

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

***Розрахунково-графічна робота***  
*“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”*  
*Варіант № 182*

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.

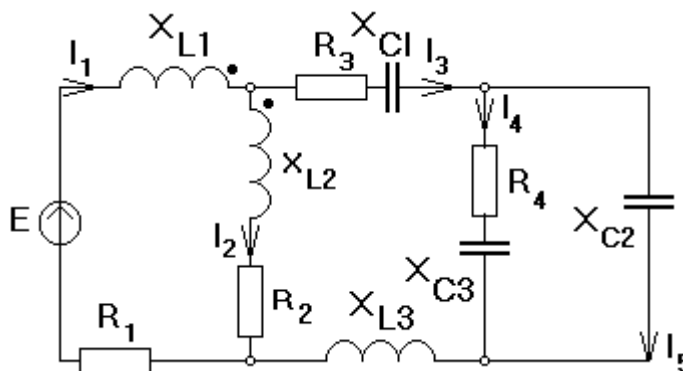
$$E := 100 \quad \psi := -20 \quad R_1 := 5 \quad R_2 := 7 \quad R_3 := 9 \quad R_4 := 12 \quad X_{L1} := 60 \quad X_{L2} := 50 \quad X_{L3} := 43$$

$$X_{C1} := 20 \quad X_{C2} := 15 \quad X_{C3} := 13 \quad X_M := 32 \quad f := 100$$

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

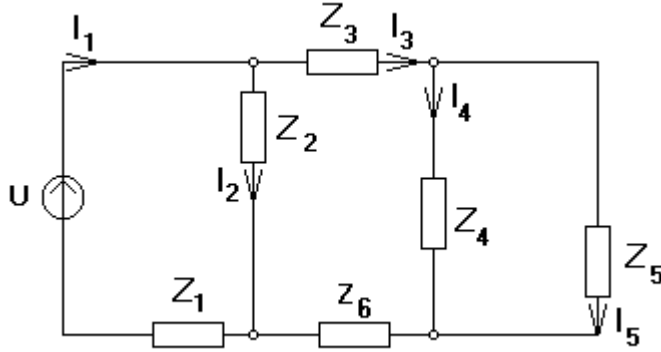
$$U = 93.969 - 34.202i$$

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



## Для електричного кола без взаємної індукції:

**Розрахувати всі струми символьним методом**



$$\begin{aligned} Z_1 &:= R_1 + i \cdot X_{L1} \rightarrow 5 + 60 \cdot i \\ Z_2 &:= R_2 + i \cdot X_{L2} \rightarrow 7 + 50 \cdot i \\ Z_3 &:= R_3 - i \cdot X_{C1} \rightarrow 9 - 20 \cdot i \\ Z_4 &:= R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 12 - 13 \cdot i \\ Z_5 &:= -i \cdot X_{C2} \rightarrow -15 \cdot i \\ Z_6 &:= i \cdot X_{L3} \rightarrow 43 \cdot i \end{aligned}$$

$$Z_E := \frac{\left( \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 12.218 + 72.233i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = -0.246 - 1.343i \quad F(I_1) = (1.365 \quad -100.399)$$

$$I_2 := \frac{I_1 \cdot \left( \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} \quad I_2 = -0.209 - 0.322i \quad F(I_2) = (0.384 \quad -122.973)$$

$$I_3 := \frac{I_1 \cdot Z_2}{\left( Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)} \quad I_3 = -0.037 - 1.02i \quad F(I_3) = (1.021 \quad -92.098)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_5 + Z_4} \quad I_4 = -0.215 - 0.455i \quad F(I_4) = (0.503 \quad -115.297)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5} \quad I_5 = 0.177 - 0.566i \quad F(I_5) = (0.593 \quad -72.587)$$

**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:**

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1})] + U - I_2 \cdot (R_2 + i \cdot X_{L2}) = 1.776 \times 10^{-14} - 7.105i \times 10^{-15}$$

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

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

**Перевірка за балансом потужностей**

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 22.766 + 134.59i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 22.766$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1}) + (|I_2|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L3} - X_{C1}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C2}) \quad Q = 134.59$$

## Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot R_1 \quad \phi_b = -1.232 - 6.713i \quad F(\phi_b) = (6.825 \quad -100.399)$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 \quad \phi_c = -2.695 - 8.968i \quad F(\phi_c) = (9.364 \quad -106.726)$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot i \cdot X_{L2} \quad \phi_d = 13.414 - 19.419i \quad F(\phi_d) = (23.601 \quad -55.365)$$

$$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot i \cdot X_{L1} \quad \phi_1 = 93.969 - 34.202i \quad F(\phi_1) = (100 \quad -20)$$

$$\phi_{1'} := \phi_1 - U \quad \phi_{1'} = -2.842 \times 10^{-14} + 7.105i \times 10^{-15}$$

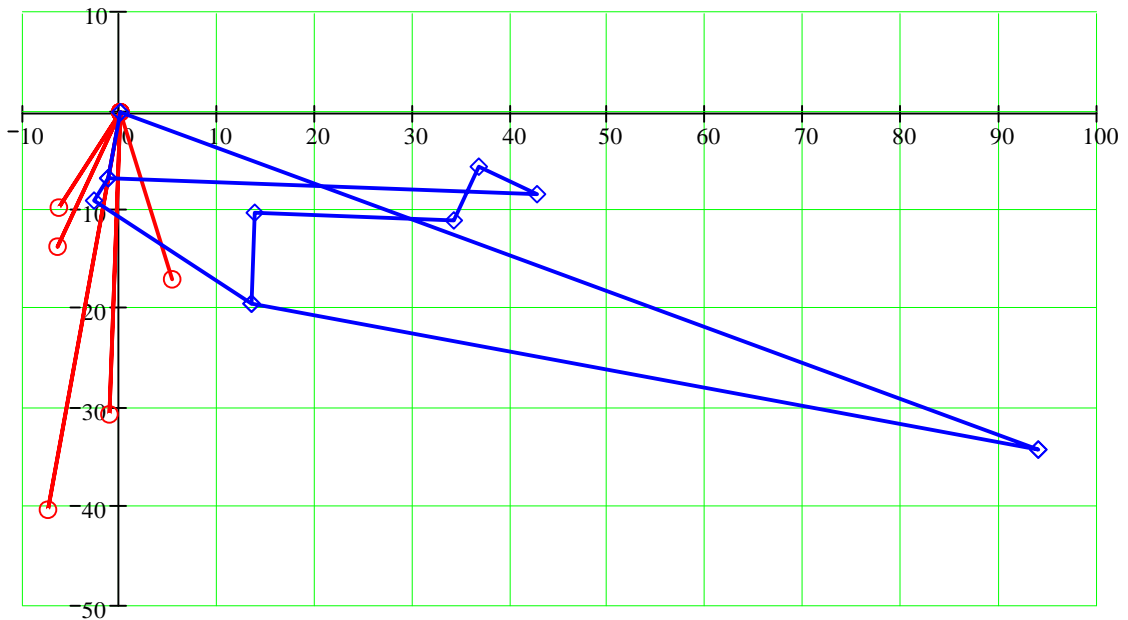
$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_{L3} \quad \phi_e = 42.646 - 8.32i \quad F(\phi_e) = (43.45 \quad -11.04)$$

$$\phi_m := \phi_e + I_4 \cdot (-i \cdot X_{C3}) \quad \phi_m = 36.737 - 5.527i \quad F(\phi_m) = (37.15 \quad -8.557)$$

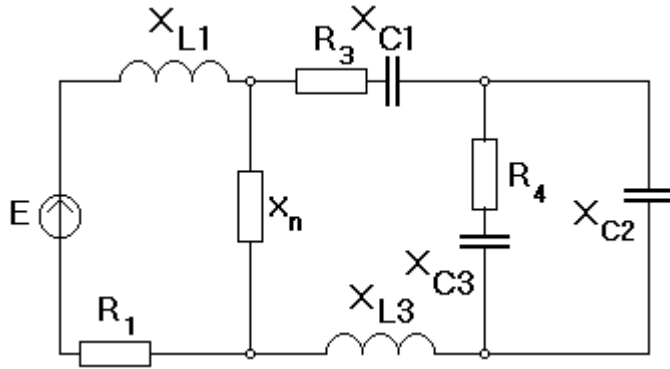
$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot R_4 \quad \phi_n = 34.159 - 10.982i \quad F(\phi_n) = (35.881 \quad -17.823)$$

$$\phi_k := \phi_n + I_3 \cdot (-i \cdot X_{C1}) \quad \phi_k = 13.75 - 10.235i \quad F(\phi_k) = (17.141 \quad -36.662)$$

$$\phi_n := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C2}) \quad \phi_n = 34.159 - 10.982i \quad F(\phi_n) = (35.881 \quad -17.823)$$



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



$$Z_E := \frac{(R_4 - i \cdot X_{C3}) \cdot (-i \cdot X_{C2})}{R_4 - i \cdot (X_{C2} + X_{C3})} + i \cdot X_{L3} + R_3 - i \cdot X_{C1} \quad Z_E = 11.909 + 14.789i$$

$$Z_E = R_E + j \cdot X_E \quad R_E := \text{Re}(Z_E) \quad R_E = 11.909 \quad X_E := \text{Im}(Z_E) \quad X_E = 14.789$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -0.041 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -24.38$$

**Розрахувати струми для резонансного стану кола;**

$$Z_1 := R_1 + X_{L1} \cdot i \quad Z_1 = 5 + 60i$$

$$Z_3 := R_3 + X_{L3} \cdot i - X_{C1} \cdot i \quad Z_3 = 9 + 23i$$

$$Z_4 := R_4 - X_{C3} \cdot i \quad Z_4 = 12 - 13i$$

$$Z_5 := -X_{C2} \cdot i \quad Z_5 = -15i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 11.909 + 14.789i$$

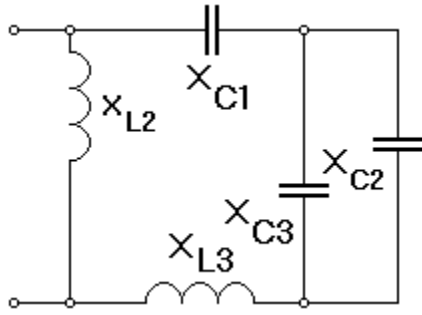
$$\text{Вхідний опір кола: } Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(137240 \cdot X_N + 15692 \cdot X_N^2 + 1672925 + 1981465 \cdot i \cdot X_N + 69404 \cdot i \cdot X_N^2 + 20075100 \cdot i)}{(334585 + 27448 \cdot X_N + 928 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 6} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -14.2749 + 9.24544 \cdot i \\ -14.2749 - 9.24544 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$\text{Отже резонанс кола не може бути, так як: } X_N = \begin{pmatrix} -14.275 + 9.245i \\ -14.275 - 9.245i \end{pmatrix}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{4 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.08$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{43}{200 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.068$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \rightarrow \frac{1}{4000 \cdot \pi} \quad C_1 = 7.958 \times 10^{-5}$$

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

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{2600 \cdot \pi} \quad C_3 = 1.224 \times 10^{-4}$$

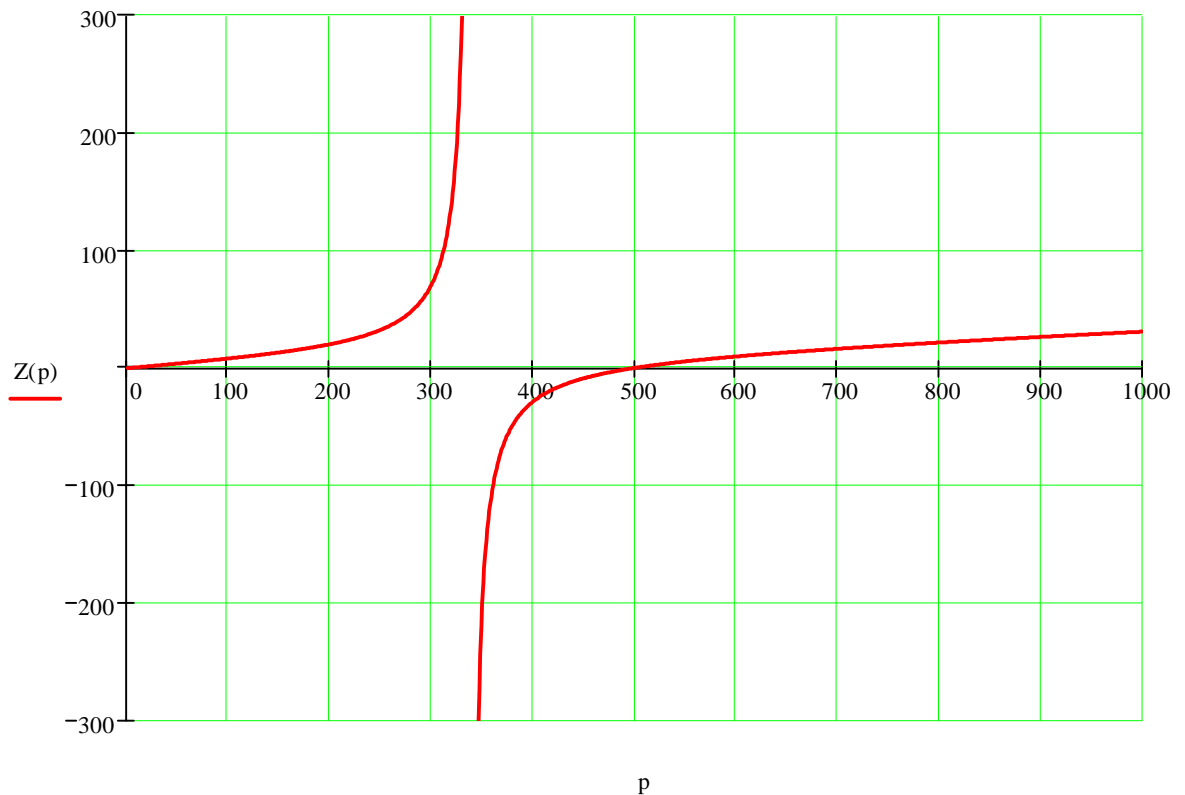
$$Z(p) := \frac{\left[ \frac{\frac{-1}{p \cdot C_3} \cdot \frac{-1}{p \cdot C_2}}{\left( \frac{-1}{p \cdot C_3} - \frac{1}{p \cdot C_2} \right)} + p \cdot L_3 - \frac{1}{p \cdot C_1} \right] \cdot p \cdot L_2}{p \cdot L_2 + \frac{\frac{-1}{p \cdot C_3} \cdot \frac{-1}{p \cdot C_2}}{\left( \frac{-1}{p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

Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 497.55386102 \\ -497.55386102 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 497.554 \\ -497.554 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega := \begin{pmatrix} \omega_0 \\ \omega_2 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 497.554 \\ 0 \end{pmatrix}$$

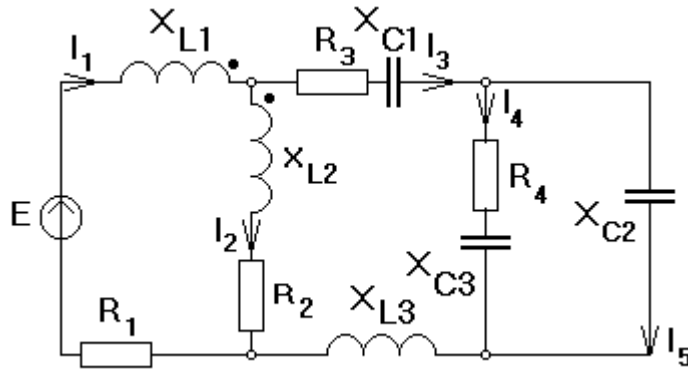
Знаходимо полюси:

$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 338.32403694 \\ -338.32403694 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 338.324 \\ -338.324 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \omega_{1_0} \quad \omega_1 = 338.324$$



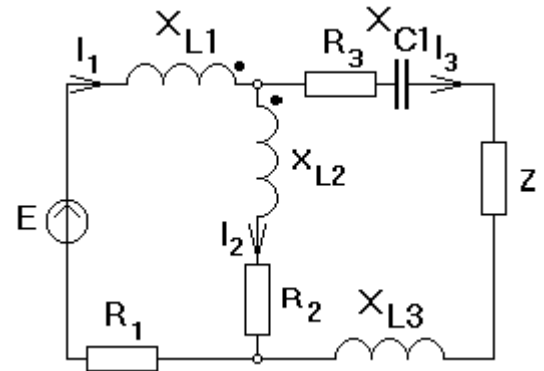
### При наявності магнітного зв'язку між індуктивними елементами

- 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



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

$$Z = 2.909 - 8.211i$$



$$Z_{11} := R_1 + R_2 + i \cdot (X_{L1} + X_{L2} - 2 \cdot X_M) \rightarrow 12 + 46 \cdot i$$

$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 7 + 18 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + R_3 + i \cdot (X_{L2} + X_{L3} - X_{C1}) + Z \text{ float, 7} \rightarrow 18.90948 + 64.78879 \cdot i$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \rightarrow \begin{pmatrix} -0.28473427867754952910 - 2.3558634498105034320 \cdot i \\ -0.13969091967277200028 - 0.66452676145950717333 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = -0.285 - 2.356i$$

$$I_{K2} = -0.14 - 0.665i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = -0.285 - 2.356i$$

$$F(I_1) = (2.373 \quad -96.891)$$

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

$$I_2 = -0.145 - 1.691i$$

$$F(I_2) = (1.698 \quad -94.902)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = -0.14 - 0.665i$$

$$F(I_3) = (0.679 \quad -101.871)$$

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

$$I_4 = -0.192 - 0.274i$$

$$F(I_4) = (0.334 \quad -125.07)$$

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

$$I_5 = 0.052 - 0.391i$$

$$F(I_5) = (0.394 \quad -82.361)$$

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:

$$-I_1 \cdot [R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] = 1.066 \times 10^{-14} + 3.553i \times 10^{-15}$$

$$I_2 \cdot [R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M)] - I_4 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) - I_3 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3} - i \cdot X_{C1} + i \cdot X_M) = -1.677 \times 10^{-6} + 2.267i \times 10^{-6}$$

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

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

$$S_{M1} = -4.476 - 128.827i$$

$$F(S_{M1}) = (128.905 \quad -91.99)$$

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

$$S_{M2} = 4.476 - 128.827i$$

$$F(S_{M2}) = (128.905 \quad -88.01)$$

### Перевірка за балансом потужностей

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

$$S_1 = 53.819 + 231.117i$$

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

$$P = 53.819$$

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

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

$$Q = 231.117i$$

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

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = -1.424 - 11.779i$$

$$F(\phi_b) = (11.865 \quad -96.891)$$

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

$$\phi_c = -2.439 - 23.619i$$

$$F(\phi_c) = (23.744 \quad -95.896)$$

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

$$\phi_{d'} = 82.128 - 30.871i$$

$$F(\phi_{d'}) = (87.738 \quad -20.601)$$

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

$$\phi_d = 6.74 - 21.759i$$

$$F(\phi_d) = (22.779 \quad -72.789)$$

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

$$\phi_{1''} = -47.383 - 17.118i$$

$$F(\phi_{1''}) = (50.38 \quad -160.137)$$

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

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

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

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

$$\phi_{1'} = -2.842 \times 10^{-14} - 7.105i \times 10^{-15}$$

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

$$\phi_e = 27.151 - 17.786i$$

$$F(\phi_e) = (32.458 \quad -33.228)$$

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

$$\phi_k = 26.745 - 19.719i$$

$$F(\phi_k) = (33.228 \quad -36.402)$$

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

$$\phi_m = 21.288 - 18.572i$$

$$F(\phi_m) = (28.251 \quad -41.103)$$

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

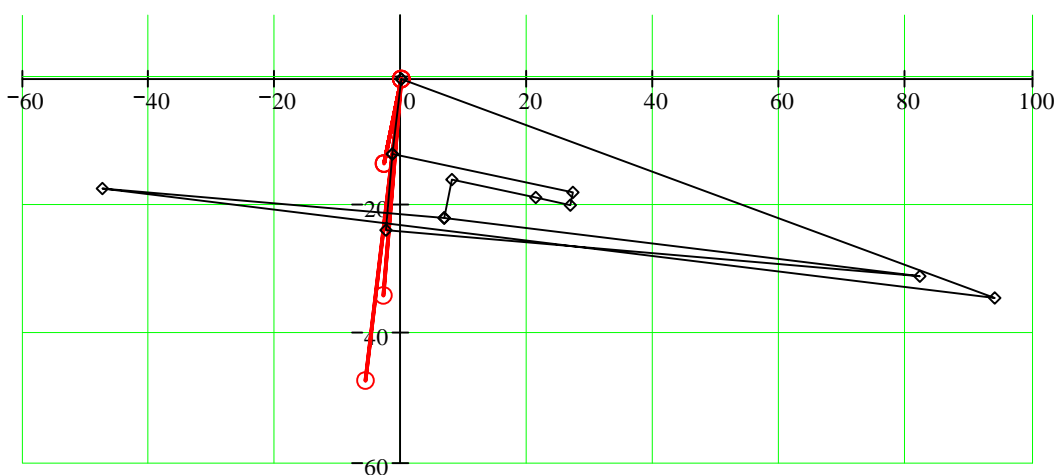
$$\phi_z = 7.997 - 15.779i$$

$$F(\phi_z) = (17.69 \quad -63.122)$$

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

$$\phi_d = 6.74 - 21.759i$$

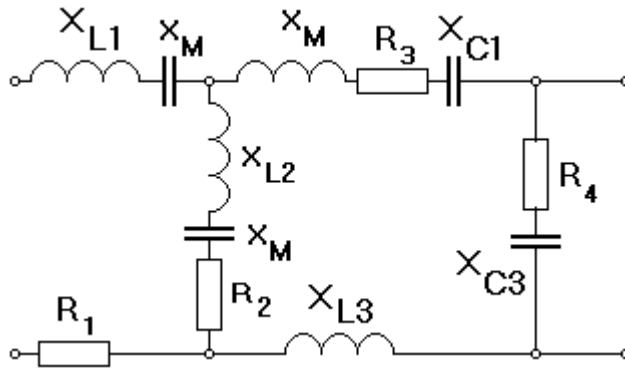
$$F(\phi_d) = (22.779 \quad -72.789)$$





**3. Виякинувши крайню вітку між полюсами 2,2'', зробити розв'язку магнітного зв'язку. Одержану схему розглядати як чотириполюсник з полюсами 1,1'' та 2,2'':**

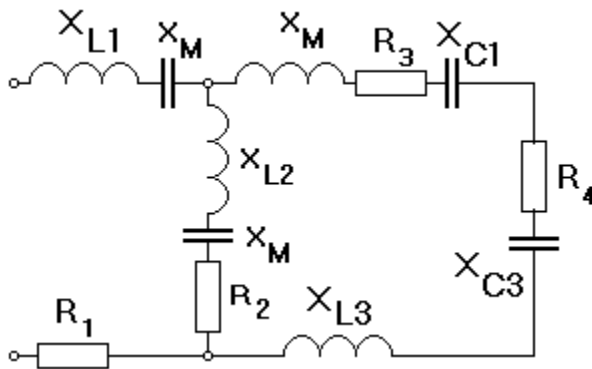
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_M) \rightarrow 5 + 28 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 7 + 18 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 21 + 42 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 10.307 + 40.627i \quad Z_{20} := \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + Z_3 \quad Z_{20} = 24.331 + 53.065i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = -0.24 - 2.374i \quad F(I_{10}) = (2.386 \quad -95.764)$$

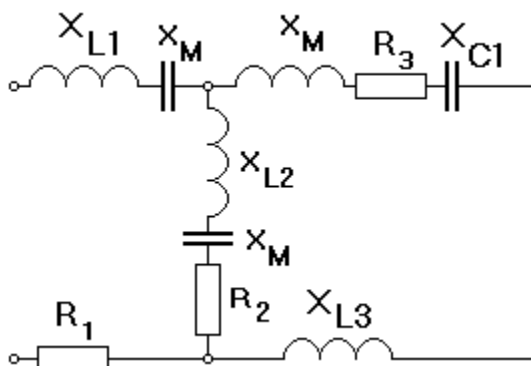
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -0.024 - 0.695i \quad F(I_{30}) = (0.696 \quad -91.997)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) \quad U_{20} = -9.333 - 8.031i \quad F(U_{20}) = (12.312 \quad -139.288)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = -3.973 + 7.084i \quad F(A) = (8.122 \quad 119.288)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.141 + 0.133i \quad F(C) = (0.194 \quad 43.524)$$

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} - X_M) \rightarrow 5 + 28 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (X_{L2} - X_M) \rightarrow 7 + 18 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L3} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 9 + 55 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 9.494 + 41.684i$$

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

$$I_{1K} = -0.292 - 2.321i$$

$$F(I_{1K}) = (2.339 \quad -97.169)$$

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

$$I_{3K} = -0.167 - 0.581i$$

$$F(I_{3K}) = (0.604 \quad -106.057)$$

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

$$B = 11.375 + 165.035i$$

$$F(B) = (165.426 \quad 86.057)$$

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

$$D = 3.823 + 0.598i$$

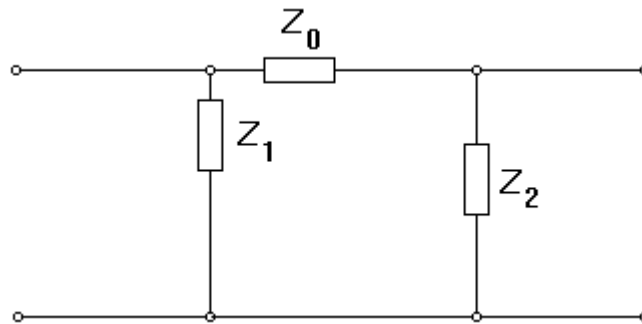
$$F(D) = (3.87 \quad 8.888)$$

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

$$F(A) = (8.122 \quad 119.288) \quad F(B) = (165.426 \quad 86.057)$$

$$F(C) = (0.194 \quad 43.524) \quad F(D) = (3.87 \quad 8.888)$$

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



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = 11.375 + 165.035i$$

$$F(Z_0) = (165.426 \quad 86.057)$$

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

$$Y_1 = 4.779 \times 10^{-3} - 0.017i$$

$$F(Y_1) = (0.017 \quad -74.1)$$

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

$$Y_2 = 0.041 + 0.033i$$

$$F(Y_2) = (0.052 \quad 39.014)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0) \quad R_0 = 11.375 \quad X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0) \quad X_{L0} = 165.035$$

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

$$Z_1 = 15.705 + 55.134i \quad R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 15.705 \quad X_{L1} := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_{L1} = 55.134$$

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

$$Z_2 = 14.85 - 12.032i \quad R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 14.85 \quad X_{C2} := -\operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{C2} = 12.032$$

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

$$L_1 = 0.088$$

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

$$C_2 = 1.323 \times 10^{-4}$$

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

$$L_0 = 0.263$$