

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

***Розрахунково-графічна робота***  
*“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”*  
*Варіант № 115*

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.

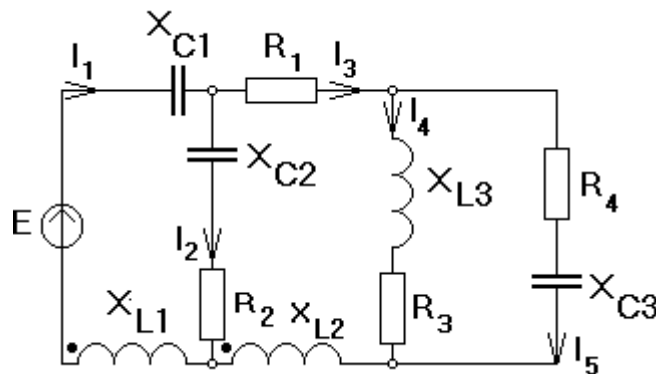
#### 2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ $L_1$ ТА $L_2$ (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

- 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" :

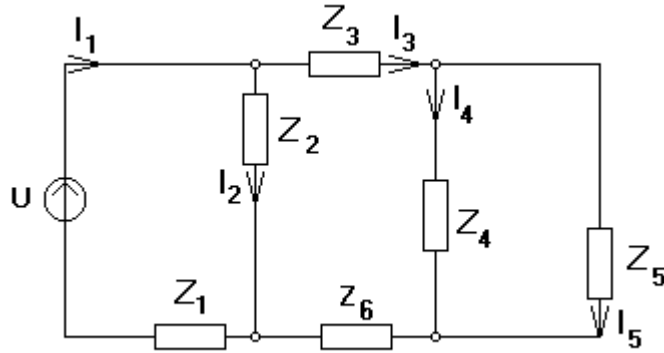
- 3.1. Розрахувати коефіцієнти  $A, B, C, D$  чотиріполюсника;
- 3.2. Розрахувати параметри  $R, L, C$  віток схеми заміщення.

$$\begin{aligned} E &:= 100 & \psi &:= -20 & R_1 &:= 5 & R_2 &:= 7 & R_3 &:= 9 & R_4 &:= 12 \\ X_{L1} &:= 30 & X_{L2} &:= 35 & X_{L3} &:= 40 & X_{C1} &:= 10 & X_{C2} &:= 15 & X_{C3} &:= 20 \\ X_M &:= 20 & f &:= 50 & & & & & & & & \\ U &:= E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}} & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & U = 93.969 - 34.202i & F(U) = (100 \ -20) \end{aligned}$$



## Для електричного кола без взаємної індукції:

**Розрахувати всі струми символьним методом**



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

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2}) \rightarrow 7 - 15 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 \rightarrow 5$$

$$Z_4 := R_3 + i \cdot X_{L3} \rightarrow 9 + 40 \cdot i$$

$$Z_5 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 12 - 20 \cdot i$$

$$Z_6 := i \cdot X_{L2} \rightarrow 35 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{\left( \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 11.822 + 9.343i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 3.485 - 5.647i \quad F(I_1) = (6.636 \quad -58.318)$$

$$I_2 := \frac{I_1 \cdot \left( \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} \quad I_2 = 5.204 - 3.694i \quad F(I_2) = (6.381 \quad -35.368)$$

$$I_3 := \frac{I_1 \cdot Z_2}{\left( Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)} \quad I_3 = -1.718 - 1.954i \quad F(I_3) = (2.602 \quad -131.331)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_5 + Z_4} \quad I_4 = -1.231 + 1.692i \quad F(I_4) = (2.093 \quad 126.03)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5} \quad I_5 = -0.487 - 3.646i \quad F(I_5) = (3.678 \quad -97.614)$$

*Перевірка за першим законом Кіргофа:*

$$I_1 - I_2 - I_3 = 1.111 \times 10^{-15} \quad I_2 + I_5 + I_4 - I_1 = 0$$

*Перевірка за другим законом Кіргофа:*

$$-I_1 \cdot [i \cdot (X_{L1} - X_{C1})] + U - I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) = 7.105 \times 10^{-15}$$

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

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

*Перевірка за балансом потужностей*

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 520.682 + 411.473i$$

$$P := (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 + (|I_3|)^2 \cdot R_1 \quad P = 520.682$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1} + X_{L1}) + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot (X_{L3}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 411.473$$

## Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot i \cdot X_{L1} \quad \phi_b = 169.422 + 104.565i \quad F(\phi_b) = (199.092 \quad 31.682)$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 \quad \phi_c = 205.849 + 78.709i \quad F(\phi_c) = (220.383 \quad 20.925)$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-i \cdot X_{C2}) \quad \phi_d = 150.443 + 0.653i \quad F(\phi_d) = (150.445 \quad 0.249)$$

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

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

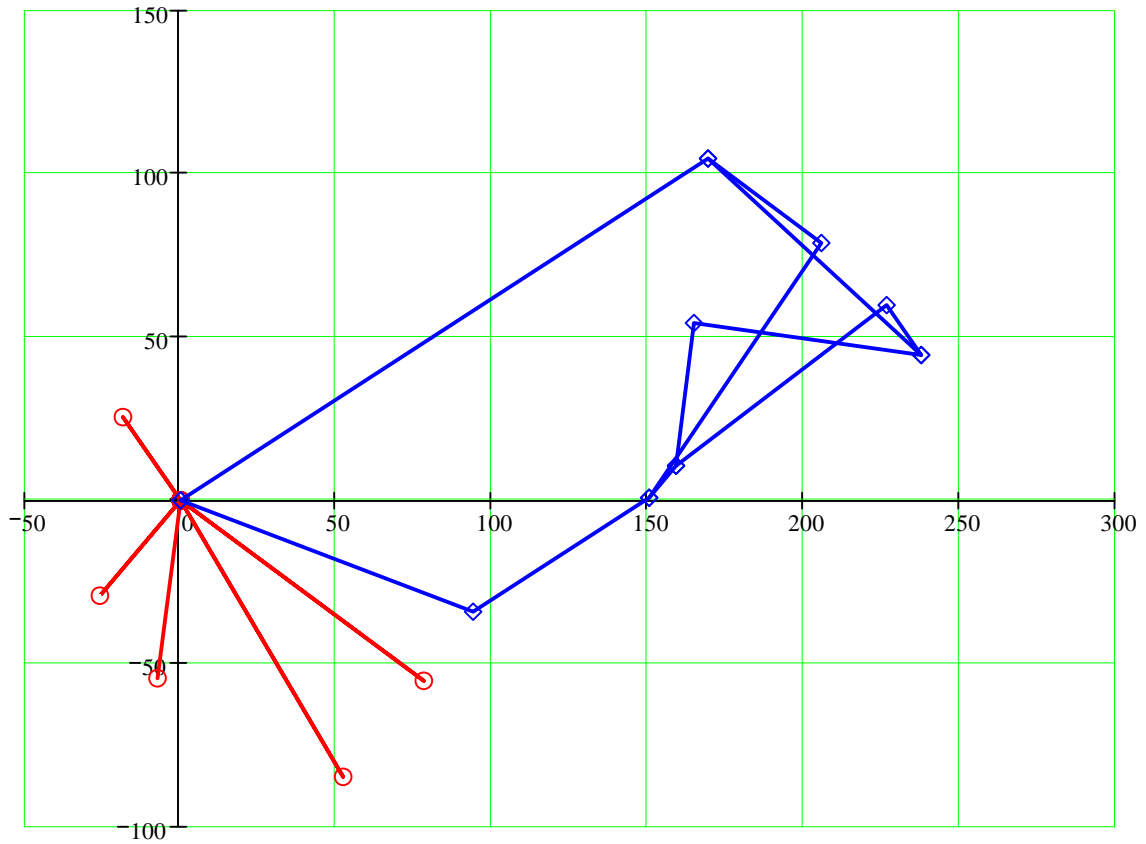
$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_{L2} \quad \phi_e = 237.803 + 44.426i \quad F(\phi_e) = (241.917 \quad 10.582)$$

$$\phi_m := \phi_e + I_4 \cdot R_3 \quad \phi_m = 226.725 + 59.656i \quad F(\phi_m) = (234.442 \quad 14.742)$$

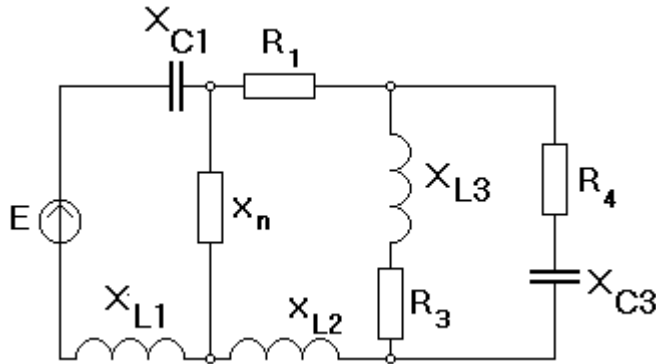
$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot i \cdot X_{L3} \quad \phi_n = 159.035 + 10.422i \quad F(\phi_n) = (159.376 \quad 3.749)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3}) \quad \phi_k = 164.883 + 54.174i \quad F(\phi_k) = (173.555 \quad 18.188)$$

$$\phi_n := \phi_k + I_5 \cdot R_4 \quad \phi_n = 159.035 + 10.422i \quad F(\phi_n) = (159.376 \quad 3.749)$$



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



$$Z_E := \frac{(R_3 + i \cdot X_{L3}) \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})} + i \cdot X_{L2} + R_1 \quad Z_E = 34.807 + 20.898i$$

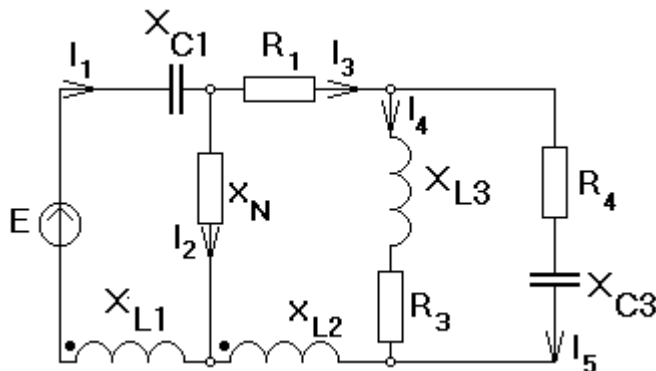
$$Z_E = R_E + j \cdot X_E \quad R_E := \text{Re}(Z_E) \quad R_E = 34.807 \quad X_E := \text{Im}(Z_E) \quad X_E = 20.898$$

За умовою резонансу:

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

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -0.013 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -78.873$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



$$\begin{aligned} Z_1 &:= -X_{C1} \cdot i + X_{L1} \cdot i & Z_1 &= 20i \\ Z_3 &:= R_1 + X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 5 + 35i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 9 + 40i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 12 - 20i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 & Z_{345} &= 34.807 + 20.898i \end{aligned}$$

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

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(29273 \cdot X_N^2 + 2089194 \cdot i \cdot X_N + 34395 \cdot i \cdot X_N^2 + 27723880 \cdot i)}{(1386194 + 35150 \cdot X_N + 841 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \text{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -19.584975993933785426 \\ -41.156236391587365904 \end{pmatrix} \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці  $X_N = \begin{pmatrix} -19.585 \\ -41.156 \end{pmatrix}$  який носить ємнісний характер ( $X_{N0} = -19.585$ ). ( $X_{N1} = -41.156$ )

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = -19.585 \quad Z_{VX}(X_n) = 11.004$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 8.539 - 3.108i \quad F(I_1) = (9.087 \quad -20)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 10.467 + 1.624i \quad F(I_2) = (10.592 \quad 8.82)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -1.927 - 4.732i \quad F(I_3) = (5.11 \quad -112.16)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -3.375 + 2.345i \quad F(I_4) = (4.109 \quad 145.201)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 1.447 - 7.077i \quad F(I_5) = (7.224 \quad -78.443)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 908.746$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 908.746$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 6.821 \times 10^{-13}$$

При  $X_n := X_{N1} \quad X_n = -41.156 \quad Z_{VX}(X_n) = 36.35$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 2.585 - 0.941i \quad F(I_1) = (2.751 \quad -20)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = 2.087 + 1.826i \quad F(I_2) = (2.773 \quad 41.18)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 0.498 - 2.767i \quad F(I_3) = (2.811 \quad -79.8)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = -2.259 + 0.096i \quad F(I_4) = (2.261 \quad 177.561)$$

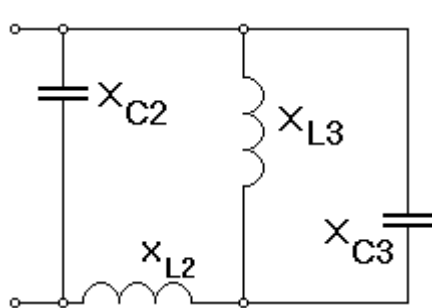
$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 2.757 - 2.863i \quad F(I_5) = (3.975 \quad -46.083)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 275.104$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 275.104$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 1.705 \times 10^{-13}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{7}{20 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.111$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{2}{5 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.127$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{1500 \cdot \pi} \quad C_2 = 2.122 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{2000 \cdot \pi} \quad C_3 = 1.592 \times 10^{-4}$$

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

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

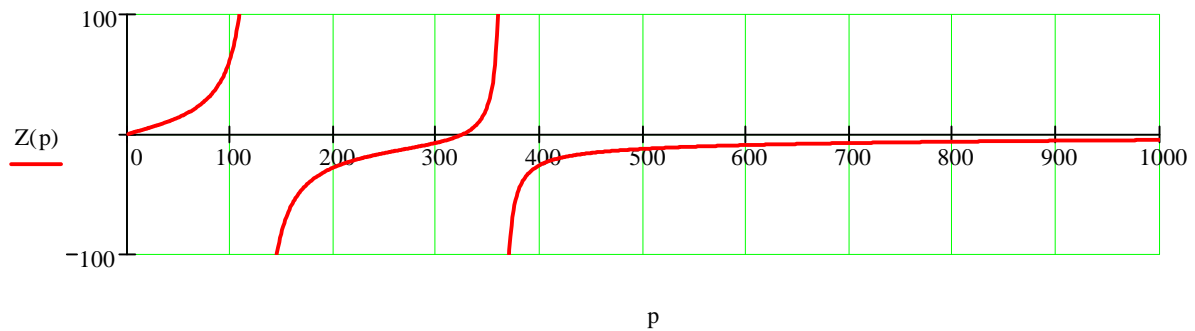
Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 7} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 325.1860 \\ -325.1860 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 325.186 \\ -325.186 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\omega := (\omega_0 \ \omega_2) \quad \omega = (325.186 \ 0)$$

Знаходимо полюси:

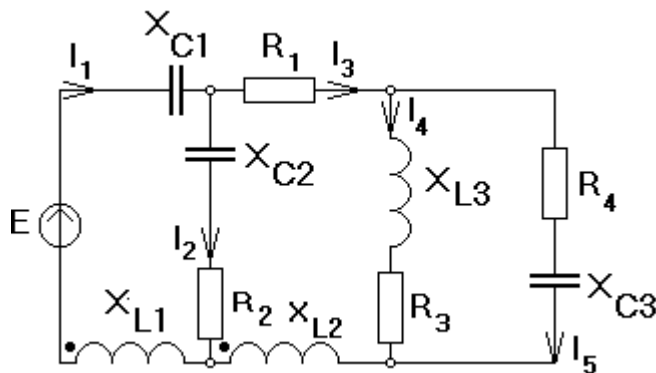
$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 363.67878290 \\ -363.67878290 \\ 125.62566970 \\ -125.62566970 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 363.679 \\ -363.679 \\ 125.626 \\ -125.626 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{1_0} \\ \omega_{1_2} \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 363.679 \\ 125.626 \end{pmatrix}$$



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

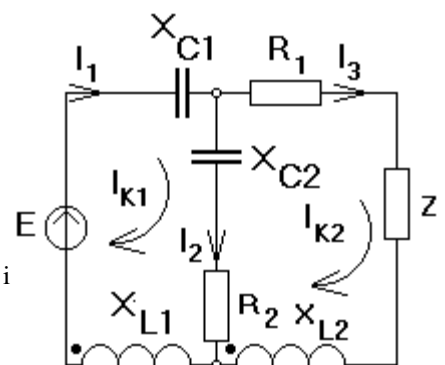
- 1) Перетворити схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках методом контурних струмів, визначити покази вольтметра;
- 2) Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;

імпеданс



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

$$Z = 29.807 - 14.102i$$



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

$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 7 - 35 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + R_1 + i \cdot (X_{L2} - X_{C2}) + Z \text{ float, 7} \rightarrow 41.80737 + 5.897741 \cdot i$$

Given

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

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \rightarrow \begin{pmatrix} 2.0219087613721741019 - 1.6485635600481104585 \cdot i \\ -1.2935777420010984639 - 1.7862296787067822329 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 2.022 - 1.649i$$

$$I_{K2} = -1.294 - 1.786i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 2.022 - 1.649i$$

$$F(I_1) = (2.609 \ -39.192)$$

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

$$I_2 = 3.315 + 0.138i$$

$$F(I_2) = (3.318 \ 2.378)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = -1.294 - 1.786i$$

$$F(I_3) = (2.205 \ -125.912)$$

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

$$I_4 = -1.174 + 1.33i$$

$$F(I_4) = (1.774 \ 131.449)$$

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

$$I_5 = -0.119 - 3.116i$$

$$F(I_5) = (3.118 \quad -92.195)$$

*Перевірка за першим законом Кіргофа:*

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

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

$$S_{M1} = -114.883 + 6.584i$$

$$F(S_{M1}) = (115.071 \quad 176.72)$$

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

$$S_{M2} = 114.883 + 6.584i$$

$$F(S_{M2}) = (115.071 \quad 3.28)$$

*Перевірка за балансом потужностей*

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

$$S_1 = 246.381 + 85.761i$$

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

$$P = 246.381$$

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

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

$$Q = 85.761i$$

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

*Знаходимо потенціали точок:*

$$\phi_a := 0$$

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

$$\phi_b = 49.457 + 60.657i$$

$$F(\phi_b) = (78.264 \quad 50.808)$$

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

$$\phi_{b'} = 85.182 + 34.786i$$

$$F(\phi_{b'}) = (92.011 \quad 22.214)$$

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

$$\phi_c = 108.39 + 35.749i$$

$$F(\phi_c) = (114.133 \quad 18.254)$$

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

$$\phi_d = 110.455 - 13.983i$$

$$F(\phi_d) = (111.336 \quad -7.215)$$

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

$$\phi_1 = 93.969 - 34.202i$$

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

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

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

$$F(\phi_{1'}) = (1.421 \times 10^{-14} \quad -90)$$

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

$$\phi_{e'} = 147.7 - 10.49i$$

$$F(\phi_{e'}) = (148.072 \quad -4.062)$$

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

$$\phi_e = 180.671 + 29.949i$$

$$F(\phi_e) = (183.136 \quad 9.412)$$

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

$$\phi_m = 170.103 + 41.914i$$

$$F(\phi_m) = (175.191 \quad 13.842)$$

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

$$\phi_n = 116.923 - 5.052i$$

$$F(\phi_n) = (117.032 \quad -2.474)$$

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

$$\phi_k = 118.356 + 32.337i$$

$$F(\phi_k) = (122.694 \quad 15.281)$$

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

$$\phi_n = 116.923 - 5.052i$$

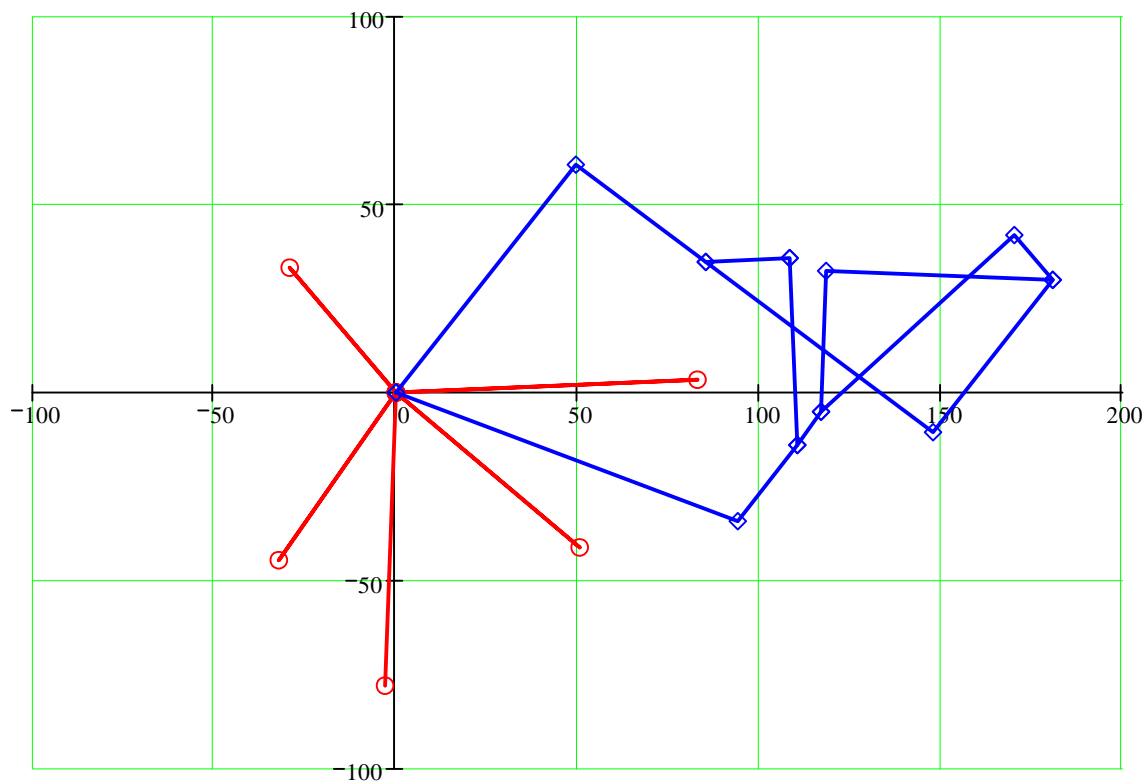
$$F(\phi_n) = (117.032 \quad -2.474)$$

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

$$\phi_d = 110.455 - 13.983i$$

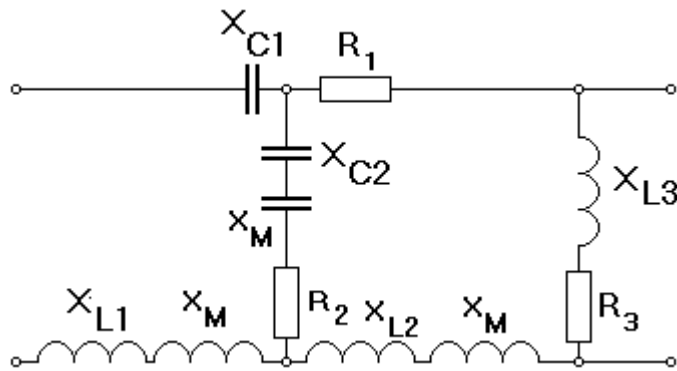
$$F(\phi_d) = (111.336 \quad -7.215)$$





**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":**

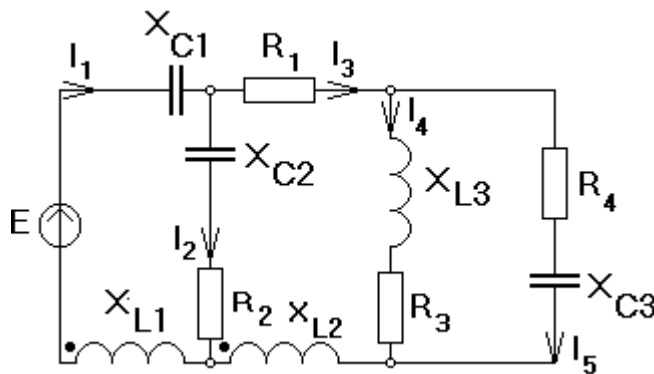
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполіусника **A, B, C, D**



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

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

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



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 40 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 7 - 35 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_{L3} + X_M) \rightarrow 14 + 95 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_E = 20.387 - 9.915i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_E} \quad I_{10} = 4.388 + 0.456i$$

$$F(I_{10}) = (4.411 \quad 5.935)$$

$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -1.99 - 1.474i$$

$$F(I_{30}) = (2.477 \quad -143.465)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) \quad U_{20} = 41.068 - 92.874i$$

$$F(U_{20}) = (101.549 \quad -66.146)$$

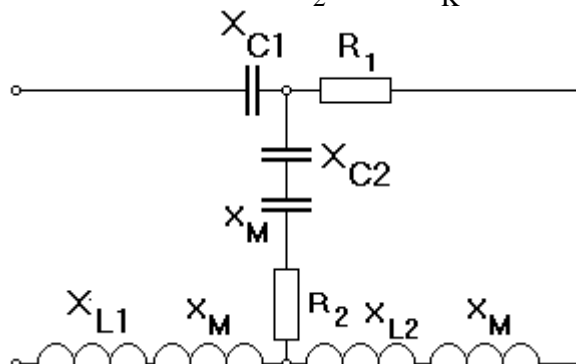
$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 0.682 + 0.71i$$

$$F(A) = (0.985 \quad 46.146)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.013 + 0.041i$$

$$F(C) = (0.043 \quad 72.08)$$

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



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 40 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 7 - 35 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 5 + 55 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 50.956 - 27.426i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 1.71 + 0.249i \quad F(I_{1K}) = (1.728 \quad 8.291)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = -1.68 - 2.042i \quad F(I_{3K}) = (2.645 \quad -129.435)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -12.582 + 35.659i \quad F(B) = (37.814 \quad 109.435)$$

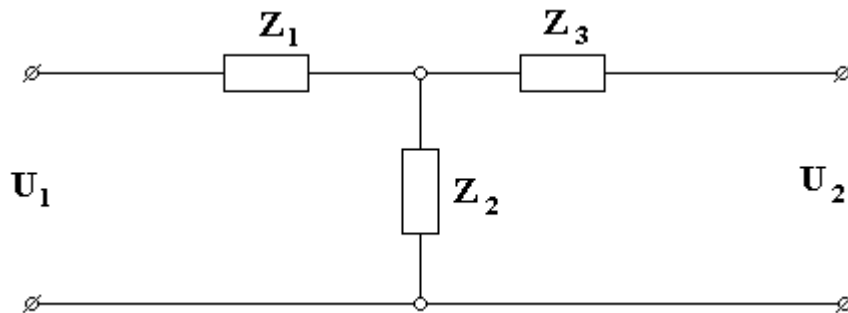
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = -0.484 + 0.44i \quad F(D) = (0.653 \quad 137.726)$$

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

$$F(A) = (0.985 \quad 46.146) \quad F(B) = (37.814 \quad 109.435)$$

$$F(C) = (0.043 \quad 72.08) \quad F(D) = (0.653 \quad 137.726)$$

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



$$Z_1 := \frac{A - 1}{C} \quad Z_1 = 13.304 + 11.99i \quad F(Z_1) = (17.909 \quad 42.026)$$

$$Z_2 := \frac{1}{C} \quad Z_2 = 7 - 35i \quad F(Z_2) = (35.693 \quad -78.69)$$

$$Z_3 := \frac{D - 1}{C} \quad Z_3 = -0.88 + 35.609i \quad F(Z_3) = (35.62 \quad 91.415)$$

$$R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 13.304 \quad X_1 := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_1 = 11.99$$

$$R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 7.083 \quad X_2 := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_2 = -21.904$$

$$R_3 := \operatorname{Re}(Z_3) \quad R_3 = -0.88 \quad X_3 := \operatorname{Im}(Z_3) \quad X_3 = 35.609$$

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

$$L_1 = 0.038 \quad C = 1.453 \times 10^{-4} \quad L_2 = 0.113$$