

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

***Розрахунково-графічна робота***  
*“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”*  
*Варіант № 422*

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 закортити.

#### 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 А, В, С, D чотиріполюсника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

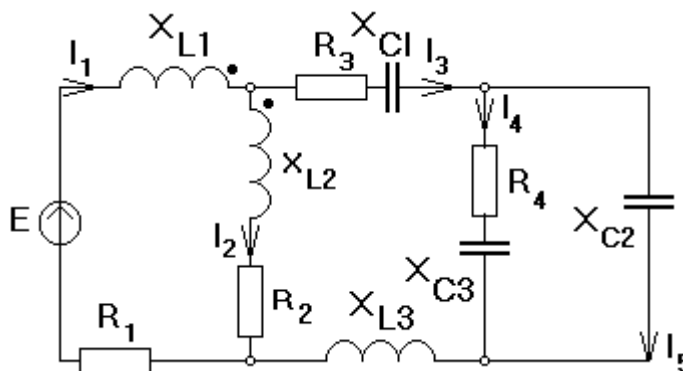
$$E := 160 \quad \psi := -60 \quad R_1 := 11 \quad R_2 := 13 \quad R_3 := 15 \quad R_4 := 17 \quad X_{L1} := 35 \quad X_{L2} := 40 \quad X_{L3} := 45$$

$$X_{C1} := 15 \quad X_{C2} := 20 \quad X_{C3} := 25 \quad X_M := 23 \quad f := 60$$

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

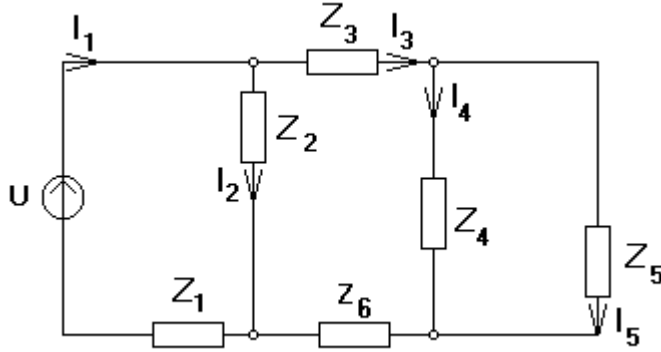
$$U = 80 - 138.564i$$

$$F(U) = (160 \quad -60)$$



## Для електричного кола без взаємної індукції:

**Розрахувати всі струми символьним методом**



$$Z_1 := R_1 + i \cdot X_{L1} \rightarrow 11 + 35 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot X_{L2} \rightarrow 13 + 40 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 - i \cdot X_{C1} \rightarrow 15 - 15 \cdot i$$

$$Z_4 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 17 - 25 \cdot i$$

$$Z_5 := -i \cdot X_{C2} \rightarrow -20 \cdot i$$

$$Z_6 := i \cdot X_{L3} \rightarrow 45 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{\left( \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 20.318 + 48.261i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = -1.846 - 2.435i \quad F(I_1) = (3.056 \quad -127.169)$$

$$I_2 := \frac{I_1 \cdot \left( \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} \quad I_2 = -0.956 - 0.688i \quad F(I_2) = (1.177 \quad -144.258)$$

$$I_3 := \frac{I_1 \cdot Z_2}{\left( Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)} \quad I_3 = -0.89 - 1.747i \quad F(I_3) = (1.961 \quad -117.006)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_5 + Z_4} \quad I_4 = -0.603 - 0.549i \quad F(I_4) = (0.815 \quad -137.701)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5} \quad I_5 = -0.287 - 1.198i \quad F(I_5) = (1.232 \quad -103.485)$$

**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:**

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1})] + U - I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) = 3.553 \times 10^{-15} - 2.842i \times 10^{-14}$$

$$I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) - I_4 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) - I_3 \cdot (-i \cdot X_{C1} + i \cdot X_{L3} + R_3) = 0$$

$$I_4 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) - I_5 \cdot (-i \cdot X_{C2}) = 0$$

**Перевірка за балансом потужностей**

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 189.694 + 450.583i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 189.694$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1}) + (|I_2|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L3} - X_{C1}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C2}) \quad Q = 450.583$$

## Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot R_1 \quad \phi_b = -20.307 - 26.783i \quad F(\phi_b) = (33.611 \quad -127.169)$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 \quad \phi_c = -32.731 - 35.724i \quad F(\phi_c) = (48.451 \quad -132.496)$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot i \cdot X_{L2} \quad \phi_d = -5.219 - 73.952i \quad F(\phi_d) = (74.136 \quad -94.037)$$

$$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot i \cdot X_{L1} \quad \phi_1 = 80 - 138.564i \quad F(\phi_1) = (160 \quad -60)$$

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

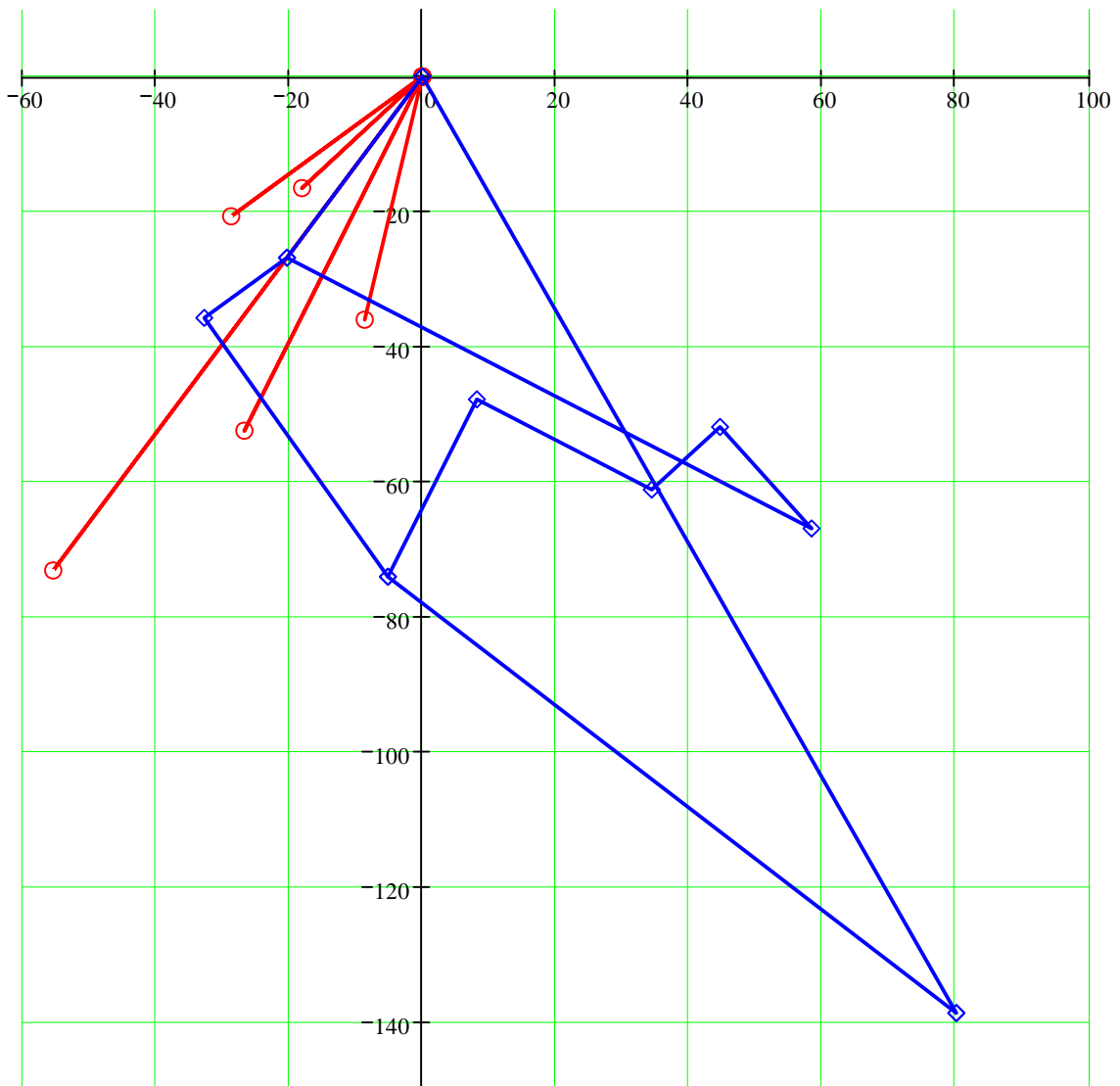
$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_{L3} \quad \phi_e = 58.31 - 66.85i \quad F(\phi_e) = (88.707 \quad -48.904)$$

$$\phi_m := \phi_e + I_4 \cdot (-i \cdot X_{C3}) \quad \phi_m = 44.593 - 51.775i \quad F(\phi_m) = (68.331 \quad -49.262)$$

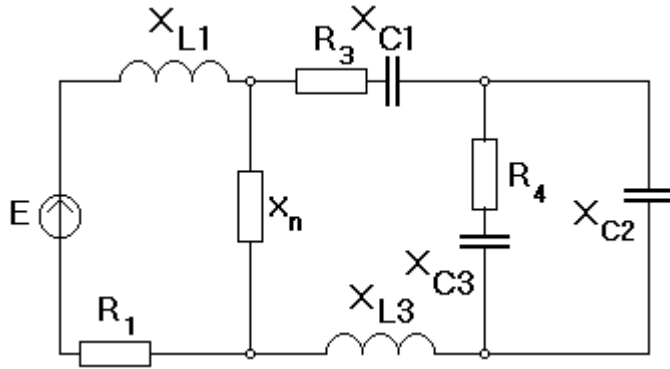
$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot R_4 \quad \phi_n = 34.342 - 61.102i \quad F(\phi_n) = (70.092 \quad -60.662)$$

$$\phi_k := \phi_n + I_3 \cdot (-i \cdot X_{C1}) \quad \phi_k = 8.137 - 47.747i \quad F(\phi_k) = (48.435 \quad -80.329)$$

$$\phi_n := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C2}) \quad \phi_n = 34.342 - 61.102i \quad F(\phi_n) = (70.092 \quad -60.662)$$



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



$$Z_E := \frac{(R_4 - i \cdot X_{C3}) \cdot (-i \cdot X_{C2})}{R_4 - i \cdot (X_{C2} + X_{C3})} + i \cdot X_{L3} + R_3 - i \cdot X_{C1} \quad Z_E = 17.939 + 17.779i$$

$$Z_E = R_E + j \cdot X_E \quad R_E := \text{Re}(Z_E) \quad R_E = 17.939 \quad X_E := \text{Im}(Z_E) \quad X_E = 17.779$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -0.028 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -35.879$$

**Розрахувати струми для резонансного стану кола;**

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i \quad Z_1 = 11 + 35i$$

$$Z_3 := R_3 + X_{L3} \cdot i - X_{C1} \cdot i \quad Z_3 = 15 + 30i$$

$$Z_4 := R_4 - X_{C3} \cdot i \quad Z_4 = 17 - 25i$$

$$Z_5 := -X_{C2} \cdot i \quad Z_5 = -20i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 17.939 + 17.779i$$

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

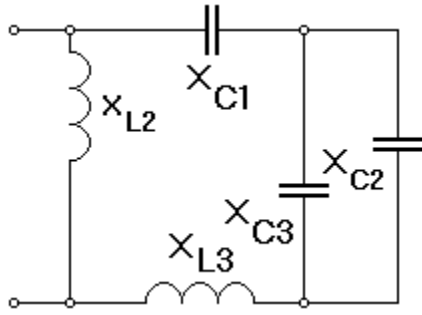
$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(452540 \cdot X_N + 33482 \cdot X_N^2 + 8118275 + 2177925 \cdot i \cdot X_N + 61065 \cdot i \cdot X_N^2 + 25830875 \cdot i)}{(738025 + 41140 \cdot X_N + 1157 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 6} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -17.8328 + 10.2468 \cdot i \\ -17.8328 - 10.2468 \cdot i \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола не може бути при будь-яком реактивному опорі у другій вітці так як:

$$X_N = \begin{pmatrix} -17.833 + 10.247i \\ -17.833 - 10.247i \end{pmatrix}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{3 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.106$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{3}{8 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.119$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \rightarrow \frac{1}{1800 \cdot \pi} \quad C_1 = 1.768 \times 10^{-4}$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{2400 \cdot \pi} \quad C_2 = 1.326 \times 10^{-4}$$

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

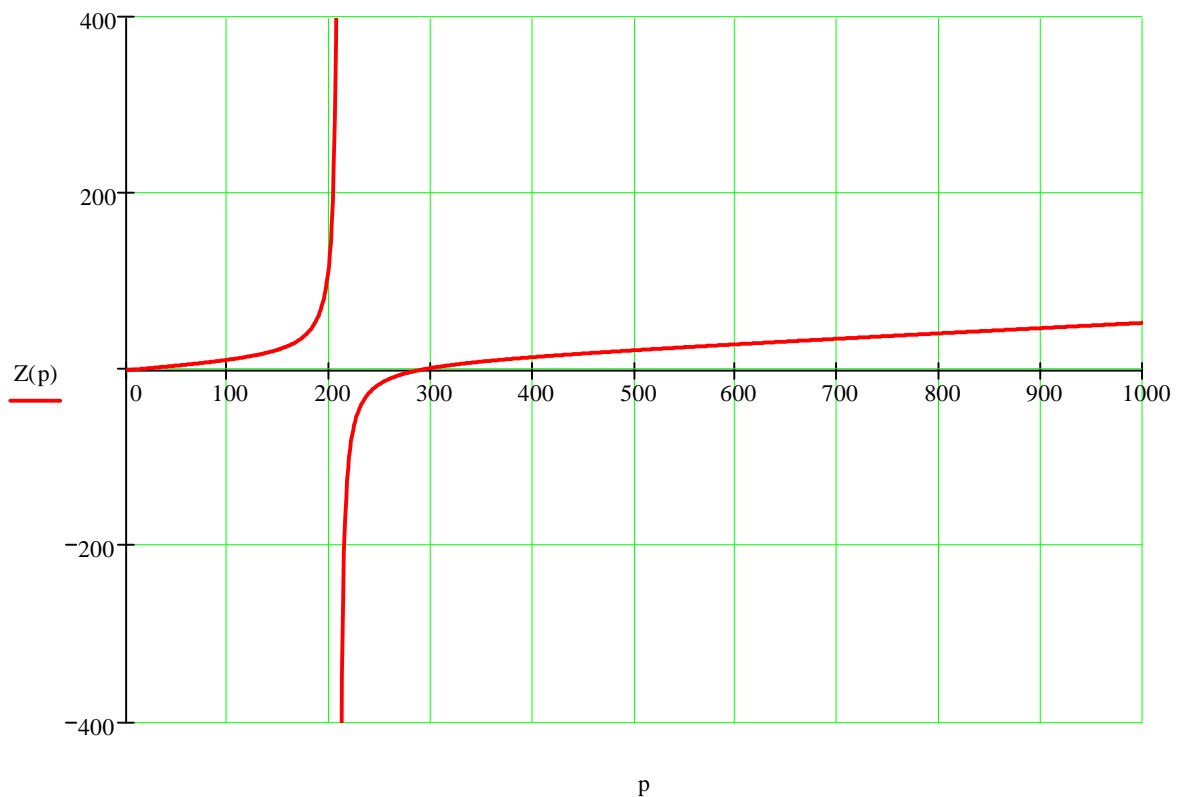
$$Z(p) := \frac{\left[ \frac{\frac{-1}{p \cdot C_3} \cdot \frac{-1}{p \cdot C_2}}{\left( \frac{-1}{p \cdot C_3} - \frac{1}{p \cdot C_2} \right)} + p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_1} \right] \cdot p \cdot L_2}{p \cdot L_2 + \frac{\frac{-1}{p \cdot C_3} \cdot \frac{-1}{p \cdot C_2}}{\left( \frac{-1}{p \cdot C_3} - \frac{1}{p \cdot C_2} \right)} + p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_1}}$$

Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 287.16898837 \\ -287.16898837 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 287.169 \\ -287.169 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega := \begin{pmatrix} \omega_0 \\ \omega_2 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 287.169 \\ 0 \end{pmatrix}$$

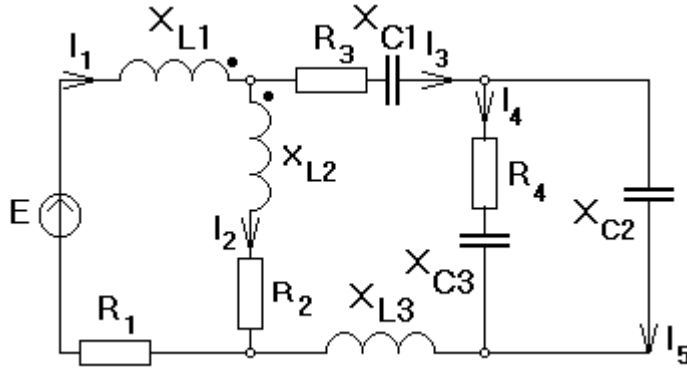
Знаходимо полюси:

$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 208.94613026 \\ -208.94613026 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 208.946 \\ -208.946 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \omega_{1_0} \quad \omega_1 = 208.946$$



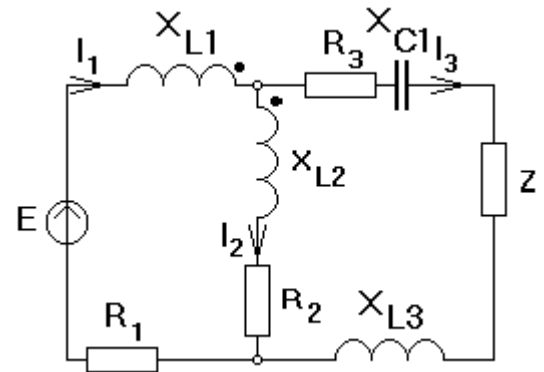
### При наявності магнітного зв'язку між індуктивними елементами

- 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 сімисну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг



$$Z := \frac{-i \cdot X_{C2} \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_4 - i \cdot X_{C2} - i \cdot X_{C3}}$$

$$Z = 2.939 - 12.221i$$



$$Z_{11} := R_1 + R_2 + i \cdot (X_{L1} + X_{L2} - 2 \cdot X_M) \rightarrow 24 + 29 \cdot i$$

$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 13 + 17 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + R_3 + i \cdot (X_{L2} + X_{L3} - X_{C1}) + Z_{\text{float}, 7} \rightarrow 30.93863 + 57.77874 \cdot i$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \rightarrow \begin{pmatrix} -1.9498614099994963082 - 4.8296605891567600555 \cdot i \\ -0.88159129916982744676 - 1.4543629491038757072 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = -1.95 - 4.83i$$

$$I_{K2} = -0.882 - 1.454i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = -1.95 - 4.83i$$

$$F(I_1) = (5.208 \quad -111.985)$$

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

$$I_2 = -1.068 - 3.375i$$

$$F(I_2) = (3.54 \quad -107.562)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = -0.882 - 1.454i$$

$$F(I_3) = (1.701 \quad -121.223)$$

$$I_4 := \frac{I_3 \cdot Z}{R_4 - i \cdot X_{C3}}$$

$$I_4 = -0.557 - 0.436i$$

$$F(I_4) = (0.707 \quad -141.918)$$

$$I_5 := \frac{I_3 \cdot Z}{-i \cdot X_{C2}}$$

$$I_5 = -0.325 - 1.018i$$

$$F(I_5) = (1.069 \quad -107.703)$$

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:

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

$$I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] - I_4 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) - I_3 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3} - i \cdot X_{C1} + i \cdot X_M) = 6.619 \times 10^{-6} + 4.737i \times 10^{-6}$$

$$I_5 \cdot (-i \cdot X_{C2}) - I_4 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = -3.553 \times 10^{-15}$$

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

$$S_{M1} = -32.706 - 422.844i$$

$$F(S_{M1}) = (424.107 \quad -94.423)$$

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

$$S_{M2} = 32.706 - 422.844i$$

$$F(S_{M2}) = (424.107 \quad -85.577)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 513.228 + 656.554i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4$$

$$P = 513.229$$

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

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

$$Q = 656.554i$$

**Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг**

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -21.448 - 53.126i$$

$$F(\phi_b) = (57.293 \quad -111.985)$$

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

$$\phi_c = -35.336 - 97.005i$$

$$F(\phi_c) = (103.241 \quad -110.015)$$

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

$$\phi_{d'} = 99.676 - 139.736i$$

$$F(\phi_{d'}) = (171.643 \quad -54.499)$$

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

$$\phi_d = -11.406 - 94.889i$$

$$F(\phi_d) = (95.572 \quad -96.854)$$

$$\phi_{1''} := \phi_d - I_2 \cdot i \cdot X_M$$

$$\phi_{1''} = -89.038 - 70.319i$$

$$F(\phi_{1''}) = (113.457 \quad -141.7)$$

$$\phi_1 := \phi_{1''} + I_1 \cdot i \cdot X_{L1}$$

$$\phi_1 = 80 - 138.564i$$

$$F(\phi_1) = (160 \quad -60)$$

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

$$\phi_{1'} = -1.421 \times 10^{-14} - 2.842i \times 10^{-14}$$

$$F(\phi_{1'}) = (3.178 \times 10^{-14} \quad -116.565)$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_{L3}$$

$$\phi_e = 43.998 - 92.798i$$

$$F(\phi_e) = (102.7 \quad -64.633)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_3 \cdot \text{Re}(Z)$$

$$\phi_k = 41.407 - 97.072i$$

$$F(\phi_k) = (105.534 \quad -66.899)$$

$$\phi_m := \phi_k + I_3 \cdot \text{Im}(Z) \cdot i$$

$$\phi_m = 23.633 - 86.298i$$

$$F(\phi_m) = (89.475 \quad -74.685)$$

$$\phi_z := \phi_m + I_3 \cdot (-i \cdot X_{C1})$$

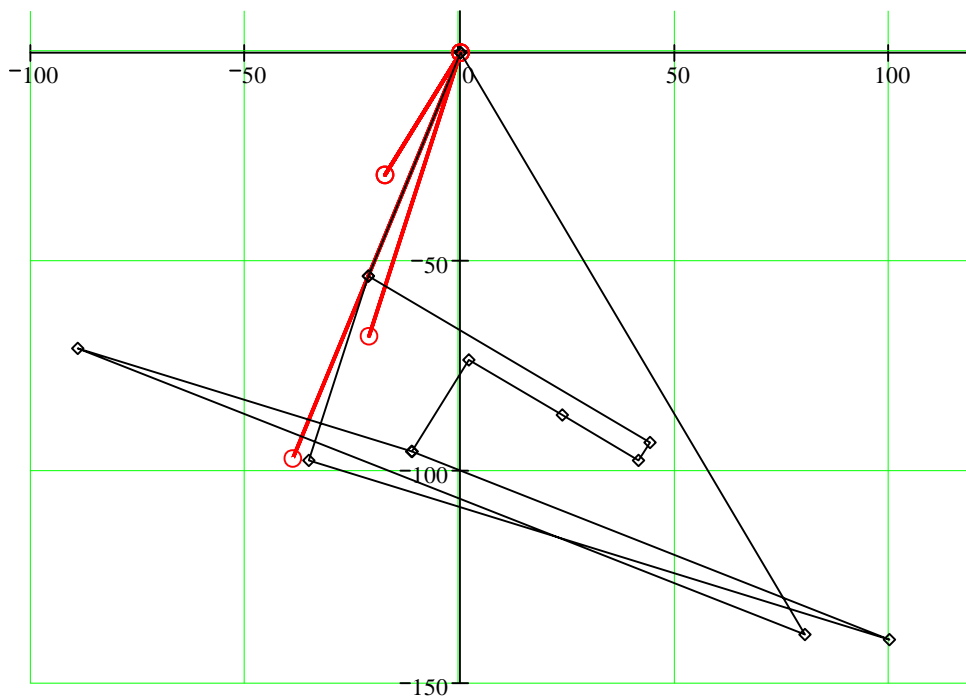
$$\phi_z = 1.818 - 73.074i$$

$$F(\phi_z) = (73.096 \quad -88.575)$$

$$\phi_d := \phi_z + I_3 \cdot R_3$$

$$\phi_d = -11.406 - 94.889i$$

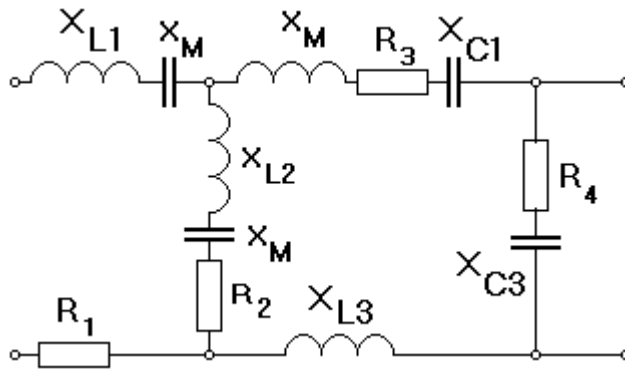
$$F(\phi_d) = (95.572 \quad -96.854)$$





**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":**

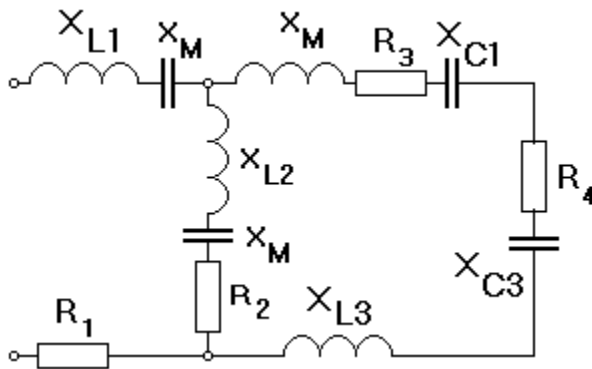
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполіусника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_M) \rightarrow 11 + 12 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 13 + 17 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 32 + 28 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 20.422 + 22.756i \quad Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 37.987 + 35.058i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = -1.625 - 4.974i \quad F(I_{10}) = (5.233 \quad -108.093)$$

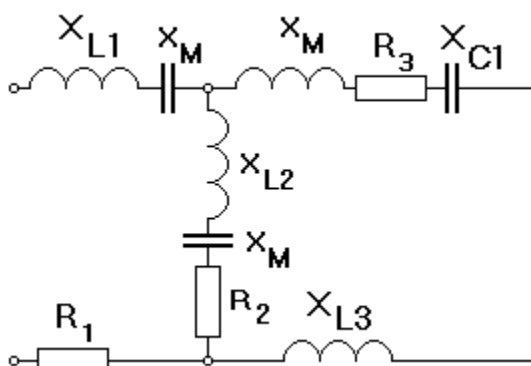
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -0.321 - 1.73i \quad F(I_{30}) = (1.76 \quad -100.499)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) \quad U_{20} = -48.708 - 21.399i \quad F(U_{20}) = (53.201 \quad -156.283)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = -0.329 + 2.989i \quad F(A) = (3.007 \quad 96.283)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.066 + 0.073i \quad F(C) = (0.098 \quad 48.19)$$

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_M) \rightarrow 11 + 12 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 13 + 17 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L3} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 15 + 53 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 19.148 + 25.345i$$

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

$$I_{1K} = -1.962 - 4.639i$$

$$F(I_{1K}) = (5.037 \quad -112.929)$$

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

$$I_{3K} = -0.891 - 1.118i$$

$$F(I_{3K}) = (1.43 \quad -128.533)$$

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

$$B = 40.952 + 104.14i$$

$$F(B) = (111.902 \quad 68.533)$$

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

$$D = 3.393 + 0.948i$$

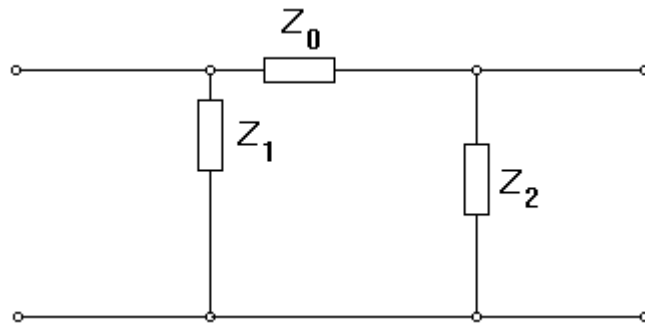
$$F(D) = (3.523 \quad 15.604)$$

Перевірка  $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (3.007 \quad 96.283) \quad F(B) = (111.902 \quad 68.533)$$

$$F(C) = (0.098 \quad 48.19) \quad F(D) = (3.523 \quad 15.604)$$

**Расчитать параметры R,L,C П - схемы замещения.**



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = 40.952 + 104.14i$$

$$F(Z_0) = (111.902 \quad 68.533)$$

$$Y_1 := \frac{D - 1}{B}$$

$$Y_1 = 0.016 - 0.017i$$

$$F(Y_1) = (0.023 \quad -46.93)$$

$$Y_2 := \frac{A - 1}{B}$$

$$Y_2 = 0.021 + 0.021i$$

$$F(Y_2) = (0.029 \quad 45.437)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0)$$

$$R_0 = 40.952$$

$$X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0)$$

$$X_{L0} = 104.14$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1}$$

$$Z_1 = 29.69 + 31.761i$$

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

$$R_1 = 29.69$$

$$X_{L1} := \operatorname{Im}(Z_1)$$

$$X_{L1} = 31.761$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2}$$

$$Z_2 = 24.001 - 24.37i$$

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

$$R_2 = 24.001$$

$$X_{C2} := -\operatorname{Im}(Z_2)$$

$$X_{C2} = 24.37$$

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

$$L_1 = 0.084$$

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

$$C_2 = 1.088 \times 10^{-4}$$

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

$$L_0 = 0.276$$