

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 125

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 закоротити.

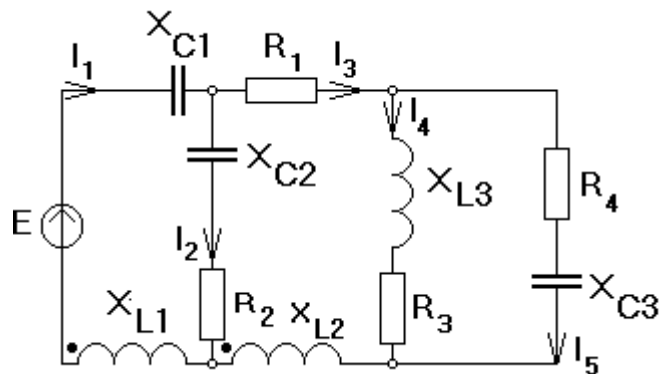
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L_1 ТА L_2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

- 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" :

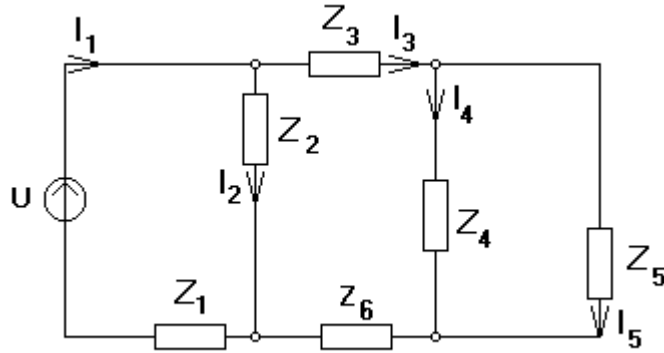
- 3.1. Розрахувати коефіцієнти A, B, C, D чотирьохполосника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$\begin{aligned} E &:= 100 & \psi &:= -20 & R_1 &:= 5 & R_2 &:= 7 & R_3 &:= 9 & R_4 &:= 12 \\ X_{L1} &:= 35 & X_{L2} &:= 40 & X_{L3} &:= 45 & X_{C1} &:= 15 & X_{C2} &:= 20 & X_{C3} &:= 25 \\ X_M &:= 23 & f &:= 60 & & & & & & & & \\ U &:= E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}} & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & U = 93.969 - 34.202i & F(U) = (100 \ -20) \end{aligned}$$



Для електричного кола без взаємної індукції:

Розрахувати всі струми символьним методом



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} - X_{C1}) \rightarrow 20 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2}) \rightarrow 7 - 20 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 \rightarrow 5$$

$$Z_4 := R_3 + i \cdot X_{L3} \rightarrow 9 + 45 \cdot i$$

$$Z_5 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 12 - 25 \cdot i$$

$$Z_6 := i \cdot X_{L2} \rightarrow 40 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 13.814 + 5.766i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 4.913 - 4.527i \quad F(I_1) = (6.68 \quad -42.657)$$

$$I_2 := \frac{I_1 \cdot \left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} \quad I_2 = 5.954 - 1.912i \quad F(I_2) = (6.253 \quad -17.804)$$

$$I_3 := \frac{I_1 \cdot Z_2}{\left(Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)} \quad I_3 = -1.041 - 2.615i \quad F(I_3) = (2.814 \quad -111.707)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_5 + Z_4} \quad I_4 = -2.071 + 1.718i \quad F(I_4) = (2.691 \quad 140.331)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5} \quad I_5 = 1.031 - 4.332i \quad F(I_5) = (4.453 \quad -76.62)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad I_3 - I_4 - I_5 = 0 \quad I_2 + I_5 + I_4 - I_1 = 0$$

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot [i \cdot (X_{L1} - X_{C1})] + U - I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) = 0$$

$$I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) - I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_3 \cdot (R_1 + i \cdot X_{L2}) = 3.553i \times 10^{-14}$$

$$I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_5 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = -1.421 \times 10^{-14} - 1.421i \times 10^{-14}$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 616.488 + 257.337i$$

$$P := (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 + (|I_3|)^2 \cdot R_1 \quad P = 616.488$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1} + X_{L1}) + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot (X_{L3}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 257.337$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot i \cdot X_{L1}$$

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

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

$$\phi_l := \phi_d + I_1 \cdot (-i \cdot X_{C1})$$

$$\phi_{l'} := \phi_l - U$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_{L2}$$

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

$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot i \cdot X_{L3}$$

$$\phi_k := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3})$$

$$\phi_n := \phi_k + I_5 \cdot R_4$$

$$\phi_b = 158.434 + 171.953i$$

$$\phi_c = 200.111 + 158.569i$$

$$\phi_d = 161.87 + 39.492i$$

$$\phi_l = 93.969 - 34.202i$$

$$\phi_{l'} = 4.263 \times 10^{-14} - 2.132i \times 10^{-14}$$

$$\phi_e = 263.019 + 130.318i$$

$$\phi_m = 244.377 + 145.778i$$

$$\phi_n = 167.074 + 52.565i$$

$$\phi_k = 154.708 + 104.555i$$

$$\phi_n = 167.074 + 52.565i$$

$$F(\phi_b) = (233.815 \ 47.343)$$

$$F(\phi_c) = (255.32 \ 38.393)$$

$$F(\phi_d) = (166.618 \ 13.711)$$

$$F(\phi_l) = (100 \ -20)$$

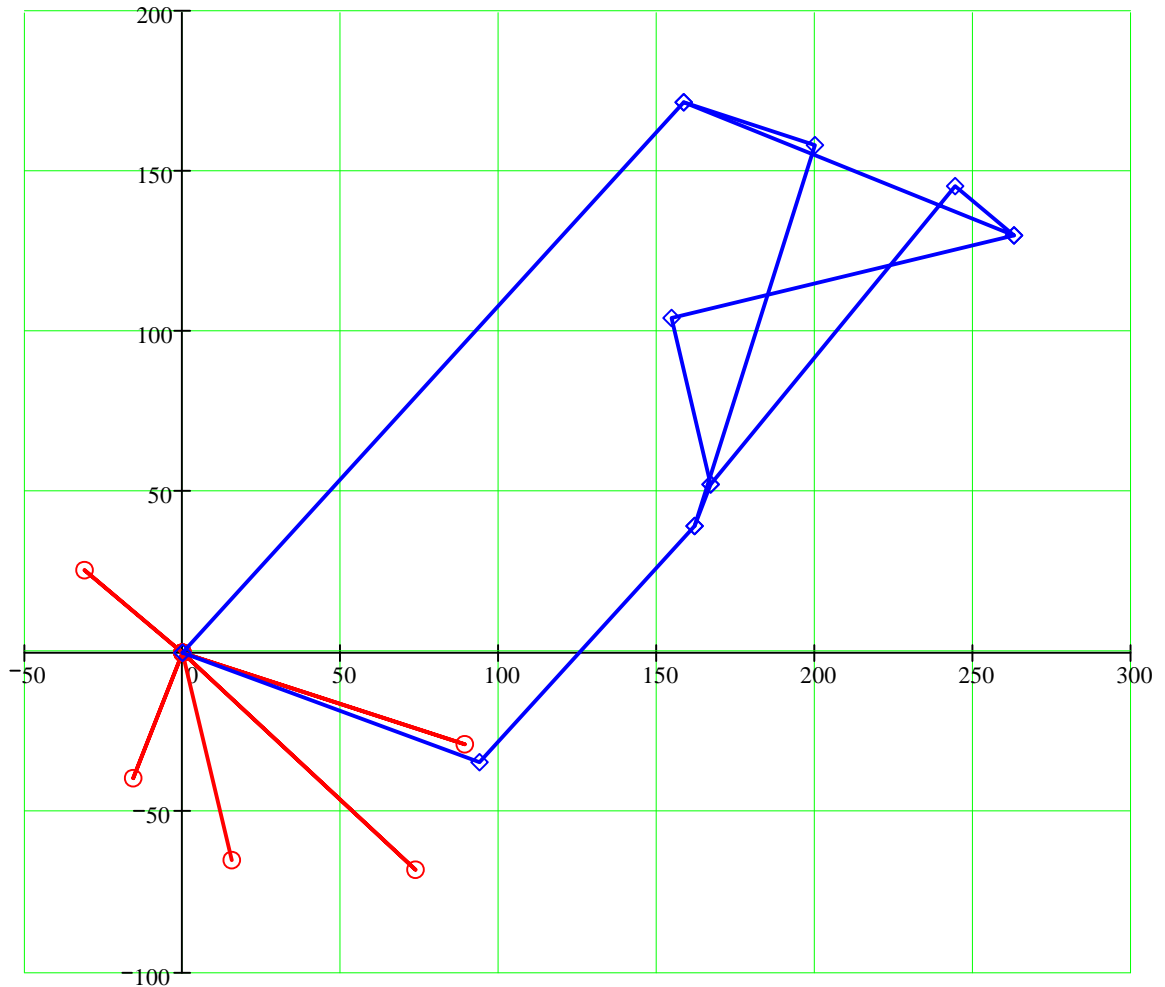
$$F(\phi_e) = (293.533 \ 26.357)$$

$$F(\phi_m) = (284.554 \ 30.817)$$

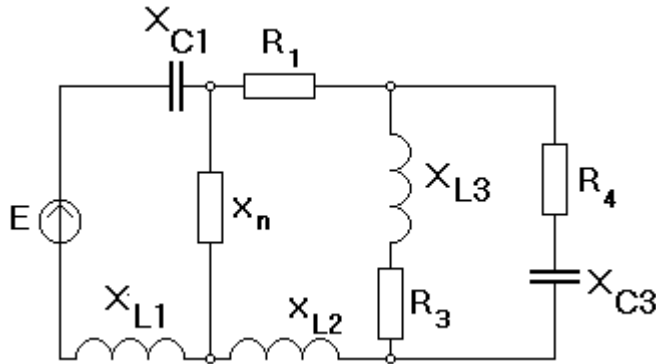
$$F(\phi_n) = (175.148 \ 17.465)$$

$$F(\phi_k) = (186.725 \ 34.052)$$

$$F(\phi_n) = (175.148 \ 17.465)$$



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



$$Z_E := \frac{(R_3 + i \cdot X_{L3}) \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})} + i \cdot X_{L2} + R_1 \quad Z_E = 43.279 + 18.543i$$

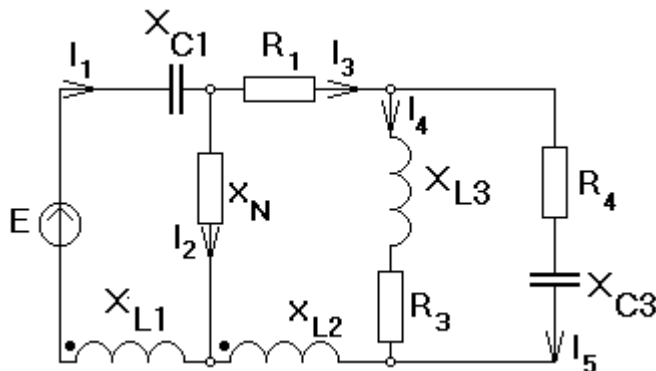
$$Z_E = R_E + j \cdot X_E \quad R_E := \text{Re}(Z_E) \quad R_E = 43.279 \quad X_E := \text{Im}(Z_E) \quad X_E = 18.543$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -8.364 \times 10^{-3} \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -119.556$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



$$\begin{aligned} Z_1 &:= -X_{C1} \cdot i + X_{L1} \cdot i & Z_1 &= 20i \\ Z_3 &:= R_1 + X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 5 + 40i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 9 + 45i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 12 - 25i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 & Z_{345} &= 43.279 + 18.543i \end{aligned}$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(36398 \cdot X_N^2 + 2488269 \cdot i \cdot X_N + 32415 \cdot i \cdot X_N^2 + 37289380 \cdot i)}{(1864469 + 31190 \cdot X_N + 841 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -20.415892939453561003 \\ -56.346994612605670835 \end{pmatrix} \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці $X_N = \begin{pmatrix} -20.416 \\ -56.347 \end{pmatrix}$ який носить ємнісний характер ($X_{N0} = -20.416$). ($X_{N1} = -56.347$)

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = -20.416 \quad Z_{VX}(X_n) = 9.613$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)}$$

$$I_1 = 9.776 - 3.558i$$

$$F(I_1) = (10.403 \quad -20)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n}$$

$$I_2 = 11.252 + 1.117i$$

$$F(I_2) = (11.307 \quad 5.67)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = -1.476 - 4.675i$$

$$F(I_3) = (4.903 \quad -107.523)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5}$$

$$I_4 = -3.817 + 2.721i$$

$$F(I_4) = (4.688 \quad 144.516)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 2.341 - 7.397i$$

$$F(I_5) = (7.758 \quad -72.435)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1}$$

$$S_1 = 1.04 \times 10^3$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.04 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 6.821 \times 10^{-13}$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -56.347 \quad Z_{VX}(X_n) = 41.612$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)}$$

$$I_1 = 2.258 - 0.822i$$

$$F(I_1) = (2.403 \quad -20)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n}$$

$$I_2 = 1.409 + 1.376i$$

$$F(I_2) = (1.969 \quad 44.33)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 0.85 - 2.198i$$

$$F(I_3) = (2.356 \quad -68.864)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5}$$

$$I_4 = -2.25 - 0.125i$$

$$F(I_4) = (2.253 \quad -176.825)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 3.1 - 2.073i$$

$$F(I_5) = (3.729 \quad -33.776)$$

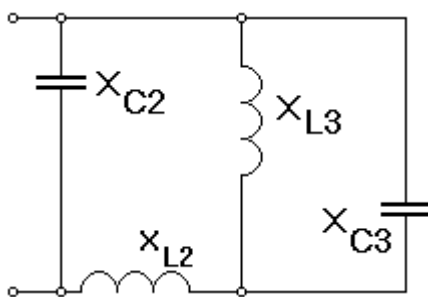
$$S_1 := U \cdot \overline{I_1}$$

$$S_1 = 240.316$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 240.316$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 0$$

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



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

$$L_2 = 0.106$$

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

$$L_3 = 0.119$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{2400 \cdot \pi}$$

$$C_2 = 1.326 \times 10^{-4}$$

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

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

$$Z(p) := \frac{\left(\frac{\frac{-1}{p \cdot C_3} \cdot p \cdot L_3}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 \right) \cdot \frac{-1}{p \cdot C_2}}{\frac{-1}{p \cdot C_2} + \frac{\frac{-1}{p \cdot C_3} \cdot p \cdot L_3}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2}$$

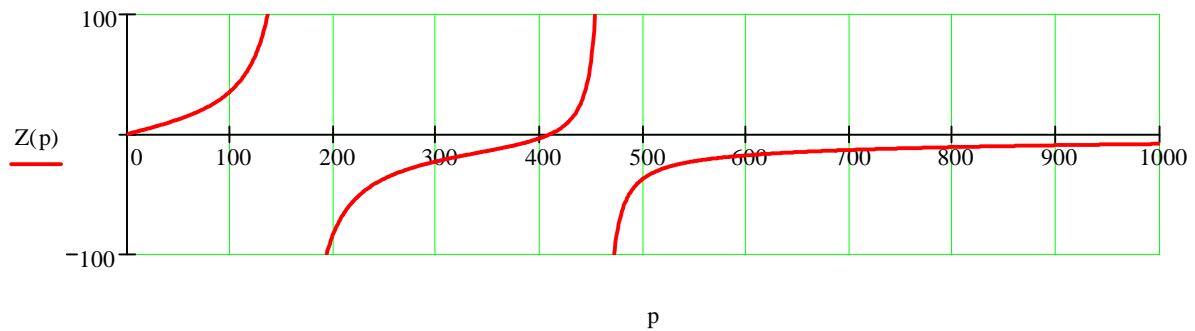
Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 7} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 409.6135 \\ -409.6135 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 409.613 \\ -409.613 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\omega := (\omega_0 \ \omega_2) \quad \omega = (409.613 \ 0)$$

Знаходимо полюси:

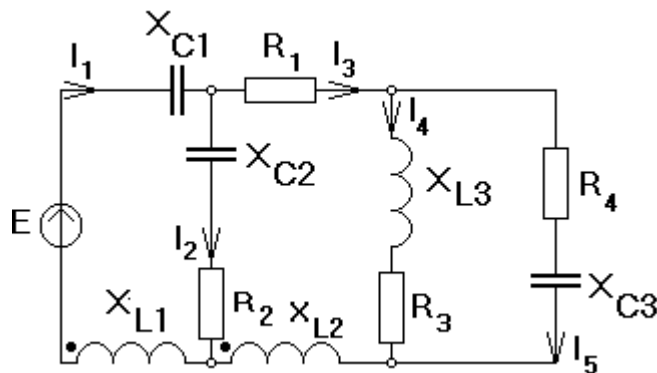
$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 460.90393265 \\ -460.90393265 \\ 162.51766478 \\ -162.51766478 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 460.904 \\ -460.904 \\ 162.518 \\ -162.518 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{10} \\ \omega_{12} \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 460.904 \\ 162.518 \end{pmatrix}$$



При наявності магнітного зв'язку між індуктивними елементами

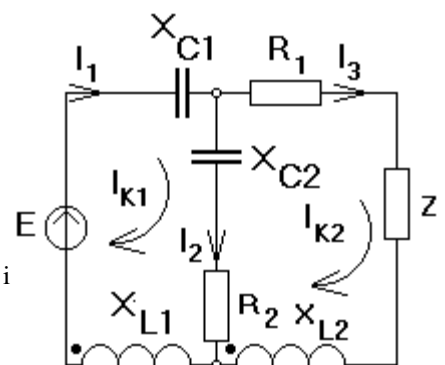
- 1) Перетворити схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках методом контурних струмів, визначити покази вольтметра;
- 2) Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;

імпеданс



$$Z := \frac{(R_4 - i \cdot X_{C3}) \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3})}{R_4 + R_3 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})}$$

$$Z = 38.279 - 21.457i$$



$$Z_{11} := R_2 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} - X_{C2}) \rightarrow 7$$

$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 7 - 43 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + R_1 + i \cdot (X_{L2} - X_{C2}) + Z \text{ float, 7} \rightarrow 50.27943 - 1.456599 \cdot i$$

Given

$$I_{K1} \cdot Z_{11} - I_{K2} \cdot Z_{12} = U$$

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \rightarrow \begin{pmatrix} 1.7990799507761117341 - 1.3574792742321817685 \cdot i \\ -0.85970246139019769949 - 1.7525066324052714505 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 1.799 - 1.357i$$

$$I_{K2} = -0.86 - 1.753i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 1.799 - 1.357i$$

$$F(I_1) = (2.254 \ -37.036)$$

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

$$I_2 = 2.659 + 0.395i$$

$$F(I_2) = (2.688 \ 8.451)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = -0.86 - 1.753i$$

$$F(I_3) = (1.952 \ -116.131)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z}{R_3 + i \cdot X_{L3}}$$

$$I_4 = -1.341 + 1.299i$$

$$F(I_4) = (1.867 \ 135.908)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z}{R_4 - i \cdot X_{C3}}$$

$$I_5 = 0.481 - 3.051i$$

$$F(I_5) = (3.089 \quad -81.043)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad I_3 - I_4 - I_5 = 0 \quad I_2 + I_5 + I_4 - I_1 = 0$$

$$S_{M1} := I_1 \cdot \overline{I_3} \cdot i \cdot X_M$$

$$S_{M1} = -99.358 + 19.143i$$

$$F(S_{M1}) = (101.186 \quad 169.094)$$

$$S_{M2} := \overline{I_1} \cdot I_3 \cdot i \cdot X_M$$

$$S_{M2} = 99.358 + 19.143i$$

$$F(S_{M2}) = (101.186 \quad 10.906)$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1}$$

$$S_1 = 215.487 + 66.029i$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4$$

$$P = 215.487$$

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

$$Q := Q + S_{M1} + S_{M2}$$

$$Q = 66.029i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot (i \cdot X_{L1})$$

$$\phi_b = 47.512 + 62.968i$$

$$F(\phi_b) = (78.882 \quad 52.964)$$

$$\phi_{b'} := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_M$$

$$\phi_{b'} = 87.819 + 43.195i$$

$$F(\phi_{b'}) = (97.867 \quad 26.191)$$

$$\phi_c := \phi_{b'} + I_2 \cdot R_2$$

$$\phi_c = 106.431 + 45.96i$$

$$F(\phi_c) = (115.93 \quad 23.356)$$

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

$$\phi_d = 114.331 - 7.216i$$

$$F(\phi_d) = (114.559 \quad -3.611)$$

$$\phi_1 := \phi_d - I_1 \cdot i \cdot X_{C1}$$

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

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

$$\phi_{1'} := \phi_1 - U$$

$$\phi_{1'} = -1.421 \times 10^{-14} - 7.105i \times 10^{-15}$$

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

$$\phi_{e'} = 157.92 + 8.807i$$

$$F(\phi_{e'}) = (158.165 \quad 3.192)$$

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

$$\phi_e = 189.142 + 50.185i$$

$$F(\phi_e) = (195.686 \quad 14.86)$$

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

$$\phi_m = 177.076 + 61.875i$$

$$F(\phi_m) = (187.575 \quad 19.261)$$

$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot i \cdot X_{L3}$$

$$\phi_n = 118.63 + 1.547i$$

$$F(\phi_n) = (118.64 \quad 0.747)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3})$$

$$\phi_k = 112.859 + 38.162i$$

$$F(\phi_k) = (119.137 \quad 18.683)$$

$$\phi_n := \phi_k + I_5 \cdot R_4$$

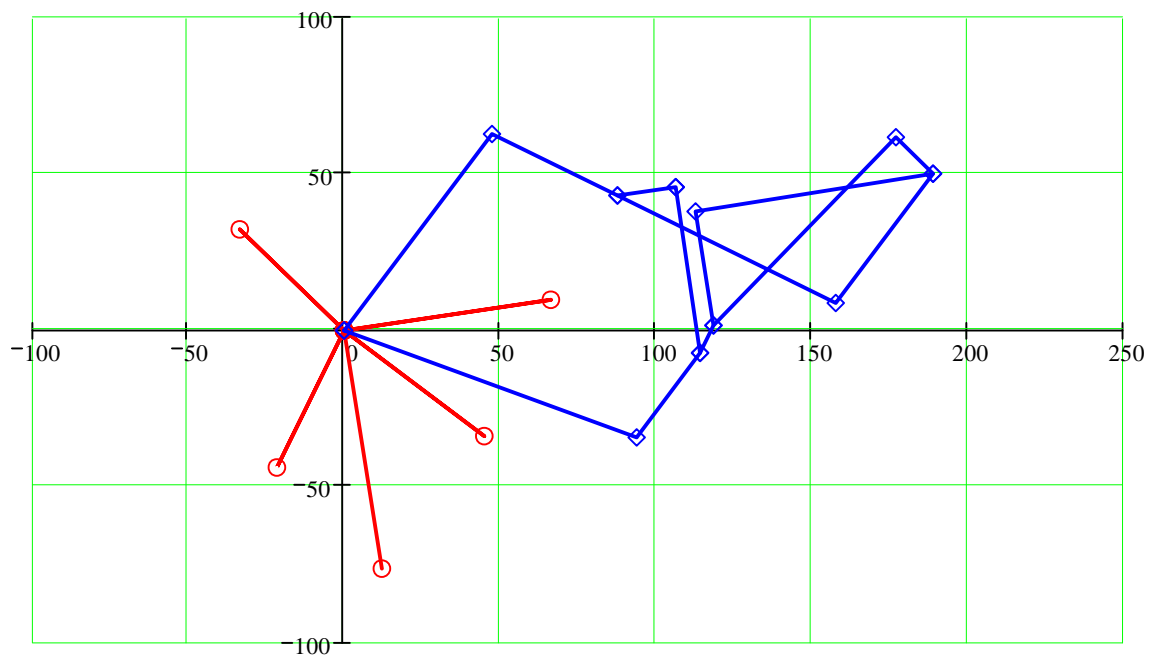
$$\phi_n = 118.63 + 1.547i$$

$$F(\phi_n) = (118.64 \quad 0.747)$$

$$\phi_d := \phi_n + I_3 \cdot R_1$$

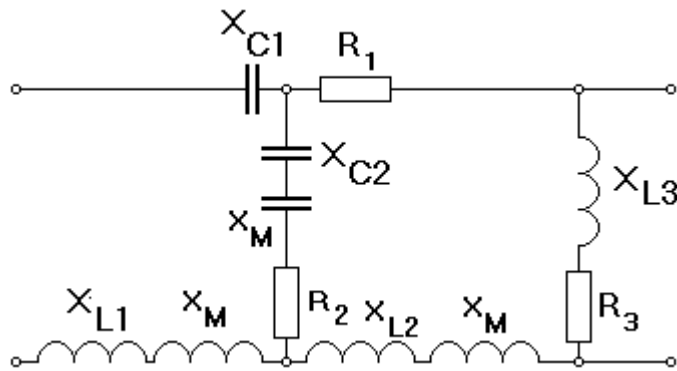
$$\phi_d = 114.331 - 7.216i$$

$$F(\phi_d) = (114.559 \quad -3.611)$$



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

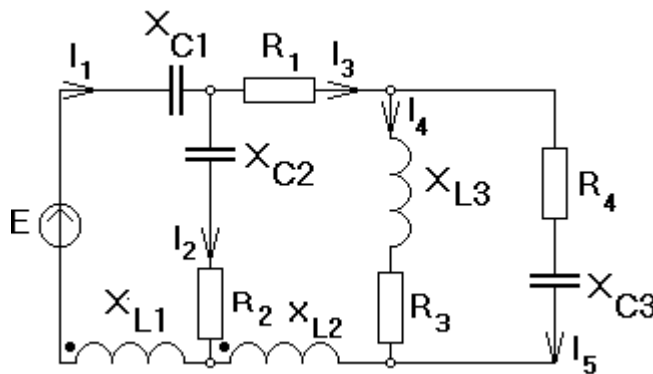
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполіусника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 43 \cdot i$$

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

$$Z_3 := R_3 + R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_{L3} + X_M) \rightarrow 14 + 108 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_E = 23.487 - 22.366i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_E} \quad I_{10} = 2.825 + 1.234i$$

$$F(I_{10}) = (3.083 \quad 23.599)$$

$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -1.244 - 1.523i$$

$$F(I_{30}) = (1.966 \quad -129.251)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) \quad U_{20} = 57.329 - 69.696i$$

$$F(U_{20}) = (90.245 \quad -50.561)$$

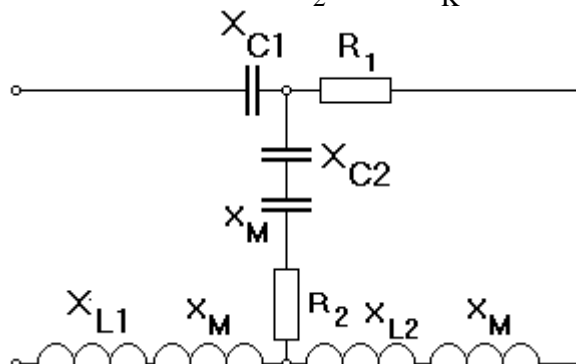
$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 0.954 + 0.563i$$

$$F(A) = (1.108 \quad 30.561)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 9.326 \times 10^{-3} + 0.033i$$

$$F(C) = (0.034 \quad 74.159)$$

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



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 43 \cdot i$$

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

$$Z_3 := R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 5 + 63 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 68.838 - 52.897i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.098 + 0.347i \quad F(I_{1K}) = (1.152 \quad 17.54)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = -1.148 - 1.82i \quad F(I_{3K}) = (2.152 \quad -122.251)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -9.862 + 45.419i \quad F(B) = (46.478 \quad 102.251)$$

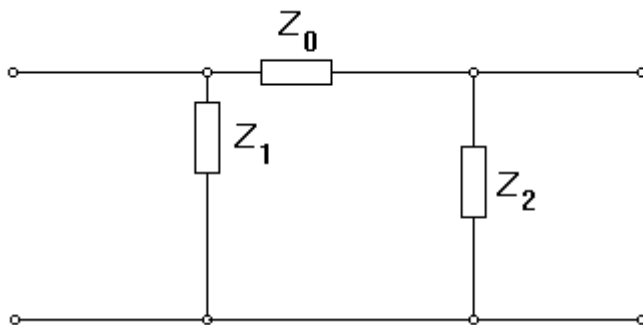
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = -0.409 + 0.346i \quad F(D) = (0.535 \quad 139.79)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (1.108 \quad 30.561) \quad F(B) = (46.478 \quad 102.251)$$

$$F(C) = (0.034 \quad 74.159) \quad F(D) = (0.535 \quad 139.79)$$

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B \quad Z_0 = -9.862 + 45.419i \quad F(Z_0) = (46.478 \quad 102.251)$$

$$Y_1 := \frac{D - 1}{B} \quad Y_1 = 0.014 + 0.028i \quad F(Y_1) = (0.031 \quad 63.966)$$

$$Y_2 := \frac{A - 1}{B} \quad Y_2 = 0.012 - 1.609i \times 10^{-3} \quad F(Y_2) = (0.012 \quad -7.6)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0) \quad R_0 = -9.862 \quad X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0) \quad X_{L0} = 45.419$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1} \quad Z_1 = 14.063 - 28.789i \quad R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 14.063 \quad X_{C1} := -\operatorname{Im}(Z_1) \quad X_{C1} = 28.789$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2} \quad Z_2 = 81.499 + 10.875i \quad R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 81.499 \quad X_{L2} := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{L2} = 10.875$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \quad C_1 = 9.214 \times 10^{-5} \quad L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \quad L_2 = 0.029$$

$$L_0 := \frac{X_{L0}}{\omega} \quad L_0 = 0.12$$