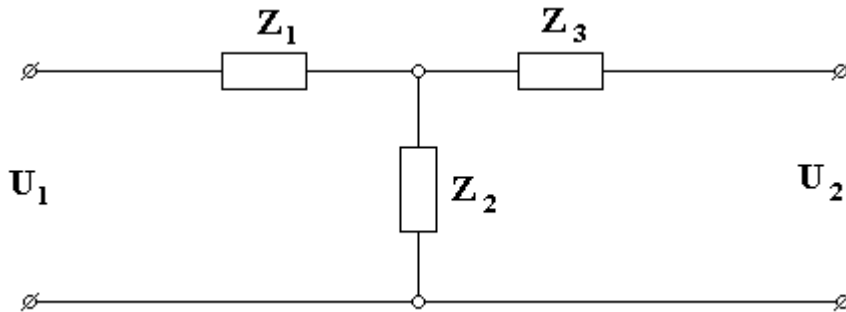
$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = 1.237 - 2.824i \quad F(I_{3K}) = (3.083 \quad -66.345)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -31.663 + 63.94i \quad F(B) = (71.35 \quad 116.345)$$

$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = 0.063 + 0.558i \quad F(D) = (0.562 \quad 83.604)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

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



$$Z_1 := \frac{A - 1}{C} \quad Z_1 = 79.887 + 96.867i \quad F(Z_1) = (125.559 \quad 50.487)$$

$$Z_2 := \frac{1}{C} \quad Z_2 = 14 - 45i \quad F(Z_2) = (47.127 \quad -72.719)$$

$$Z_3 := \frac{D - 1}{C} \quad Z_3 = 17.419 + 13.276i \quad F(Z_3) = (21.901 \quad 37.313)$$

$$\begin{array}{llll} R_1 := \text{Re}(Z_1) & R_1 = 79.887 & X_1 := \text{Im}(Z_1) & X_1 = 96.867 \\ R_2 := \text{Re}(Z_2) & R_2 = -7.49 & X_2 := \text{Im}(Z_2) & X_2 = -18.623 \\ R_3 := \text{Re}(Z_3) & R_3 = 17.419 & X_3 := \text{Im}(Z_3) & X_3 = 13.276 \end{array}$$

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

$$L_1 = 0.154 \quad C = 8.546 \times 10^{-5} \quad L_2 = 0.021$$