

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 327

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

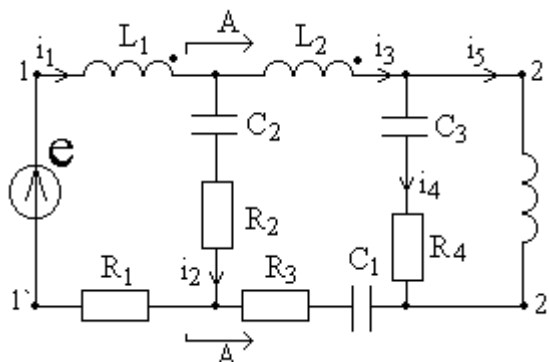
$$E := 140 \quad \psi := -45 \quad R_1 := 9 \quad R_2 := 11 \quad R_3 := 13 \quad R_4 := 15 \quad X_{L1} := 35 \quad X_{L2} := 40 \quad X_{L3} := 45$$

$$X_{C1} := 15 \quad X_{C2} := 20 \quad X_{C3} := 25 \quad X_M := 23 \quad f := 60$$

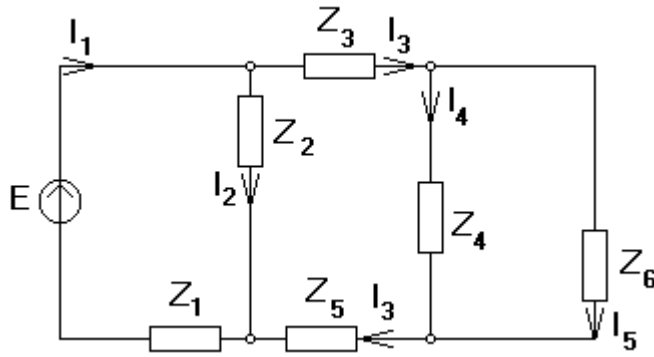
$$U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$U = 98.995 - 98.995i$$

$$F(U) = (140 \quad -45)$$



Розрахувати всі струми символічним методом



$$Z_1 := R_1 + j \cdot X_{L1} \quad Z_1 = 9 + 35i$$

$$Z_2 := R_2 - j \cdot X_{C2} \quad Z_2 = 11 - 20i$$

$$Z_5 := R_3 - j \cdot X_{C1} \quad Z_5 = 13 - 15i$$

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

$$Z_4 := R_4 - j \cdot X_{C3} \quad Z_4 = 15 - 25i$$

$$Z_6 := j \cdot X_{L3} \quad Z_6 = 45i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5} + Z_1 \quad Z_E = 22.503 + 21.571i \quad F(Z_E) = (31.172 \quad 43.788)$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 0.095 - 4.49i \quad F(I_1) = (4.491 \quad -88.788)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{\left(\frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)}{\left(Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)} \quad I_2 = 1.131 - 3.573i \quad F(I_2) = (3.747 \quad -72.44)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -1.036 - 0.918i \quad F(I_3) = (1.384 \quad -138.455)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_6}{Z_6 + Z_4} \quad I_4 = -0.5 - 2.44i \quad F(I_4) = (2.49 \quad -101.585)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.535 + 1.522i \quad F(I_5) = (1.614 \quad 109.379)$$

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:

$$-I_1 \cdot (R_1 + j \cdot X_{L1}) + U - I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) = -2.132i \times 10^{-14}$$

$$-I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1})] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = 1.421 \times 10^{-14} + 7.105i \times 10^{-15}$$

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

Перевірка за балансом потужностей

$$S := U \cdot \overline{I_1} \quad S = 453.908 + 435.099i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 453.908$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot X_{L1} + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 435.099$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

$$F(\phi_b) = (40.421 \quad -88.788)$$

$$\phi_b = 0.855 - 40.411i$$

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

$$F(\phi_c) = (80.81 \quad -80.534)$$

$$\phi_c = 13.291 - 79.71i$$

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

$$F(\phi_d) = (117.695 \quad -119.615)$$

$$\phi_d = -58.161 - 102.32i$$

$$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i$$

$$F(\phi_1) = (140 \quad -45)$$

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

$$\phi_A = 1.421i \times 10^{-14}$$

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

$$F(\phi_e) = (53.837 \quad -103.542)$$

$$\phi_e = -12.607 - 52.34i$$

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

$$F(\phi_k) = (45.279 \quad -125.619)$$

$$\phi_k = -26.371 - 36.808i$$

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

$$F(\phi_m) = (80.841 \quad -114.771)$$

$$\phi_m = -33.872 - 73.403i$$

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

$$F(\phi_z) = (112.73 \quad -147.301)$$

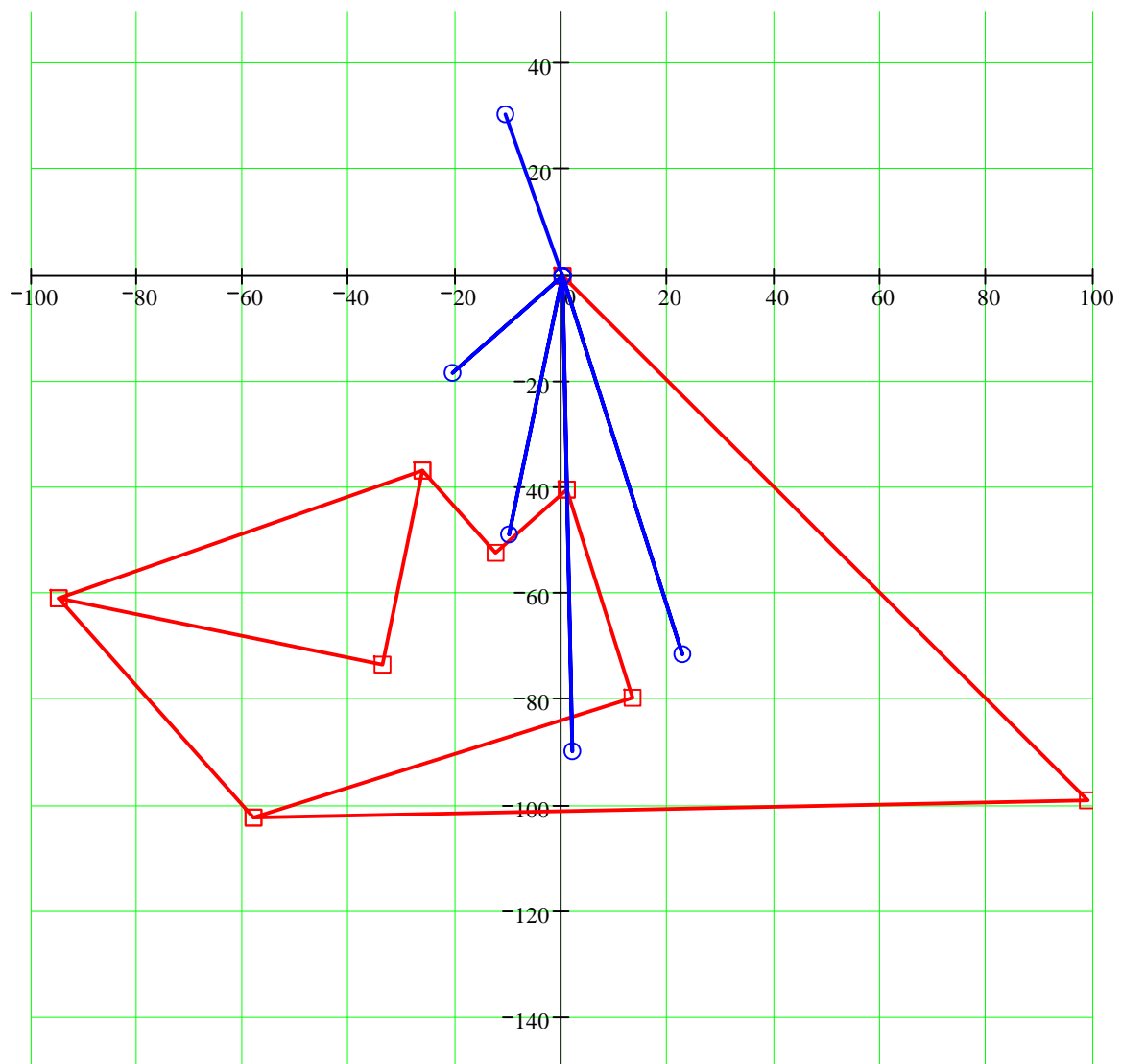
$$\phi_z = -94.865 - 60.9i$$

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

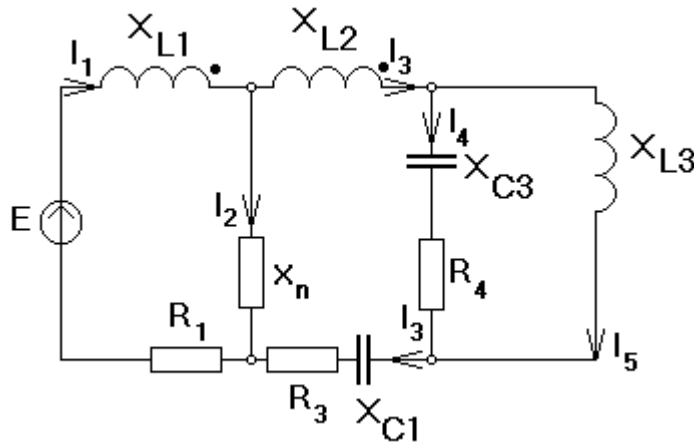
$$F(\phi_d) = (117.695 \quad -119.615)$$

$$\phi_d = -58.161 - 102.32i$$

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.



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

$$Z_{45} = 48.6 - 19.8i$$

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

$$Z_E = 61.6 + 5.2i$$

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

$$R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 61.6$$

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

$$X_E = 5.2$$

За умовою резонансу:

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

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

$$B_n = -1.361 \times 10^{-3}$$

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

$$X_n = -734.923$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

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

$$Z_1 = 9 + 35i$$

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

$$Z_3 = 13 + 25i$$

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

$$Z_4 = 15 - 25i$$

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

$$Z_5 = 45i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 61.6 + 5.2i$$

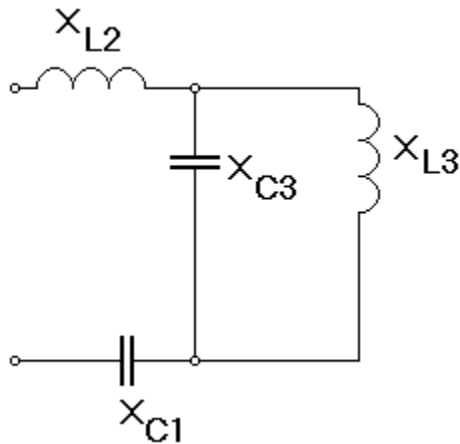
$$\text{Вхідний опір кола: } Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(468 \cdot X_N + 353 \cdot X_N^2 + 171972 + 20928 \cdot i \cdot X_N + 201 \cdot i \cdot X_N^2 + 668780 \cdot i)}{(19108 + 52 \cdot X_N + 5 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{l} -52.059701492537313433 + i \\ -52.059701492537313433 - i \end{array} \right) \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 94187095 \cdot i \\ 94187095 \cdot i \end{pmatrix}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{3 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.106$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{3}{8 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.119$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \rightarrow \frac{1}{1800 \cdot \pi} \quad C_1 = 1.768 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{3000 \cdot \pi} \quad C_3 = 1.061 \times 10^{-4}$$

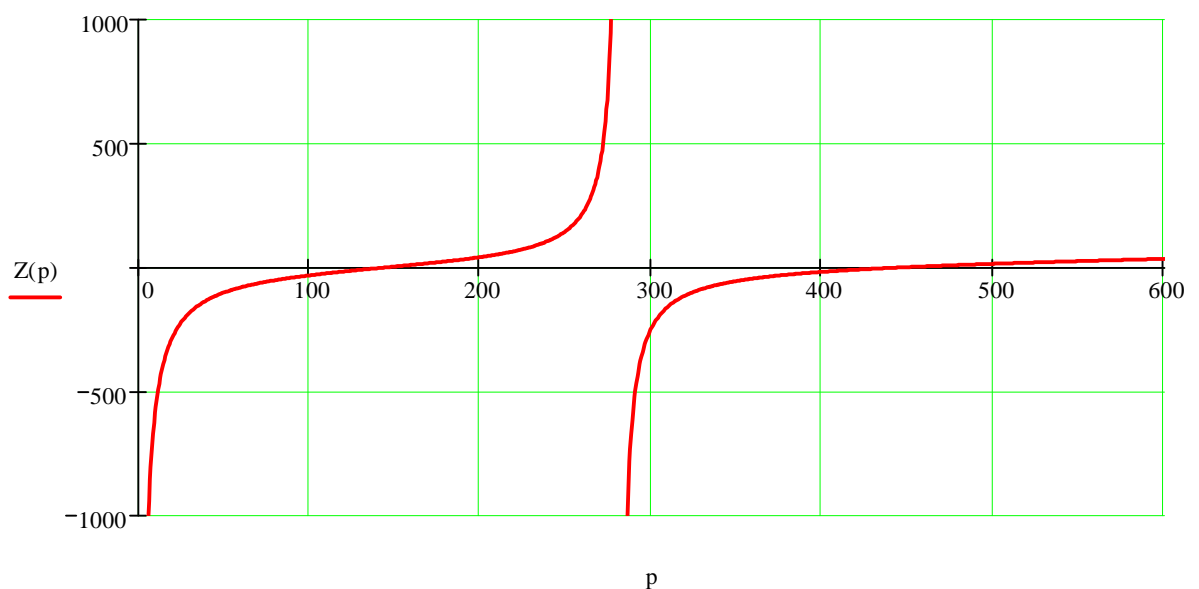
$$Z(p) := \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 + \frac{-1}{p \cdot C_1} \rightarrow \frac{-1125}{\left(\frac{3}{8} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{3000}{p} \cdot \pi\right)} + \frac{1}{3} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{1800}{p} \cdot \pi$$

Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 16} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 447.2620401980372 \\ -447.2620401980372 \\ 145.0372572213463 \\ -145.0372572213463 \end{pmatrix} \omega = \begin{pmatrix} 447.262 \\ -447.262 \\ 145.037 \\ -145.037 \end{pmatrix} \quad \omega := \begin{pmatrix} \omega_0 \\ \omega_2 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 447.262 \\ 145.037 \end{pmatrix}$$

Знаходимо полюси:

$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \text{ solve, p} \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{1}{40 \cdot 5^2 \cdot \pi} \\ \frac{1}{-40 \cdot 5^2 \cdot \pi} \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 280.993 \\ -280.993 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{10} \\ \omega_{12} \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 280.993 \\ 0 \end{pmatrix}$$



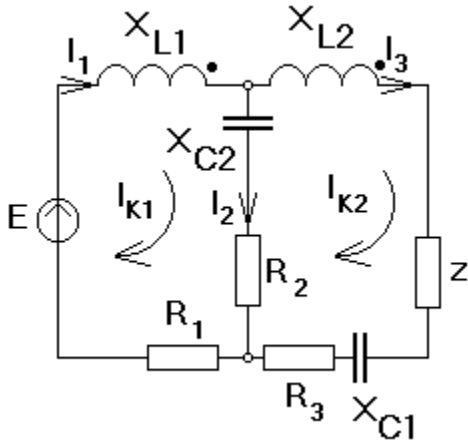
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 T/ L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

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

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



$$Z := \frac{(R_4 - j \cdot X_{C3}) \cdot j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})} \quad Z = 48.6 - 19.8i$$

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

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

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

$$Z_{11} = 20 + 15i \quad Z_{22} = 72.6 - 14.8i \quad Z_{12} = 11 - 43i$$

Given

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \left| \begin{array}{l} \text{expand} \\ \text{float}, 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} .3027750902 - 2.698026000 \cdot i \\ -1.375091384 - .8684430767 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 0.303 - 2.698i \quad I_{K2} = -1.375 - 0.868i$$

$$I_1 := I_{K1} \quad I_1 = 0.303 - 2.698i \quad F(I_1) = (2.715 \quad -83.597)$$

$$I_2 := I_{K1} - I_{K2} \quad I_2 = 1.678 - 1.83i \quad F(I_2) = (2.482 \quad -47.477)$$

$$I_3 := I_{K2} \quad I_3 = -1.375 - 0.868i \quad F(I_3) = (1.626 \quad -147.725)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})} \quad I_4 = -1.042 - 2.736i \quad F(I_4) = (2.927 \quad -110.856)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.333 + 1.867i \quad F(I_5) = (1.809 \quad 93.668)$$

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:

$$-I_1 \cdot [R_1 + j \cdot (X_{L1} + X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] = 4.002 \times 10^{-8} - 5.082i \times 10^{-8}$$

$$-I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M)] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = -5.76 \times 10^{-9} - 6.62i \times 10^{-9}$$

$$I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) - I_5 \cdot j \cdot X_{L3} = 5.329i \times 10^{-15}$$

$$S_{M1} := \bar{I}_1 \cdot I_3 \cdot X_M \quad S_{M1} = 44.315 - 91.378i \quad F(S_{M1}) = (101.557 \quad -64.128)$$

$$S_{M2} := I_1 \cdot \bar{I}_3 \cdot X_M \quad S_{M2} = 44.315 + 91.378i \quad F(S_{M2}) = (101.557 \quad 64.128)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S = 297.064 + 237.118i$$

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

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

$$S = 297.064 + 237.118i$$

$$P = 297.064$$

$$Q = 237.118$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

$$F(\phi_b) = (24.435 \quad -83.597)$$

$$\phi_b = 2.725 - 24.282i$$

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

$$F(\phi_c) = (74.993 \quad -77.006)$$

$$\phi_c = 21.182 - 44.408i$$

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

$$F(\phi_d) = (79.473 \quad -101.181)$$

$$\phi_d = -15.41 - 77.965i$$

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

$$F(\phi_{1''}) = (109.687 \quad -87.615)$$

$$\phi_{1''} = 4.564 - 109.592i$$

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

$$F(\phi_1) = (140 \quad -45)$$

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

$$F(\phi_A) = (6.468 \times 10^{-8} \quad 128.219)$$

$$\phi_A = -4.002 \times 10^{-8} + 5.082i \times 10^{-8}$$

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

$$F(\phi_e) = (38.664 \quad -113.071)$$

$$\phi_e = -15.151 - 35.572i$$

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

$$F(\phi_m) = (41.231 \quad -143.801)$$

$$\phi_m = -33.272 - 24.35i$$

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

$$F(\phi_z) = (110.873 \quad -148.971)$$

$$\phi_z = -95.007 - 57.152i$$

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

$$F(\phi_k) = (116.125 \quad -165.066)$$

$$\phi_k = -112.202 - 29.925i$$

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

$$F(\phi_{d'}) = (55.155 \quad -155.398)$$

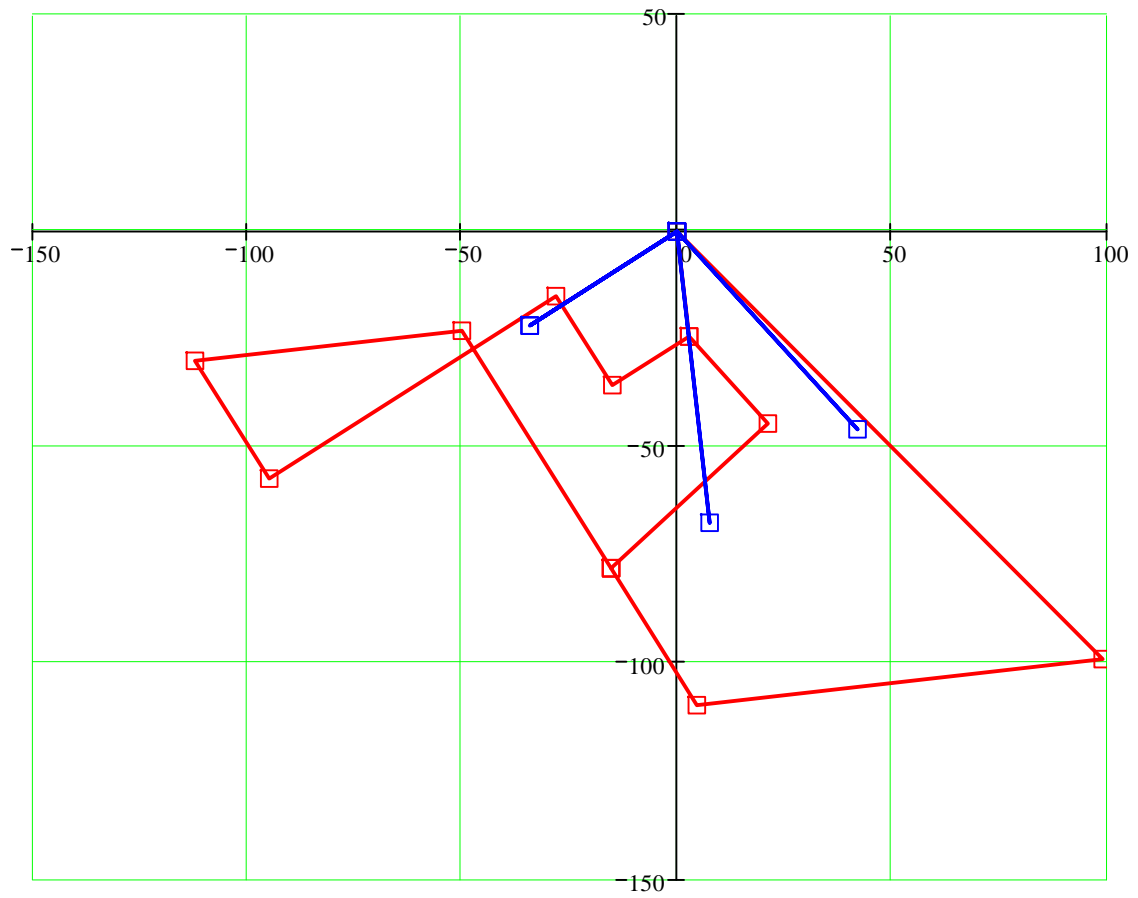
$$\phi_{d'} = -50.148 - 22.961i$$

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

$$F(\phi_d) = (79.473 \quad -101.181)$$

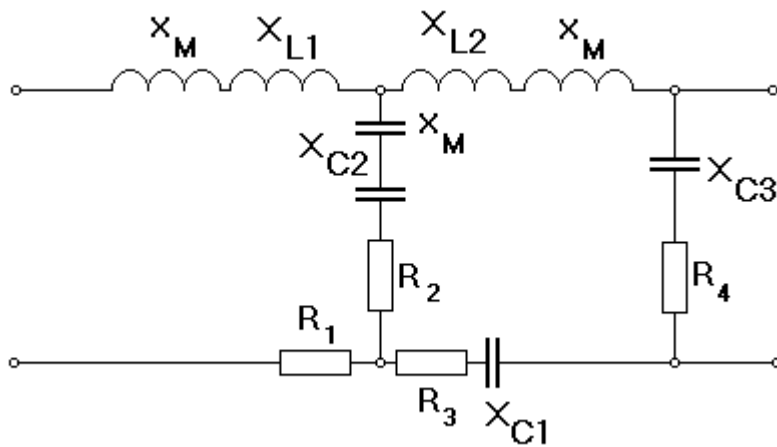
$$\phi_d = -15.41 - 77.965i$$

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":

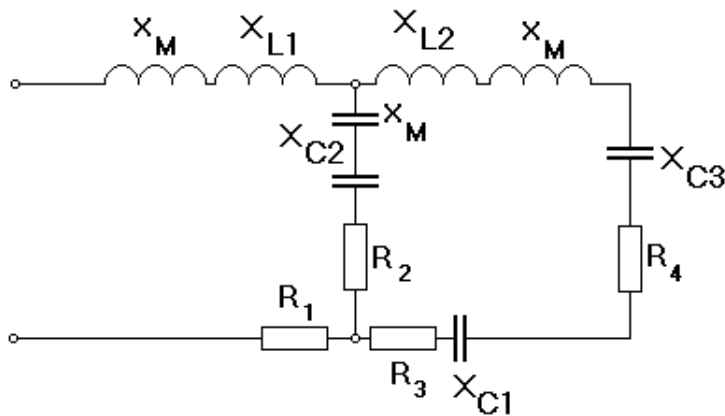
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника **A,B,C,D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_M + X_{L1}) \rightarrow 9 + 58 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 11 - 43 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C3} - X_{C1}) \rightarrow 28 + 23 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 45.233 + 52.196i \quad Z_{20} := \frac{Z_2 \cdot Z_1}{Z_2 + Z_1} + Z_3 \quad Z_{20} = 117 - 31.2i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = -0.145 - 2.022i \quad F(I_{10}) = (2.027 \quad -94.088)$$

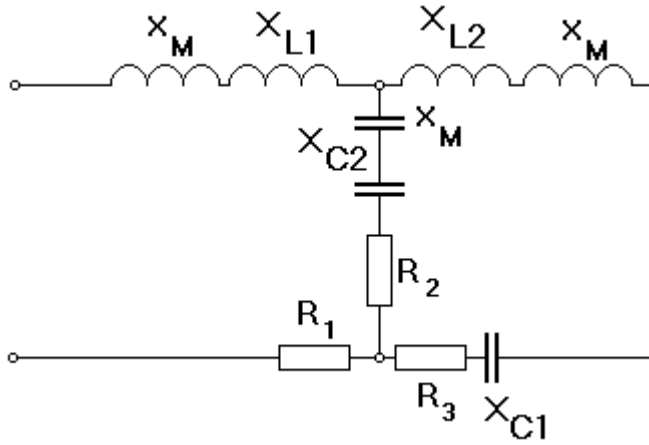
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -1.63 - 1.247i \quad F(I_{30}) = (2.053 \quad -142.589)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) \quad U_{20} = -55.633 + 22.055i \quad F(U_{20}) = (59.845 \quad 158.375)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = -2.147 + 0.928i \quad F(A) = (2.339 \quad 156.625)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = -0.01 + 0.032i \quad F(C) = (0.034 \quad 107.537)$$

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} + X_M) \rightarrow 9 + 58 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 11 - 43 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 13 + 48 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 96.875 + 38.40$$

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

$$I_{1K} = 0.533 - 1.233i$$

$$F(I_{1K}) = (1.343 \quad -66.623)$$

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

$$I_{3K} = -2.187 - 1.065i$$

$$F(I_{3K}) = (2.432 \quad -154.042)$$

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

$$B = -18.779 + 54.409i$$

$$F(B) = (57.558 \quad 109.042)$$

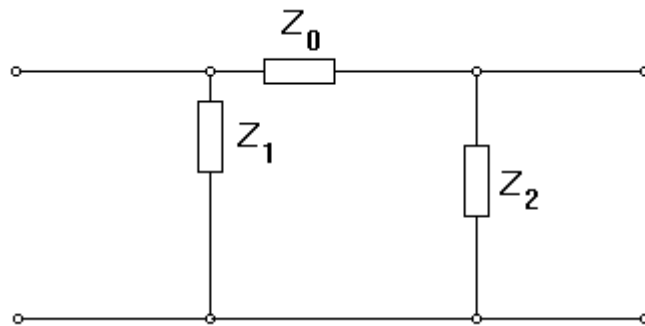
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}}$$

$$D = 0.025 + 0.552i$$

$$F(D) = (0.552 \quad 87.419)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = -18.779 + 54.409i$$

$$F(Z_0) = (57.558 \quad 109.042)$$

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

$$Y_1 = 0.015 + 0.013i$$

$$F(Y_1) = (0.019 \quad 41.454)$$

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

$$Y_2 = 0.033 + 0.046i$$

$$F(Y_2) = (0.057 \quad 54.528)$$

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

$$R_0 = -18.779$$

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

$$X_{L0} = 54.409$$

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

$$Z_1 = 38.503 - 34.01i$$

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

$$R_1 = 38.503$$

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

$$X_{C1} = 34.01$$

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

$$Z_2 = 10.179 - 14.285i$$

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

$$R_2 = 10.179$$

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

$$X_{C2} = 14.285$$

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

$$C_1 = 7.799 \times 10^{-5}$$

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

$$C_2 = 1.857 \times 10^{-4}$$

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

$$L_0 = 0.144$$