

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 683

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.

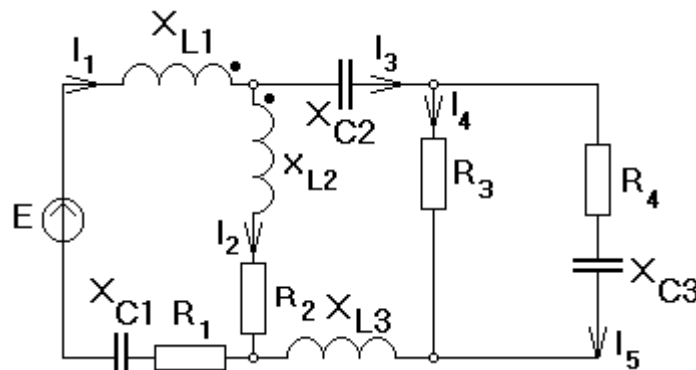
$$E := 200 \quad \psi := 35 \quad R_1 := 14 \quad R_2 := 12 \quad R_3 := 10 \quad R_4 := 8 \quad X_{L1} := 60 \quad X_{L2} := 50 \quad X_{L3} := 43$$

$$X_{C1} := 20 \quad X_{C2} := 15 \quad X_{C3} := 13 \quad X_M := 32 \quad f := 100$$

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

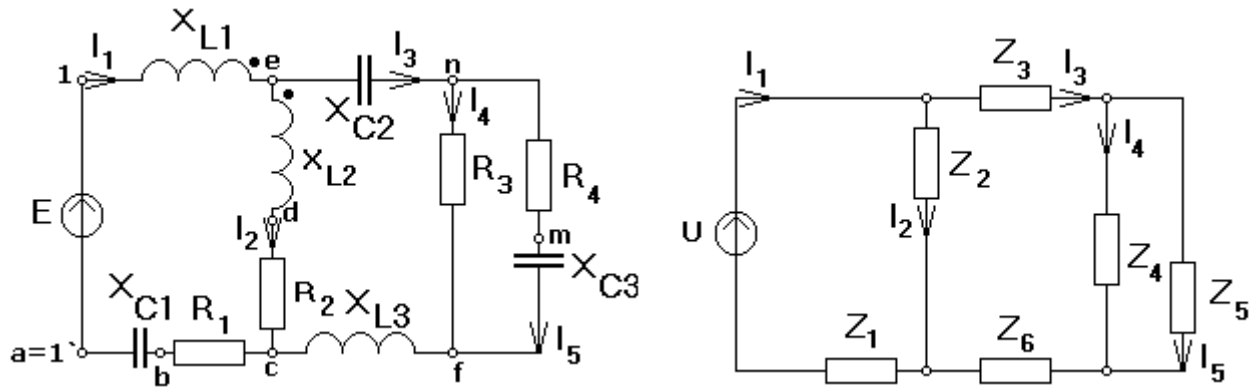
$$U = 163.83 + 114.715i$$

$$F(U) = (200 \quad 35)$$



Для електричного кола без взаємної індукції:

Розрахувати всі струми символьним методом



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1}) \rightarrow 14 + 40 \cdot i$$

$$Z_4 := R_3 \rightarrow 10$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2}) \rightarrow 12 + 50 \cdot i$$

$$Z_5 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 8 - 13 \cdot i$$

$$Z_3 := -i \cdot X_{C2} \rightarrow -15 \cdot i$$

$$Z_6 := i \cdot X_{L3} \rightarrow 43 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 18.154 + 56.828i$$

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

$$I_1 = 2.667 - 2.031i$$

$$F(I_1) = (3.353 \quad -37.284)$$

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

$$I_2 = 0.895 - 0.69i$$

$$F(I_2) = (1.13 \quad -37.654)$$

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

$$I_3 = 1.773 - 1.34i$$

$$F(I_3) = (2.222 \quad -37.096)$$

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

$$I_4 = 0.772 - 1.319i$$

$$F(I_4) = (1.528 \quad -59.651)$$

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

$$I_5 = 1.001 - 0.022i$$

$$F(I_5) = (1.001 \quad -1.258)$$

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:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1})] + U - I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) = -2.132 \times 10^{-14}$$

$$I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) - I_4 \cdot R_3 - I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2} + i \cdot X_{L3}) = 7.105i \times 10^{-15}$$

$$I_4 \cdot R_3 - I_5 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = -1.776i \times 10^{-15}$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 204.035 + 638.704i$$

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

$$P = 204.035$$

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

$$Q = 638.704$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -40.617 - 53.348i$$

$$F(\phi_b) = (67.05 \quad -127.284)$$

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

$$\phi_c = -3.273 - 81.78i$$

$$F(\phi_c) = (81.845 \quad -92.292)$$

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

$$\phi_d = 7.463 - 90.064i$$

$$F(\phi_d) = (90.373 \quad -85.263)$$

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

$$\phi_e = 41.981 - 45.329i$$

$$F(\phi_e) = (61.783 \quad -47.196)$$

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

$$\phi_1 = 163.83 + 114.715i$$

$$F(\phi_1) = (200 \quad 35)$$

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

$$\phi_{1'} = 2.842 \times 10^{-14}$$

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

$$\phi_f = 54.368 - 5.553i$$

$$F(\phi_f) = (54.651 \quad -5.832)$$

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

$$\phi_n = 62.088 - 18.738i$$

$$F(\phi_n) = (64.854 \quad -16.794)$$

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

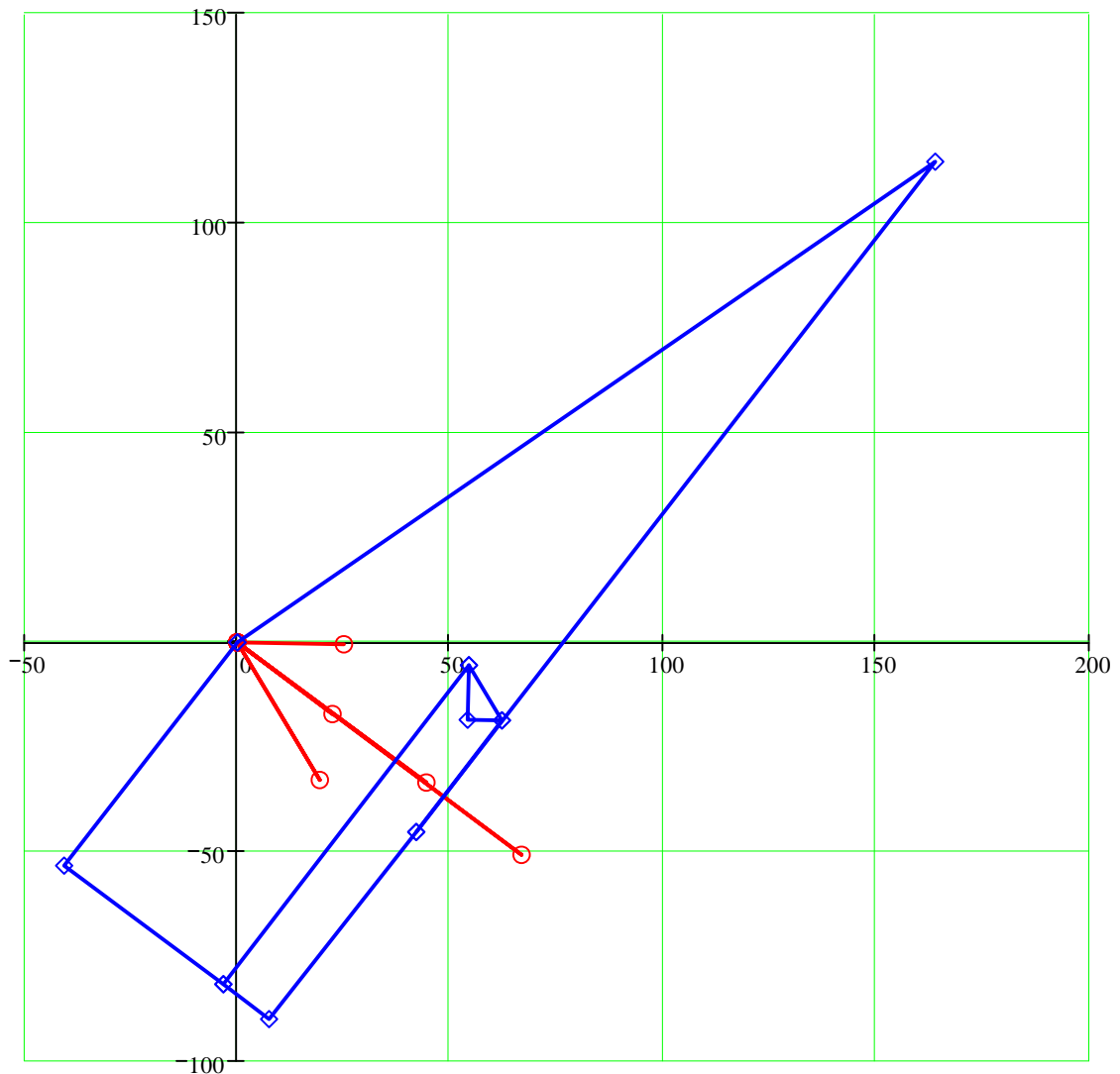
$$\phi_m = 54.082 - 18.563i$$

$$F(\phi_m) = (57.179 \quad -18.944)$$

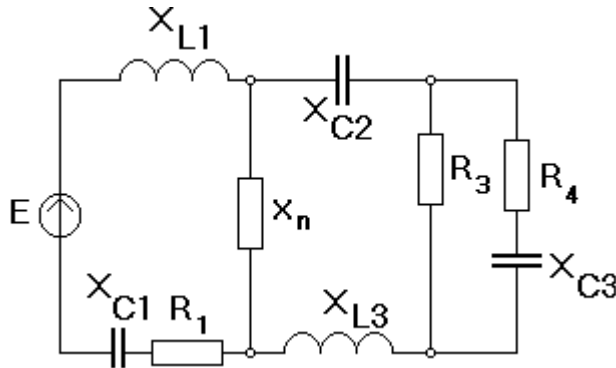
$$\phi_n := \phi_m + I_5 \cdot R_4$$

$$\phi_n = 62.088 - 18.738i$$

$$F(\phi_n) = (64.854 \quad -16.794)$$



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



$$Z_E := \frac{R_3 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_3 + R_4 + i \cdot (-X_{C3})} - i \cdot (X_{C2} + X_{L3}) \quad Z_E = 6.349 - 60.637i$$

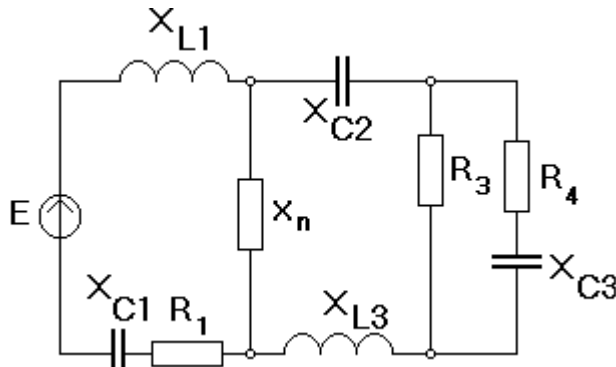
$$Z_E = R_E - j \cdot X_E \quad R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 6.349 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = -60.637$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = 0.016 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = 61.302$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



$$Z_1 := R_1 - X_{C1} \cdot i + X_{L1} \cdot i \quad Z_1 = 14 + 40i$$

$$Z_3 := -X_{C2} \cdot i + X_{L3} \cdot i \quad Z_3 = 28i$$

$$Z_4 := R_3 \quad Z_4 = 10$$

$$Z_5 := R_4 - X_{C3} \cdot i \quad Z_5 = 8 - 13i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 6.349 + 25.363i$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow 4 \cdot \frac{(87528 \cdot X_N + 2508 \cdot X_N^2 + 1179542 + 334333 \cdot i \cdot X_N + 8056 \cdot i \cdot X_N^2 + 3370120 \cdot i)}{(337012 + 25008 \cdot X_N + 493 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{l} -17.250695978834026797 \\ -24.250421200907780551 \end{array} \right) \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці $X_N = \begin{pmatrix} -17.251 \\ -24.25 \end{pmatrix}$ який носить ємнісний характер ($X_{N0} = -17.251$). ($X_{N1} = -24.25$)

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = -17.251 \quad Z_{VX}(X_n) = 31.804$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 5.151 + 3.607i \quad F(I_1) = (6.289 \quad 35)$$

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

$$I_2 = 8.222 + 13.68i$$

$$F(I_2) = (15.961 \quad 58.994)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = -3.071 - 10.073i$$

$$F(I_3) = (10.531 \quad -106.953)$$

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

$$I_4 = -4.606 - 5.586i$$

$$F(I_4) = (7.24 \quad -129.508)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 1.535 - 4.487i$$

$$F(I_5) = (4.743 \quad -71.115)$$

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

$$S_1 = 1.258 \times 10^3$$

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

$$P = 1.258 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L3} - X_{C2}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 1.251 \times 10^{-12}$$

$$\text{При } X_n := X_{N1} \quad X_n = -24.25 \quad Z_{VX}(X_n) = 103.868$$

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

$$I_1 = 1.577 + 1.104i$$

$$F(I_1) = (1.926 \quad 35)$$

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

$$I_2 = -1.491 + 7.667i$$

$$F(I_2) = (7.811 \quad 101.006)$$

$$I_3 := I_1 - I_2$$

$$I_3 = 3.068 - 6.562i$$

$$F(I_3) = (7.244 \quad -64.94)$$

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

$$I_4 = 0.218 - 4.976i$$

$$F(I_4) = (4.98 \quad -87.495)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 2.851 - 1.587i$$

$$F(I_5) = (3.263 \quad -29.103)$$

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

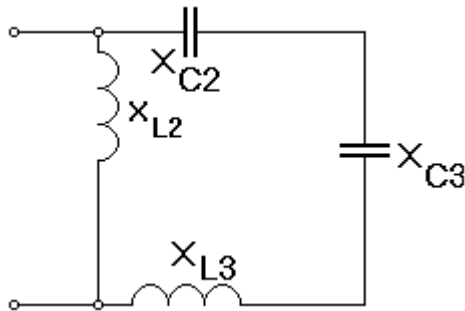
$$S_1 = 385.106$$

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

$$P = 385.106$$

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

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



$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{43}{200 \cdot \pi}$$

$$L_3 = 0.068$$

$$C_2 := \frac{1}{X_{C2} \cdot \omega} \rightarrow \frac{1}{3000 \cdot \pi}$$

$$C_2 = 1.061 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{2600 \cdot \pi}$$

$$C_3 = 1.224 \times 10^{-4}$$

$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{4 \cdot \pi}$$

$$L_2 = 0.08$$

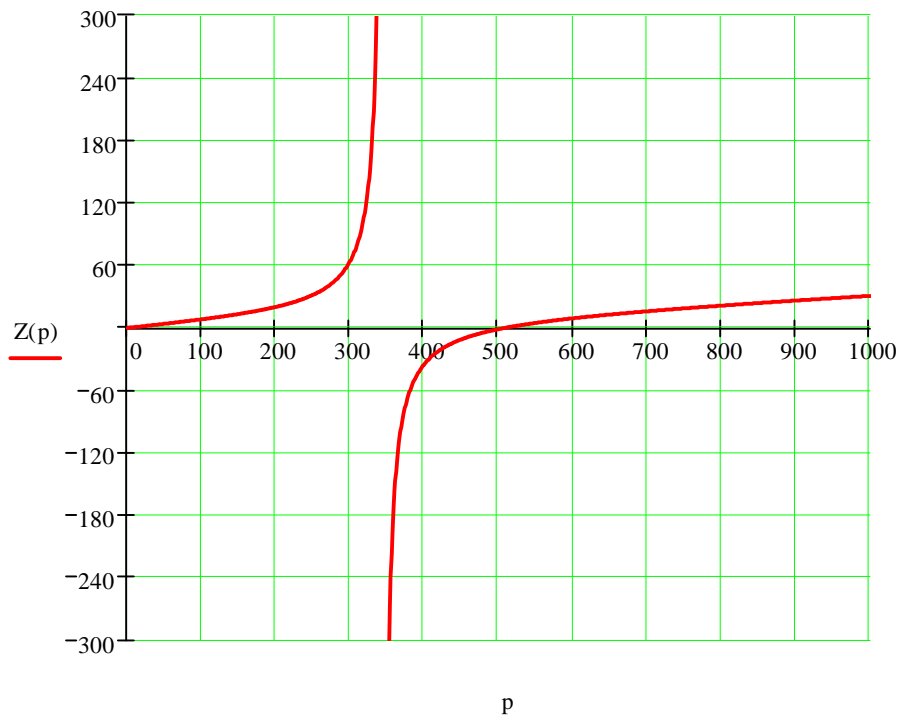
$$Z(p) := \frac{\left(\frac{-1}{C_2 \cdot p} - \frac{1}{C_3 \cdot p} + L_3 \cdot p \right) \cdot L_2 \cdot p}{L_2 \cdot p + \frac{-1}{C_2 \cdot p} - \frac{1}{C_3 \cdot p} + L_3 \cdot p} \rightarrow \frac{1}{4} \cdot \frac{\left(\frac{-5600}{p} \cdot \pi + \frac{43}{200} \cdot \frac{p}{\pi} \right)}{\pi} \cdot \frac{p}{\left(\frac{93}{200} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{5600}{p} \cdot \pi \right)}$$

Знаходимо нулі:

$$p' := Z(p) \text{ solve, } p \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{400}{43} \cdot 301^{\frac{1}{2}} \cdot \pi \\ \frac{1}{43} \cdot 301^{\frac{1}{2}} \cdot \pi \\ 0 \end{pmatrix} \quad p' = \begin{pmatrix} 507.019 \\ -507.019 \\ 0 \end{pmatrix} \quad p' := \begin{pmatrix} p'_0 \\ p'_2 \end{pmatrix} \quad p' = \begin{pmatrix} 507.019 \\ 0 \end{pmatrix}$$

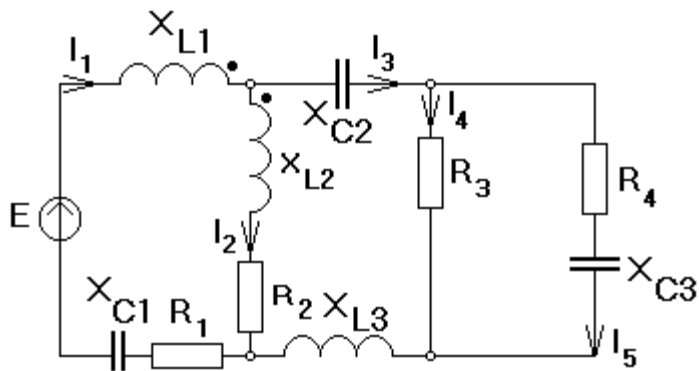
Знаходимо полюси:

$$p'' := \frac{1}{Z(p)} \text{ solve, } p \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{400}{93} \cdot 651^{\frac{1}{2}} \cdot \pi \\ \frac{-400}{93} \cdot 651^{\frac{1}{2}} \cdot \pi \end{pmatrix} \quad p'' = \begin{pmatrix} 344.76 \\ -344.76 \end{pmatrix} \quad p'' := p''_0 \quad p'' = 344.76$$



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



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

$$Z = 6.349 - 2.637i$$

$$Z_{11} := R_1 + R_2 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} + X_{L2} - 2 \cdot X_M) \rightarrow 26 + 26 \cdot i$$

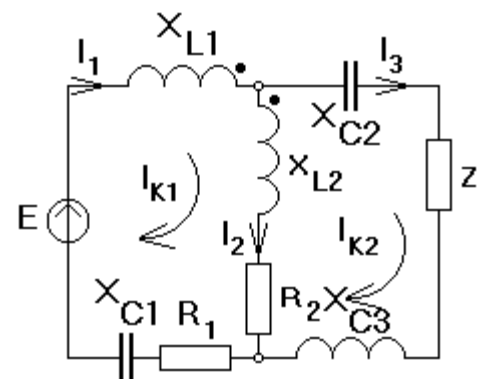
$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 12 + 18 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_{C2} + X_{L3}) + Z \rightarrow \frac{9046}{493} + \frac{37154}{493} \cdot i$$

Given

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

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



$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \text{ float}, 15 \rightarrow \begin{pmatrix} 6.35480650795988 - 1.31558836887496 \cdot i \\ 1.53990857586938 - .951164168304155 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 6.355 - 1.316i$$

$$I_{K2} = 1.54 - 0.951i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 6.355 - 1.316i$$

$$F(I_1) = (6.49 \quad -11.696)$$

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

$$I_2 = 4.815 - 0.364i$$

$$F(I_2) = (4.829 \quad -4.328)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = 1.54 - 0.951i$$

$$F(I_3) = (1.81 \quad -31.703)$$

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

$$I_4 = 0.727 - 1.01i$$

$$F(I_4) = (1.244 \quad -54.257)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 0.813 + 0.059i$$

$$F(I_5) = (0.815 \quad 4.135)$$

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:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} - X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] = -1.421 \times 10^{-13} + 2.842i \times 10^{-13}$$

$$I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] - I_4 \cdot R_3 - I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2} + i \cdot X_M + i \cdot X_{L3}) = 1.208 \times 10^{-13} + 3.126i \times 10^{-13}$$

$$I_4 \cdot R_3 - I_5 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = 1.776 \times 10^{-15} - 1.776i \times 10^{-15}$$

$$S_{M1} := -I_1 \cdot \overline{I_2} \cdot i \cdot X_M \quad S_{M1} = -128.595 - 994.47i \quad F(S_{M1}) = (1.003 \times 10^3 \quad -97.368)$$

$$S_{M2} := -I_1 \cdot I_2 \cdot i \cdot X_M \quad S_{M2} = 128.595 - 994.47i \quad F(S_{M2}) = (1.003 \times 10^5 \quad -82.632)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 890.192 + 944.527i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 890.192$$

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

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

$$Q = 944.527i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -26.312 - 127.096i$$

$$F(\phi_b) = (129.791 \quad -101.696)$$

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

$$\phi_c = 62.656 - 145.514i$$

$$F(\phi_c) = (158.43 \quad -66.704)$$

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

$$\phi_d = 120.434 - 149.887i$$

$$F(\phi_d) = (192.278 \quad -51.218)$$

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

$$\phi_{d'} = 138.656 + 90.857i$$

$$F(\phi_{d'}) = (165.772 \quad 33.236)$$

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

$$\phi_e = 96.557 - 112.496i$$

$$F(\phi_e) = (148.252 \quad -49.36)$$

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

$$\phi_{e'} = 84.895 - 266.573i$$

$$F(\phi_{e'}) = (279.765 \quad -72.335)$$

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

$$\phi_1 = 163.83 + 114.715i$$

$$F(\phi_1) = (200 \quad 35)$$

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

$$\phi_{1'} = 1.421 \times 10^{-13} - 2.274i \times 10^{-13}$$

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

$$\phi_f = 103.556 - 79.298i$$

$$F(\phi_f) = (130.43 \quad -37.443)$$

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

$$\phi_n = 110.824 - 89.398i$$

$$F(\phi_n) = (142.387 \quad -38.892)$$

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

$$\phi_e = 96.557 - 112.496i$$

$$F(\phi_e) = (148.252 \quad -49.36)$$

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

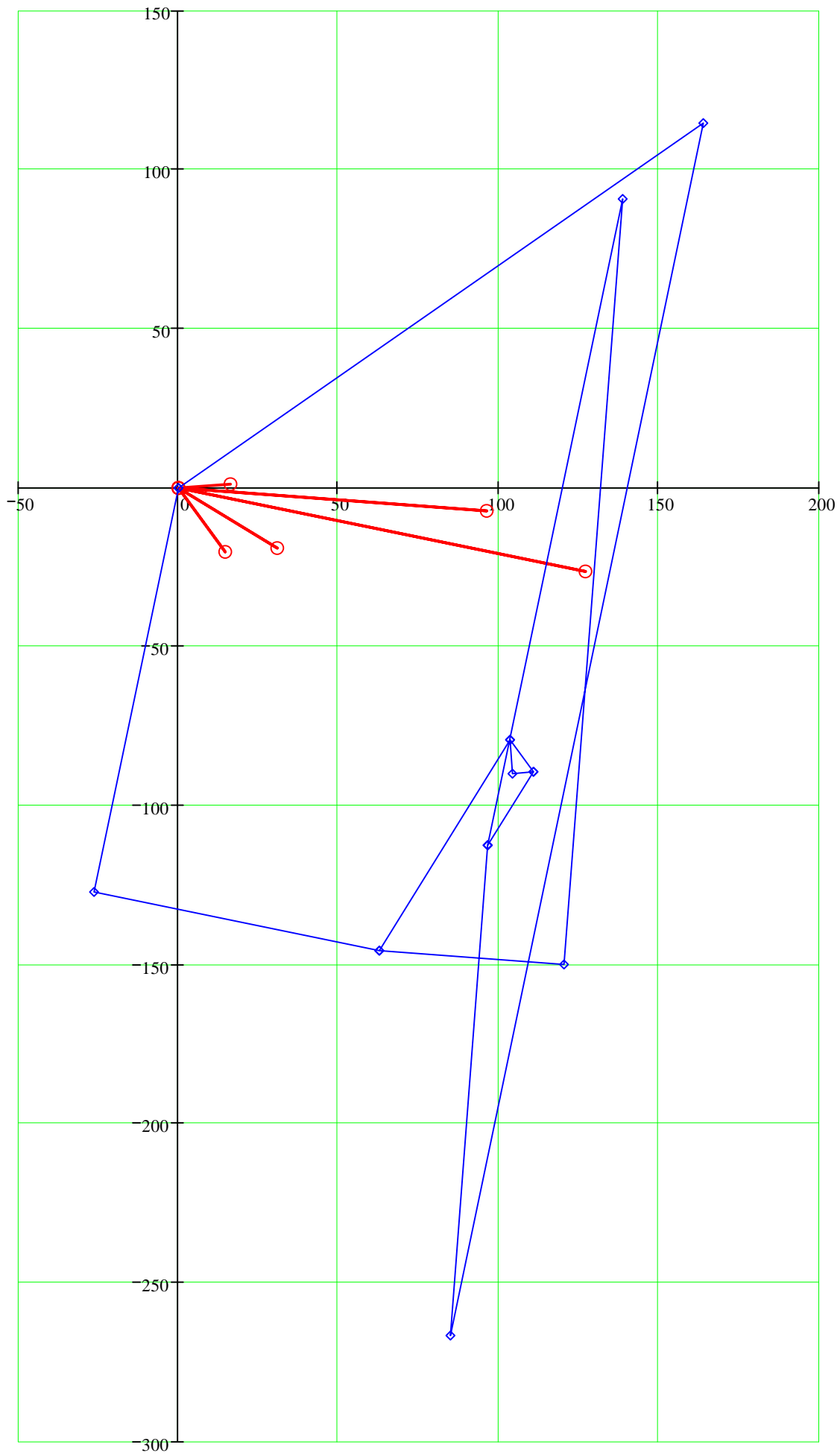
$$\phi_m = 104.32 - 89.868i$$

$$F(\phi_m) = (137.691 \quad -40.744)$$

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

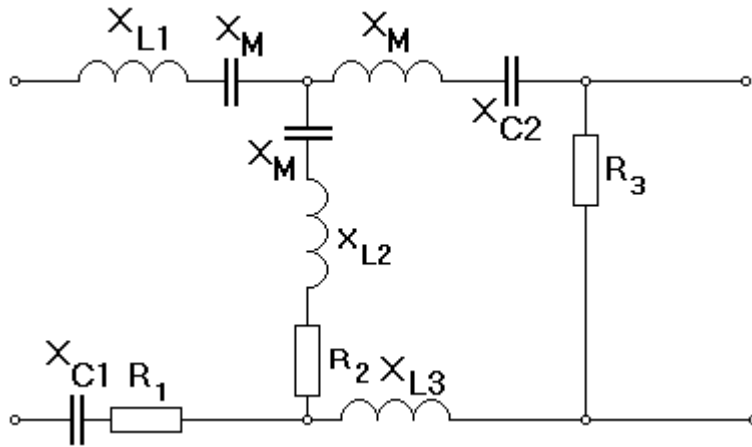
$$\phi_n = 110.824 - 89.398i$$

$$F(\phi_n) = (142.387 \quad -38.892)$$



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

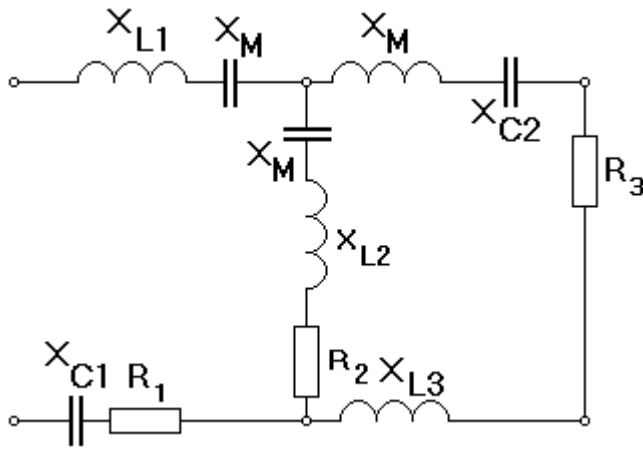
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника A, B, C, D



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_M - X_{C1}) \rightarrow 14 + 8 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 12 + 18 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L3} - X_{C2} + X_M) \rightarrow 10 + 60 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 21.473 + 22.415i \quad Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 17.154 + 66.231i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 6.32 - 1.255i \quad F(I_{10}) = (6.443 \quad -11.231)$$

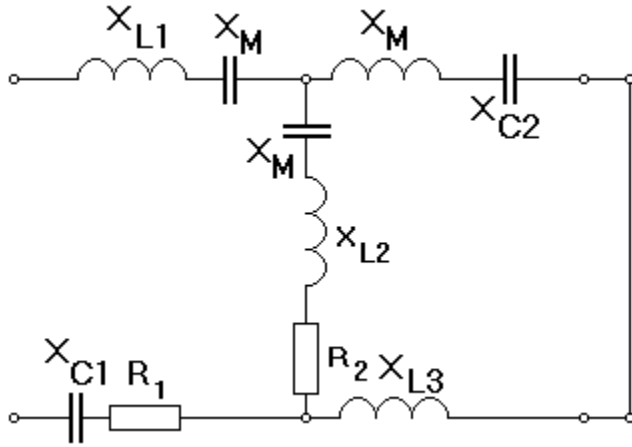
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = 1.502 - 0.838i \quad F(I_{30}) = (1.72 \quad -29.169)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot R_3 \quad U_{20} = 15.018 - 8.383i \quad F(U_{20}) = (17.199 \quad -29.169)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 5.067 + 10.467i \quad F(A) = (11.629 \quad 64.169)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.356 + 0.115i \quad F(C) = (0.375 \quad 17.939)$$

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_M - X_{C1}) \rightarrow 14 + 8 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 12 + 18 \cdot i$$

$$Z_3 := i \cdot (X_{L3} - X_{C2} + X_M) \rightarrow 60 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 20.936 + 22.913i$$

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

$$I_{1K} = 6.289 - 1.404i$$

$$F(I_{1K}) = (6.444 \quad -12.581)$$

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

$$I_{3K} = 1.401 - 1.076i$$

$$F(I_{3K}) = (1.766 \quad -37.525)$$

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

$$B = 34 + 108i$$

$$F(B) = (113.225 \quad 72.525)$$

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

$$D = 3.308 + 1.538i$$

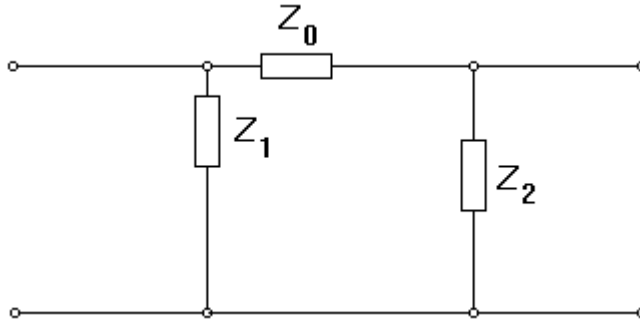
$$F(D) = (3.648 \quad 24.944)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (11.629 \quad 64.169) \quad F(B) = (113.225 \quad 72.525)$$

$$F(C) = (0.375 \quad 17.939) \quad F(D) = (3.648 \quad 24.944)$$

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



$$Z_0 := B \quad Z_0 = 34 + 108i \quad F(Z_0) = (113.225 \quad 72.525)$$

$$Y_1 := \frac{D - 1}{B} \quad Y_1 = 0.019 - 0.015i \quad F(Y_1) = (0.024 \quad -38.835)$$

$$Y_2 := \frac{A - 1}{B} \quad Y_2 = 0.099 - 6.5i \times 10^{-3} \quad F(Y_2) = (0.099 \quad -3.758)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0) \quad R_0 = 34 \quad X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0) \quad X_{L0} = 108$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1} \quad Z_1 = 31.8 + 25.6i \quad R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 31.8 \quad X_{L1} := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_{L1} = 25.6$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2} \quad Z_2 = 10.062 + 0.661i \quad R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 10.062 \quad X_{L2} := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{L2} = 0.661$$

$$L_1 := \frac{X_{L1}}{\omega} \quad L_1 = 0.041$$

$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \quad L_2 = 1.052 \times 10^{-3}$$

$$L_0 := \frac{X_{L0}}{\omega} \quad L_0 = 0.172$$

