

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 323

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; визначити покази вольтметра;
- 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, 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).

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" :

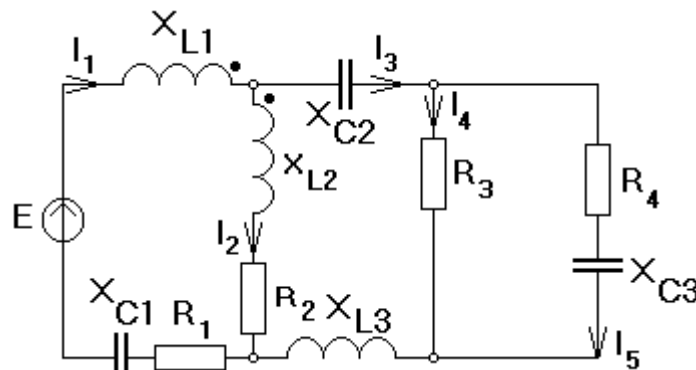
3.1 Розрахувати коефіцієнти чотиріполосника **A,B,C,D**;

3.2 Розрахувати параметри R,L,C віток схеми ("Т" чи "П") заміщення.

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

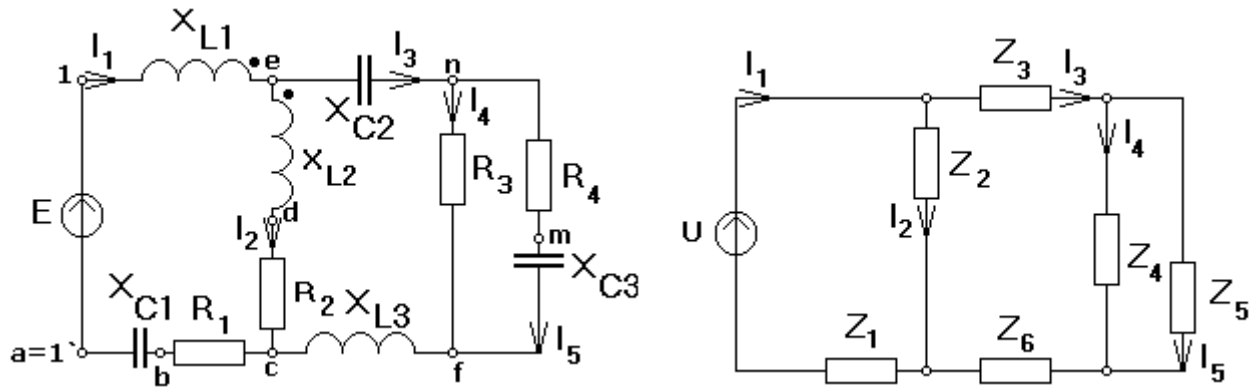
$$X_{C1} := 15 \quad X_{C2} := 20 \quad X_{C3} := 25 \quad X_M := 23 \quad f := 60$$

$$U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U = 98.995 - 98.995i \quad F(U) = (140 \quad -45)$$



Для електричного кола без взаємної індукції:

Розрахувати всі струми символьним методом



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1}) \rightarrow 9 + 20 \cdot i$$

$$Z_4 := R_3 \rightarrow 13$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2}) \rightarrow 11 + 40 \cdot i$$

$$Z_5 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 15 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := -i \cdot X_{C2} \rightarrow -20 \cdot i$$

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

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 14.372 + 34.272i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E}$$

$$I_1 = -1.426 - 3.487i$$

$$F(I_1) = (3.767 \quad -112.249)$$

$$I_2 := \frac{I_1 \cdot \left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6}$$

$$I_2 = -0.639 - 1.228i$$

$$F(I_2) = (1.385 \quad -117.5)$$

$$I_3 := \frac{I_1 \cdot Z_2}{\left(Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)}$$

$$I_3 = -0.787 - 2.258i$$

$$F(I_3) = (2.392 \quad -109.212)$$

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

$$I_4 = -1.105 - 1.493i$$

$$F(I_4) = (1.857 \quad -126.488)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5}$$

$$I_5 = 0.318 - 0.765i$$

$$F(I_5) = (0.828 \quad -67.451)$$

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

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1})] + U - I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) = 7.105 \times 10^{-15} + 7.105i \times 10^{-15}$$

$$I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) - I_4 \cdot R_3 - I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2} + i \cdot X_{L3}) = 1.421 \times 10^{-14}$$

$$I_4 \cdot R_3 - I_5 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = 0$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 203.959 + 486.363i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4$$

$$P = 203.959$$

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

$$Q = 486.363$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot (-i \cdot X_{C1})$$

$$\phi_b = -52.3 + 21.395i$$

$$F(\phi_b) = (56.507 \quad 157.751)$$

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

$$\phi_c = -65.137 - 9.984i$$

$$F(\phi_c) = (65.898 \quad -171.285)$$

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

$$\phi_d = -72.171 - 23.496i$$

$$F(\phi_d) = (75.899 \quad -161.967)$$

$$\phi_e := \phi_d + I_2 \cdot i \cdot X_{L2}$$

$$\phi_e = -23.038 - 49.072i$$

$$F(\phi_e) = (54.211 \quad -115.148)$$

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

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

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

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

$$\phi_f := \phi_c + I_3 \cdot i \cdot X_{L3}$$

$$\phi_f = 36.488 - 45.397i$$

$$F(\phi_f) = (58.243 \quad -51.209)$$

$$\phi_n := \phi_f + I_4 \cdot R_3$$

$$\phi_n = 22.129 - 64.811i$$

$$F(\phi_n) = (68.485 \quad -71.148)$$

$$\phi_m := \phi_f + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3})$$

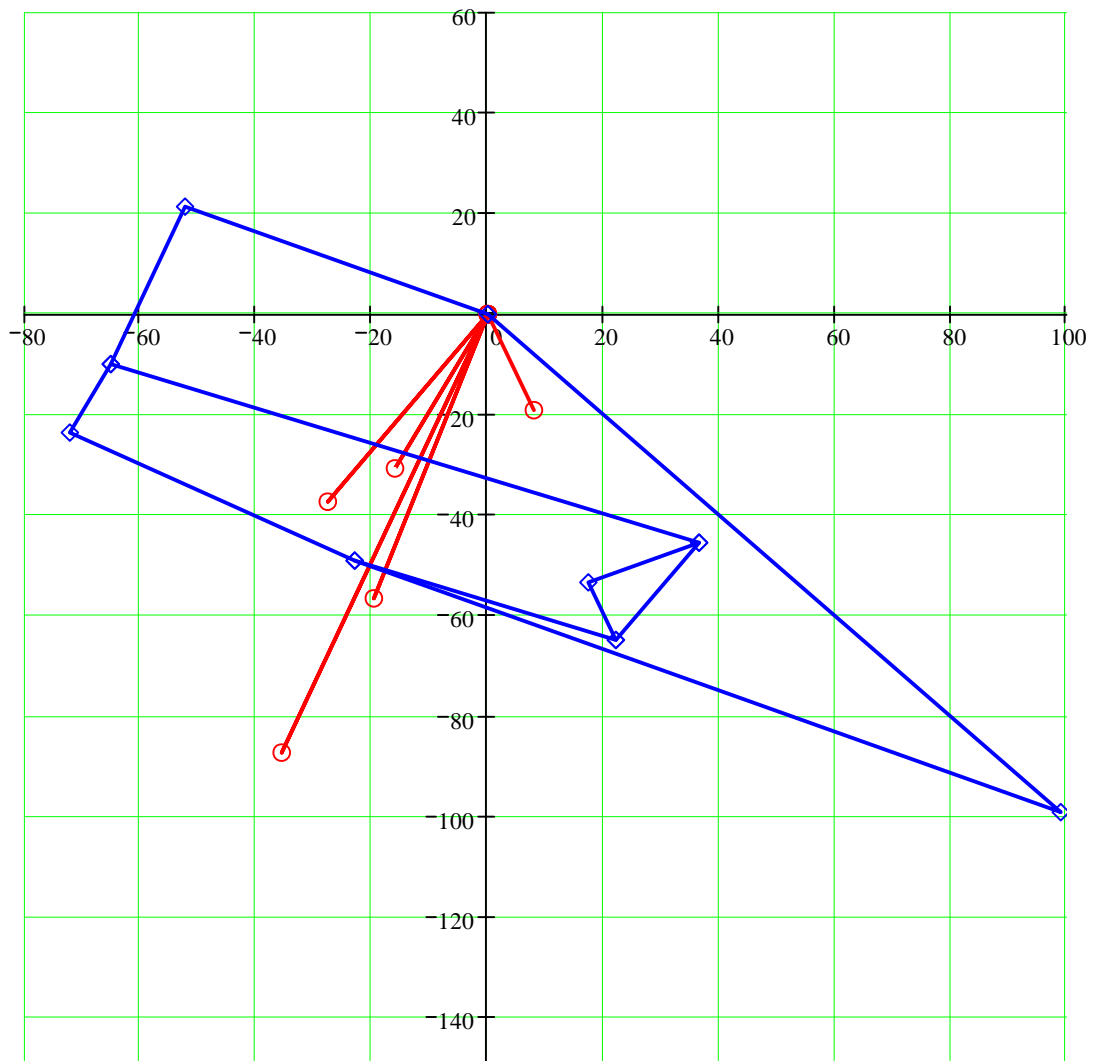
$$\phi_m = 17.365 - 53.337i$$

$$F(\phi_m) = (56.093 \quad -71.967)$$

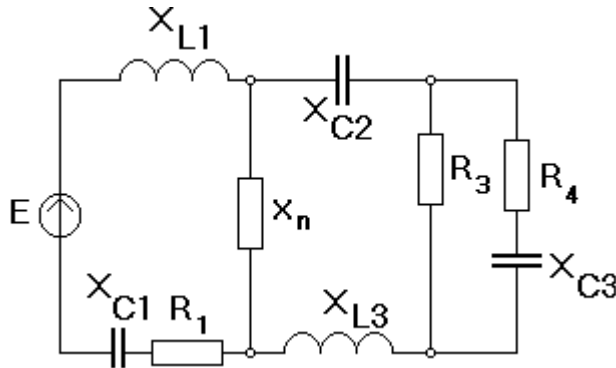
$$\phi_n := \phi_m + I_5 \cdot R_4$$

$$\phi_n = 22.129 - 64.811i$$

$$F(\phi_n) = (68.485 \quad -71.148)$$



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



$$Z_E := \frac{R_3 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_3 + R_4 + i \cdot (-X_{C3})} - i \cdot (X_{C2} + X_{L3}) \quad Z_E = 9.642 - 67.999i$$

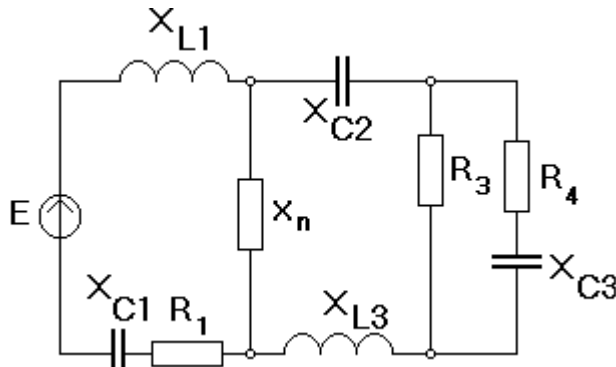
$$Z_E = R_E - j \cdot X_E \quad R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 9.642 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = -67.999$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = 0.014 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = 69.366$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



$$Z_1 := R_1 - X_{C1} \cdot i + X_{L1} \cdot i \quad Z_1 = 9 + 20i$$

$$Z_3 := -X_{C2} \cdot i + X_{L3} \cdot i \quad Z_3 = 25i$$

$$Z_4 := R_3 \quad Z_4 = 13$$

$$Z_5 := R_4 - X_{C3} \cdot i \quad Z_5 = 15 - 25i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 9.642 + 22.001i$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(558000 \cdot X_N + 26266 \cdot X_N^2 + 7317225 + 2053025 \cdot i \cdot X_N + 59180 \cdot i \cdot X_N^2 + 16260500 \cdot i)}{(813025 + 62000 \cdot X_N + 1409 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{l} -12.236161566372705556 \\ -22.455034783745577648 \end{array} \right) \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N_0} \\ X_{N_1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці $X_N = \begin{pmatrix} -12.236 \\ -22.455 \end{pmatrix}$ який носить ємнісний характер ($X_{N_0} = -12.236$). ($X_{N_1} = -22.455$)

$$X_n := X_{N_0} \quad X_n = -12.236 \quad Z_{VX}(X_n) = 16.666$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 5.94 - 5.94i \quad F(I_1) = (8.401 \quad -45)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 13.43 - 5.988i \quad F(I_2) = (14.705 \quad -24.029)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -7.49 + 0.048i \quad F(I_3) = (7.49 \quad 179.635)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -5.544 + 1.763i \quad F(I_4) = (5.818 \quad 162.359)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -1.946 - 1.715i \quad F(I_5) = (2.594 \quad -138.605)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.176 \times 10^3$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.176 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L3} - X_{C2}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = -1.705 \times 10^{-13}$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -22.455 \quad Z_{VX}(X_n) = 61.182$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 1.618 - 1.618i \quad F(I_1) = (2.288 \quad -45)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 5.201 + 2.319i \quad F(I_2) = (5.695 \quad 24.029)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -3.583 - 3.937i \quad F(I_3) = (5.323 \quad -132.306)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -3.566 - 2.093i \quad F(I_4) = (4.135 \quad -149.582)$$

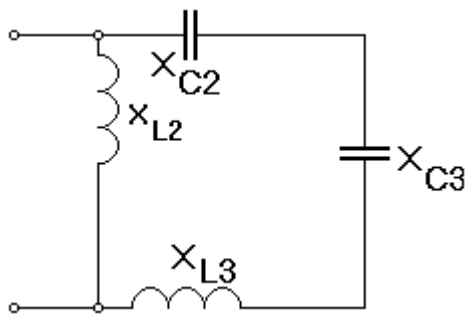
$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.018 - 1.844i \quad F(I_5) = (1.844 \quad -90.546)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 320.357$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 320.357$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L3} - X_{C2}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 2.558 \times 10^{-13}$$

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



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

$$C_2 := \frac{1}{X_{C2} \cdot \omega} \rightarrow \frac{1}{2400 \cdot \pi} \quad C_2 = 1.326 \times 10^{-4}$$

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

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

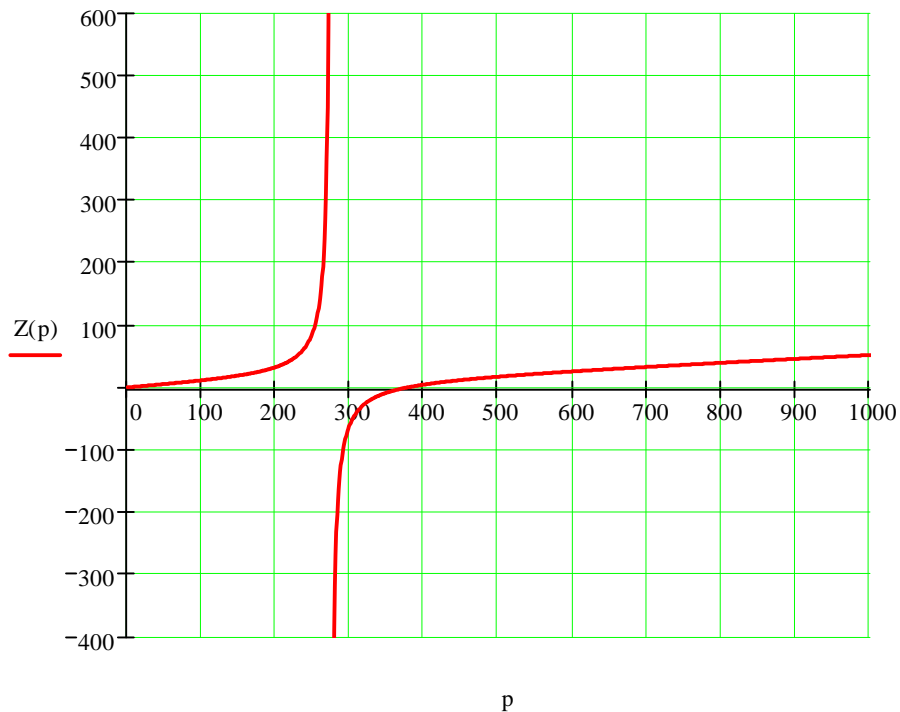
$$Z(p) := \frac{\left(\frac{-1}{C_2 \cdot p} - \frac{1}{C_3 \cdot p} + L_3 \cdot p \right) \cdot L_2 \cdot p}{L_2 \cdot p + \frac{-1}{C_2 \cdot p} - \frac{1}{C_3 \cdot p} + L_3 \cdot p} \rightarrow \frac{1}{3} \cdot \frac{\left(\frac{-5400}{p} \cdot \pi + \frac{3}{8} \cdot \frac{p}{\pi} \right)}{\pi} \cdot \frac{p}{\left(\frac{17}{24} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{5400}{p} \cdot \pi \right)}$$

Знаходимо нулі:

$$p' := Z(p) \text{ solve, } p \rightarrow \begin{pmatrix} 120 \cdot \pi \\ -120 \cdot \pi \\ 0 \end{pmatrix} \quad p' = \begin{pmatrix} 376.991 \\ -376.991 \\ 0 \end{pmatrix} \quad p' := \begin{pmatrix} p'_0 \\ p'_2 \end{pmatrix} \quad p' = \begin{pmatrix} 376.991 \\ 0 \end{pmatrix}$$

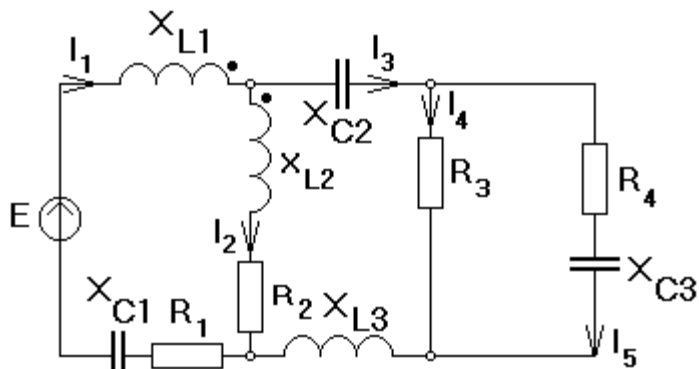
Знаходимо полюси:

$$p'' := \frac{1}{Z(p)} \text{ solve, } p \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{1}{\frac{360}{17} \cdot 17^2 \cdot \pi} \\ \frac{-360}{17} \cdot 17^2 \cdot \pi \end{pmatrix} \quad p'' = \begin{pmatrix} 274.301 \\ -274.301 \end{pmatrix} \quad p'' := p''_0 \quad p'' = 274.301$$



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;
- 3) Побудувати сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг



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

$$Z = 9.642 - 2.999i$$

$$Z_{11} := R_1 + R_2 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} + X_{L2} - 2 \cdot X_M) \rightarrow 20 + 14 \cdot i$$

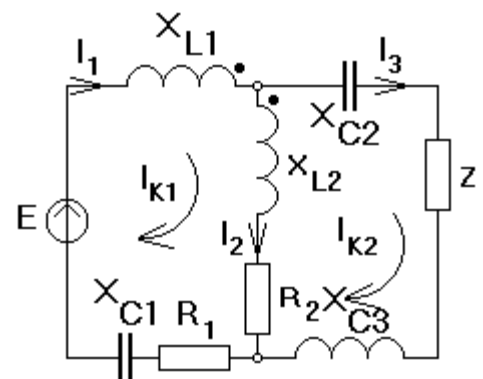
$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 11 + 17 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_{C2} + X_{L3}) + Z \rightarrow \frac{29084}{1409} + \frac{87360}{1409} \cdot i$$

Given

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

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



$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \text{ float, 15} \rightarrow \begin{pmatrix} 1.67983950319855 - 7.50094418694638 \cdot i \\ -7.76571466107052 \cdot 10^{-2} - 2.38054634869536 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 1.68 - 7.501i$$

$$I_{K2} = -0.078 - 2.381i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 1.68 - 7.501i$$

$$F(I_1) = (7.687 \quad -77.377)$$

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

$$I_2 = 1.757 - 5.12i$$

$$F(I_2) = (5.414 \quad -71.056)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = -0.078 - 2.381i$$

$$F(I_3) = (2.382 \quad -91.868)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{R_4 - i \cdot X_{C3}}{R_4 + R_3 + i \cdot (-X_{C3})}$$

$$I_4 = -0.607 - 1.748i$$

$$F(I_4) = (1.85 \quad -109.144)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 0.529 - 0.633i$$

$$F(I_5) = (0.825 \quad -50.108)$$

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

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} - X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] = -2.984 \times 10^{-13} + 2.984i \times 10^{-13}$$

$$I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] - I_4 \cdot R_3 - I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2} + i \cdot X_M + i \cdot X_{L3}) = 2.842 \times 10^{-14} - 4.441i \times 10^{-15}$$

$$I_4 \cdot R_3 - I_5 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = -7.105 \times 10^{-15}$$

$$S_{M1} := -I_1 \cdot \overline{I_2} \cdot i \cdot X_M$$

$$S_{M1} = -105.373 - 951.283i$$

$$F(S_{M1}) = (957.101 \quad -96.321)$$

$$S_{M2} := -I_1 \cdot I_2 \cdot i \cdot X_M$$

$$S_{M2} = 105.373 - 951.283i$$

$$F(S_{M2}) = (957.101 \quad -83.679)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 908.851 + 576.26i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 908.851$$

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

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

$$Q = 576.26i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot (-i \cdot X_{C1})$$

$$\phi_b = -112.514 - 25.198i$$

$$F(\phi_b) = (115.301 \quad -167.377)$$

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

$$\phi_c = -97.396 - 92.706i$$

$$F(\phi_c) = (134.463 \quad -136.413)$$

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

$$\phi_d = -78.063 - 149.03i$$

$$F(\phi_d) = (168.238 \quad -117.646)$$

$$\phi_{d'} := \phi_d + I_2 \cdot i \cdot X_{L2}$$

$$\phi_{d'} = 126.753 - 78.731i$$

$$F(\phi_{d'}) = (149.214 \quad -31.846)$$

$$\phi_e := \phi_{d'} - I_1 \cdot i \cdot X_M$$

$$\phi_e = -45.769 - 117.367i$$

$$F(\phi_e) = (125.975 \quad -111.304)$$

$$\phi_{e'} := \phi_e - I_2 \cdot i \cdot X_M$$

$$\phi_{e'} = -163.538 - 157.789i$$

$$F(\phi_{e'}) = (227.249 \quad -136.025)$$

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

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

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

$$\phi_{1'} = 3.411 \times 10^{-13} - 2.7i \times 10^{-13}$$

$$\phi_f := \phi_c + I_3 \cdot i \cdot X_{L3}$$

$$\phi_f = 9.729 - 96.201i$$

$$F(\phi_f) = (96.691 \quad -84.225)$$

$$\phi_n := \phi_f + I_4 \cdot R_3$$

$$\phi_n = 1.842 - 118.92i$$

$$F(\phi_n) = (118.934 \quad -89.113)$$

$$\phi_e := \phi_n + I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2})$$

$$\phi_e = -45.769 - 117.367i$$

$$F(\phi_e) = (125.975 \quad -111.304)$$

$$\phi_m := \phi_f + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3})$$

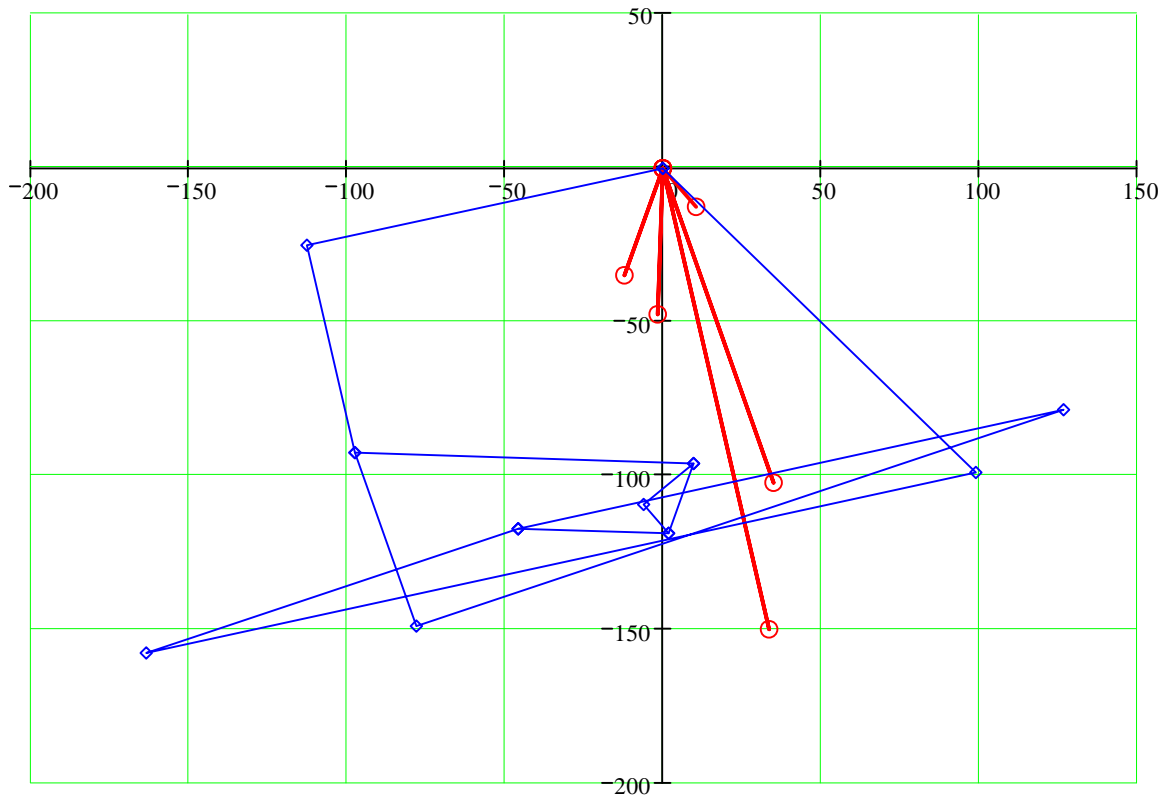
$$\phi_m = -6.094 - 109.427i$$

$$F(\phi_m) = (109.596 \quad -93.187)$$

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

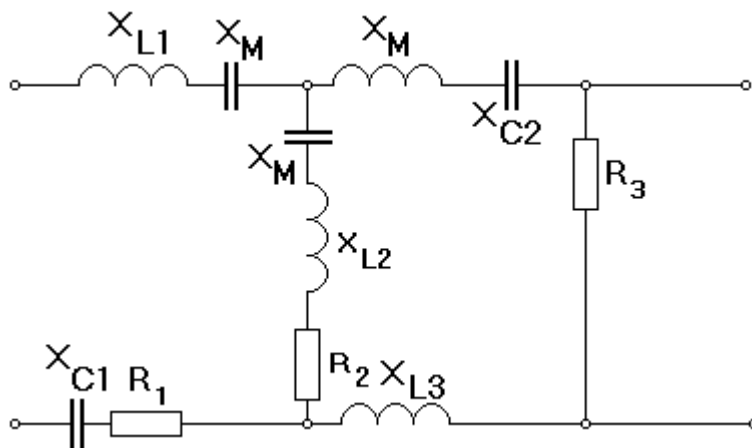
$$\phi_n = 1.842 - 118.92i$$

$$F(\phi_n) = (118.934 \quad -89.113)$$



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":

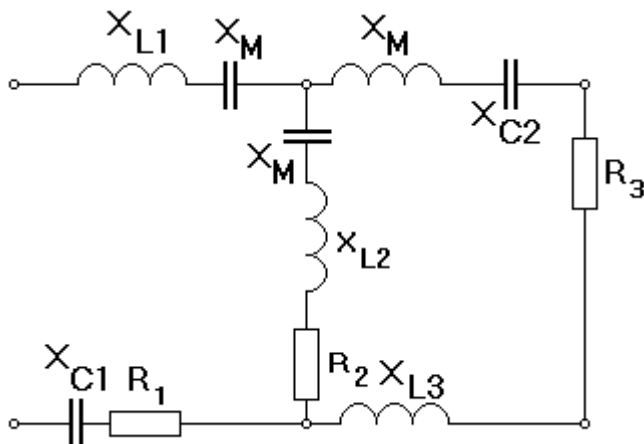
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполіусника A, B, C, D



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_M - X_{C1}) \rightarrow 9 - 3 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 11 + 17 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L3} - X_{C2} + X_M) \rightarrow 13 + 48 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 15.776 + 9.856i \quad Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 20.852 + 48.503i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 1.694 - 7.333i \quad F(I_{10}) = (7.526 \quad -76.994)$$

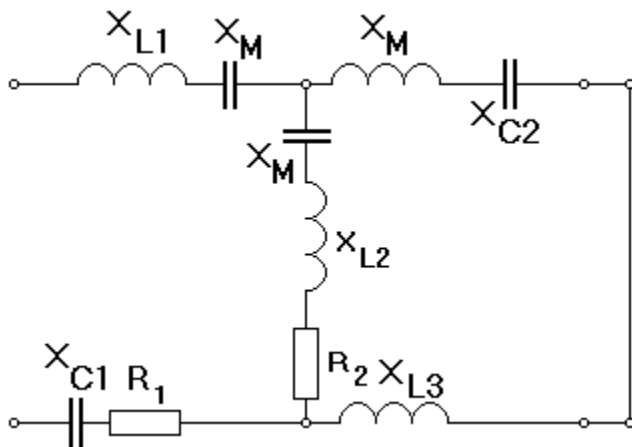
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = 0.014 - 2.199i \quad F(I_{30}) = (2.199 \quad -89.634)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot R_3 \quad U_{20} = 0.183 - 28.591i \quad F(U_{20}) = (28.592 \quad -89.634)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 3.484 + 3.44i \quad F(A) = (4.897 \quad 44.634)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.257 + 0.058i \quad F(C) = (0.263 \quad 12.64)$$

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_M - X_{C1}) \rightarrow 9 - 3 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 11 + 17 \cdot i$$

$$Z_3 := i \cdot (X_{L3} - X_{C2} + X_M) \rightarrow 48 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 14.832 + 10.541i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.283 - 7.586i \quad F(I_{1K}) = (7.694 \quad -80.401)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = -0.56 - 2.296i \quad F(I_{3K}) = (2.363 \quad -103.701)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = 30.776 + 50.62i \quad F(B) = (59.241 \quad 58.701)$$

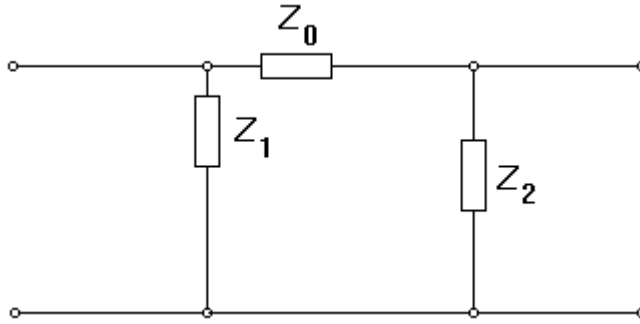
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = 2.99 + 1.288i \quad F(D) = (3.256 \quad 23.3)$$

$$\text{Перевірка} \quad A \cdot D - B \cdot C = 1$$

$$F(A) = (4.897 \quad 44.634) \quad F(B) = (59.241 \quad 58.701)$$

$$F(C) = (0.263 \quad 12.64) \quad F(D) = (3.256 \quad 23.3)$$

Розрахувати параметри R, L, C віток схеми "П" заміщення;



$$Z_0 := B \quad Z_0 = 30.776 + 50.62i \quad F(Z_0) = (59.241 \quad 58.701)$$

$$Y_1 := \frac{D - 1}{B} \quad Y_1 = 0.036 - 0.017i \quad F(Y_1) = (0.04 \quad -25.796)$$

$$Y_2 := \frac{A - 1}{B} \quad Y_2 = 0.071 - 5.667i \times 10^{-3} \quad F(Y_2) = (0.072 \quad -4.538)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0) \quad R_0 = 30.776 \quad X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0) \quad X_{L0} = 50.62$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1} \quad Z_1 = 22.5 + 10.875i \quad R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 22.5 \quad X_{L1} := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_{L1} = 10.875$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2} \quad Z_2 = 13.917 + 1.104i \quad R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 13.917 \quad X_{L2} := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{L2} = 1.104$$

$$L_1 := \frac{X_{L1}}{\omega} \quad L_1 = 0.029$$

$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \quad L_2 = 2.93 \times 10^{-3}$$

$$L_0 := \frac{X_{L0}}{\omega} \quad L_0 = 0.134$$

