

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 705

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" :

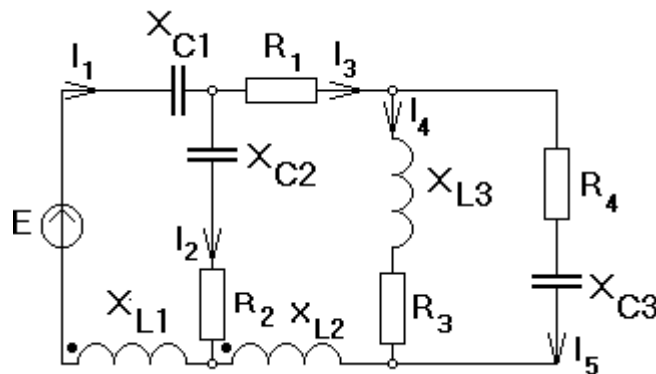
- 3.1. Розрахувати коефіцієнти A, B, C, D чотиріполюсника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$E := 220 \quad \psi := 50 \quad R_1 := 16 \quad R_2 := 14 \quad R_3 := 12 \quad R_4 := 10$$

$$X_{L1} := 37 \quad X_{L2} := 27 \quad X_{L3} := 20 \quad X_{C1} := 13 \quad X_{C2} := 10 \quad X_{C3} := 6$$

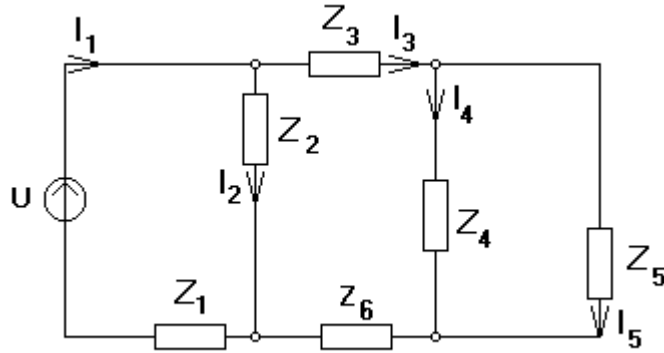
$$X_M := 15 \quad f := 50 \quad U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$U = 141.413 + 168.53i \quad F(U) = (220 \ 50)$$



Для електричного кола без взаємної індукції:

Розрахувати всі струми символьним методом



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} - X_{C1}) \rightarrow 24 \cdot i$$

$$Z_4 := R_3 + i \cdot X_{L3} \rightarrow 12 + 20 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2}) \rightarrow 14 - 10 \cdot i$$

$$Z_5 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 10 - 6 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 \rightarrow 16$$

$$Z_6 := i \cdot X_{L2} \rightarrow 27 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 14.347 + 20.792i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 8.67 - 0.818i \quad F(I_1) = (8.709 \quad -5.393)$$

$$I_2 := \frac{I_1 \cdot \left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} \quad I_2 = 7.096 + 2.243i \quad F(I_2) = (7.442 \quad 17.539)$$

$$I_3 := \frac{I_1 \cdot Z_2}{\left(Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)} \quad I_3 = 1.575 - 3.061i \quad F(I_3) = (3.442 \quad -62.781)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_5 + Z_4} \quad I_4 = -0.91 - 1.242i \quad F(I_4) = (1.539 \quad -126.215)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5} \quad I_5 = 2.484 - 1.819i \quad F(I_5) = (3.079 \quad -36.215)$$

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:

$$-I_1 \cdot [i \cdot (X_{L1} - X_{C1})] + U - I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) = 1.421 \times 10^{-14}$$

$$I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) - I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_3 \cdot (R_1 + i \cdot X_{L2}) = -1.421 \times 10^{-14} + 5.329i \times 10^{-15}$$

$$I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_5 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = 0$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.088 \times 10^3 + 1.577i \times 10^3$$

$$P := (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 + (|I_3|)^2 \cdot R_1 \quad P = 1.088 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1} + X_{L1}) + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot (X_{L3}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 1.577 \times 10^3$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = 30.283 + 320.808i$$

$$F(\phi_b) = (322.234 \quad 84.607)$$

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

$$\phi_c = 129.626 + 352.205i$$

$$F(\phi_c) = (375.302 \quad 69.794)$$

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

$$\phi_d = 152.053 + 281.246i$$

$$F(\phi_d) = (319.718 \quad 61.602)$$

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

$$\phi_l = 141.413 + 168.53i$$

$$F(\phi_l) = (220 \quad 50)$$

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

$$\phi_{l'} = -8.527i \times 10^{-14}$$

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

$$\phi_e = 112.934 + 363.32i$$

$$F(\phi_e) = (380.468 \quad 72.733)$$

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

$$\phi_m = 102.02 + 348.416i$$

$$F(\phi_m) = (363.045 \quad 73.679)$$

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

$$\phi_n = 126.861 + 330.225i$$

$$F(\phi_n) = (353.754 \quad 68.985)$$

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

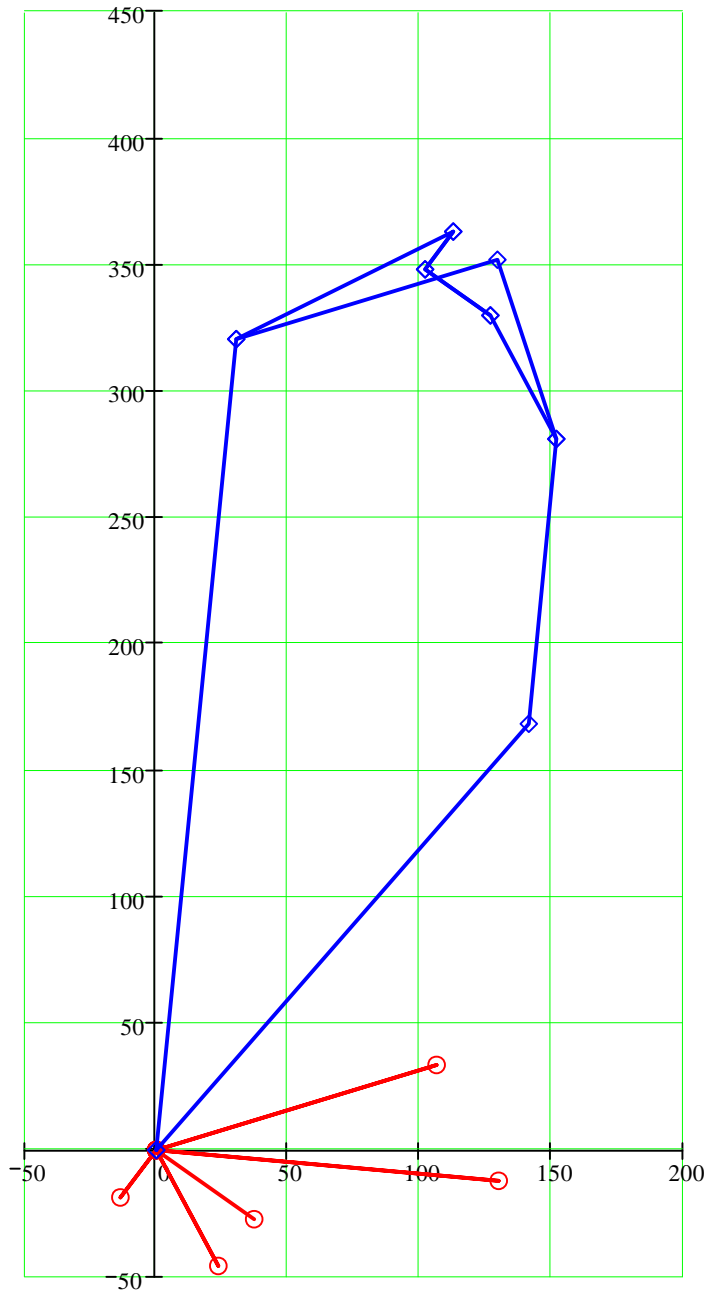
$$\phi_k = 102.02 + 348.416i$$

$$F(\phi_k) = (363.045 \quad 73.679)$$

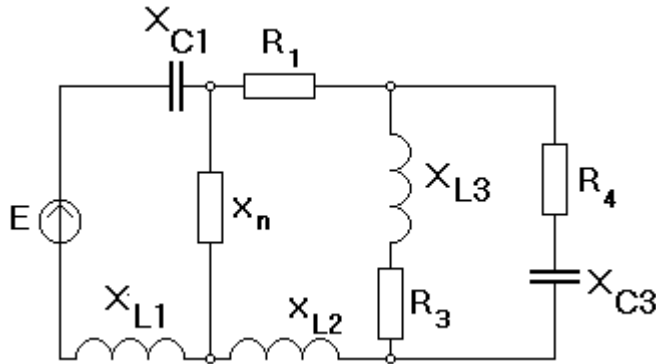
$$\phi_n := \phi_k + I_5 \cdot R_4$$

$$\phi_n = 126.861 + 330.225i$$

$$F(\phi_n) = (353.754 \quad 68.985)$$



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



$$Z_E := \frac{(R_3 + i \cdot X_{L3}) \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})} + i \cdot X_{L2} + R_1 \quad Z_E = 26.4 + 26.2i$$

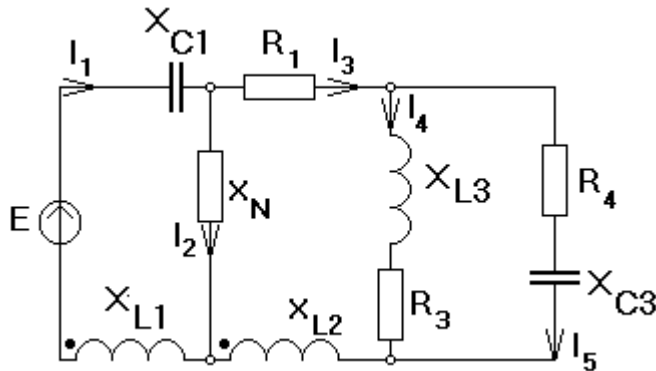
$$Z_E = R_E + j \cdot X_E \quad R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 26.4 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = 26.2$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -0.019 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -52.802$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



$$\begin{aligned} Z_1 &:= -X_{C1} \cdot i + X_{L1} \cdot i & Z_1 &= 24i \\ Z_3 &:= R_1 + X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 16 + 27i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 12 + 20i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 10 - 6i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 & Z_{345} &= 26.4 + 26.2i \end{aligned}$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(132 \cdot X_N^2 + 13205 \cdot i \cdot X_N + 251 \cdot i \cdot X_N^2 + 166008 \cdot i)}{(6917 + 262 \cdot X_N + 5 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -20.777119275319547503 \\ -31.832442477668500306 \end{pmatrix} \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці $X_N = \begin{pmatrix} -20.777 \\ -31.832 \end{pmatrix}$ який носить ємнісний характер ($X_{N0} = -20.777$). ($X_{N1} = -31.832$)

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = -20.777 \quad Z_{VX}(X_n) = 15.69$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 9.013 + 10.741i \quad F(I_1) = (14.022 \ 50)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 2.3 + 19.214i \quad F(I_2) = (19.351 \ 83.174)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 6.713 - 8.472i \quad F(I_3) = (10.81 \ -51.608)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -2.046 - 4.38i \quad F(I_4) = (4.834 \ -115.043)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 8.76 - 4.093i \quad F(I_5) = (9.668 \ -25.043)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 3.085 \times 10^3$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 3.085 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 7.958 \times 10^{-13}$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -31.832 \quad Z_{VX}(X_n) = 36.712$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 3.852 + 4.591i \quad F(I_1) = (5.993 \ 50)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = -2.39 + 7.904i \quad F(I_2) = (8.257 \ 106.826)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 6.242 - 3.313i \quad F(I_3) = (7.067 \ -27.957)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -0.077 - 3.159i \quad F(I_4) = (3.16 \ -91.391)$$

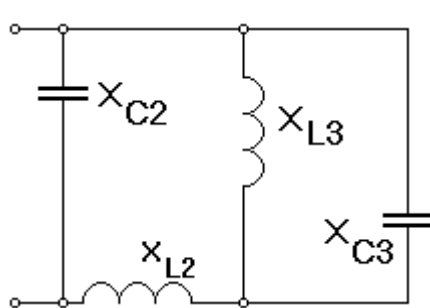
$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 6.319 - 0.153i \quad F(I_5) = (6.321 \ -1.391)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.318 \times 10^3$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.318 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = -8.527 \times 10^{-14}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{27}{100 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.086$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{5 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.064$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{1000 \cdot \pi} \quad C_2 = 3.183 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{600 \cdot \pi} \quad C_3 = 5.305 \times 10^{-4}$$

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

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

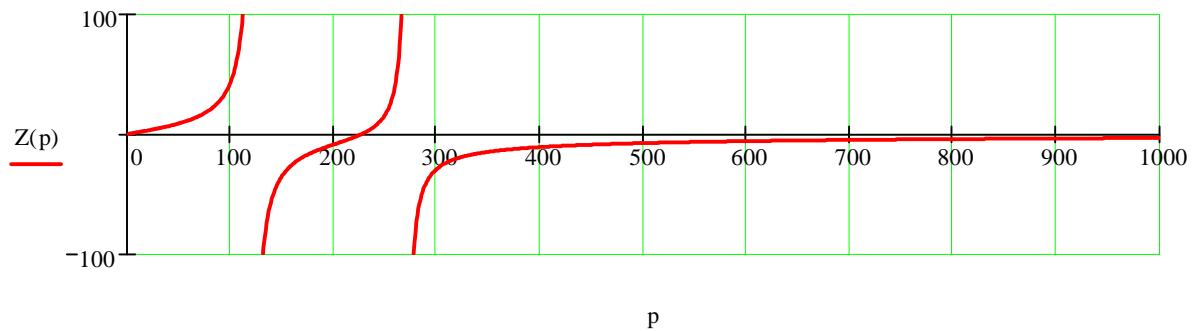
Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 7} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 227.0270 \\ -227.0270 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 227.027 \\ -227.027 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\omega := (\omega_0 \ \omega_2) \quad \omega = (227.027 \ 0)$$

Знаходимо полюси:

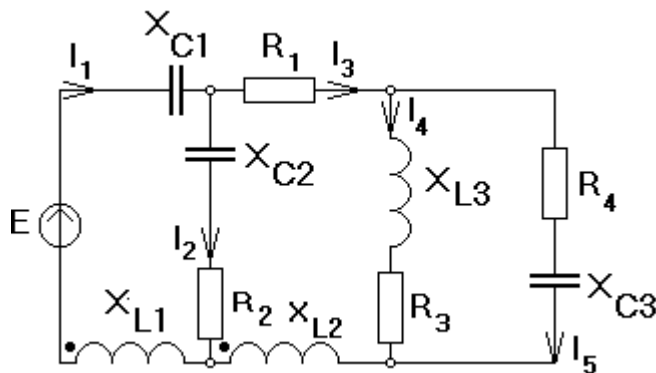
$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 270.80837956 \\ 121.48324728 \\ -121.48324728 \\ -270.80837956 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 270.808 \\ 121.483 \\ -121.483 \\ -270.808 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{1_0} \\ \omega_{1_2} \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 270.808 \\ -121.483 \end{pmatrix}$$



При наявності магнітного зв'язку між індуктивними елементами

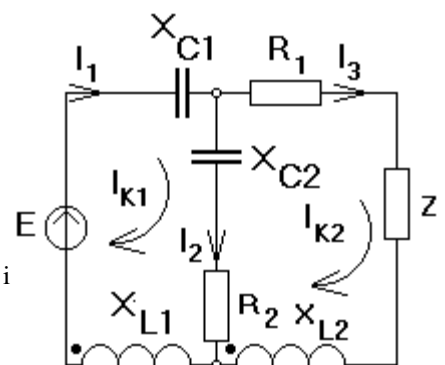
- 1) Перетворити схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках методом контурних струмів, визначити покази вольтметра;
- 2) Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;

імпеданс



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

$$Z = 10.4 - 0.8i$$



$$Z_{11} := R_2 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} - X_{C2}) \rightarrow 14 + 14 \cdot i$$

$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 14 - 25 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + R_1 + i \cdot (X_{L2} - X_{C2}) + Z \text{ float, 7} \rightarrow 40.40000 + 16.20000 \cdot i$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \rightarrow \begin{pmatrix} 5.6342357562535275654 + .89992785716532742550 \cdot i \\ 1.0650739133307260038 - 3.6017599332173605554 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 5.634 + 0.9i$$

$$I_{K2} = 1.065 - 3.602i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 5.634 + 0.9i$$

$$F(I_1) = (5.706 \ 9.075)$$

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

$$I_2 = 4.569 + 4.502i$$

$$F(I_2) = (6.414 \ 44.574)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = 1.065 - 3.602i$$

$$F(I_3) = (3.756 \ -73.527)$$

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

$$I_4 = -1.228 - 1.146i$$

$$F(I_4) = (1.68 \ -136.962)$$

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

$$I_5 = 2.293 - 2.455i$$

$$F(I_5) = (3.359 \quad -46.962)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

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

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

$$S_{M1} = -318.775 + 41.393i$$

$$F(S_{M1}) = (321.451 \quad 172.601)$$

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

$$S_{M2} = 318.775 + 41.393i$$

$$F(S_{M2}) = (321.451 \quad 7.399)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 948.42 + 822.275i$$

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

$$P = 948.42$$

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

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

$$Q = 822.275i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -33.297 + 208.467i$$

$$F(\phi_b) = (211.109 \quad 99.075)$$

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

$$\phi_{b'} = 20.729 + 224.443i$$

$$F(\phi_{b'}) = (225.398 \quad 84.723)$$

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

$$\phi_c = 84.697 + 287.466i$$

$$F(\phi_c) = (299.684 \quad 73.583)$$

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

$$\phi_d = 129.714 + 241.775i$$

$$F(\phi_d) = (274.374 \quad 61.786)$$

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

$$\phi_1 = 141.413 + 168.53i$$

$$F(\phi_1) = (220 \quad 50)$$

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

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

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

$$\phi_{e'} = 117.977 + 253.2i$$

$$F(\phi_{e'}) = (279.336 \quad 65.017)$$

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

$$\phi_e = 104.478 + 337.713i$$

$$F(\phi_e) = (353.505 \quad 72.81)$$

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

$$\phi_m = 89.745 + 323.957i$$

$$F(\phi_m) = (336.158 \quad 74.516)$$

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

$$\phi_n = 112.673 + 299.403i$$

$$F(\phi_n) = (319.902 \quad 69.377)$$

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

$$\phi_k = 89.745 + 323.957i$$

$$F(\phi_k) = (336.158 \quad 74.516)$$

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

$$\phi_n = 112.673 + 299.403i$$

$$F(\phi_n) = (319.902 \quad 69.377)$$

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

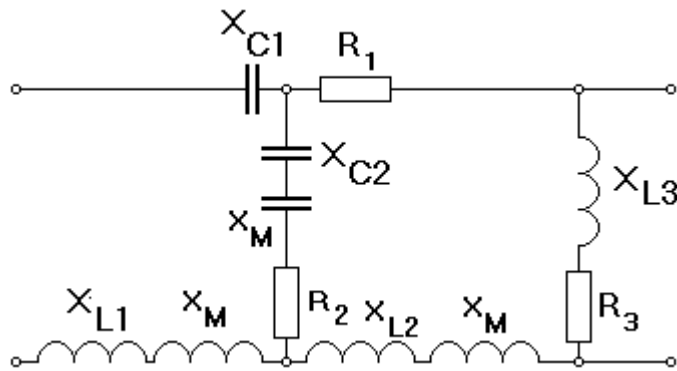
$$\phi_d = 129.714 + 241.775i$$

$$F(\phi_d) = (274.374 \quad 61.786)$$



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":

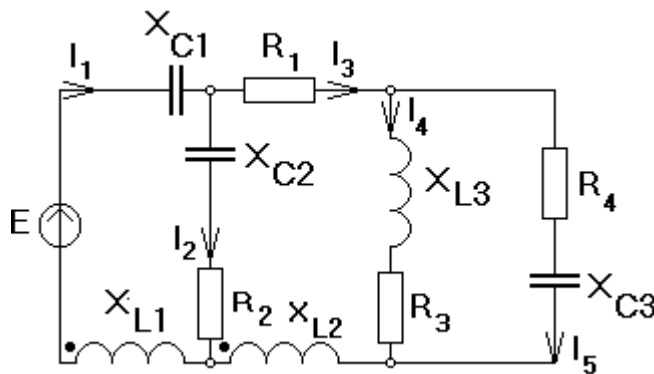
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполіусника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 39 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 14 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_{L3} + X_M) \rightarrow 28 + 62 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_E = 28.018 + 18.318i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_E} \quad I_{10} = 6.291 + 1.902i$$

$$F(I_{10}) = (6.572 \quad 16.824)$$

$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = 0.275 - 3.353i$$

$$F(I_{30}) = (3.364 \quad -85.306)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) \quad U_{20} = 70.365 - 34.73i$$

$$F(U_{20}) = (78.469 \quad -26.269)$$

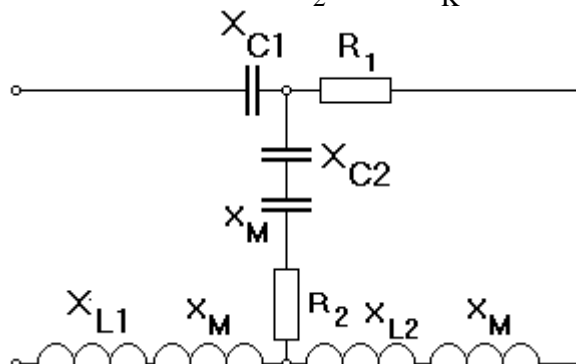
$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 0.665 + 2.724i$$

$$F(A) = (2.804 \quad 76.269)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.061 + 0.057i$$

$$F(C) = (0.084 \quad 43.093)$$

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



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 39 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 14 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 16 + 42 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 34.833 + 25.528i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 4.948 + 1.212i \quad F(I_{1K}) = (5.094 \quad 13.763)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = 0.986 - 4.117i \quad F(I_{3K}) = (4.233 \quad -76.527)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -30.933 + 41.762i \quad F(B) = (51.971 \quad 126.527)$$

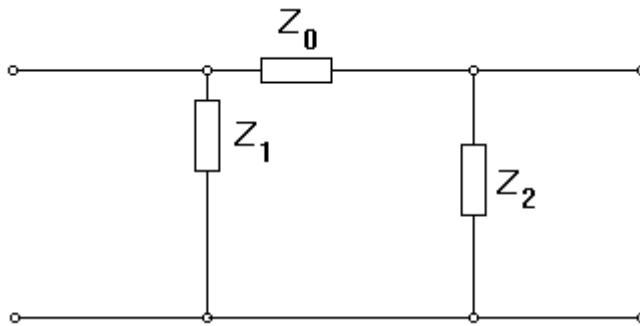
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = -6.09 \times 10^{-3} + 1.203i \quad F(D) = (1.203 \quad 90.29)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (2.804 \quad 76.269) \quad F(B) = (51.971 \quad 126.527)$$

$$F(C) = (0.084 \quad 43.093) \quad F(D) = (1.203 \quad 90.29)$$

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B \quad Z_0 = -30.933 + 41.762i \quad F(Z_0) = (51.971 \quad 126.527)$$

$$Y_1 := \frac{D - 1}{B} \quad Y_1 = 0.03 + 1.774i \times 10^{-3} \quad F(Y_1) = (0.03 \quad 3.37)$$

$$Y_2 := \frac{A - 1}{B} \quad Y_2 = 0.046 - 0.026i \quad F(Y_2) = (0.053 \quad -29.524)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0) \quad R_0 = -30.933 \quad X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0) \quad X_{L0} = 41.762$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1} \quad Z_1 = 33.075 - 1.948i \quad R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 33.075 \quad X_{C1} := -\operatorname{Im}(Z_1) \quad X_{C1} = 1.948$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2} \quad Z_2 = 16.48 + 9.333i \quad R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 16.48 \quad X_{L2} := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{L2} = 9.333$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \quad C_1 = 1.634 \times 10^{-3} \quad L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \quad L_2 = 0.03$$

$$L_0 := \frac{X_{L0}}{\omega} \quad L_0 = 0.133$$