

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 353

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**;

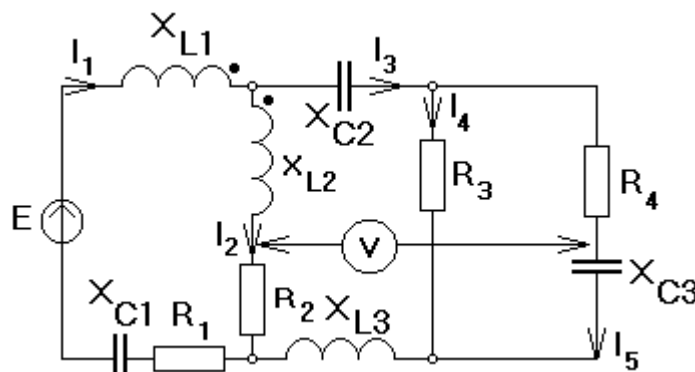
3.2 Розрахувати параметри R,L,C віток схеми ("Т" чи "П") заміщення.

Вихідні данні:

$$E := 140 \quad \psi := -45 \quad R_1 := 9 \quad R_2 := 11 \quad R_3 := 13 \quad R_4 := 15 \quad X_{L1} := 50 \quad X_{L2} := 40 \quad X_{L3} := 35$$

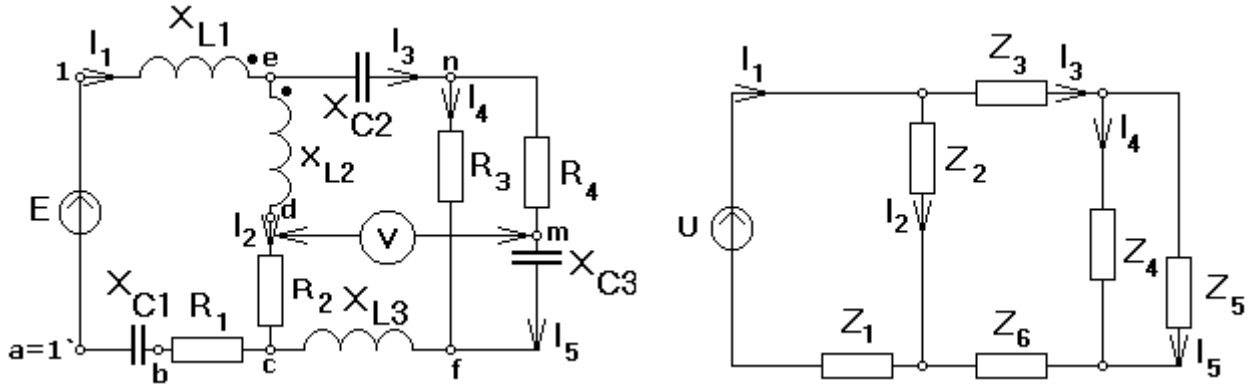
$$X_{C1} := 20 \quad X_{C2} := 15 \quad X_{C3} := 12 \quad X_M := 30 \quad f := 100$$

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



Для електричного кола без взаємної індукції:

Розрахувати всі струми символьним методом



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1}) \rightarrow 9 + 30 \cdot i$$

$$Z_4 := R_3 \rightarrow 13$$

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

$$Z_5 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 15 - 12 \cdot i$$

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

$$Z_6 := i \cdot X_{L3} \rightarrow 35 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 13.804 + 42.393i$$

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

$$I_1 = -1.424 - 2.799i$$

$$F(I_1) = (3.14 \quad -116.963)$$

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

$$I_2 = -0.545 - 0.846i$$

$$F(I_2) = (1.006 \quad -122.777)$$

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

$$I_3 = -0.879 - 1.953i$$

$$F(I_3) = (2.142 \quad -114.236)$$

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

$$I_4 = -0.863 - 1.039i$$

$$F(I_4) = (1.35 \quad -129.697)$$

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

$$I_5 = -0.017 - 0.914i$$

$$F(I_5) = (0.914 \quad -91.037)$$

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:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1})] + U - I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) = 3.553 \times 10^{-15} - 7.105i \times 10^{-15}$$

$$I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) - I_4 \cdot R_3 - I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2} + i \cdot X_{L3}) = 0$$

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

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 136.119 + 418.019i$$

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

$$P = 136.119$$

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

$$Q = 418.019$$

Визначаємо покази вольметра по двом незалежним шляхам, щоб упевнитися в правильності його показів.

$$V := \left| -I_2 \cdot i \cdot X_{L2} + I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2}) + I_5 \cdot R_4 \right|$$

$$V = 66.851B$$

$$V := \left| I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot (i \cdot X_{L3}) - I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3}) \right|$$

$$V = 66.851B$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -55.976 + 28.476i$$

$$F(\phi_b) = (62.803 \quad 153.037)$$

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

$$\phi_c = -68.791 + 3.287i$$

$$F(\phi_c) = (68.869 \quad 177.265)$$

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

$$\phi_d = -74.782 - 6.018i$$

$$F(\phi_d) = (75.024 \quad -175.399)$$

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

$$\phi_e = -40.946 - 27.805i$$

$$F(\phi_e) = (49.494 \quad -145.821)$$

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

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

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

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

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

$$\phi_f = -0.438 - 27.483i$$

$$F(\phi_f) = (27.487 \quad -90.914)$$

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

$$\phi_n = -11.652 - 40.992i$$

$$F(\phi_n) = (42.616 \quad -105.868)$$

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

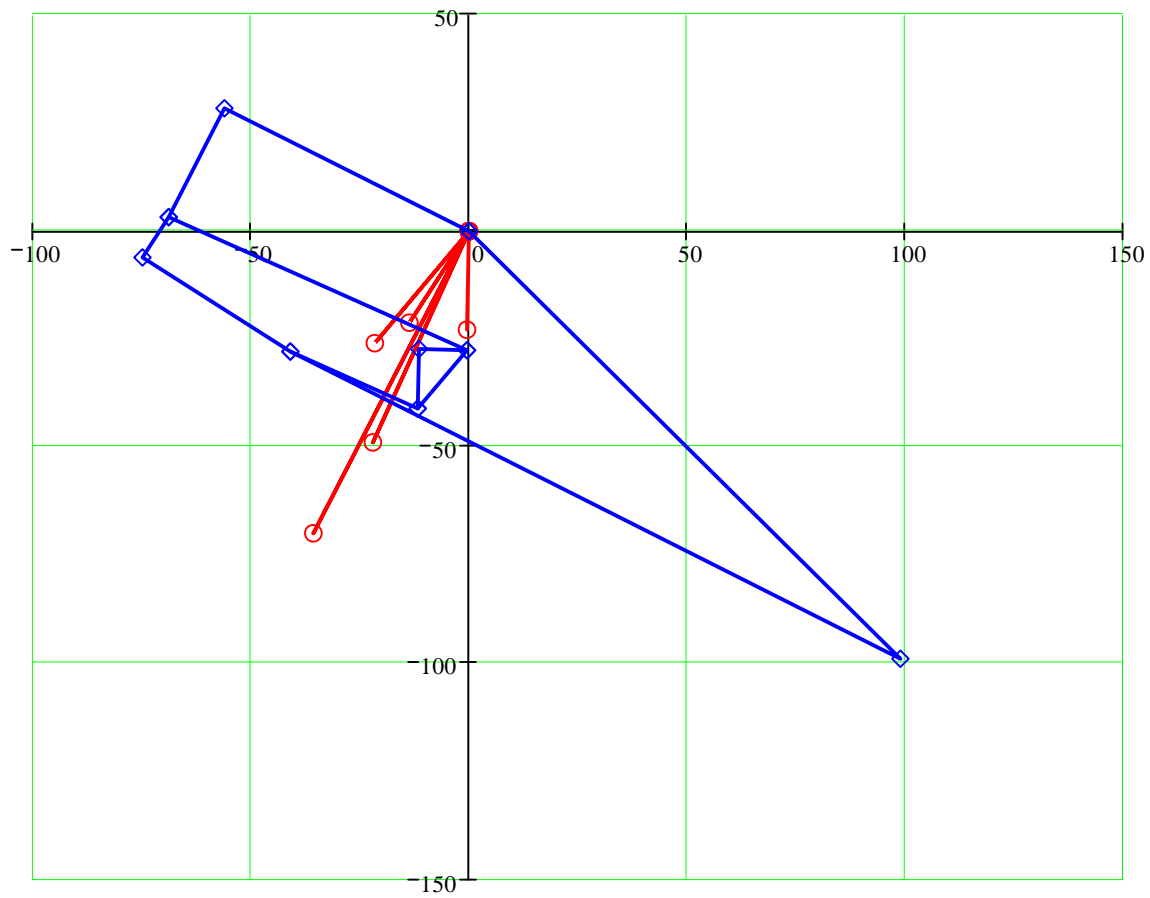
$$\phi_m = -11.404 - 27.285i$$

$$F(\phi_m) = (29.572 \quad -112.683)$$

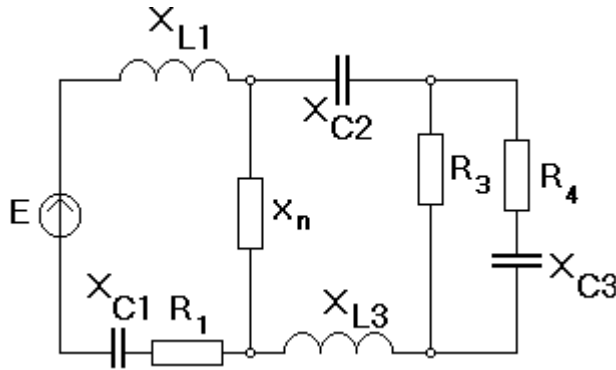
$$\phi_n := \phi_m + I_5 \cdot R_4$$

$$\phi_n = -11.652 - 40.992i$$

$$F(\phi_n) = (42.616 \quad -105.868)$$



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



$$Z_E := \frac{R_3 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_3 + R_4 + i \cdot (-X_{C3})} - i \cdot (X_{C2} + X_{L3}) \quad Z_E = 7.901 - 52.185i$$

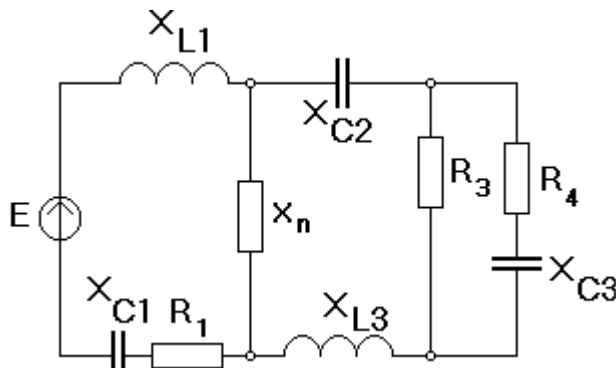
$$Z_E = R_E - j \cdot X_E \quad R_E := \text{Re}(Z_E) \quad R_E = 7.901 \quad X_E := \text{Im}(Z_E) \quad X_E = -52.185$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = 0.019 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = 53.382$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



$$Z_1 := -X_{C1} \cdot i + X_{L1} \cdot i + R_1 \quad Z_1 = 9 + 30i$$

$$Z_3 := -X_{C2} \cdot i + X_{L3} \cdot i \quad Z_3 = 20i$$

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

$$Z_5 := R_4 - X_{C3} \cdot i \quad Z_5 = 15 - 12i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 7.901 + 17.815i$$

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

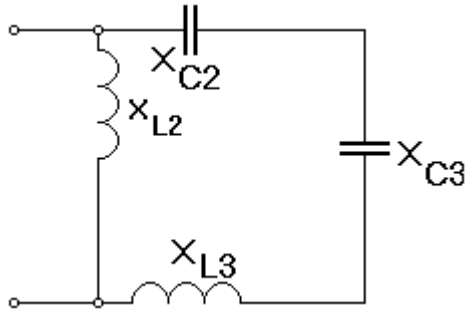
Уявна частина вхідного опору, яка за умовою резонансу дорівнює нулю:

$$X_{VX}(X_N) := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \quad \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(1344361 \cdot X_N + 44372 \cdot X_N^2 + 10573230)}{(352441 + 33064 \cdot X_N + 928 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := X_{VX}(X_N) \quad \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -15.148753718561254845 + 2.9667055949177014537 \cdot i \\ -15.148753718561254845 - 2.9667055949177014537 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$\text{Отже резонанс кола неможливий бо реактивний опір у другій вітці: } X_N = \begin{pmatrix} -15.149 + 2.967i \\ -15.149 - 2.967i \end{pmatrix}$$

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



$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{7}{40 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.056$$

$$C_2 := \frac{1}{X_{C2} \cdot \omega} \rightarrow \frac{1}{3000 \cdot \pi} \quad C_2 = 1.061 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{2400 \cdot \pi} \quad C_3 = 1.326 \times 10^{-4}$$

$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{5 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.064$$

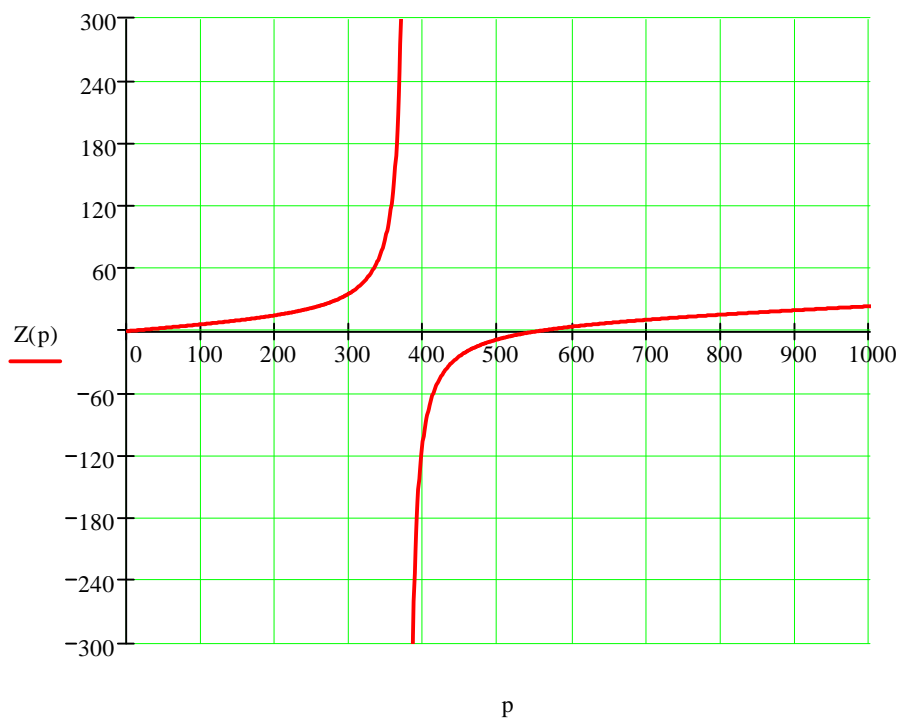
$$Z(p) := \frac{\left(\frac{-1}{C_2 \cdot p} - \frac{1}{C_3 \cdot p} + L_3 \cdot p \right) \cdot L_2 \cdot p}{L_2 \cdot p + \frac{-1}{C_2 \cdot p} - \frac{1}{C_3 \cdot p} + L_3 \cdot p} \rightarrow \frac{1}{5} \cdot \frac{\left(-5400 \cdot \frac{\pi}{p} + \frac{7}{40 \cdot \pi} \cdot p \right)}{\pi} \cdot \frac{p}{\left(\frac{3}{8 \cdot \pi} \cdot p - 5400 \cdot \frac{\pi}{p} \right)}$$

Знаходимо нулі:

Зна

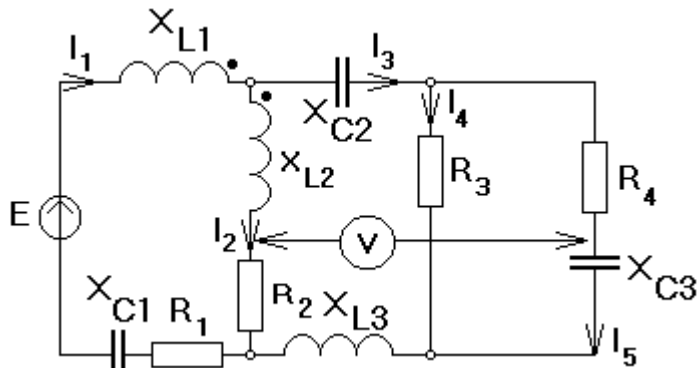
$$p' := Z(p) \text{ solve, } p \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{120}{7} \cdot 105^2 \cdot \pi \\ \frac{-120}{7} \cdot 105^2 \cdot \pi \\ 0 \end{pmatrix} \quad p' = \begin{pmatrix} 551.858 \\ -551.858 \\ 0 \end{pmatrix} \quad p' := \begin{pmatrix} p'_0 \\ p'_2 \end{pmatrix} \quad p' = \begin{pmatrix} 551.858 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$p'' := \frac{1}{Z(p)} \text{ solve, } p \rightarrow \begin{pmatrix} 120 \cdot \pi \\ -120 \cdot \pi \end{pmatrix} \quad p'' = \begin{pmatrix} 376.991 \\ -376.991 \end{pmatrix} \quad p'' := p''_0 \quad p'' = 376.991$$



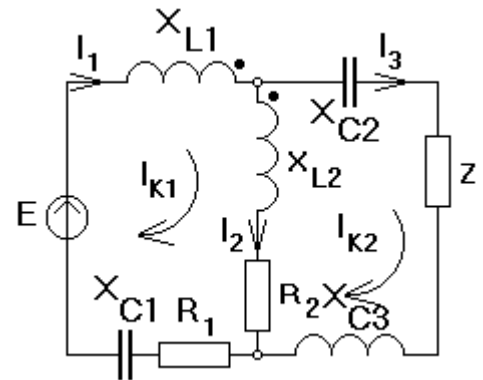
При наявності магнітного зв'язку між індуктивними елементами

- 1) Перетворити схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках методом контурних струмів, визначити покази вольметра;
- 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



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

$$Z = 7.901 - 2.185i$$



$$Z_{11} := R_1 + R_2 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} + X_{L2} - 2 \cdot X_M) \rightarrow 20 + 10 \cdot i$$

$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 11 + 10 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_{C2} + X_{L3}) + Z \rightarrow \frac{4385}{232} + \frac{13413}{232} \cdot i$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \text{ float, 15} \rightarrow \begin{pmatrix} 2.01916467742359 - 7.14559043589587 \cdot i \\ -0.434232542177373 - 1.76208065052645 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 2.019 - 7.146i$$

$$I_{K2} = -0.434 - 1.762i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 2.019 - 7.146i$$

$$F(I_1) = (7.425 \quad -74.221)$$

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

$$I_2 = 2.453 - 5.384i$$

$$F(I_2) = (5.916 \quad -65.5)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = -0.434 - 1.762i$$

$$F(I_3) = (1.815 \quad -103.844)$$

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

$$I_4 = -0.56 - 0.998i$$

$$F(I_4) = (1.144 \quad -119.305)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = 0.126 - 0.764i$$

$$F(I_5) = (0.774 \quad -80.645)$$

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:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} - X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] = -4.405 \times 10^{-13} + 1.847i \times 10^{-13}$$

$$I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] - I_4 \cdot R_3 - I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2} + i \cdot X_M + i \cdot X_{L3}) = -3.126 \times 10^{-13} + 2.38i \times 10^{-13}$$

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

$$S_{M1} := -I_1 \cdot \bar{I}_2 \cdot i \cdot X_M \quad S_{M1} = -199.823 - 1.303i \times 10^3 \quad F(S_{M1}) = (1.318 \times 10^3 \quad -98.721)$$

$$S_{M2} := -\bar{I}_1 \cdot I_2 \cdot i \cdot X_M \quad S_{M2} = 199.823 - 1.303i \times 10^3 \quad F(S_{M2}) = (1.318 \times 10^3 \quad -81.279)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 907.264 + 507.49i$$

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

$$P = 907.264$$

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

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

$$Q = 507.49i$$

Визначаємо покази вольметра по двом незалежним шляхам, щоб упевнитися в правильності його показів.

$$V := |-I_2 \cdot i \cdot (X_{L2} - X_M) + I_3 \cdot (-i \cdot X_{C2} + i \cdot X_M) + I_5 \cdot R_4|$$

$$V = 49.58B$$

$$V := |I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot (i \cdot X_{L3}) - I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3})|$$

$$V = 49.58B$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -142.912 - 40.383i$$

$$F(\phi_b) = (148.508 \quad -164.221)$$

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

$$\phi_c = -124.739 - 104.694i$$

$$F(\phi_c) = (162.852 \quad -139.993)$$

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

$$\phi_d = -97.752 - 163.912i$$

$$F(\phi_d) = (190.847 \quad -120.81)$$

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

$$\phi_{d'} = 117.588 - 65.776i$$

$$F(\phi_{d'}) = (134.735 \quad -29.222)$$

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

$$\phi_e = -96.779 - 126.351i$$

$$F(\phi_e) = (159.157 \quad -127.45)$$

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

$$\phi_{e'} = -258.285 - 199.953i$$

$$F(\phi_{e'}) = (326.638 \quad -142.254)$$

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

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

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

$$\phi_{1'} = 4.547 \times 10^{-13} - 1.99i \times 10^{-13}$$

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

$$\phi_f = -63.067 - 119.892i$$

$$F(\phi_f) = (135.467 \quad -117.746)$$

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

$$\phi_n = -70.348 - 132.865i$$

$$F(\phi_n) = (150.339 \quad -117.9)$$

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

$$\phi_e = -96.779 - 126.351i$$

$$F(\phi_e) = (159.157 \quad -127.45)$$

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

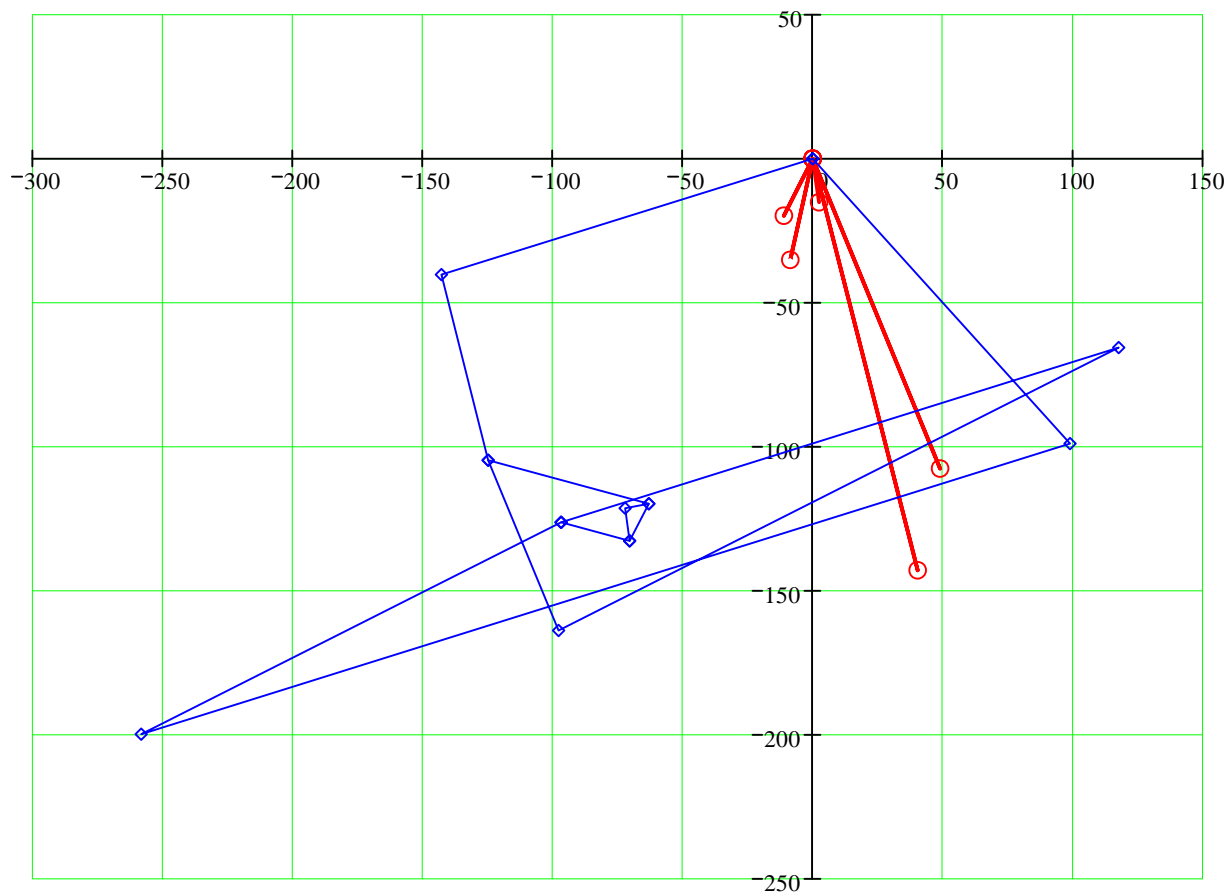
$$\phi_m = -72.236 - 121.402i$$

$$F(\phi_m) = (141.268 \quad -120.753)$$

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

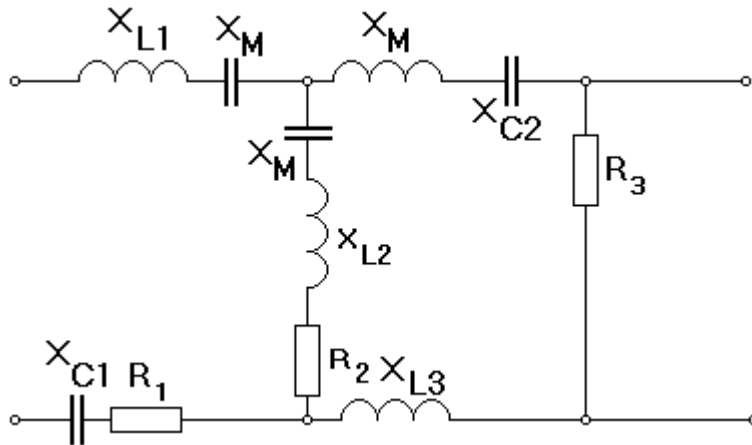
$$\phi_n = -70.348 - 132.865i$$

$$F(\phi_n) = (150.339 \quad -117.9)$$



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":

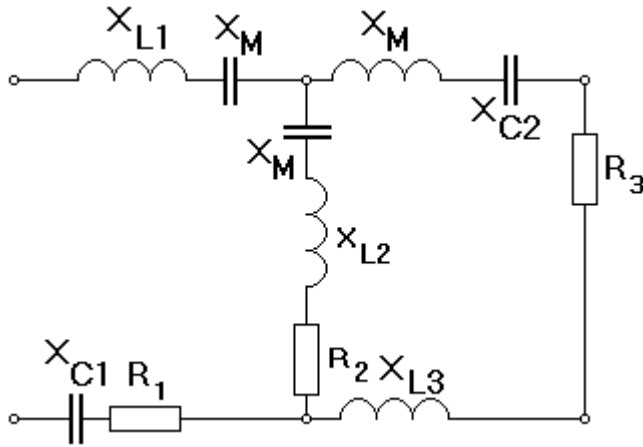
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника A, B, C, D



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

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

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



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

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 11 + 10 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L3} - X_{C2} + X_M) \rightarrow 13 + 50 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 16.718 + 9.037i \quad Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 18.76 + 51.62i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 2.105 - 7.059i \quad F(I_{10}) = (7.367 \quad -73.394)$$

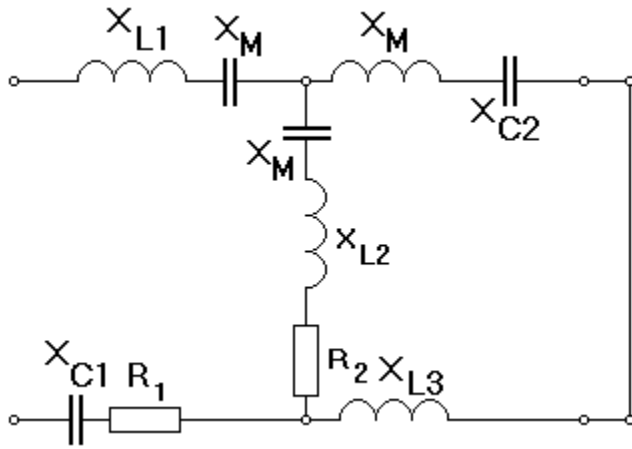
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -0.274 - 1.672i \quad F(I_{30}) = (1.695 \quad -99.319)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot R_3 \quad U_{20} = -3.567 - 21.74i \quad F(U_{20}) = (22.031 \quad -99.319)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 3.707 + 5.162i \quad F(A) = (6.355 \quad 54.319)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.301 + 0.146i \quad F(C) = (0.334 \quad 25.925)$$

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



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

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 11 + 10 \cdot i$$

$$Z_3 := i \cdot (X_{L3} - X_{C2} + X_M) \rightarrow 50 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 16.39 + 9.688i$$

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

$$I_{1K} = 1.83 - 7.122i$$

$$F(I_{1K}) = (7.353 \quad -75.587)$$

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

$$I_{3K} = -0.698 - 1.65i$$

$$F(I_{3K}) = (1.792 \quad -112.924)$$

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

$$B = 29.362 + 72.398i$$

$$F(B) = (78.126 \quad 67.924)$$

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

$$D = 3.262 + 2.489i$$

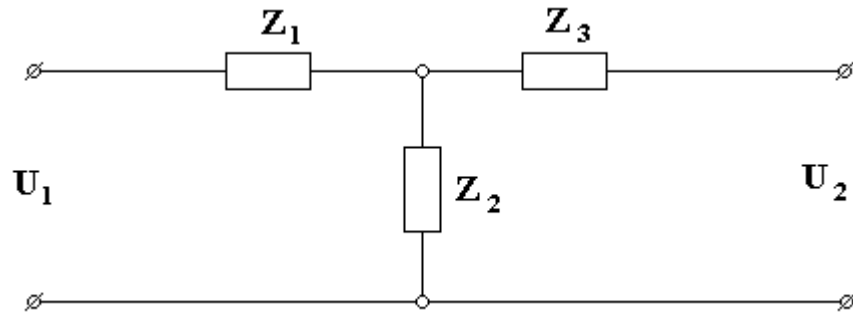
$$F(D) = (4.103 \quad 37.337)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (6.355 \quad 54.319) \quad F(B) = (78.126 \quad 67.924)$$

$$F(C) = (0.334 \quad 25.925) \quad F(D) = (4.103 \quad 37.337)$$

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



$$Z_1 := \frac{A - 1}{C}$$

$$Z_1 = 14.029 + 10.345i$$

$$F(Z_1) = (17.43 \quad 36.405)$$

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

$$Z_2 = 11 + 10i$$

$$F(Z_2) = (14.866 \quad 42.274)$$

$$Z_3 := \frac{D - 1}{C}$$

$$Z_3 = 9.339 + 3.736i$$

$$F(Z_3) = (10.058 \quad 21.801)$$

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

$$R_1 = 14.029$$

$$X_1 := \text{Im}(Z_1)$$

$$X_2 := -\text{Im}(Z_2)$$

$$X_3 := \text{Im}(Z_3)$$

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

$$R_2 = 2.69$$

$$X_1 = 10.345$$

$$X_2 = 1.307$$

$$X_3 = 3.736$$

$$R_3 := \text{Re}(Z_3)$$

$$R_3 = 9.339$$

$$L_1 := \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$C_2 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_2}$$

$$L_3 := \frac{X_3}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$L_1 = 0.016$$

$$C_2 = 1.217 \times 10^{-3}$$

$$L_3 = 5.945 \times 10^{-3}$$