

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

***Розрахунково-графічна робота***  
*“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”*  
*Варіант № 187*

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 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;
- 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.

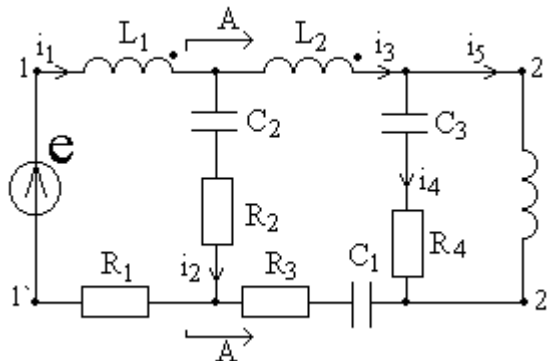
$$E := 100 \quad \psi := -20 \quad R_1 := 5 \quad R_2 := 7 \quad R_3 := 9 \quad R_4 := 12 \quad X_{L1} := 60 \quad X_{L2} := 50 \quad X_{L3} := 43$$

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

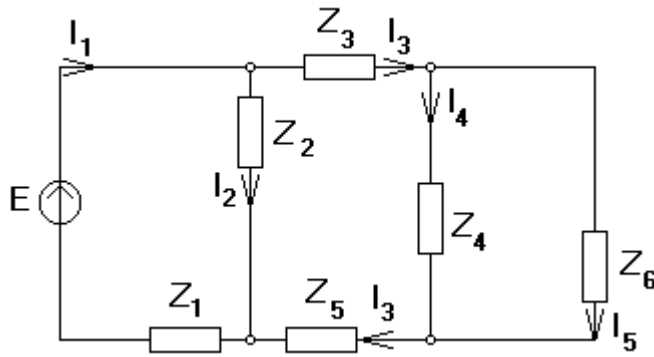
$$U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$U = 93.969 - 34.202i$$

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



# Розрахувати всі струми символічним методом



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

$$Z_2 := R_2 - j \cdot X_{C2} \quad Z_2 = 7 - 15i$$

$$Z_5 := R_3 - j \cdot X_{C1} \quad Z_5 = 9 - 20i$$

$$Z_3 := j \cdot X_{L2} \quad Z_3 = 50i$$

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

$$Z_6 := j \cdot X_{L3} \quad Z_6 = 43i$$

$$Z_E := \frac{\left( \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5} + Z_1 \quad Z_E = 17.369 + 49.936i \quad F(Z_E) = (52.87 \quad 70.82)$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = -0.027 - 1.891i \quad F(I_1) = (1.891 \quad -90.82)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{\left( \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)}{\left( Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)} \quad I_2 = 0.771 - 1.651i \quad F(I_2) = (1.822 \quad -64.971)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -0.798 - 0.24i \quad F(I_3) = (0.833 \quad -163.248)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_6}{Z_6 + Z_4} \quad I_4 = -0.867 - 0.691i \quad F(I_4) = (1.109 \quad -141.447)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 0.069 + 0.451i \quad F(I_5) = (0.456 \quad 81.263)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:  $I_1 - I_2 - I_3 = 0$   $I_3 - I_4 - I_5 = 0$   $I_2 + I_4 + I_5 - I_1 = 0$

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot (R_1 + j \cdot X_{L1}) + U - I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) = -1.066 \times 10^{-14} + 3.553i \times 10^{-15}$$

$$-I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1})] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = -1.421 \times 10^{-14} + 1.51i \times 10^{-14}$$

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

Перевірка за балансом потужностей

$$S := U \cdot \overline{I_1} \quad S = 62.139 + 178.644i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 62.139$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot X_{L1} + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 178.644$$

### Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot R_1 \quad F(\phi_b) = (9.457 \quad -90.82)$$

$$\phi_b = -0.135 - 9.456i$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 \quad F(\phi_c) = (21.662 \quad -75.944)$$

$$\phi_c = 5.261 - 21.013i$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) \quad F(\phi_d) = (37.97 \quad -120.91)$$

$$\phi_d = -19.505 - 32.577i$$

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

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

$$\phi_A := \phi_1 - U$$

$$\phi_A = 1.421 \times 10^{-14}$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot R_3 \quad F(\phi_e) = (13.73 \quad -122.204)$$

$$\phi_e = -7.317 - 11.618i$$

$$\phi_k := \phi_e + I_3 \cdot (-X_{C1} \cdot i) \quad F(\phi_k) = (12.875 \quad 160.292)$$

$$\phi_k = -12.121 + 4.342i$$

$$\phi_m := \phi_k + I_4 \cdot R_4 \quad F(\phi_m) = (22.873 \quad -170.049)$$

$$\phi_m = -22.529 - 3.953i$$

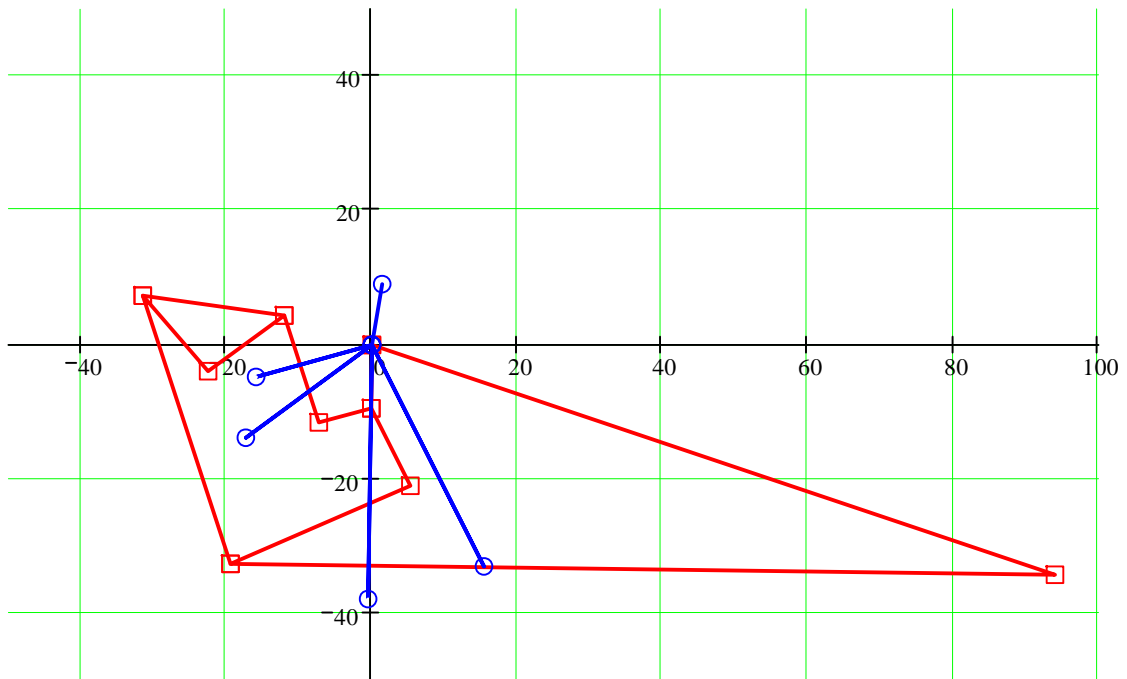
$$\phi_z := \phi_m + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i) \quad F(\phi_z) = (32.354 \quad 166.919)$$

$$\phi_z = -31.514 + 7.322i$$

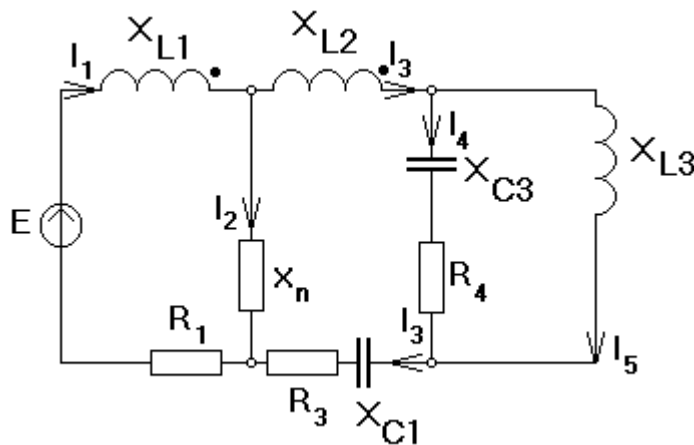
$$\phi_d := \phi_z + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i \quad F(\phi_d) = (37.97 \quad -120.91)$$

$$\phi_d = -19.505 - 32.577i$$

Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



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



$$Z_{45} := \frac{(R_4 - i \cdot X_{C3}) \cdot i \cdot X_{L3}}{R_4 - i \cdot X_{C3} + i \cdot X_{L3}}$$

$$Z_{45} = 21.253 - 10.132i$$

$$Z_E := R_3 + i \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + Z_{45}$$

$$Z_E = 30.253 + 19.868i$$

$$Z_E = R_E - j \cdot X_E$$

$$R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 30.253$$

$$X_E := \operatorname{Im}(Z_E)$$

$$X_E = 19.868$$

За умовою резонансу:

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

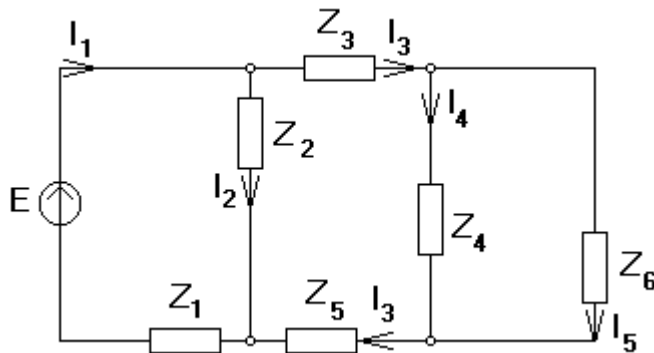
$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2}$$

$$B_n = -0.015$$

$$\text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n}$$

$$X_n = -65.934$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола



$$Z := \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5$$

$$Z = 30.253 + 19.868i$$

Вхідний опір кола:

$$Z_{VX}(X_N) := \frac{Z \cdot i \cdot X_N}{Z + i \cdot X_N} + R_1 + i \cdot (X_{L1}) \rightarrow \left( \frac{-3457}{174} + \frac{2632}{87} \cdot i \right) \cdot \frac{X_N}{\left( \frac{2632}{87} + \frac{3457}{174} \cdot i + i \cdot X_N \right)} + 5 + 60 \cdot i$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \rightarrow \\ \text{float, 1} \end{array} \right. \frac{\left( 2 \cdot 10^5 \cdot X_N + 4 \cdot 10^4 \cdot X_N^2 + 7 \cdot 10^6 + 4 \cdot 10^6 \cdot i \cdot X_N + 8 \cdot 10^4 \cdot i \cdot X_N^2 + 8 \cdot 10^7 \cdot i \right)}{\left( 1 \cdot 10^6 + 4 \cdot 10^4 \cdot X_N + 1 \cdot 10^3 \cdot X_N^2 \right)^1}$$

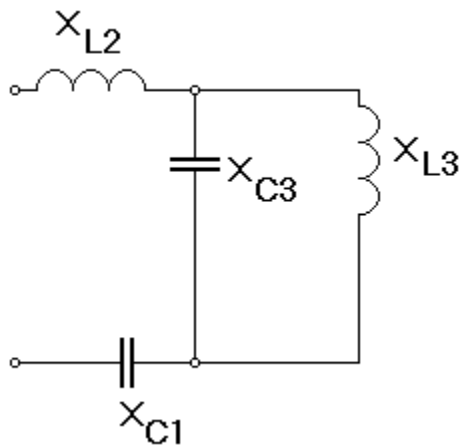
Уявна частина вхідного опору, яка за умовою резонансу дорівнює нулю:

$$X_{VX}(X_N) := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \rightarrow \end{array} \right. \frac{(3856645 \cdot X_N + 83382 \cdot X_N^2 + 82056300)}{(1367605 + 41484 \cdot X_N + 1044 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := X_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{solve, } X_N \\ \text{float, 10} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -23.12636420 + 21.19604123 \cdot i \\ -23.12636420 - 21.19604123 \cdot i \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола неможливий ні при яких значеннях реактивного опору у другій вітці

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



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

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

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

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

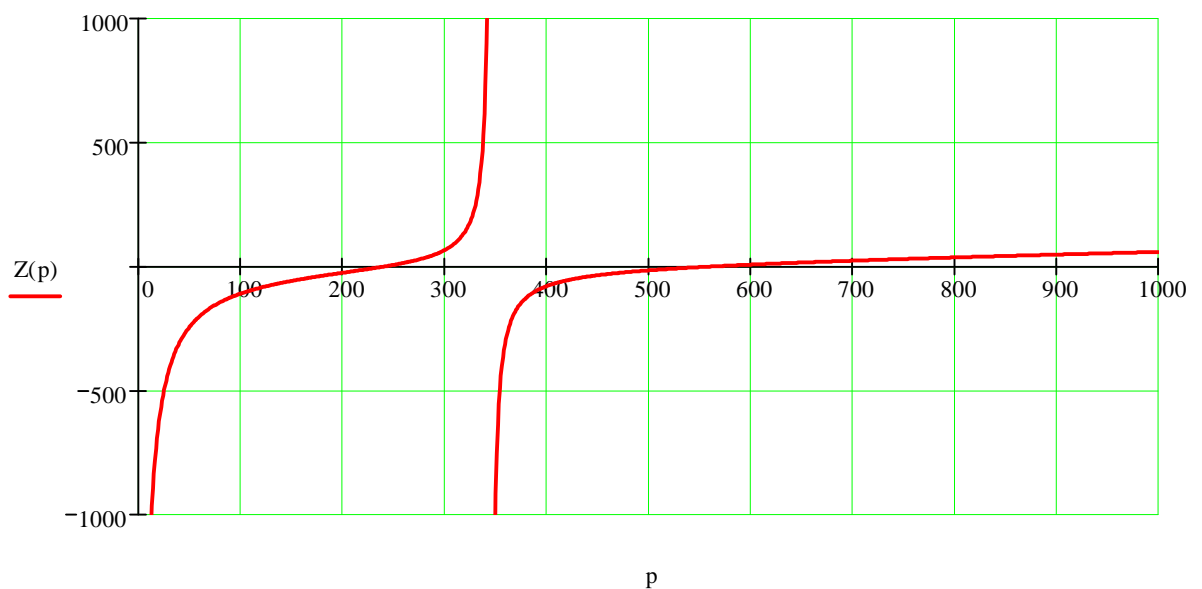
$$Z(p) := \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 + \frac{-1}{p \cdot C_1} \rightarrow \frac{-559}{\left( \frac{43}{200} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{2600}{p} \cdot \pi \right)} + \frac{1}{4} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{4000}{p} \cdot \pi$$

Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 16} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 566.7801026745237 \\ -566.7801026745237 \\ 242.2214419680315 \\ -242.2214419680315 \end{pmatrix} \omega = \begin{pmatrix} 566.78 \\ -566.78 \\ 242.221 \\ -242.221 \end{pmatrix} \quad \omega := \begin{pmatrix} \omega_0 \\ \omega_2 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 566.78 \\ 242.221 \end{pmatrix}$$

Знаходимо полюси:

$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \text{ solve, p} \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{200}{43} \cdot \frac{1}{559^2} \cdot \pi \\ \frac{1}{559^2} \cdot \pi \\ \frac{-200}{43} \cdot \frac{1}{559^2} \cdot \pi \\ 0 \end{pmatrix} \omega_1 = \begin{pmatrix} 345.476 \\ -345.476 \\ 0 \end{pmatrix} \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{10} \\ \omega_{12} \end{pmatrix} \omega_1 = \begin{pmatrix} 345.476 \\ 0 \end{pmatrix}$$



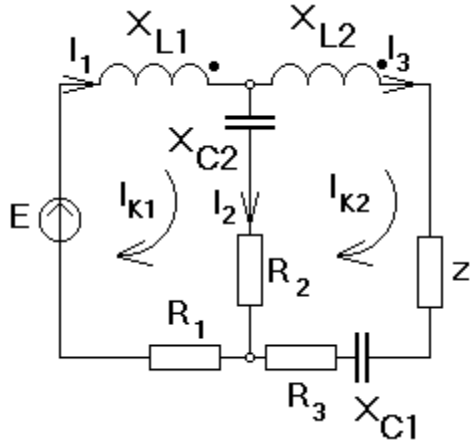
## 2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 T/ L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

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).

Спростимо схему до двох незалежних контурів



$$Z := \frac{(R_4 - j \cdot X_{C3}) \cdot j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})} \quad Z = 21.253 - 10.132i$$

$$Z_{11} := R_1 + j \cdot X_{L1} + R_2 - j \cdot X_{C2}$$

$$Z_{22} := Z + R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1} - X_{C2}) + R_2$$

$$Z_{12} := R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)$$

$$Z_{11} = 12 + 45i \quad Z_{22} = 37.253 + 4.868i \quad Z_{12} = 7 - 47i$$

Given

$$I_{K1} \cdot Z_{11} - I_{K2} \cdot Z_{12} = U \quad -I_{K1} \cdot Z_{12} + I_{K2} \cdot Z_{22} = 0$$

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \quad \left| \begin{array}{l} \text{expand} \\ \text{float}, 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} .5952802602 - .9384827938 \cdot i \\ -1.173324774 - .7740616982 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 0.595 - 0.938i \quad I_{K2} = -1.173 - 0.774i$$

$$I_1 := I_{K1} \quad I_1 = 0.595 - 0.938i \quad F(I_1) = (1.111 \quad -57.613)$$

$$I_2 := I_{K1} - I_{K2} \quad I_2 = 1.769 - 0.164i \quad F(I_2) = (1.776 \quad -5.311)$$

$$I_3 := I_{K2} \quad I_3 = -1.173 - 0.774i \quad F(I_3) = (1.406 \quad -146.587)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})} \quad I_4 = -1.067 - 1.536i \quad F(I_4) = (1.871 \quad -124.785)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.106 + 0.762i \quad F(I_5) = (0.77 \quad 97.924)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:  $I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad I_3 - I_4 - I_5 = 0 \quad I_2 + I_4 + I_5 - I_1 = 0$

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot [R_1 + j \cdot (X_{L1} + X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] = 1.791 \times 10^{-9} - 2.537i \times 10^{-8}$$

$$-I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M)] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = 2.345 \times 10^{-8} - 3.14i \times 10^{-8}$$

$$I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) - I_5 \cdot j \cdot X_{L3} = 1.776i \times 10^{-15}$$

$$S_{M1} := \bar{I}_1 \cdot I_3 \cdot X_M \quad S_{M1} = 0.896 - 49.982i \quad F(S_{M1}) = (49.99 \quad -88.973)$$

$$S_{M2} := I_1 \cdot \bar{I}_3 \cdot X_M \quad S_{M2} = 0.896 + 49.982i \quad F(S_{M2}) = (49.99 \quad 88.973)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S = 88.036 + 67.829i$$

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

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot X_{L1} + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} + S_{M1} + S_{M2}$$

$$S = 88.036 + 67.829i$$

$$P = 88.036$$

$$Q = 67.829$$

**Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:**

$$\phi_a := 0$$

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

$$F(\phi_b) = (5.557 \quad -57.613)$$

$$\phi_b = 2.976 - 4.692i$$

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

$$F(\phi_c) = (16.431 \quad -20.832)$$

$$\phi_c = 15.357 - 5.843i$$

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

$$F(\phi_d) = (34.844 \quad -68.288)$$

$$\phi_d = 12.89 - 32.372i$$

$$\phi_{1''} := \phi_d + I_3 \cdot i \cdot X_M$$

$$F(\phi_{1''}) = (79.416 \quad -61.692)$$

$$\phi_{1''} = 37.66 - 69.919i$$

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

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

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

$$\phi_A := \phi_1 - U$$

$$F(\phi_A) = (2.543 \times 10^{-8} \quad 94.038)$$

$$\phi_A = -1.791 \times 10^{-9} + 2.537i \times 10^{-8}$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot R_3$$

$$F(\phi_e) = (13.908 \quad -123.042)$$

$$\phi_e = -7.584 - 11.659i$$

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

$$F(\phi_m) = (25.911 \quad 152.891)$$

$$\phi_m = -23.065 + 11.808i$$

$$\phi_z := \phi_m + I_3 \cdot \text{Re}(Z)$$

$$F(\phi_z) = (48.225 \quad -174.475)$$

$$\phi_z = -48.001 - 4.644i$$

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

$$F(\phi_k) = (56.312 \quad 172.608)$$

$$\phi_k = -55.844 + 7.245i$$

$$\phi_{d'} := \phi_k + I_1 \cdot i \cdot X_M$$

$$F(\phi_{d'}) = (36.846 \quad 134.471)$$

$$\phi_{d'} = -25.813 + 26.294i$$

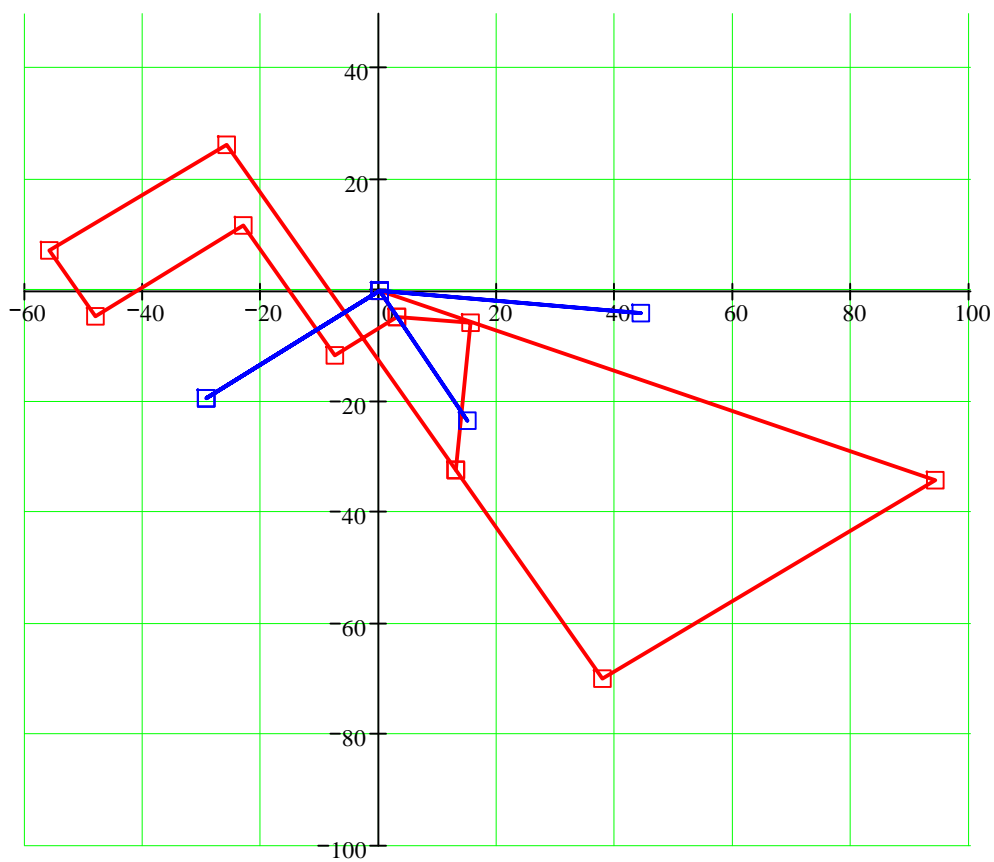
$$\phi_d := \phi_{d'} + I_3 \cdot i \cdot X_{L2}$$

$$F(\phi_d) = (34.844 \quad -68.288)$$

$$\phi_d = 12.89 - 32.372i$$

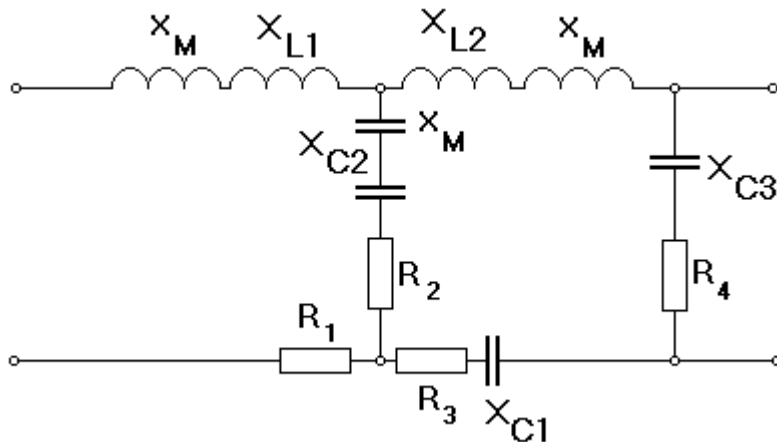


Суміщена векторна діаграма струмів і топографічна діаграма напруг:



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

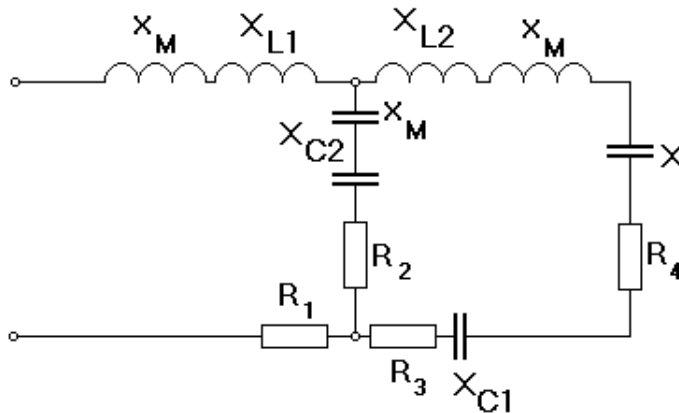
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника **A,B,C,D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_M + X_{L1}) \rightarrow 5 + 92 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 7 - 47 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C3} - X_{C1}) \rightarrow 21 + 49 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1$$

$$Z_{10} = 90.421 + 62.898i$$

$$Z_{20} := \frac{Z_2 \cdot Z_1}{Z_2 + Z_1} + Z_3 \quad Z_{20} = 53.602 - 39.173i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}}$$

$$I_{10} = 0.523 - 0.742i$$

$$F(I_{10}) = (0.908 \quad -54.823)$$

$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3}$$

$$I_{30} = -1.185 - 0.979i$$

$$F(I_{30}) = (1.537 \quad -140.438)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) \quad U_{20} = -26.943 + 3.656i$$

$$F(U_{20}) = (27.189 \quad 172.272)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}}$$

$$A = -3.594 + 0.782i$$

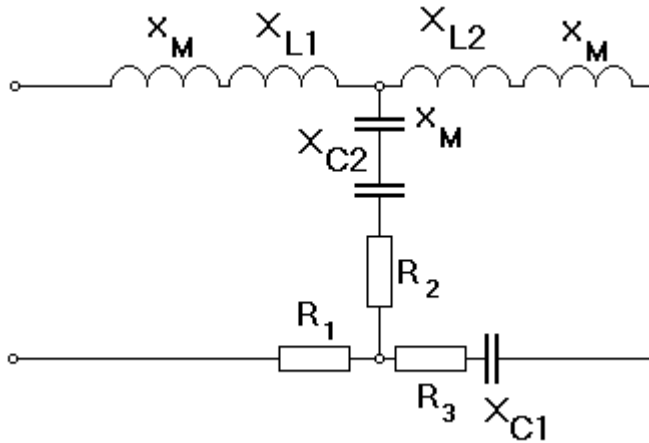
$$F(A) = (3.678 \quad 167.728)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}}$$

$$C = -0.023 + 0.024i$$

$$F(C) = (0.033 \quad 132.905)$$

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} + X_M) \rightarrow 5 + 92 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 7 - 47 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 9 + 62 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 104.37 - 0.472i$$

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

$$I_{1K} = 0.902 - 0.324i$$

$$F(I_{1K}) = (0.958 \quad -19.741)$$

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

$$I_{3K} = -1.688 - 1.208i$$

$$F(I_{3K}) = (2.076 \quad -144.422)$$

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

$$B = -27.231 + 39.736i$$

$$F(B) = (48.172 \quad 124.422)$$

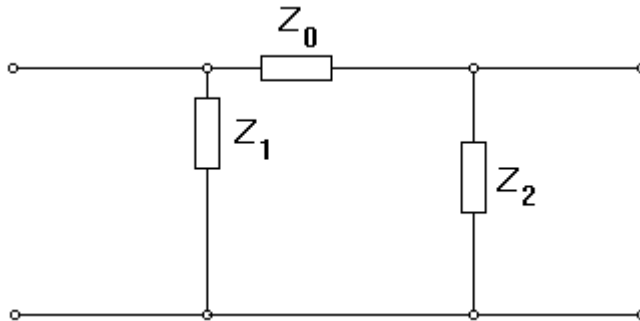
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}}$$

$$D = -0.263 + 0.38i$$

$$F(D) = (0.462 \quad 124.681)$$

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

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



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = -27.231 + 39.736i$$

$$F(Z_0) = (48.172 \quad 124.422)$$

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

$$Y_1 = 0.021 + 0.017i$$

$$F(Y_1) = (0.027 \quad 38.847)$$

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

$$Y_2 = 0.067 + 0.069i$$

$$F(Y_2) = (0.097 \quad 45.92)$$

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

$$R_0 = -27.231$$

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

$$X_{L0} = 39.736$$

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

$$Z_1 = 28.456 - 22.918i$$

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

$$R_1 = 28.456$$

$$X_{C1} := -\text{Im}(Z_1)$$

$$X_{C1} = 22.918$$

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

$$Z_2 = 7.191 - 7.426i$$

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

$$R_2 = 7.191$$

$$X_{L2} := -\text{Im}(Z_2)$$

$$X_{L2} = 7.426$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}}$$

$$C_1 = 6.945 \times 10^{-5}$$

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

$$C_2 = 1.061 \times 10^{-4}$$

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

$$L_0 = 0.063$$