

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 787

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

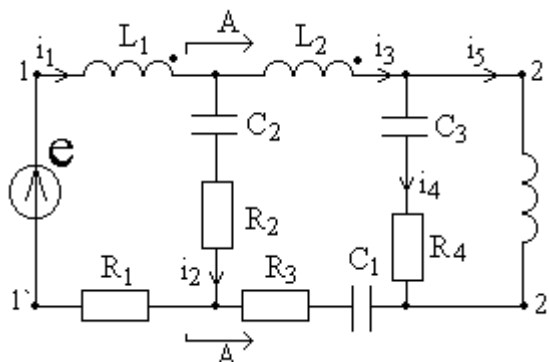
$$E := 220 \quad \psi := 50 \quad R_1 := 16 \quad R_2 := 14 \quad R_3 := 12 \quad R_4 := 10 \quad X_{L1} := 60 \quad X_{L2} := 50 \quad X_{L3} := 43$$

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

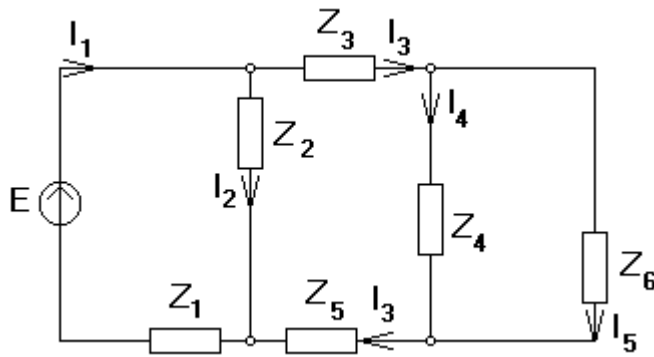
$$U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$U = 141.413 + 168.53i$$

$$F(U) = (220 \ 50)$$



Розрахувати всі струми символічним методом



$$Z_1 := R_1 + j \cdot X_{L1} \quad Z_1 = 16 + 60i$$

$$Z_2 := R_2 - j \cdot X_{C2} \quad Z_2 = 14 - 15i$$

$$Z_5 := R_3 - j \cdot X_{C1} \quad Z_5 = 12 - 20i$$

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

$$Z_4 := R_4 - j \cdot X_{C3} \quad Z_4 = 10 - 13i$$

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

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5} + Z_1 \quad Z_E = 31.185 + 54.373i \quad F(Z_E) = (62.681 \quad 60.164)$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 3.455 - 0.619i \quad F(I_1) = (3.51 \quad -10.164)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{\left(\frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)}{\left(Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)} \quad I_2 = 2.656 + 0.786i \quad F(I_2) = (2.77 \quad 16.478)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 0.798 - 1.405i \quad F(I_3) = (1.616 \quad -60.394)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_6}{Z_6 + Z_4} \quad I_4 = 1.634 - 1.469i \quad F(I_4) = (2.198 \quad -41.959)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.836 + 0.064i \quad F(I_5) = (0.838 \quad 175.61)$$

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:

$$-I_1 \cdot (R_1 + j \cdot X_{L1}) + U - I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) = -7.105 \times 10^{-15} - 1.776i \times 10^{-14}$$

$$-I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1})] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = -2.398 \times 10^{-14} - 7.105i \times 10^{-15}$$

$$I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) - I_5 \cdot j \cdot X_{L3} = 4.441 \times 10^{-15}$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S := U \cdot \overline{I_1} \quad S = 384.164 + 669.817i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 384.164$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot X_{L1} + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 669.817$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot R_1 \quad F(\phi_b) = (56.157 \quad -10.164)$$

$$\phi_b = 55.276 - 9.91i$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 \quad F(\phi_c) = (92.471 \quad 0.675)$$

$$\phi_c = 92.465 + 1.09i$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) \quad F(\phi_d) = (111.221 \quad -20.393)$$

$$\phi_d = 104.251 - 38.755i$$

$$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i \quad F(\phi_1) = (220 \quad 50)$$

$$\phi_1 = 141.413 + 168.53i$$

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

$$\phi_A = 2.842i \times 10^{-14}$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot R_3 \quad F(\phi_e) = (70.165 \quad -22.43)$$

$$\phi_e = 64.857 - 26.771i$$

$$\phi_k := \phi_e + I_3 \cdot (-X_{C1} \cdot i) \quad F(\phi_k) = (56.37 \quad -49.305)$$

$$\phi_k = 36.755 - 42.739i$$

$$\phi_m := \phi_k + I_4 \cdot R_4 \quad F(\phi_m) = (78.215 \quad -47.246)$$

$$\phi_m = 53.096 - 57.432i$$

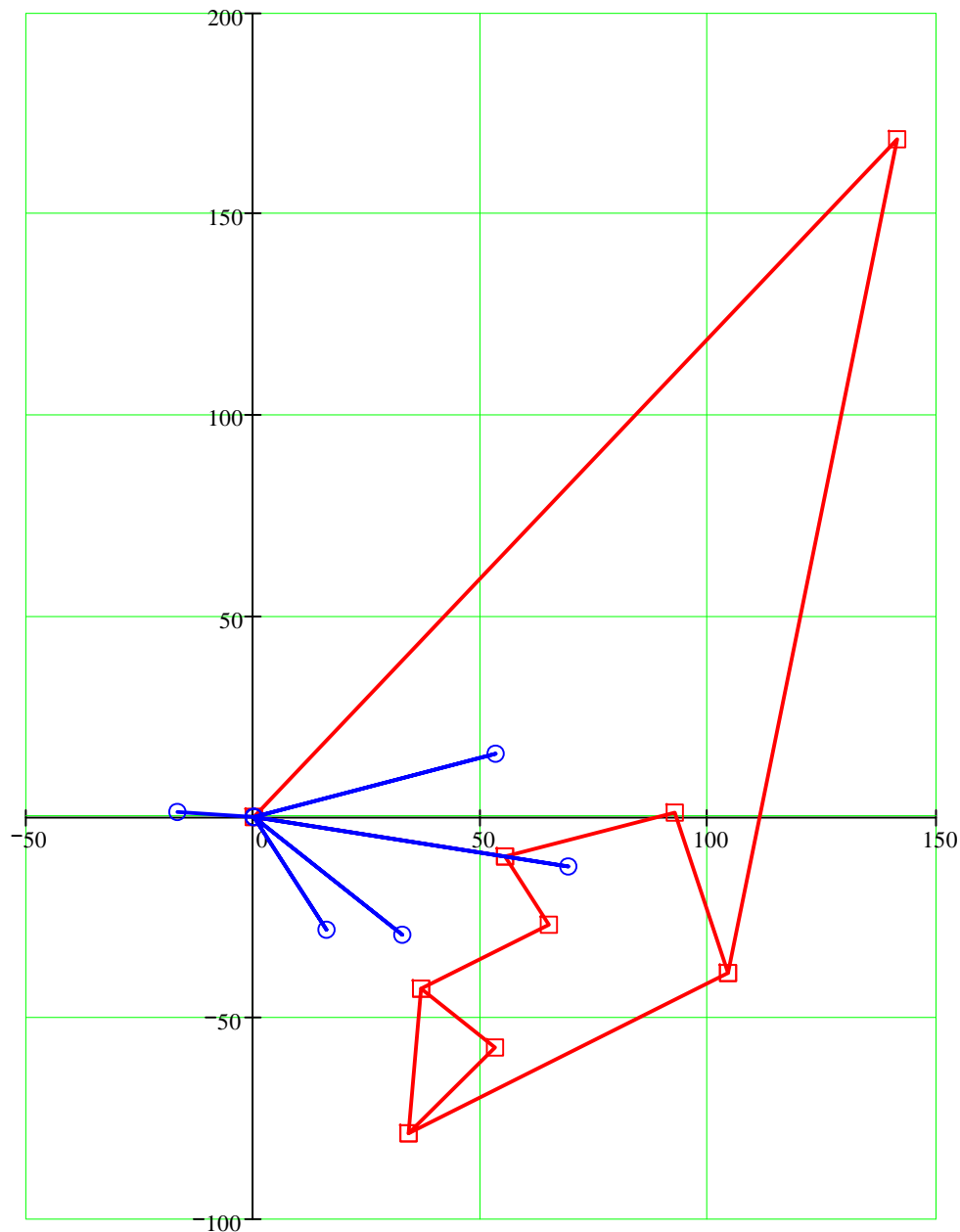
$$\phi_z := \phi_m + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i) \quad F(\phi_z) = (85.706 \quad -66.631)$$

$$\phi_z = 33.996 - 78.675i$$

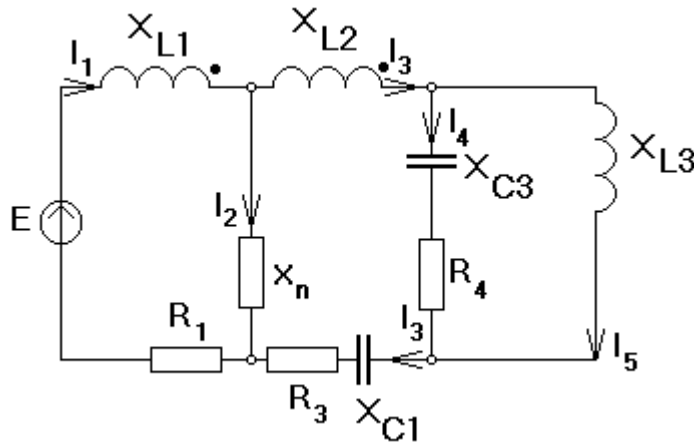
$$\phi_d := \phi_z + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i \quad F(\phi_d) = (111.221 \quad -20.393)$$

$$\phi_d = 104.251 - 38.755i$$

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.



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

$$Z_{45} = 18.49 - 12.47i$$

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

$$Z_E = 30.49 + 17.53i$$

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

$$R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 30.49$$

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

$$X_E = 17.53$$

За умовою резонансу:

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

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

$$B_n = -0.014$$

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

$$X_n = -70.561$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

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

$$Z_1 = 16 + 60i$$

$$Z_3 := R_3 + X_{L2} \cdot i - X_{C1} \cdot i$$

$$Z_3 = 12 + 30i$$

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

$$Z_4 = 10 - 13i$$

$$Z_5 := X_{L3} \cdot i$$

$$Z_5 = 43i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 30.49 + 17.53i$$

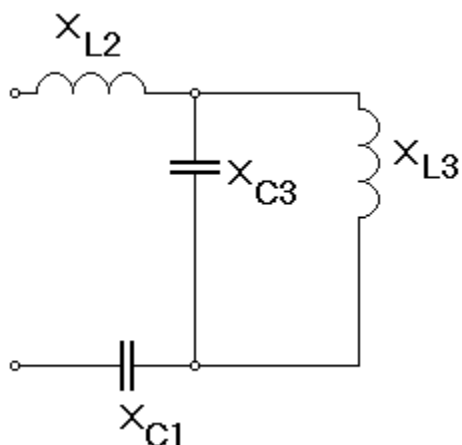
$$\text{Вхідний опір кола: } Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(560960 \cdot X_N + 46490 \cdot X_N^2 + 19791056 + 3340541 \cdot i \cdot X_N + 77530 \cdot i \cdot X_N^2 + 74216460 \cdot i)}{(1236941 + 35060 \cdot X_N + 1000 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 5} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -21.544 + 22.207 \cdot i \\ -21.544 - 22.207 \cdot i \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола неможливий

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



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

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

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

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

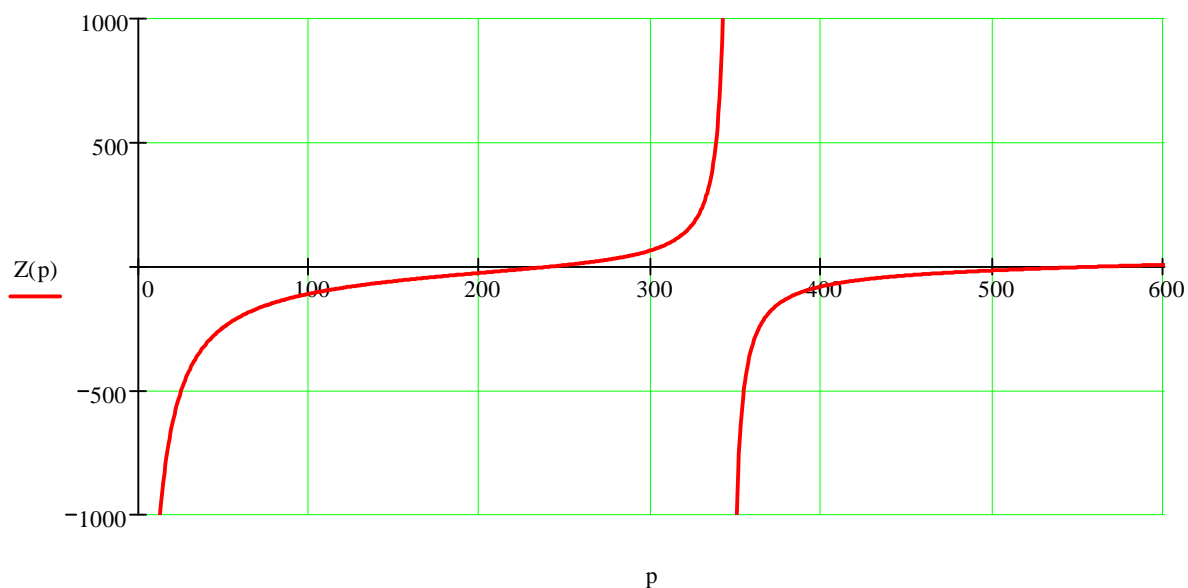
$$Z(p) := \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 + \frac{-1}{p \cdot C_1} \rightarrow \frac{-559}{\left(\frac{43}{200} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{2600}{p} \cdot \pi \right)} + \frac{1}{4} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{4000}{p} \cdot \pi$$

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:

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



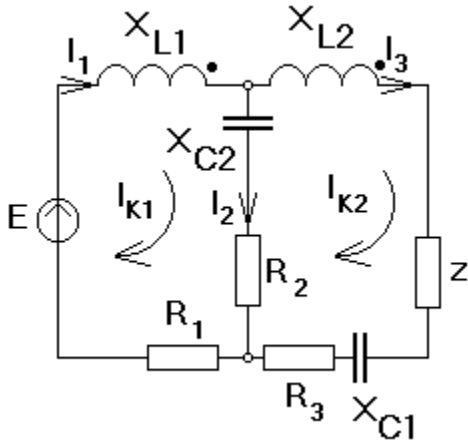
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 T/ L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

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



$$Z := \frac{(R_4 - j \cdot X_{C3}) \cdot j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})} \quad Z = 18.49 - 12.47i$$

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

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

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

$$Z_{11} = 30 + 45i \quad Z_{22} = 44.49 + 2.53i \quad Z_{12} = 14 - 47i$$

Given

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \quad \left| \begin{array}{l} \text{expand} \\ \text{float}, 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 2.076226798 + .2501833563 \cdot i \\ .7948171466 - 2.159833218 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 2.076 + 0.25i$$

$$I_{K2} = 0.795 - 2.16i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 2.076 + 0.25i$$

$$F(I_1) = (2.091 \quad 6.871)$$

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

$$I_2 = 1.281 + 2.41i$$

$$F(I_2) = (2.73 \quad 62)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = 0.795 - 2.16i$$

$$F(I_3) = (2.301 \quad -69.796)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})}$$

$$I_4 = 1.954 - 2.444i$$

$$F(I_4) = (3.129 \quad -51.361)$$

$$I_5 := I_3 - I_4$$

$$I_5 = -1.159 + 0.285i$$

$$F(I_5) = (1.194 \quad 166.207)$$

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:

$$-I_1 \cdot [R_1 + j \cdot (X_{L1} + X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] = 3.094 \times 10^{-8} - 5.502i \times 10^{-8}$$

$$-I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M)] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = -2.433 \times 10^{-8} + 2.988i \times 10^{-8}$$

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

$$S_{M1} := \bar{I}_1 \cdot I_3 \cdot X_M$$

$$S_{M1} = 35.516 - 149.861i$$

$$F(S_{M1}) = (154.012 \quad -76.667)$$

$$S_{M2} := I_1 \cdot \bar{I}_3 \cdot X_M$$

$$S_{M2} = 35.516 + 149.861i$$

$$F(S_{M2}) = (154.012 \quad 76.667)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S = 335.769 + 314.527i$$

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

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

$$S = 335.769 + 314.527i$$

$$P = 335.769$$

$$Q = 314.527$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

$$F(\phi_b) = (33.46 \quad 6.871)$$

$$\phi_b = 33.22 + 4.003i$$

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

$$F(\phi_c) = (63.575 \quad 36.418)$$

$$\phi_c = 51.159 + 37.743i$$

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

$$F(\phi_d) = (89.253 \quad 11.977)$$

$$\phi_d = 87.31 + 18.522i$$

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

$$F(\phi_{1''}) = (162.483 \quad 15.696)$$

$$\phi_{1''} = 156.424 + 43.956i$$

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

$$F(\phi_1) = (220 \quad 50)$$

$$\phi_1 = 141.413 + 168.53i$$

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

$$F(\phi_A) = (6.313 \times 10^{-8} \quad 119.348)$$

$$\phi_A = -3.094 \times 10^{-8} + 5.502i \times 10^{-8}$$

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

$$F(\phi_e) = (48.047 \quad -27.137)$$

$$\phi_e = 42.757 - 21.915i$$

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

$$F(\phi_m) = (37.814 \quad -90.666)$$

$$\phi_m = -0.439 - 37.811i$$

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

$$F(\phi_z) = (79.043 \quad -79.609)$$

$$\phi_z = 14.257 - 77.747i$$

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

$$F(\phi_k) = (88.57 \quad -98.228)$$

$$\phi_k = -12.676 - 87.658i$$

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

$$F(\phi_{d'}) = (29.631 \quad -134.266)$$

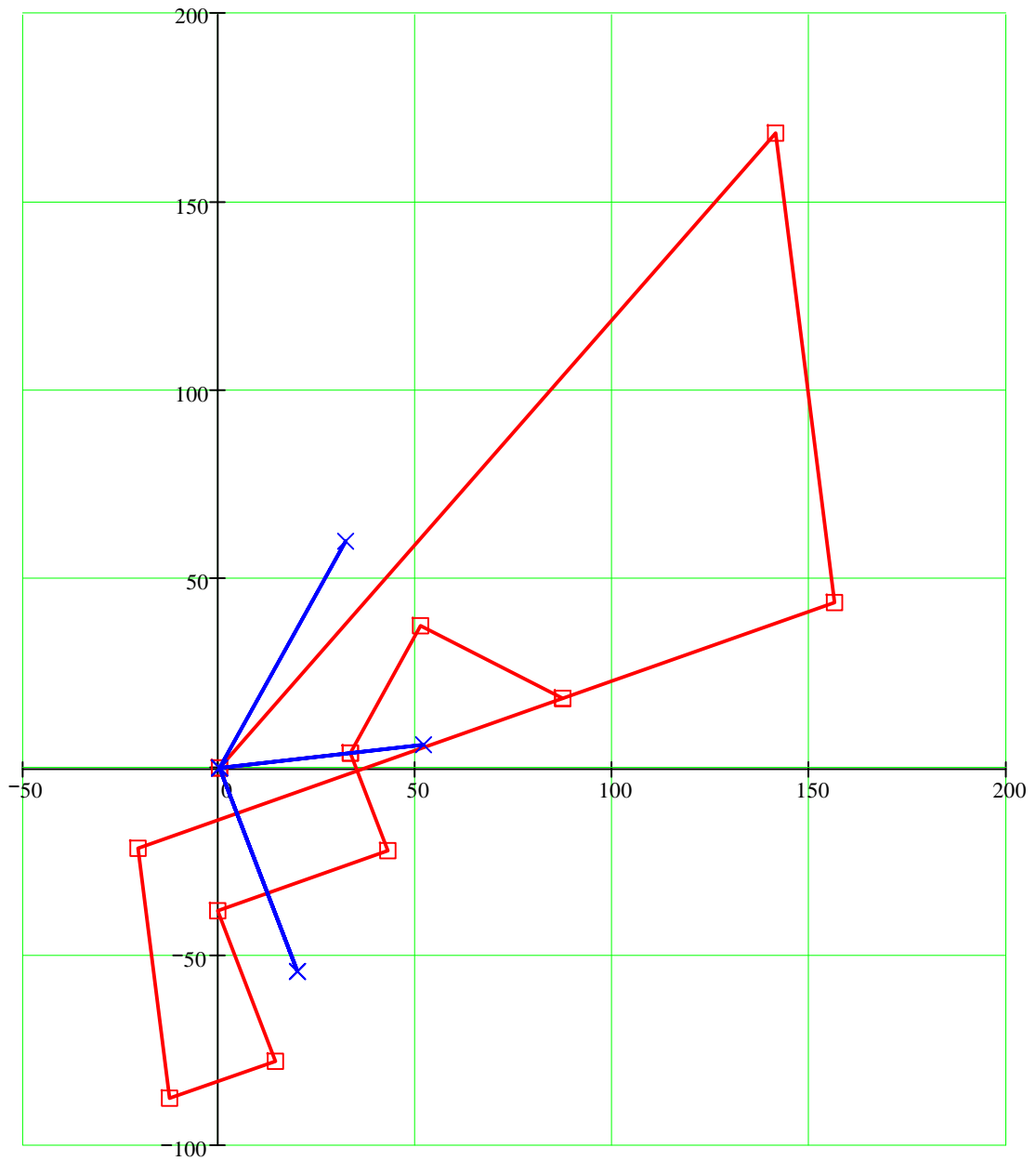
$$\phi_{d'} = -20.682 - 21.219i$$

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

$$F(\phi_d) = (89.253 \quad 11.977)$$

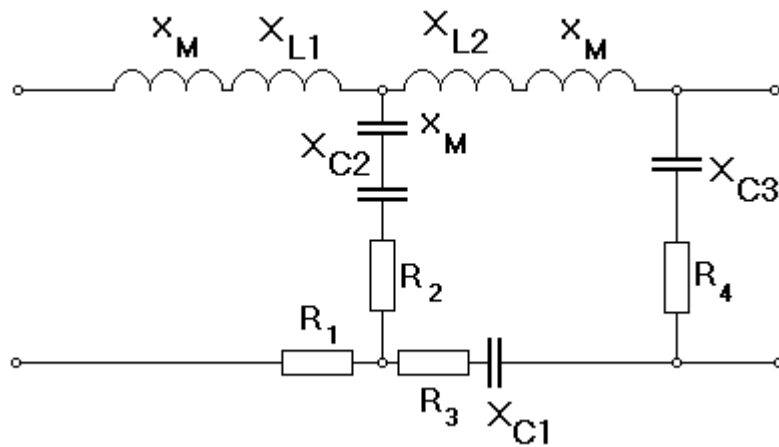
$$\phi_d = 87.31 + 18.522i$$

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":

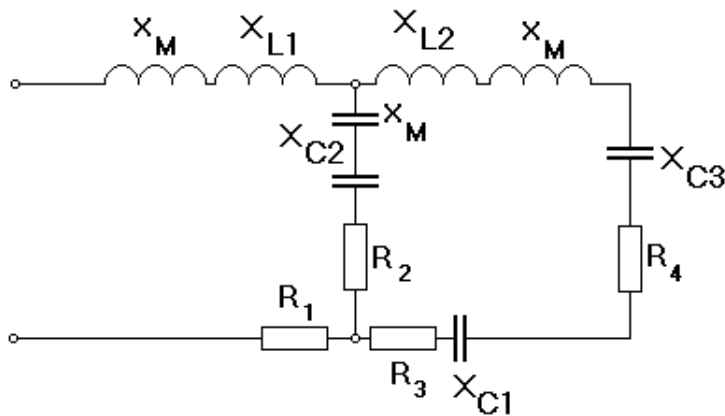
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника **A,B,C,D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_M + X_{L1}) \rightarrow 16 + 92 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 14 - 47 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C3} - X_{C1}) \rightarrow 22 + 49 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 87.769 + 78.346i \quad Z_{20} := \frac{Z_2 \cdot Z_1}{Z_2 + Z_1} + Z_3 \quad Z_{20} = 76.892 - 15.472i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = 1.851 + 0.268i \quad F(I_{10}) = (1.87 \quad 8.247)$$

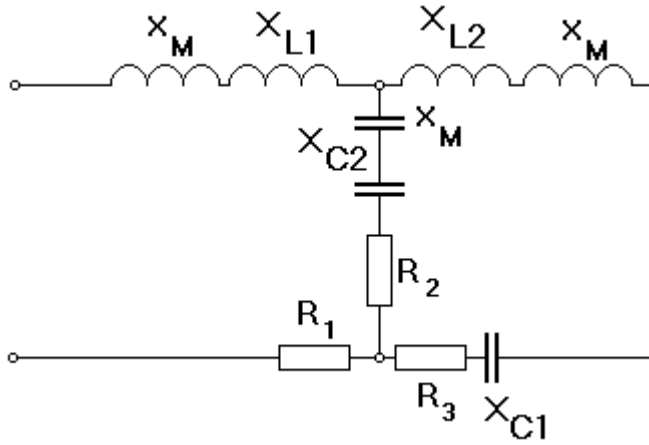
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = 0.939 - 2.364i \quad F(I_{30}) = (2.543 \quad -68.346)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) \quad U_{20} = -21.346 - 35.84i \quad F(U_{20}) = (41.715 \quad -120.777)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = -5.206 + 0.845i \quad F(A) = (5.274 \quad 170.777)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = -0.028 + 0.035i \quad F(C) = (0.045 \quad 129.024)$$

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} + X_M) \rightarrow 16 + 92 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 14 - 47 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 12 + 62 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 109.998 + 49.463i$$

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

$$I_{1K} = 1.642 + 0.794i$$

$$F(I_{1K}) = (1.824 \quad 25.788)$$

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

$$I_{3K} = 0.64 - 2.911i$$

$$F(I_{3K}) = (2.98 \quad -77.606)$$

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

$$B = -45.048 + 58.482i$$

$$F(B) = (73.821 \quad 127.606)$$

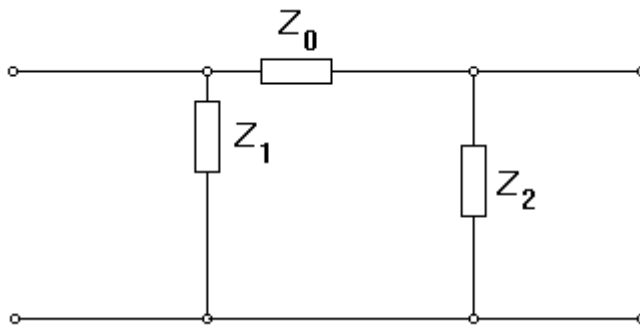
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}}$$

$$D = -0.142 + 0.595i$$

$$F(D) = (0.612 \quad 103.394)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = -45.048 + 58.482i$$

$$F(Z_0) = (73.821 \quad 127.606)$$

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

$$Y_1 = 0.016 + 7.331i \times 10^{-3}$$

$$F(Y_1) = (0.017 \quad 24.852)$$

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

$$Y_2 = 0.06 + 0.06i$$

$$F(Y_2) = (0.085 \quad 44.637)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0) \quad R_0 = -45.048 \quad X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0) \quad X_{L0} = 58.482$$

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

$$Z_1 = 52.018 - 24.093i$$

$$R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 52.018$$

$$X_{C1} := -\operatorname{Im}(Z_1) \quad X_{C1} = 24.093$$

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

$$Z_2 = 8.387 - 8.282i$$

$$R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 8.387$$

$$X_{C2} := -\operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{C2} = 8.282$$

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

$$C_1 = 6.606 \times 10^{-5}$$

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

$$C_2 = 1.922 \times 10^{-4}$$

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

$$L_0 = 0.093$$