

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

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 307

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 замикнути.

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 чотириполусника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

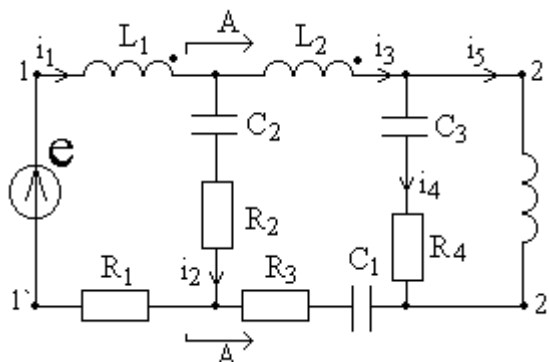
$$E := 140 \quad \psi := -45 \quad R_1 := 9 \quad R_2 := 11 \quad R_3 := 13 \quad R_4 := 15 \quad X_{L1} := 37 \quad X_{L2} := 27 \quad X_{L3} := 20$$

$$X_{C1} := 13 \quad X_{C2} := 10 \quad X_{C3} := 6 \quad X_M := 15 \quad f := 50$$

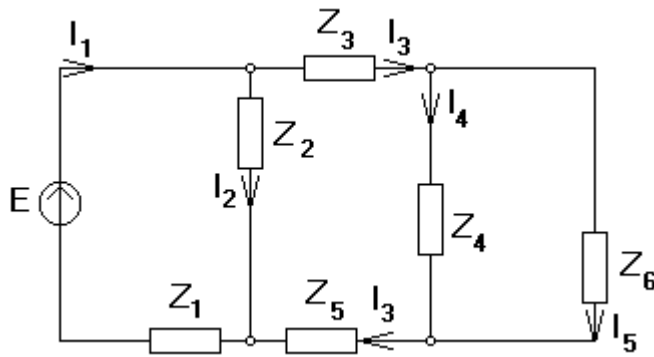
$$U := E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$U = 98.995 - 98.995i$$

$$F(U) = (140 \quad -45)$$



Розрахувати всі струми символічним методом



$$Z_1 := R_1 + j \cdot X_{L1} \quad Z_1 = 9 + 37i$$

$$Z_2 := R_2 - j \cdot X_{C2} \quad Z_2 = 11 - 10i$$

$$Z_5 := R_3 - j \cdot X_{C1} \quad Z_5 = 13 - 13i$$

$$Z_3 := j \cdot X_{L2} \quad Z_3 = 27i$$

$$Z_4 := R_4 - j \cdot X_{C3} \quad Z_4 = 15 - 6i$$

$$Z_6 := j \cdot X_{L3} \quad Z_6 = 20i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5} + Z_1 \quad Z_E = 20.983 + 32.477i \quad F(Z_E) = (38.665 \quad 57.134)$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = -0.761 - 3.54i \quad F(I_1) = (3.621 \quad -102.134)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{\left(\frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)}{\left(Z_2 + \frac{Z_6 \cdot Z_4}{Z_6 + Z_4} + Z_3 + Z_5 \right)} \quad I_2 = 0.513 - 3.077i \quad F(I_2) = (3.12 \quad -80.542)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = -1.274 - 0.463i \quad F(I_3) = (1.355 \quad -160.033)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_6}{Z_6 + Z_4} \quad I_4 = -0.517 - 1.215i \quad F(I_4) = (1.321 \quad -113.058)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.756 + 0.753i \quad F(I_5) = (1.067 \quad 135.14)$$

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:

$$-I_1 \cdot (R_1 + j \cdot X_{L1}) + U - I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) = 3.553 \times 10^{-15} - 7.105i \times 10^{-15}$$

$$-I_2 \cdot (R_2 - j \cdot X_{C2}) + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1})] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = 8.882 \times 10^{-15} - 2.132i \times 10^{-14}$$

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

Перевірка за балансом потужностей

$$S := U \cdot \overline{I_1} \quad S = 275.091 + 425.78i$$

$$P := (|I_1|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_3|)^2 \cdot R_3 + (|I_4|)^2 \cdot R_4 \quad P = 275.091$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot X_{L1} + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2} - X_{C1}) + (|I_4|)^2 \cdot (-X_{C3}) + (|I_5|)^2 \cdot X_{L3} \quad Q = 425.78$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot R_1 \quad F(\phi_b) = (32.587 \quad -102.134)$$

$$\phi_b = -6.85 - 31.859i$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 \quad F(\phi_c) = (65.719 \quad -91.056)$$

$$\phi_c = -1.211 - 65.708i$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-X_{C2} \cdot i) \quad F(\phi_d) = (77.72 \quad -114.3)$$

$$\phi_d = -31.983 - 70.835i$$

$$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot X_{L1} \cdot i \quad F(\phi_1) = (140 \quad -45)$$

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

$$\phi_A = 0$$

$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot R_3 \quad F(\phi_e) = (44.525 \quad -121.717)$$

$$\phi_e = -23.408 - 37.875i$$

$$\phi_k := \phi_e + I_3 \cdot (-X_{C1} \cdot i) \quad F(\phi_k) = (36.334 \quad -144.078)$$

$$\phi_k = -29.424 - 21.317i$$

$$\phi_m := \phi_k + I_4 \cdot R_4 \quad F(\phi_m) = (54.284 \quad -133.236)$$

$$\phi_m = -37.185 - 39.548i$$

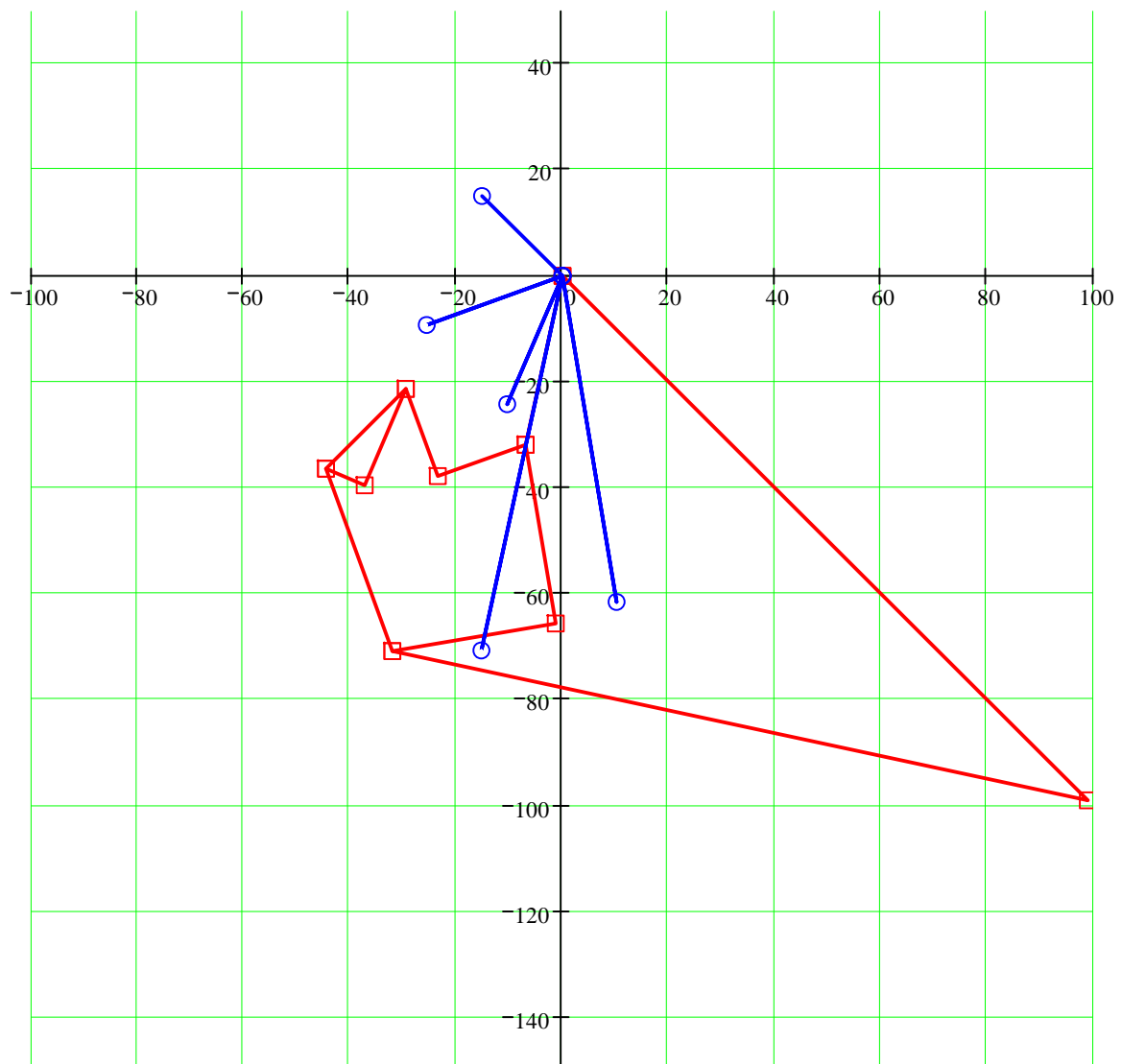
$$\phi_z := \phi_m + I_4 \cdot (-X_{C3} \cdot i) \quad F(\phi_z) = (57.501 \quad -140.669)$$

$$\phi_z = -44.477 - 36.444i$$

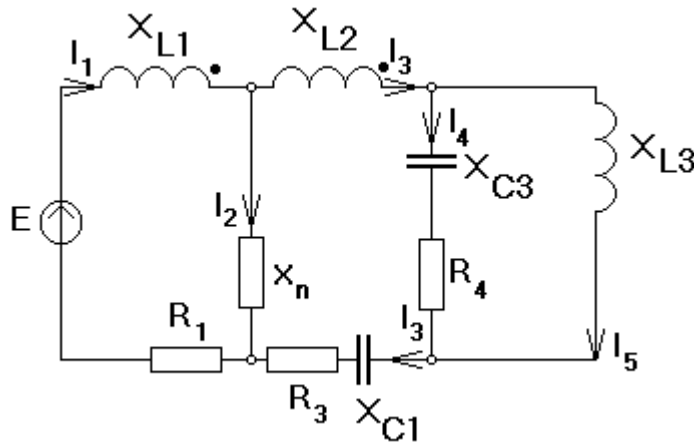
$$\phi_d := \phi_z + I_3 \cdot X_{L2} \cdot i \quad F(\phi_d) = (77.72 \quad -114.3)$$

$$\phi_d = -31.983 - 70.835i$$

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.



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

$$Z_{45} = 14.252 + 6.698i$$

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

$$Z_E = 27.252 + 20.698i$$

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

$$R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 27.252$$

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

$$X_E = 20.698$$

За умовою резонансу:

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

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

$$B_n = -0.018$$

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

$$X_n = -56.578$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола

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

$$Z_1 = 9 + 37i$$

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

$$Z_3 = 13 + 14i$$

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

$$Z_4 = 15 - 6i$$

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

$$Z_5 = 20i$$

$$Z_{345} := \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 \quad Z_{345} = 27.252 + 20.698i$$

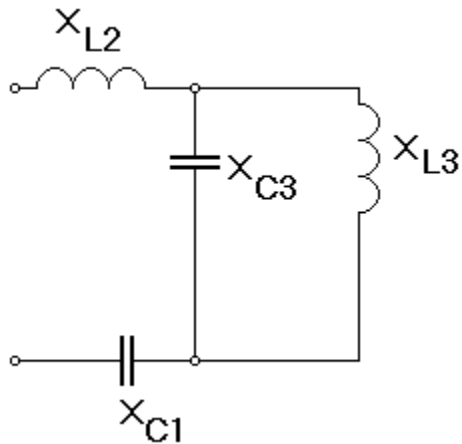
$$\text{Вхідний опір кола: } Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(156852 \cdot X_N + 15262 \cdot X_N^2 + 4437225 + 1137861 \cdot i \cdot X_N + 24291 \cdot i \cdot X_N^2 + 18241925 \cdot i)}{(493025 + 17428 \cdot X_N + 421 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \rightarrow \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \left(\begin{array}{l} -23.421452389773990367 + \\ -23.421452389773990367 - \end{array} \right) X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.9356668 \cdot i \\ 0.9356668 \cdot i \end{pmatrix}$$

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



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{27}{100 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.086$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{5 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.064$$

$$C_1 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C1}} \rightarrow \frac{1}{1300 \cdot \pi} \quad C_1 = 2.449 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{600 \cdot \pi} \quad C_3 = 5.305 \times 10^{-4}$$

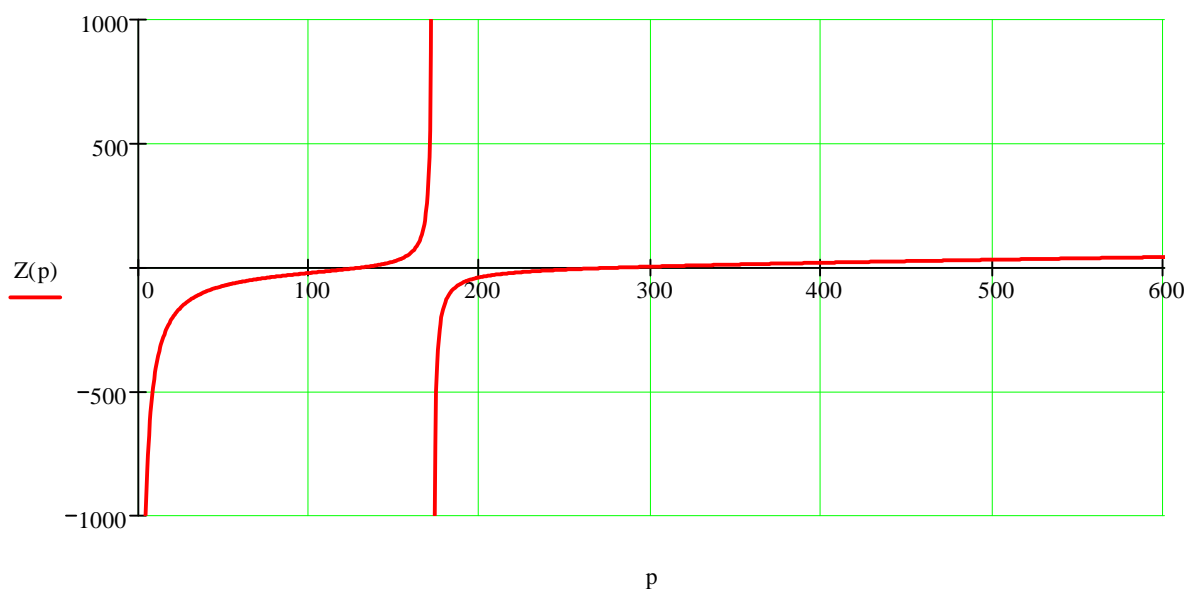
$$Z(p) := \frac{p \cdot L_3 \cdot \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2 + \frac{-1}{p \cdot C_1} \rightarrow \frac{-120}{\left(\frac{1}{5} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{600}{p} \cdot \pi\right)} + \frac{27}{100} \cdot \frac{p}{\pi} - \frac{1300}{p} \cdot \pi$$

Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 16} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 286.1416288645575 \\ -286.1416288645575 \\ 131.0898666769305 \\ -131.0898666769305 \end{pmatrix} \omega = \begin{pmatrix} 286.142 \\ -286.142 \\ 131.09 \\ -131.09 \end{pmatrix} \quad \omega := \begin{pmatrix} \omega_0 \\ \omega_2 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 286.142 \\ 131.09 \end{pmatrix}$$

Знаходимо полюси:

$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \text{ solve, p} \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{1}{10 \cdot 30^2 \cdot \pi} \\ \frac{1}{-10 \cdot 30^2 \cdot \pi} \\ 0 \end{pmatrix} \omega_1 = \begin{pmatrix} 172.072 \\ -172.072 \\ 0 \end{pmatrix} \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{10} \\ \omega_{12} \end{pmatrix} \omega_1 = \begin{pmatrix} 172.072 \\ 0 \end{pmatrix}$$



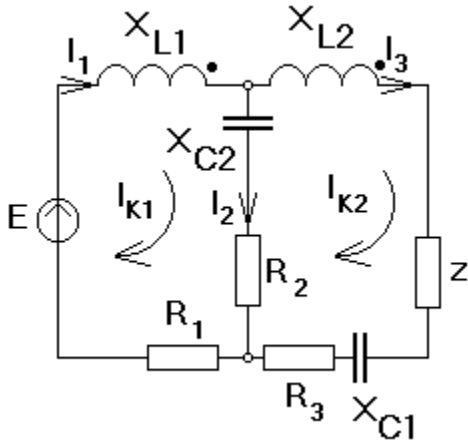
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L1 T/ L2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

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



$$Z := \frac{(R_4 - j \cdot X_{C3}) \cdot j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})} \quad Z = 14.252 + 6.698i$$

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

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

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

$$Z_{11} = 20 + 27i \quad Z_{22} = 38.252 + 10.698i \quad Z_{12} = 11 - 25i$$

Given

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

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \quad \left| \begin{array}{l} \text{expand} \\ \text{float}, 10 \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -3.608775820 \cdot 10^{-2} - 2.716653243 \cdot i \\ -1.852849345 - .2394289657 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = -0.036 - 2.717i \quad I_{K2} = -1.853 - 0.239i$$

$$I_1 := I_{K1} \quad I_1 = -0.036 - 2.717i \quad F(I_1) = (2.717 \quad -90.761)$$

$$I_2 := I_{K1} - I_{K2} \quad I_2 = 1.817 - 2.477i \quad F(I_2) = (3.072 \quad -53.744)$$

$$I_3 := I_{K2} \quad I_3 = -1.853 - 0.239i \quad F(I_3) = (1.868 \quad -172.637)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{j \cdot X_{L3}}{R_4 + j \cdot (X_{L3} - X_{C3})} \quad I_4 = -1.062 - 1.48i \quad F(I_4) = (1.821 \quad -125.662)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = -0.791 + 1.24i \quad F(I_5) = (1.471 \quad 122.537)$$

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:

$$-I_1 \cdot [R_1 + j \cdot (X_{L1} + X_M)] + U - I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] = 3.162 \times 10^{-8} - 3.242i \times 10^{-8}$$

$$-I_2 \cdot [R_2 - j \cdot (X_{C2} + X_M)] + I_3 \cdot [R_3 + j \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M)] + I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) = 1.026 \times 10^{-9} - 5.577i \times 1$$

$$I_4 \cdot (R_4 - j \cdot X_{C3}) - I_5 \cdot j \cdot X_{L3} = 3.553i \times 10^{-15}$$

$$S_{M1} := \bar{I}_1 \cdot I_3 \cdot X_M \quad S_{M1} = 10.76 - 75.374i \quad F(S_{M1}) = (76.138 \quad -81.876)$$

$$S_{M2} := I_1 \cdot \bar{I}_3 \cdot X_M \quad S_{M2} = 10.76 + 75.374i \quad F(S_{M2}) = (76.138 \quad 81.876)$$

Перевірка за балансом потужностей

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

$$S = 265.362 + 272.507i$$

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

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

$$S = 265.362 + 272.507i$$

$$P = 265.362$$

$$Q = 272.507$$

Визначимо потенціали всіх точок позначених на схемі:

$$\phi_a := 0$$

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

$$F(\phi_b) = (24.452 \quad -90.761)$$

$$\phi_b = -0.325 - 24.45i$$

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

$$F(\phi_c) = (55.311 \quad -69.18)$$

$$\phi_c = 19.66 - 51.699i$$

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

$$F(\phi_d) = (70.054 \quad -94.185)$$

$$\phi_d = -5.113 - 69.867i$$

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

$$F(\phi_{1''}) = (97.672 \quad -90.892)$$

$$\phi_{1''} = -1.521 - 97.66i$$

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

$$F(\phi_1) = (140 \quad -45)$$

$$\phi_1 = 98.995 - 98.995i$$

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

$$F(\phi_A) = (4.528 \times 10^{-8} \quad 134.284)$$

$$\phi_A = -3.162 \times 10^{-8} + 3.242i \times 10^{-8}$$

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

$$F(\phi_e) = (36.819 \quad -131.531)$$

$$\phi_e = -24.412 - 27.562i$$

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

$$F(\phi_m) = (27.743 \quad -172.804)$$

$$\phi_m = -27.524 - 3.475i$$

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

$$F(\phi_z) = (54.369 \quad -172.722)$$

$$\phi_z = -53.931 - 6.888i$$

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

$$F(\phi_k) = (55.772 \quad -159.756)$$

$$\phi_k = -52.327 - 19.299i$$

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

$$F(\phi_{d'}) = (22.971 \quad -120.265)$$

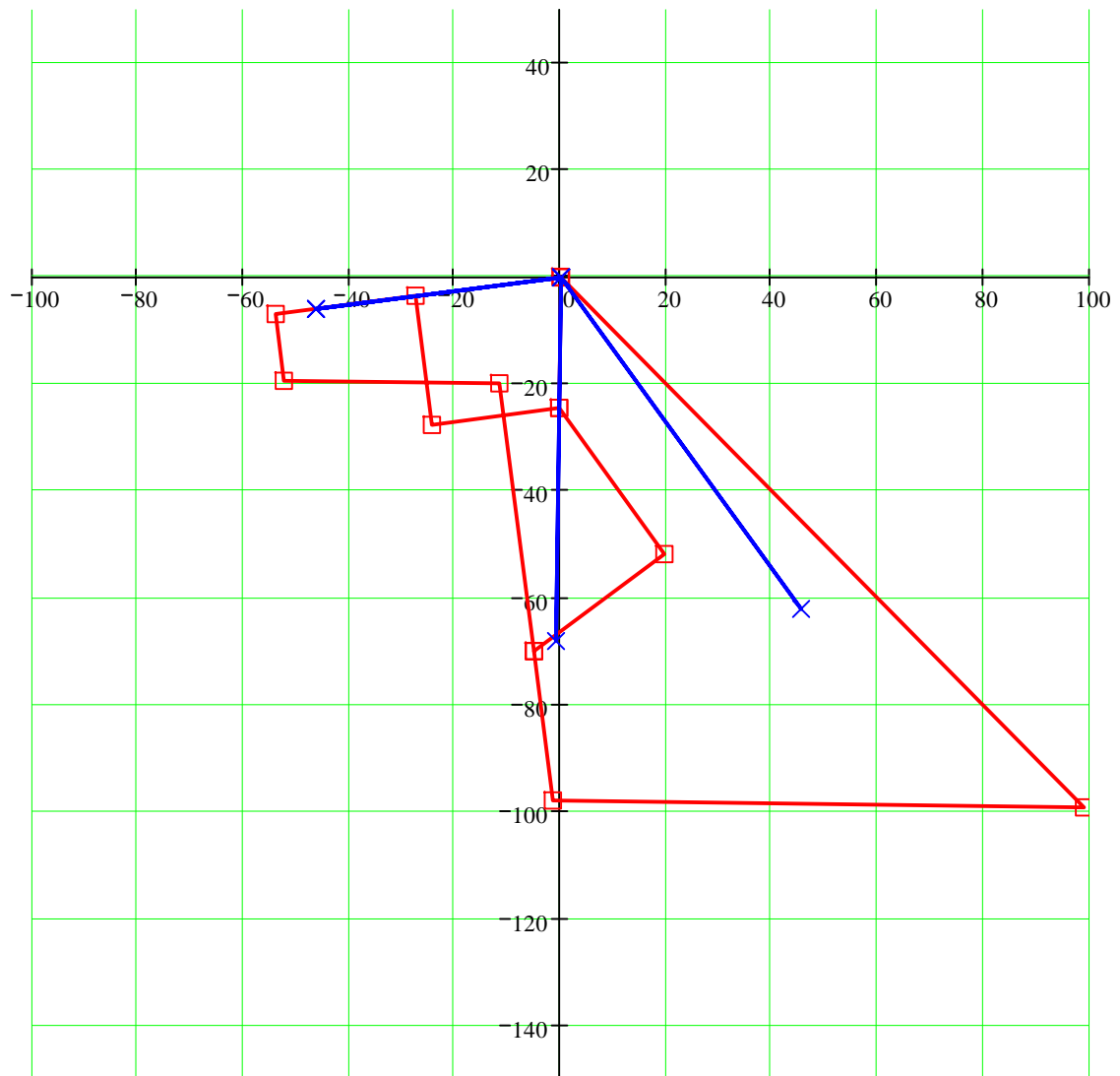
$$\phi_{d'} = -11.577 - 19.84i$$

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

$$F(\phi_d) = (70.054 \quad -94.185)$$

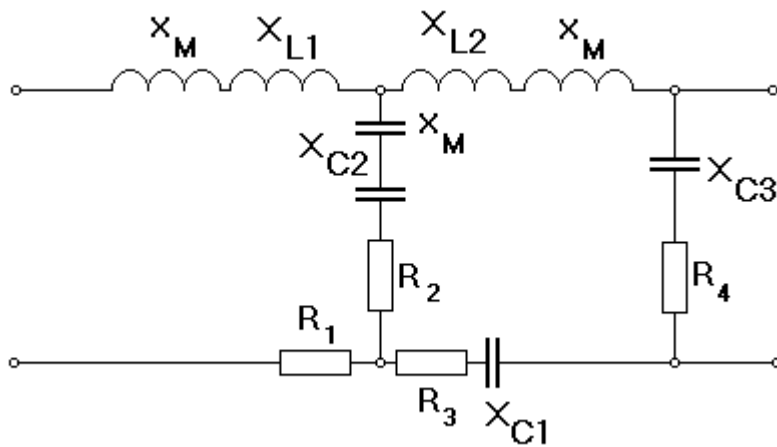
$$\phi_d = -5.113 - 69.867i$$

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":

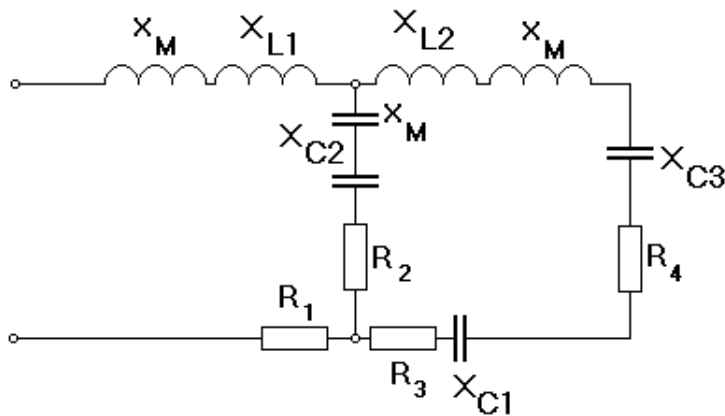
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполюсника **A,B,C,D**



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

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

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_M + X_{L1}) \rightarrow 9 + 52 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 11 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L2} + X_M - X_{C3} - X_{C1}) \rightarrow 28 + 23 \cdot i$$

$$Z_{10} := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_{10} = 32.168 + 41.727i \quad Z_{20} := \frac{Z_2 \cdot Z_1}{Z_2 + Z_1} + Z_3 \quad Z_{20} = 61.081 - 4.31i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_{10}} \quad I_{10} = -0.341 - 2.635i \quad F(I_{10}) = (2.657 \quad -97.371)$$

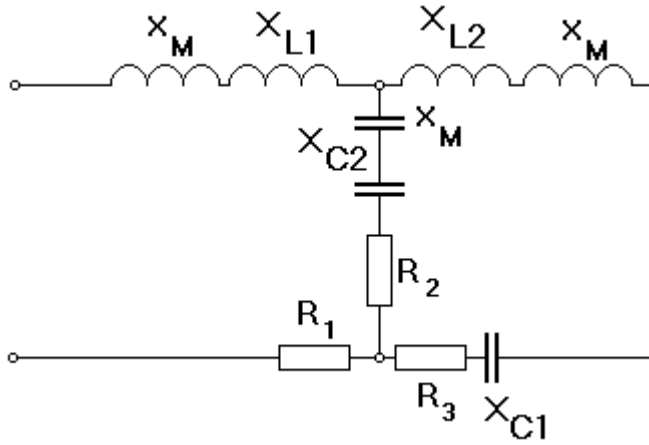
$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = -1.754 - 0.615i \quad F(I_{30}) = (1.858 \quad -160.685)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) \quad U_{20} = -29.997 + 1.303i \quad F(U_{20}) = (30.025 \quad 177.513)$$

$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = -3.437 + 3.151i \quad F(A) = (4.663 \quad 137.487)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 7.534 \times 10^{-3} + 0.088i \quad F(C) = (0.089 \quad 85.116)$$

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



$$Z_1 := R_1 + i \cdot (X_{L1} + X_M) \rightarrow 9 + 52 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 11 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot (X_{L2} - X_{C1} + X_M) \rightarrow 13 + 29 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 44.149 + 45.89i$$

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

$$I_{1K} = -0.043 - 2.198i$$

$$F(I_{1K}) = (2.198 \quad -91.109)$$

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

$$I_{3K} = -2.403 - 0.563i$$

$$F(I_{3K}) = (2.468 \quad -166.822)$$

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

$$B = -29.912 + 48.201i$$

$$F(B) = (56.728 \quad 121.822)$$

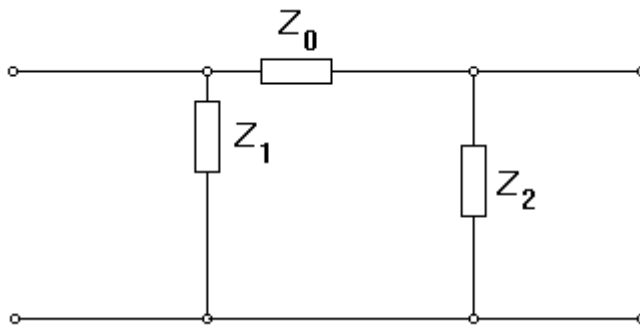
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}}$$

$$D = 0.22 + 0.863i$$

$$F(D) = (0.891 \quad 75.713)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення;



$$Z_0 := B$$

$$Z_0 = -29.912 + 48.201i$$

$$F(Z_0) = (56.728 \quad 121.822)$$

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

$$Y_1 = 0.02 + 3.661i \times 10^{-3}$$

$$F(Y_1) = (0.021 \quad 10.283)$$

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

$$Y_2 = 0.088 + 0.037i$$

$$F(Y_2) = (0.096 \quad 22.798)$$

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

$$R_0 = -29.912$$

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

$$X_{L0} = 48.201$$

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

$$Z_1 = 47.97 - 8.703i$$

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

$$R_1 = 47.97$$

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

$$X_{C1} = 8.703$$

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

$$Z_2 = 9.61 - 4.039i$$

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

$$R_2 = 9.61$$

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

$$X_{C2} = 4.039$$

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

$$C_1 = 3.657 \times 10^{-4}$$

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

$$C_2 = 7.881 \times 10^{-4}$$

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

$$L_0 = 0.153$$