

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 135

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.

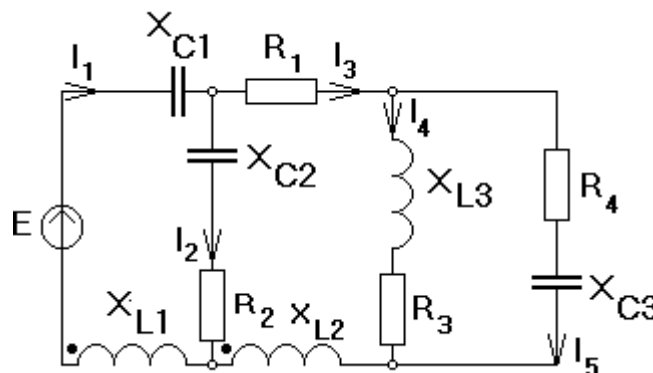
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L_1 ТА L_2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

- 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" :

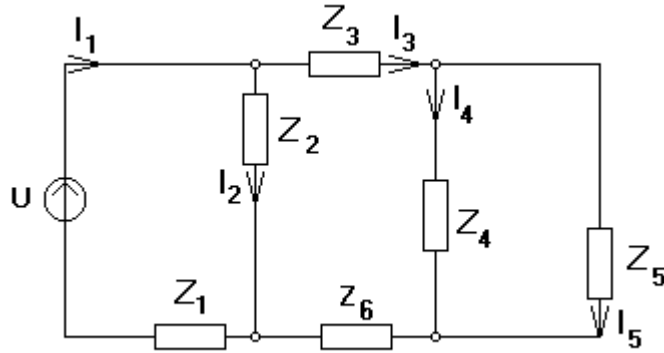
- 3.1. Розрахувати коефіцієнти A, B, C, D чотиріполюсника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$\begin{aligned} E &:= 100 & \psi &:= -20 & R_1 &:= 5 & R_2 &:= 7 & R_3 &:= 9 & R_4 &:= 12 \\ X_{L1} &:= 40 & X_{L2} &:= 45 & X_{L3} &:= 50 & X_{C1} &:= 20 & X_{C2} &:= 25 & X_{C3} &:= 30 \\ X_M &:= 25 & f &:= 50 & & & & & & & & \\ U &:= E \cdot e^{j\psi \cdot \frac{\pi}{180}} & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & U = 93.969 - 34.202i & F(U) = (100 \quad -20) \end{aligned}$$



Для електричного кола без взаємної індукції:

Розрахувати всі струми символьним методом



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

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2}) \rightarrow 7 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 \rightarrow 5$$

$$Z_4 := R_3 + i \cdot X_{L3} \rightarrow 9 + 50 \cdot i$$

$$Z_5 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 12 - 30 \cdot i$$

$$Z_6 := i \cdot X_{L2} \rightarrow 45 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 15.395 + 2.232i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 5.663 - 3.043i \quad F(I_1) = (6.429 \quad -28.251)$$

$$I_2 := \frac{I_1 \cdot \left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} \quad I_2 = 5.813 - 0.303i \quad F(I_2) = (5.821 \quad -2.986)$$

$$I_3 := \frac{I_1 \cdot Z_2}{\left(Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)} \quad I_3 = -0.151 - 2.74i \quad F(I_3) = (2.744 \quad -93.147)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_5 + Z_4} \quad I_4 = -2.772 + 1.289i \quad F(I_4) = (3.057 \quad 155.052)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5} \quad I_5 = 2.621 - 4.029i \quad F(I_5) = (4.807 \quad -56.953)$$

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:

$$-I_1 \cdot [i \cdot (X_{L1} - X_{C1})] + U - I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) = 0$$

$$I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) - I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_3 \cdot (R_1 + i \cdot X_{L2}) = -1.421 \times 10^{-14} - 7.105i \times 10^{-15}$$

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

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 636.2 + 92.258i$$

$$P := (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 + (|I_3|)^2 \cdot R_1 \quad P = 636.2$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1} + X_{L1}) + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot (X_{L3}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 92.258$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot i \cdot X_{L1} \quad \phi_b = 121.715 + 226.511i \quad F(\phi_b) = (257.142 \quad 61.749)$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 \quad \phi_c = 162.409 + 224.388i \quad F(\phi_c) = (276.996 \quad 54.104)$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-i \cdot X_{C2}) \quad \phi_d = 154.827 + 79.054i \quad F(\phi_d) = (173.841 \quad 27.049)$$

$$\phi_l := \phi_d + I_1 \cdot (-i \cdot X_{C1}) \quad \phi_l = 93.969 - 34.202i \quad F(\phi_l) = (100 \quad -20)$$

$$\phi_{l'} := \phi_l - U \quad \phi_{l'} = 7.105i \times 10^{-15}$$

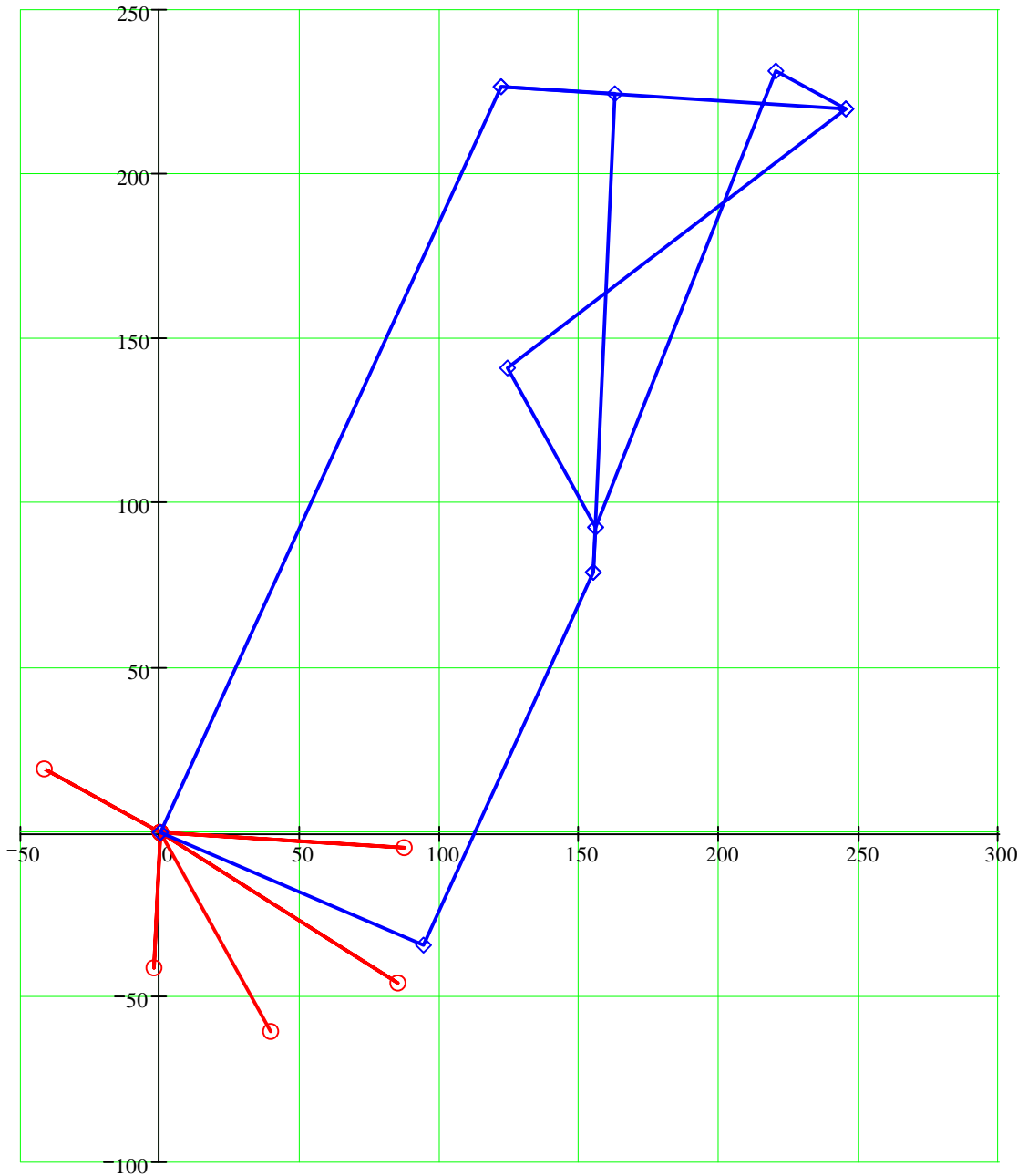
$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_{L2} \quad \phi_e = 244.997 + 219.734i \quad F(\phi_e) = (329.099 \quad 41.888)$$

$$\phi_m := \phi_e + I_4 \cdot R_3 \quad \phi_m = 220.051 + 231.339i \quad F(\phi_m) = (319.281 \quad 46.432)$$

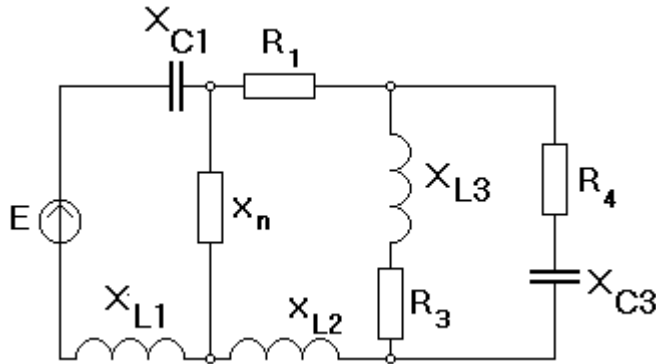
$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot i \cdot X_{L3} \quad \phi_n = 155.58 + 92.752i \quad F(\phi_n) = (181.13 \quad 30.802)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3}) \quad \phi_k = 124.126 + 141.1i \quad F(\phi_k) = (187.927 \quad 48.662)$$

$$\phi_n := \phi_k + I_5 \cdot R_4 \quad \phi_n = 155.58 + 92.752i \quad F(\phi_n) = (181.13 \quad 30.802)$$



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



$$Z_E := \frac{(R_3 + i \cdot X_{L3}) \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})} + i \cdot X_{L2} + R_1 \quad Z_E = 53 + 15i$$

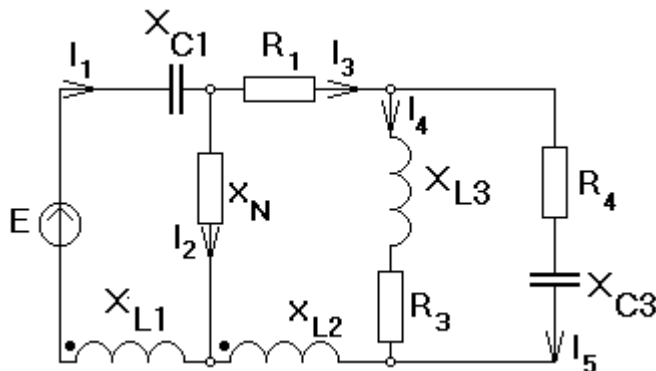
$$Z_E = R_E + j \cdot X_E \quad R_E := \text{Re}(Z_E) \quad R_E = 53 \quad X_E := \text{Im}(Z_E) \quad X_E = 15$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -4.944 \times 10^{-3} \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -202.267$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



$$\begin{aligned} Z_1 &:= -X_{C1} \cdot i + X_{L1} \cdot i & Z_1 &= 20i \\ Z_3 &:= R_1 + X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 5 + 45i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 9 + 50i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 12 - 30i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 & Z_{345} &= 53 + 15i \end{aligned}$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(53 \cdot X_N^2 + 3634 \cdot i \cdot X_N + 35 \cdot i \cdot X_N^2 + 60680 \cdot i)}{(3034 + 30 \cdot X_N + X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -20.908177033733682111 \\ -82.920394394837746461 \end{pmatrix} \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці $X_N = \begin{pmatrix} -20.908 \\ -82.92 \end{pmatrix}$ який носить ємнісний характер ($X_{N0} = -20.908$). ($X_{N1} = -82.92$)

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = -20.908 \quad Z_{VX}(X_n) = 8.147$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 11.534 - 4.198i \quad F(I_1) = (12.275 \quad -20)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 12.669 + 0.479i \quad F(I_2) = (12.678 \quad 2.163)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -1.135 - 4.677i \quad F(I_3) = (4.812 \quad -103.639)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -4.368 + 3.109i \quad F(I_4) = (5.362 \quad 144.559)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 3.234 - 7.786i \quad F(I_5) = (8.431 \quad -67.446)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.227 \times 10^3$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.227 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 0$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -82.92 \quad Z_{VX}(X_n) = 49.098$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 1.914 - 0.697i \quad F(I_1) = (2.037 \quad -20)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 0.874 + 0.965i \quad F(I_2) = (1.302 \quad 47.837)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 1.04 - 1.662i \quad F(I_3) = (1.96 \quad -57.966)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -2.149 - 0.388i \quad F(I_4) = (2.184 \quad -169.767)$$

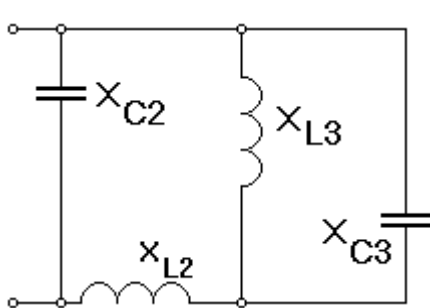
$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 3.189 - 1.274i \quad F(I_5) = (3.434 \quad -21.773)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 203.673$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 203.673$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = -5.684 \times 10^{-14}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{9}{20 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.143$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{2 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.159$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{2500 \cdot \pi} \quad C_2 = 1.273 \times 10^{-4}$$

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

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

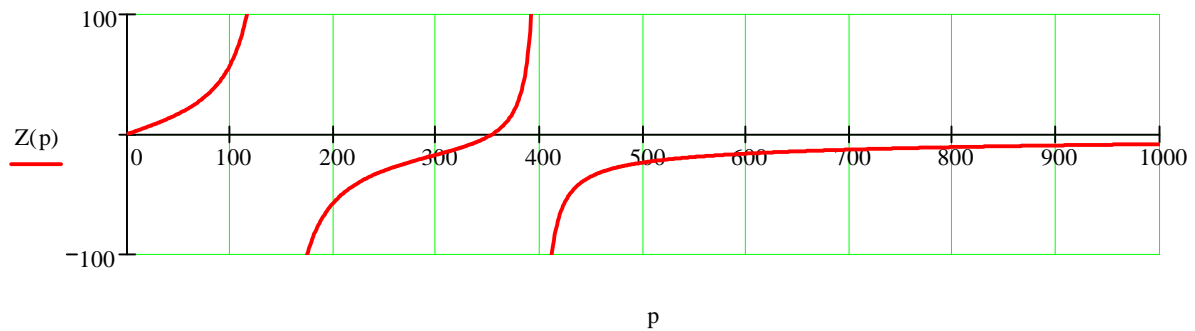
Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 7} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 353.5747 \\ -353.5747 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 353.575 \\ -353.575 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\omega := (\omega_0 \ \omega_2) \quad \omega = (353.575 \ 0)$$

Знаходимо полюси:

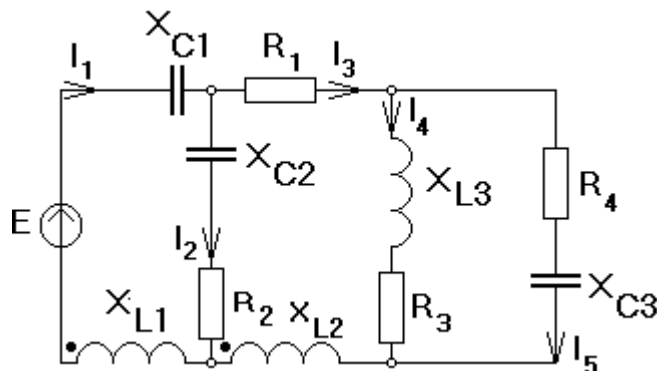
$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 399.35864922 \\ -399.35864922 \\ 142.68424557 \\ -142.68424557 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 399.359 \\ -399.359 \\ 142.684 \\ -142.684 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{1_0} \\ \omega_{1_2} \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 399.359 \\ 142.684 \end{pmatrix}$$



При наявності магнітного зв'язку між індуктивними елементами

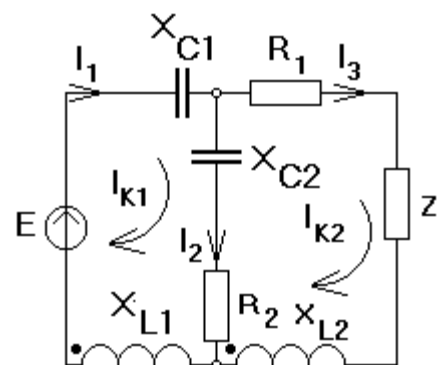
- 1) Перетворити схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках методом контурних струмів, визначити покази вольтметра;
- 2) Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;

імпеданс



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

$$Z = 48 - 30i$$



$$Z_{11} := R_2 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} - X_{C2}) \rightarrow 7 - 5 \cdot i$$

$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 7 - 50 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + R_1 + i \cdot (X_{L2} - X_{C2}) + Z \text{ float, 7} \rightarrow 60. - 10.00000 \cdot i$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \rightarrow \begin{pmatrix} 1.7296643208939299239 - 1.2628864610545613815 \cdot i \\ -5.6999085288309441021 - 1.6837221633484894995 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 1.73 - 1.263i$$

$$I_{K2} = -0.57 - 1.684i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 1.73 - 1.263i$$

$$F(I_1) = (2.142 \ -36.134)$$

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

$$I_2 = 2.3 + 0.421i$$

$$F(I_2) = (2.338 \ 10.37)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = -0.57 - 1.684i$$

$$F(I_3) = (1.778 \ -108.703)$$

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

$$I_4 = -1.506 + 1.286i$$

$$F(I_4) = (1.981 \ 139.496)$$

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

$$I_5 = 0.936 - 2.97i$$

$$F(I_5) = (3.114 \quad -72.509)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

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

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

$$S_{M1} = -90.803 + 28.511i$$

$$F(S_{M1}) = (95.174 \quad 162.568)$$

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

$$S_{M2} = 90.803 + 28.511i$$

$$F(S_{M2}) = (95.174 \quad 17.432)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 205.729 + 59.515i$$

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

$$P = 205.729$$

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

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

$$Q = 59.515i$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = 50.515 + 69.187i$$

$$F(\phi_b) = (85.666 \quad 53.866)$$

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

$$\phi_{b'} = 92.609 + 54.937i$$

$$F(\phi_{b'}) = (107.677 \quad 30.677)$$

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

$$\phi_c = 108.706 + 57.883i$$

$$F(\phi_c) = (123.156 \quad 28.034)$$

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

$$\phi_d = 119.227 + 0.391i$$

$$F(\phi_d) = (119.228 \quad 0.188)$$

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

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

$$F(\phi_1) = (100 \quad -20)$$

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

$$\phi_{1'} = 0$$

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

$$\phi_{e'} = 168.376 + 29.287i$$

$$F(\phi_{e'}) = (170.904 \quad 9.867)$$

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

$$\phi_e = 199.948 + 72.529i$$

$$F(\phi_e) = (212.696 \quad 19.938)$$

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

$$\phi_m = 186.395 + 84.106i$$

$$F(\phi_m) = (204.492 \quad 24.286)$$

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

$$\phi_n = 122.077 + 8.81i$$

$$F(\phi_n) = (122.394 \quad 4.128)$$

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

$$\phi_k = 110.846 + 44.451i$$

$$F(\phi_k) = (119.426 \quad 21.852)$$

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

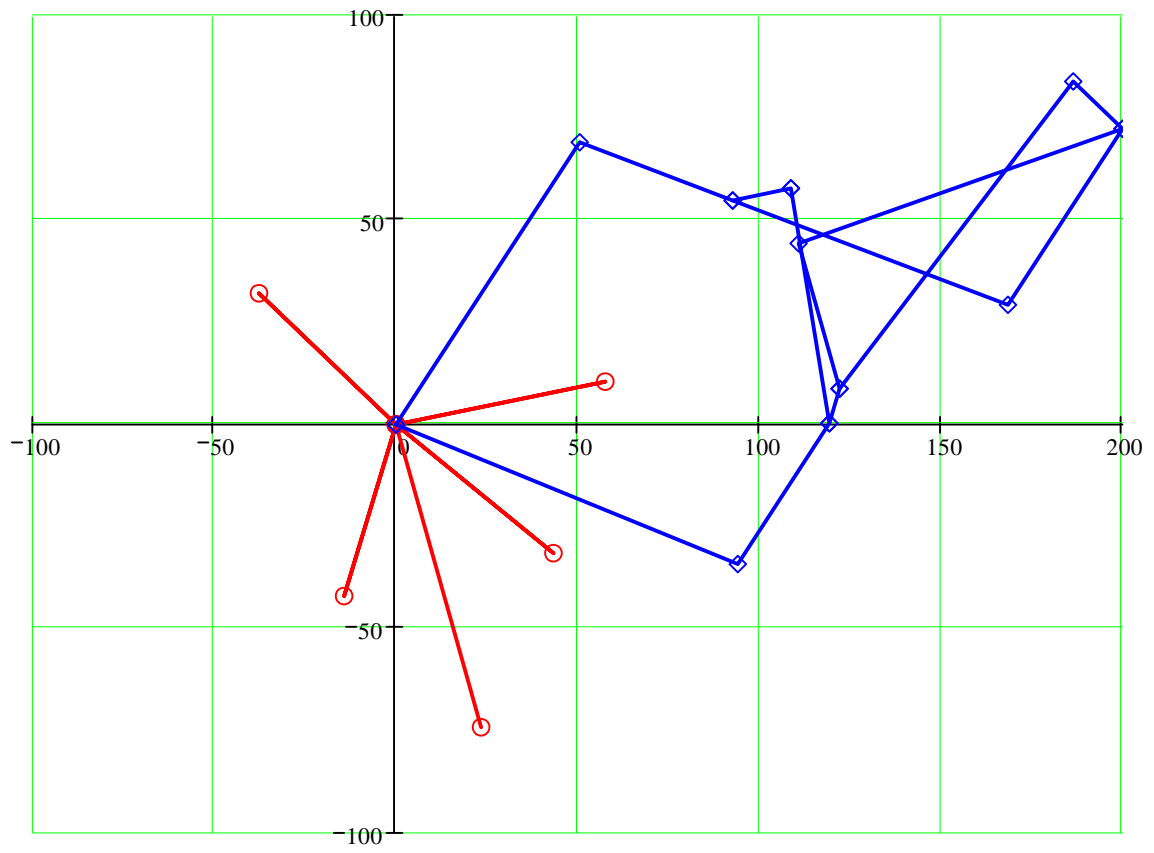
$$\phi_n = 122.077 + 8.81i$$

$$F(\phi_n) = (122.394 \quad 4.128)$$

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

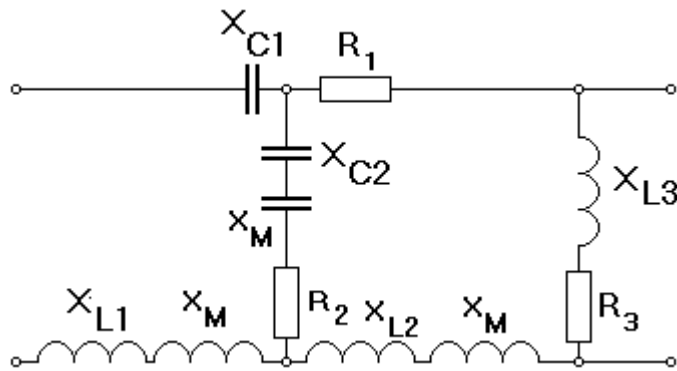
$$\phi_d = 119.227 + 0.391i$$

$$F(\phi_d) = (119.228 \quad 0.188)$$



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":

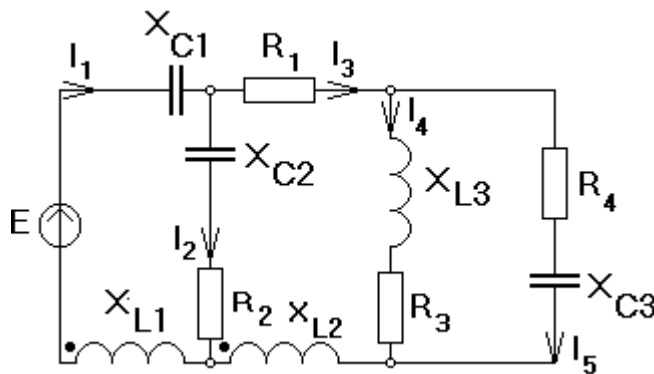
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполіусника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 45 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 7 - 50 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_{L3} + X_M) \rightarrow 14 + 120 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_E = 25.811 - 34.371i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_E} \quad I_{10} = 1.949 + 1.27i$$

$$F(I_{10}) = (2.326 \quad 33.095)$$

$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -0.857 - 1.359i$$

$$F(I_{30}) = (1.607 \quad -122.236)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) \quad U_{20} = 60.257 - 55.1i$$

$$F(U_{20}) = (81.652 \quad -42.44)$$

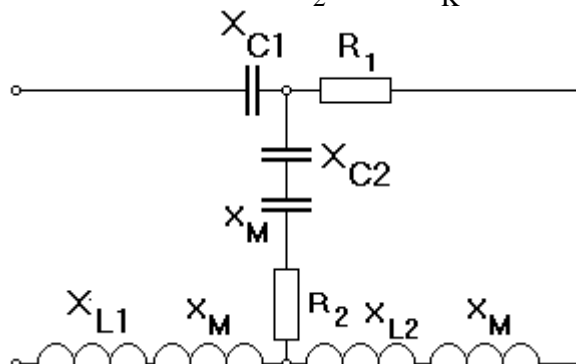
$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 1.132 + 0.467i$$

$$F(A) = (1.225 \quad 22.44)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 7.117 \times 10^{-3} + 0.028i$$

$$F(C) = (0.028 \quad 75.535)$$

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



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 45 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 7 - 50 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 5 + 70 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 86.801 - 79.669i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 0.784 + 0.325i \quad F(I_{1K}) = (0.849 \quad 22.547)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = -0.877 - 1.614i \quad F(I_{3K}) = (1.837 \quad -118.52)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -8.064 + 53.829i \quad F(B) = (54.43 \quad 98.52)$$

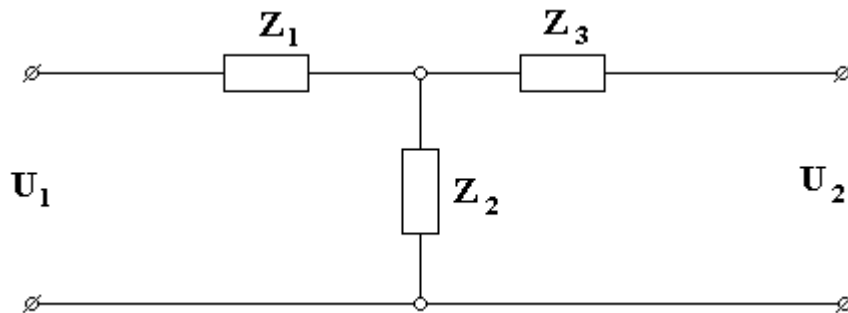
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = -0.359 + 0.29i \quad F(D) = (0.462 \quad 141.067)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (1.225 \quad 22.44) \quad F(B) = (54.43 \quad 98.52)$$

$$F(C) = (0.028 \quad 75.535) \quad F(D) = (0.462 \quad 141.067)$$

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



$$Z_1 := \frac{A - 1}{C} \quad Z_1 = 17.045 - 0.387i \quad F(Z_1) = (17.049 \quad -1.299)$$

$$Z_2 := \frac{1}{C} \quad Z_2 = 7 - 50i \quad F(Z_2) = (50.488 \quad -82.03)$$

$$Z_3 := \frac{D - 1}{C} \quad Z_3 = -2.051 + 48.742i \quad F(Z_3) = (48.785 \quad 92.41)$$

$$R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 17.045 \quad X_1 := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_1 = -0.387$$

$$R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 8.767 \quad X_2 := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_2 = -33.984$$

$$R_3 := \operatorname{Re}(Z_3) \quad R_3 = -2.051 \quad X_3 := \operatorname{Im}(Z_3) \quad X_3 = 48.742$$

$$L_1 := \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad C := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_2} \quad L_2 := \frac{X_3}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$L_1 = -1.231 \times 10^{-3} \quad C = 9.366 \times 10^{-5} \quad L_2 = 0.155$$