

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 313

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" :

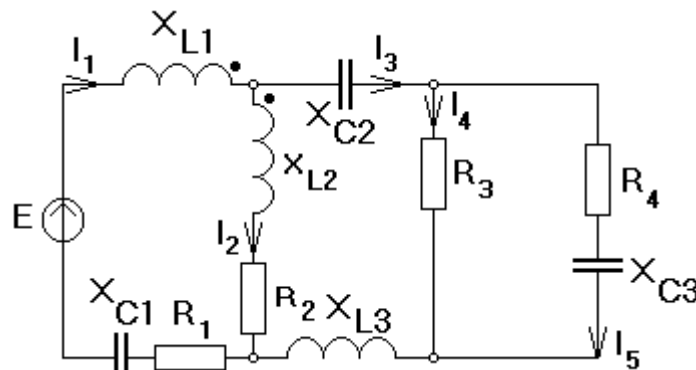
3.1 Розрахувати коефіцієнти чотирьохполосника **A,B,C,D**;

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

$$E := 140 \quad \psi := -45 \quad R_1 := 9 \quad R_2 := 11 \quad R_3 := 13 \quad R_4 := 15 \quad X_{L1} := 30 \quad X_{L2} := 35 \quad X_{L3} := 40$$

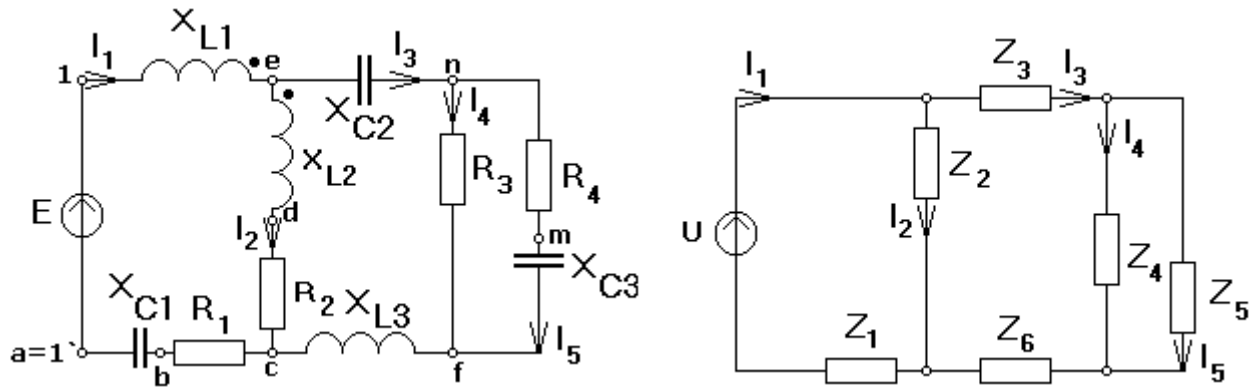
$$X_{C1} := 10 \quad X_{C2} := 15 \quad X_{C3} := 20 \quad X_M := 20 \quad f := 50$$

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



Для електричного кола без взаємної індукції:

Розрахувати всі струми символьним методом



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

$$Z_4 := R_3 \rightarrow 13$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2}) \rightarrow 11 + 35 \cdot i$$

$$Z_5 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 15 - 20 \cdot i$$

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

$$Z_6 := i \cdot X_{L3} \rightarrow 40 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 14.021 + 33.588i$$

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

$$I_1 = -1.462 - 3.558i$$

$$F(I_1) = (3.846 \quad -112.343)$$

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

$$I_2 = -0.646 - 1.374i$$

$$F(I_2) = (1.519 \quad -115.175)$$

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

$$I_3 = -0.816 - 2.183i$$

$$F(I_3) = (2.331 \quad -110.497)$$

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

$$I_4 = -1.045 - 1.333i$$

$$F(I_4) = (1.693 \quad -128.09)$$

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

$$I_5 = 0.229 - 0.85i$$

$$F(I_5) = (0.881 \quad -74.96)$$

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:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1})] + U - I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) = -1.421 \times 10^{-14} + 1.421i \times 10^{-14}$$

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

$$I_4 \cdot R_3 - I_5 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = 1.776 \times 10^{-15} - 3.553i \times 10^{-15}$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 207.445 + 496.95i$$

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

$$P = 207.445$$

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

$$Q = 496.95$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot (-i \cdot X_{C1}) \quad \phi_b = -35.577 + 14.622i$$

$$F(\phi_b) = (38.465 \quad 157.657)$$

$$\phi_c := \phi_b + I_1 \cdot R_1 \quad \phi_c = -48.737 - 17.397i$$

$$F(\phi_c) = (51.749 \quad -160.355)$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot R_2 \quad \phi_d = -55.844 - 32.517i$$

$$F(\phi_d) = (64.621 \quad -149.789)$$

$$\phi_e := \phi_d + I_2 \cdot i \cdot X_{L2} \quad \phi_e = -7.737 - 55.128i$$

$$F(\phi_e) = (55.669 \quad -97.989)$$

$$\phi_1 := \phi_e + I_1 \cdot i \cdot X_{L1} \quad \phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

$$\phi_{1'} := \phi_1 - U \quad \phi_{1'} = -1.421i \times 10^{-14}$$

$$\phi_f := \phi_c + I_3 \cdot i \cdot X_{L3} \quad \phi_f = 38.593 - 50.044i$$

$$F(\phi_f) = (63.197 \quad -52.362)$$

$$\phi_n := \phi_f + I_4 \cdot R_3 \quad \phi_n = 22.129 - 64.811i$$

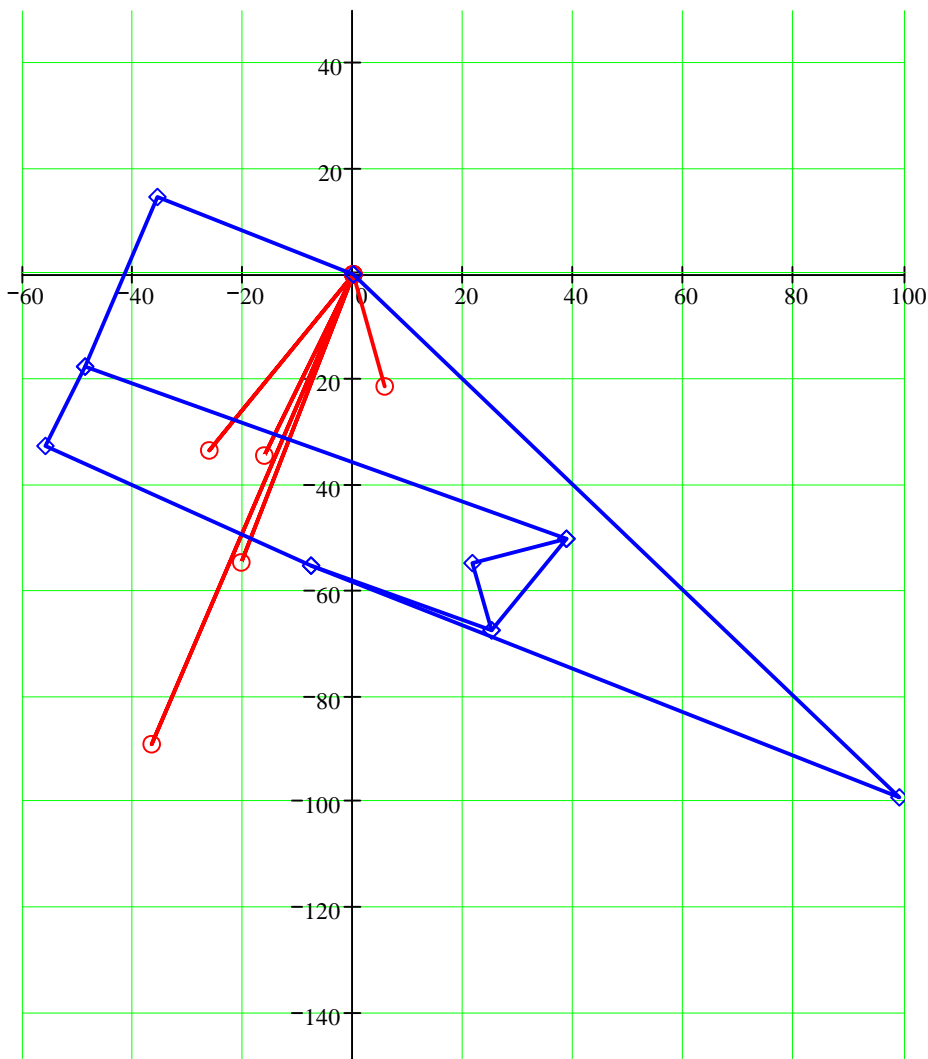
$$F(\phi_n) = (68.485 \quad -71.148)$$

$$\phi_m := \phi_f + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3}) \quad \phi_m = 21.584 - 54.614i$$

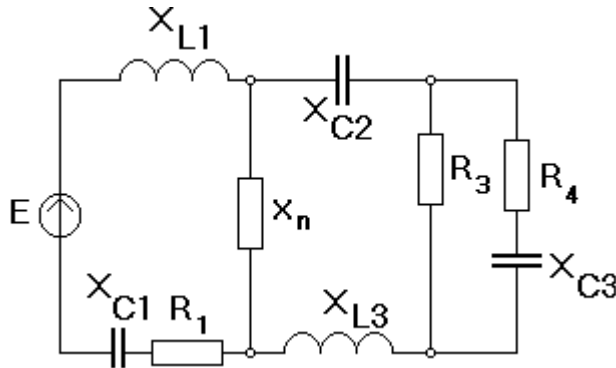
$$F(\phi_m) = (58.725 \quad -68.436)$$

$$\phi_n := \phi_m + I_5 \cdot R_4 \quad \phi_n = 25.012 - 67.371i$$

$$F(\phi_n) = (71.864 \quad -69.632)$$



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



$$Z_E := \frac{R_3 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_3 + R_4 + i \cdot (-X_{C3})} - i \cdot (X_{C2} + X_{L3}) \quad Z_E = 9.003 - 57.855i$$

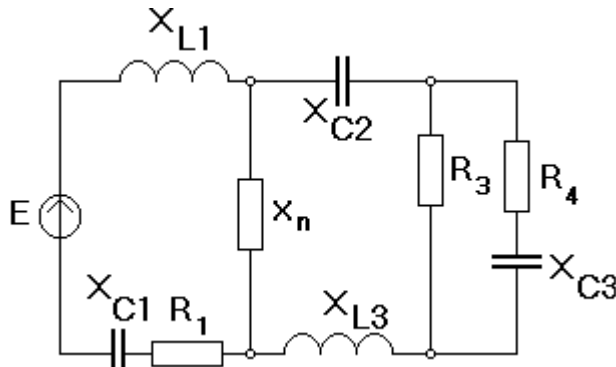
$$Z_E = R_E - j \cdot X_E \quad R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 9.003 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = -57.855$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = 0.017 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = 59.256$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



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

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

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

$$Z_5 := R_4 - X_{C3} \cdot i \quad Z_5 = 15 - 20i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 9.003 + 22.145i$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(471960 \cdot X_N + 21316 \cdot X_N^2 + 6089625 + 1725425 \cdot i \cdot X_N + 49900 \cdot i \cdot X_N^2 + 13532500 \cdot i)}{(676625 + 52440 \cdot X_N + 1184 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{l} -12.024686991774522768 \\ -22.552968318846719716 \end{array} \right) \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N_0} \\ X_{N_1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці $X_N = \begin{pmatrix} -12.025 \\ -22.553 \end{pmatrix}$ який носить ємнісний характер ($X_{N_0} = -12.025$). ($X_{N_1} = -22.553$)

$$X_n := X_{N_0} \quad X_n = -12.025 \quad Z_{VX}(X_n) = 16.095$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 6.151 - 6.151i \quad F(I_1) = (8.698 \quad -45)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 13.859 - 6.601i \quad F(I_2) = (15.351 \quad -25.468)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -7.709 + 0.45i \quad F(I_3) = (7.722 \quad 176.657)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -5.24 + 2.005i \quad F(I_4) = (5.61 \quad 159.064)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -2.469 - 1.554i \quad F(I_5) = (2.917 \quad -147.806)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.218 \times 10^3$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.218 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L3} - X_{C2}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = -2.842 \times 10^{-13}$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -22.553 \quad Z_{VX}(X_n) = 61.182$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 1.514 - 1.514i \quad F(I_1) = (2.141 \quad -45)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 5.128 + 2.442i \quad F(I_2) = (5.68 \quad 25.468)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -3.614 - 3.957i \quad F(I_3) = (5.359 \quad -132.407)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -3.372 - 1.947i \quad F(I_4) = (3.893 \quad -150)$$

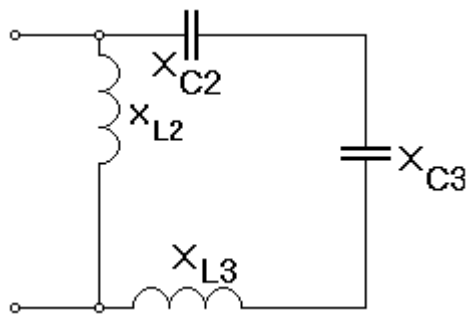
$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.242 - 2.01i \quad F(I_5) = (2.024 \quad -96.87)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 299.793$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 299.793$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L3} - X_{C2}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = -1.421 \times 10^{-13}$$

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



$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{2}{5 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.127$$

$$C_2 := \frac{1}{X_{C2} \cdot \omega} \rightarrow \frac{1}{1500 \cdot \pi} \quad C_2 = 2.122 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{2000 \cdot \pi} \quad C_3 = 1.592 \times 10^{-4}$$

$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{7}{20 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.111$$

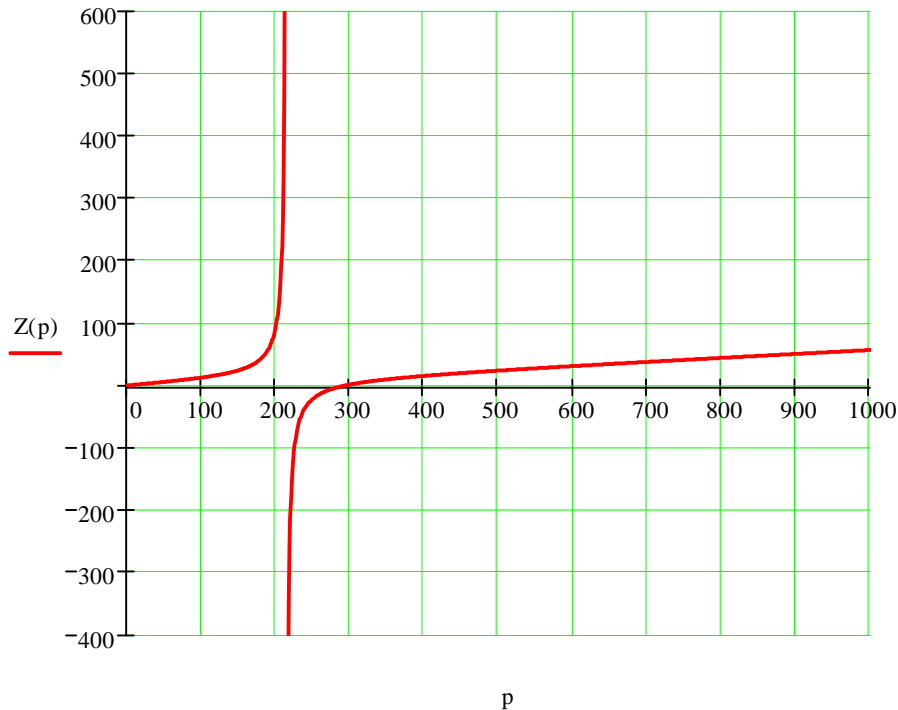
$$Z(p) := \frac{\left(\frac{-1}{C_2 \cdot p} - \frac{1}{C_3 \cdot p} + L_3 \cdot p \right) \cdot L_2 \cdot p}{L_2 \cdot p + \frac{-1}{C_2 \cdot p} - \frac{1}{C_3 \cdot p} + L_3 \cdot p} \rightarrow \frac{7}{20} \cdot \frac{\left(\frac{-3500}{p} \cdot \pi + \frac{2}{5} \cdot \frac{p}{\pi} \right)}{\pi} \cdot \frac{p}{\left(\frac{3}{4} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{3500}{p} \cdot \pi \right)}$$

Знаходимо нулі:

$$p' := Z(p) \text{ solve, } p \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{1}{25 \cdot 14^2 \cdot \pi} \\ \frac{1}{-25 \cdot 14^2 \cdot \pi} \\ 0 \end{pmatrix} \quad p' = \begin{pmatrix} 293.869 \\ -293.869 \\ 0 \end{pmatrix} \quad p' := \begin{pmatrix} p'_0 \\ p'_2 \end{pmatrix} \quad p' = \begin{pmatrix} 376.991 \\ 0 \end{pmatrix}$$

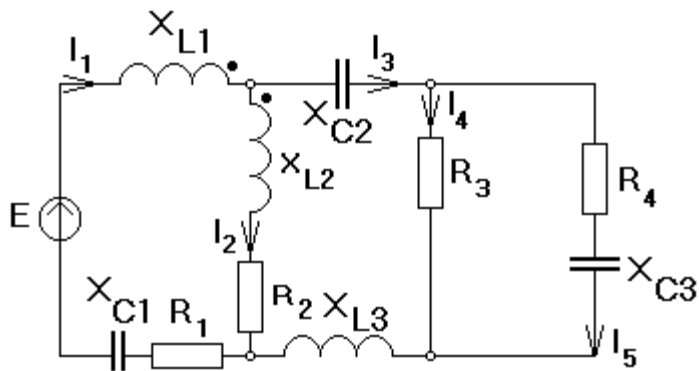
Знаходимо полюси:

$$p'' := \frac{1}{Z(p)} \text{ solve, } p \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{1}{\frac{20}{3} \cdot 105^2 \cdot \pi} \\ \frac{-20}{3} \cdot 105^2 \cdot \pi \end{pmatrix} \quad p'' = \begin{pmatrix} 214.612 \\ -214.612 \end{pmatrix} \quad p'' := p''_0 \quad p'' = 214.612$$



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



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

$$Z = 9.003 - 2.855i$$

$$Z_{11} := R_1 + R_2 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} + X_{L2} - 2 \cdot X_M) \rightarrow 20 + 15 \cdot i$$

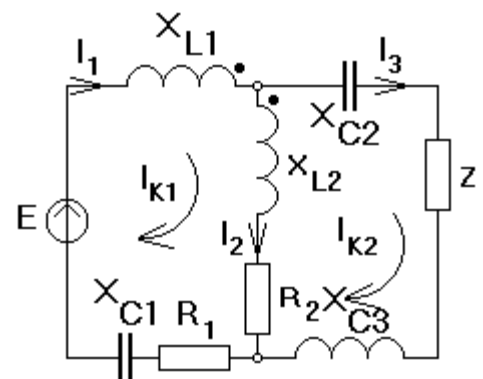
$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 11 + 15 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_{C2} + X_{L3}) + Z \rightarrow \frac{5921}{296} + \frac{16915}{296} \cdot i$$

Given

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

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



$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \text{ float}, 15 \rightarrow \begin{pmatrix} 1.02346900142175 - 7.18691901960098 \cdot i \\ -0.343383134534638 - 2.20369536241425 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 1.023 - 7.187i$$

$$I_{K2} = -0.343 - 2.204i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 1.023 - 7.187i$$

$$F(I_1) = (7.259 \quad -81.895)$$

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

$$I_2 = 1.367 - 4.983i$$

$$F(I_2) = (5.167 \quad -74.662)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = -0.343 - 2.204i$$

$$F(I_3) = (2.23 \quad -98.857)$$

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

$$I_4 = -0.722 - 1.451i$$

$$F(I_4) = (1.62 \quad -116.449)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 0.378 - 0.753i$$

$$F(I_5) = (0.843 \quad -63.319)$$

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:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} - X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] = -3.126 \times 10^{-13} + 3.908i \times 10^{-13}$$

$$I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] - I_4 \cdot R_3 - I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2} + i \cdot X_M + i \cdot X_{L3}) = 4.121 \times 10^{-13} - 1.616i \times 10^{-13}$$

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

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

$$S_{M1} = -94.466 - 744.259i$$

$$F(S_{M1}) = (750.23 \quad -97.234)$$

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

$$S_{M2} = 94.466 - 744.259i$$

$$F(S_{M2}) = (750.23 \quad -82.766)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 812.787 + 610.15i$$

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

$$P = 812.787$$

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

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

$$Q = 610.15i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -71.869 - 10.235i$$

$$F(\phi_b) = (114.879 \quad -178.29)$$

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

$$\phi_c = -62.658 - 74.917i$$

$$F(\phi_c) = (97.666 \quad -129.908)$$

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

$$\phi_d = -47.623 - 129.732i$$

$$F(\phi_d) = (138.197 \quad -110.157)$$

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

$$\phi_{d'} = 126.79 - 81.893i$$

$$F(\phi_{d'}) = (150.938 \quad -32.858)$$

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

$$\phi_e = -16.948 - 102.362i$$

$$F(\phi_e) = (103.756 \quad -99.401)$$

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

$$\phi_{e'} = -116.613 - 129.699i$$

$$F(\phi_{e'}) = (174.414 \quad -131.959)$$

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

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

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

$$\phi_{1'} = 3.268 \times 10^{-13} - 3.695i \times 10^{-13}$$

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

$$\phi_f = 25.49 - 88.652i$$

$$F(\phi_f) = (92.244 \quad -73.959)$$

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

$$\phi_n = 16.107 - 107.513i$$

$$F(\phi_n) = (108.713 \quad -81.479)$$

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

$$\phi_e = -16.948 - 102.362i$$

$$F(\phi_e) = (103.756 \quad -99.401)$$

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

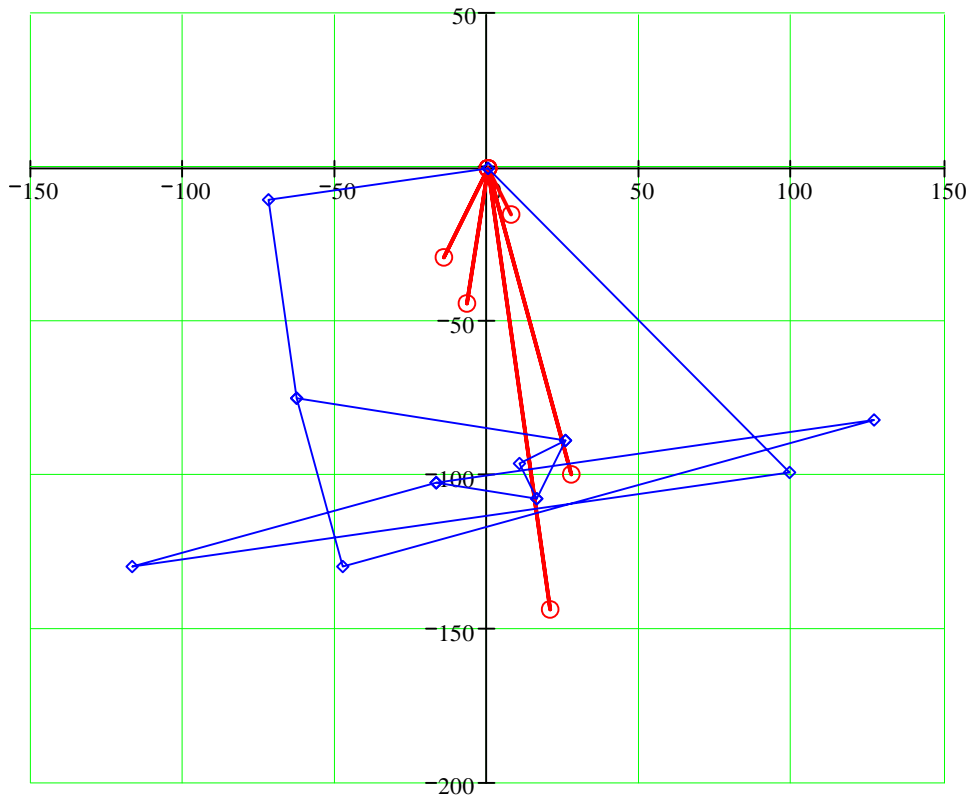
$$\phi_m = 10.432 - 96.219i$$

$$F(\phi_m) = (96.783 \quad -83.812)$$

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

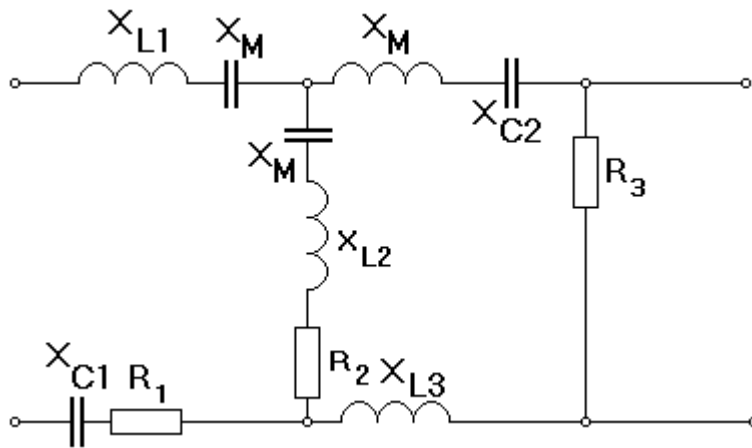
$$\phi_n = 16.107 - 107.513i$$

$$F(\phi_n) = (108.713 \quad -81.479)$$



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":

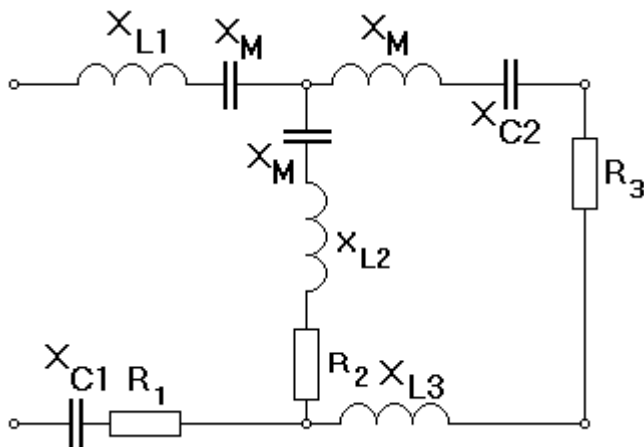
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника A, B, C, D



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

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

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



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

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 11 + 15 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L3} - X_{C2} + X_M) \rightarrow 13 + 45 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 15.856 + 11.609i \quad Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 19.408 + 46.944i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 1.089 - 7.04i \quad F(I_{10}) = (7.124 \quad -81.21)$$

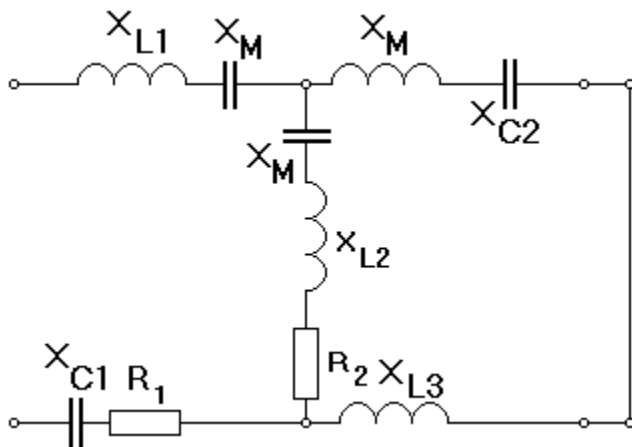
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -0.202 - 2.041i \quad F(I_{30}) = (2.051 \quad -95.662)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot R_3 \quad U_{20} = -2.63 - 26.528i \quad F(U_{20}) = (26.658 \quad -95.662)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 3.329 + 4.062i \quad F(A) = (5.252 \quad 50.662)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.259 + 0.067i \quad F(C) = (0.267 \quad 14.452)$$

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



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

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 11 + 15 \cdot i$$

$$Z_3 := i \cdot (X_{L3} - X_{C2} + X_M) \rightarrow 45 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 14.986 + 12.347i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 0.693 - 7.177i \quad F(I_{1K}) = (7.21 \quad -84.486)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = -0.765 - 2.061i \quad F(I_{3K}) = (2.199 \quad -110.351)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = 26.558 + 57.876i \quad F(B) = (63.678 \quad 65.351)$$

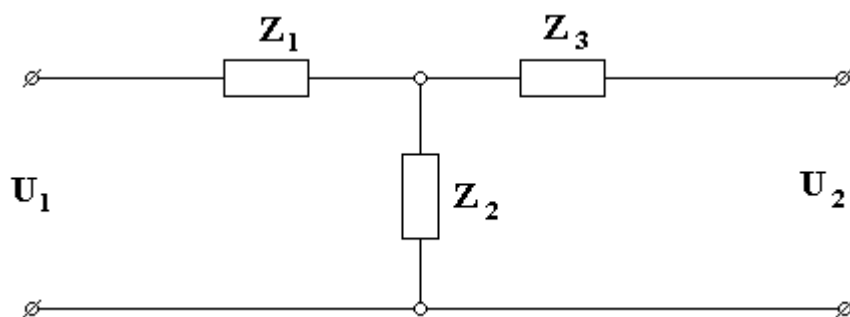
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = 2.951 + 1.431i \quad F(D) = (3.279 \quad 25.865)$$

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

$$F(A) = (5.252 \quad 50.662) \quad F(B) = (59.241 \quad 58.701)$$

$$F(C) = (0.267 \quad 14.452) \quad F(D) = (3.279 \quad 25.865)$$

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



$$Z_1 := \frac{A - 1}{C} \quad Z_1 = 12.233 + 12.543i \quad F(Z_1) = (17.521 \quad 45.718)$$

$$Z_2 := \frac{1}{C} \quad Z_2 = 3.624 - 0.934i \quad F(Z_2) = (3.742 \quad -14.452)$$

$$Z_3 := \frac{D - 1}{C} \quad Z_3 = 8.405 + 3.362i \quad F(Z_3) = (9.053 \quad 21.801)$$

$$R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 12.233$$

$$R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 3.624$$

$$R_3 := \operatorname{Re}(Z_3) \quad R_3 = 8.405$$

$$X_1 := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_2 := -\operatorname{Im}(Z_2) \quad X_3 := \operatorname{Im}(Z_3)$$

$$X_1 = 12.543 \quad X_2 = 0.934 \quad X_3 = 3.362$$

$$L_1 := \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad L_2 := \frac{X_2}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad L_3 := \frac{X_3}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$L_1 = 0.04 \quad L_2 = 2.973 \times 10^{-3} \quad L_3 = 0.011$$